



FORSCHUNGSPLAN

des Leibniz-Instituts für die Pädagogik
der Naturwissenschaften und Mathematik
für die Jahre 2026 bis 2030



FORSCHUNGSPLAN

des Leibniz-Instituts für die Pädagogik
der Naturwissenschaften und Mathematik
für die Jahre 2026 bis 2030

IMPRESSUM

Prof. Dr. Olaf Köller, Geschäftsführender Wissenschaftlicher Direktor
und Direktor der Abteilung Erziehungswissenschaft und Pädagogische Psychologie

Prof. Dr. Ute Harms, Direktorin der Abteilung Didaktik der Biologie

Prof. Dr. Aiso Heinze, Direktor der Abteilung Didaktik der Mathematik

Prof. Dr. Oliver Lüdtke, Direktor der Abteilung Pädagogisch-Psychologische Methoden
und Datenwissenschaften

Prof. Dr. Knut Neumann, Direktor der Abteilung Didaktik der Physik

Prof. Dr. Hans Anand Pant, Direktor der Abteilung Fachbezogener Erkenntnistransfer
(kommissarisch)

Prof. Dr. Ilka Parchmann, Direktorin der Abteilung Didaktik der Chemie

Prof. Dr. Andreas Mühling, Leiter der Arbeitsgruppe Didaktik der Informatik

REDAKTION

Olaf Köller, Kerstin Schütte

UMSCHLAGGESTALTUNG/LAYOUT/SATZ

Karin Vierk

FOTOS

Titel: © contrastwerkstatt / stock.adobe.com; S. 12 © Viacheslav Yakobchuk /
stock.adobe.com; S. 24 © Konstantin Yukanov / stock.adobe.com; S. 37 © IPhO-IPN, Kiel;
S. 48 © Rido / stock.adobe.com



© 2025

IPN · Leibniz-Institut für die Pädagogik der
Naturwissenschaften und Mathematik

Olshausenstraße 62
24118 Kiel

Postanschrift:
IPN · 24098 Kiel

Tel.: +49 431 880-5084

E-Mail: info@leibniz-ipn.de
www.leibniz-ipn.de

INHALT

VORBEMERKUNGEN	6
Strukturierung der Arbeiten in den Jahren 2026 bis 2030	8
Pakt für Forschung und Innovation IV (Pakthälfte 2026 bis 2030)	9
 FORSCHUNGSLINIE FACHLICHES LERNEN	
IM VORSCHULISCHEN UND SCHULISCHEN BEREICH	14
Grundlegende fachliche Kompetenzen als Erträge fachlichen Lernens	17
Vertiefte Kompetenzen als Voraussetzung für weiteres fachliches Lernen	21
 FORSCHUNGSLINIE PROFESSIONELLE KOMPETENZ	
UND PROFESSIONSBEZOGENES LERNEN VON LEHRKRÄFTEN	26
Merkmale professioneller Kompetenz und Identität sowie ihre Entwicklung und Förderung	30
Alternative Wege in das Lehramt	33
Kohärenz in der Lehrkräftebildung	34
Transfer und Transferforschung	35
 FORSCHUNGSLINIE WISSENSCHAFTSKOMMUNIKATION	
UND EXTRACURRICULARES LERNEN	40
Adressatenorientierung	42
Rezeption und Wirkung	44
Methoden und Designs	47
Transfer und Implementation durch Strukturentwicklung	49
 FORSCHUNGSLINIE METHODENFORSCHUNG	
UND MASCHINELLES LERNEN	52
Pädagogisch-psychologische Methodenforschung	54
Pädagogisch-psychologische Diagnostik	57

VORBEMERKUNGEN

Das IPN – Leibniz-Institut für die Pädagogik der Naturwissenschaften und Mathematik ist ein empirisch arbeitendes Bildungsforschungsinstitut und Mitglied der Sektion A (Geisteswissenschaften und Bildungsforschung) in der Leibniz-Gemeinschaft. Laut Satzung soll das IPN durch seine Forschung die Pädagogik der Naturwissenschaften und der Mathematik weiterentwickeln und fördern. Dieser Auftrag wurde in Abstimmung mit den Zuwendungsgebern und mit Einrichtung einer gemeinsamen Arbeitsgruppe von IPN und der Christian-Albrechts-Universität zu Kiel (CAU) im Jahr 2021 auf das Fach Informatik ausgedehnt. Das IPN untersucht naturwissenschaftliche, mathematische und informative Bildungsprozesse über die Lebensspanne in einem Ansatz, der neben der lernenden Person selbst deren familiäre Umwelt, Lerngruppen, Institutionen und Bildungssysteme berücksichtigt. Die Arbeiten des IPN werden von den folgenden Grundannahmen getragen:

- Naturwissenschaftliche, mathematische und informative Bildung ist Grundvoraussetzung für soziale, berufliche, gesellschaftliche und kulturelle Teilhabe von Kindern, Jugendlichen und Erwachsenen.
- Naturwissenschaftliche, mathematische und informative Bildungsprozesse werden durch das Zusammenspiel von individuellen Ressourcen einerseits und formellen (institutionellen) und informellen Lerngelegenheiten andererseits angebahnt.
- Inwieweit Menschen Lerngelegenheiten außerhalb von Kindertagesstätten, Schulen und Hochschulen nutzen, ist stark durch ihren familiären Hintergrund und Gleichaltrige mitbestimmt und nur begrenzt politisch oder gesellschaftlich steuerbar, am ehesten durch ein attraktives Angebot an außerschulischen Lernorten (Schülerlabore und -forschungszentren, Museen etc.).
- Die Erforschung und Förderung von naturwissenschaftlichen, mathematischen und informatischen Bildungsprozessen erfolgt problemorientiert und theoriebasiert und erfordert einen interdisziplinären empirischen Zugang, der sich quantitativer sowie qualitativer Methoden der Sozial- und Verhaltenswissenschaften bedient.
- Interdisziplinarität in der empirischen Bildungsforschung bedeutet zum einen die enge Zusammenarbeit unterschiedlicher Disziplinen innerhalb einer Leibniz-Einrichtung. Zum anderen erfordert die steigende Komplexität der Forschungsfragen die Kooperation mit entsprechend ausgewiesenen Forschenden weiterer Disziplinen in anderen Einrichtungen und in Forschungsverbünden bzw. Forschungsnetzwerken.

Vor dem Hintergrund dieser Grundannahmen und fundamentaler gesellschaftlicher Transformationen hat sich das IPN in den vergangenen Jahren mit einer hohen Dynamik weiterentwickelt. So wurde der Zuschnitt der Forschungslinien, die die Arbeiten am Institut inhaltlich strukturieren, strategisch angepasst. Seine nationalen und internationalen Forschungskooperationen hat das IPN noch intensiviert. Im Sitzland



Schleswig-Holstein ist die Kooperation mit der CAU abermals erweitert worden, nicht zuletzt um die gemeinsame Arbeitsgruppe Didaktik der Informatik. Darüber hinaus wurde im Jahr 2024 gemeinsam mit der CAU eine Professur eingerichtet, die eine Perspektive der Computerlinguistik auf das Lehren und Lernen in der digitalen Welt einnimmt. Die Empfehlung als Ergebnis der externen Evaluierung des IPN durch den Senat der Leibniz-Gemeinschaft im Jahr 2023, die Didaktik der Informatik nachhaltig am IPN zu verankern und auszubauen, haben das IPN und seine Zuwendungsgeber zum Anlass genommen, einen kleinen strategischen Sondertatbestand zur Einrichtung einer Abteilung Didaktik der Informatik ab 1. Januar 2027 zu beantragen – die Leitung dieser Abteilung ist mit einer ordentlichen Professur an der CAU verbunden. Mit der Europa-Universität Flensburg hat das IPN ebenfalls eine dauerhafte Kooperation begründet und gemeinsam eine Professur für Digitale Bildung besetzt. Damit wurde der Arbeitsschwerpunkt des IPN erheblich gestärkt, mit dem es die Grundlagen einer lernförderlichen Nutzung digitaler Technologien empirisch untersucht und daraus Empfehlungen für die Praxis ableitet – ein Arbeitsschwerpunkt, der eindrücklich illustriert, wie das IPN die großen Transformationsprozesse unserer Zeit aufnimmt und Ansätze für deren aktive Gestaltung und Bewältigung entwickelt, beforscht und nutzbar macht.

Das IPN engagiert sich weiterhin stark mit verschiedenen Formaten im Bereich von Wissenschafts-Outreach. Innerhalb der Leibniz-Gemeinschaft hat das IPN ein Forschungsnetzwerk Evidenzbasierte Wissenschaftskommunikation eingeworben und die Federführung dafür übernommen, Forschungsarbeiten von Leibniz-Instituten zur Wissenschaftskommunikation zu bündeln und auf verstärkte Aktivitäten zur Wissenschaftskommunikation mit höherem Wirkungsgrad hinzuwirken. Fortgesetzt werden außerdem die strategischen Vernetzungen des IPN innerhalb der Leibniz-Gemeinschaft in den beiden Leibniz-Forschungsnetzwerken Bildungspotenziale sowie Stammzellen und Organoide. Die mit Partnern des Leibniz-Forschungsnetzwerks Bildungspotenziale entstandenen bi- und multilateralen Kooperationen sollen auch in den kommenden Jahren fortgeführt werden. Solche Kooperationen erweisen sich als fruchtbar für gemeinsame Forschung, die neben der interdisziplinären Bearbeitung komplexer Forschungsfragen zudem Effizienzgewinne ermöglichen. Auch erlaubt die Abstimmung zwischen den Kooperationspartnern, Redundanzen zu vermeiden. Schließlich ist geplant, das Leibniz Lab Pandemic Preparedness fortzuführen.

Im Large-scale Assessment hat das IPN gemeinsam mit der Technischen Universität München und dem DIPF | Leibniz-Institut für Bildungsforschung und Bildungsinformation das vom Bund und den Ländern geförderte Zentrum für internationale Bildungsvergleichsstudien (ZIB) fortgeführt und die im Bereich der Methodenforschung bei Large-scale Assessments etablierten Forschungsschwerpunkte vertieft. Wie erstmalig im Jahr 2015 wurde das ZIB 2020 erfolgreich extern evaluiert. Die ausgesprochen positive Bewertung der Methodenforschung am IPN mündete in eine Verfestigung eines Teils der ZIB-Strukturen am IPN und eine darüber hinausgehende Mittelzusage bis 2031, welche die Durchführung der PISA-Zyklen inklusive jenem mit Erhebung in 2029 finanziell absichert.

International hat das IPN Kooperationen mit wichtigen Universitäten und außeruniversitären Forschungseinrichtungen vertieft – unter anderem in Australien, Dänemark, Schweden, Norwegen, den Niederlanden, der Schweiz und den USA – und neue Kooperationen begründet. Zu den neuen Kooperationspartnern zählen Institutionen aus Brasilien, Estland, Japan und Kanada.

Strukturierung der Arbeiten in den Jahren 2026 bis 2030

Das IPN organisiert seine Forschungsvorhaben in einer Matrixstruktur, in der zum einen die Abteilungen, zum anderen die Forschungslinien jeweils eine Dimension aufspannen. Die thematisch fokussierten Forschungslinien lassen – anders als das Ordnungsprinzip nach den Disziplinen – unmittelbar erkennen, dass das IPN im Sinne der Leibniz-Maxime *Theoria cum praxi* zentrale Themenfelder der Bildungsforschung mit hoher gesellschaftlicher Relevanz bearbeitet. Für die Jahre 2026 bis 2030 ergeben sich aus dieser Perspektive vier Forschungslinien, die das IPN bearbeiten wird und die in den nachfolgenden Kapiteln ausführlicher dargestellt werden. Es sind dies:

- Fachliches Lernen im vorschulischen und schulischen Bereich
- Professionelle Kompetenz und professionsbezogenes Lernen von Lehrkräften
- Wissenschaftskommunikation und extracurriculares Lernen
- Methodenforschung und Maschinelles Lernen

Gegenüber dem vorherigen Forschungsplan 2021–2025 haben drei Forschungslinien den Zuschnitt der zu bearbeitenden Themenfelder in einer Weise angepasst, dass auch eine modifizierte Benennung für sie gewählt wurde. Die Forschung des IPN zur Weiterentwicklung und Förderung der Pädagogik der Naturwissenschaften, der Mathematik und der Informatik berücksichtigt so Veränderungen von Rahmenbedingungen wie auch technologischen Fortschritt, welcher – wie das Beispiel des Maschinellen Lernens zeigt – gänzlich neue Wege für die Erkenntnisgewinnung eröffnet. Der vormalige Fokus auf die außerschulische Förderung besonders naturwissenschaftlich talentierter Jugendlicher in der zwischenzeitlich Wissenschaftskommunikation und Talentförderung benannten Forschungslinie wurde erneut geweitet auf außerschulische Formate, die eine Vielzahl von Adressatengruppen ansprechen sollen, dezidiert auch im Sinne von Breitenförderung und informellen Lernangeboten für die nicht-wissenschaftliche Öffentlichkeit. Die mit der Professionsforschung befasste Forschungslinie legt einen Schwerpunkt auf Aus- und Fortbildung von Lehrkräften und unterstreicht damit die Bedeutung der Qualifizierung von Lehrkräften für gelingende Bildungsprozesse.

Die Organisation in Forschungslinien erlaubt die interdisziplinäre Bearbeitung der zentralen Themenfelder, in die alle am IPN angesiedelten Disziplinen ihre Expertise einbringen können. Über die Dimension der Abteilungen, im Falle der Didaktik der Informatik zunächst noch der Arbeitsgruppe, bleibt der Bezug der Arbeiten zu den



Disziplinen (Didaktik der Biologie, Didaktik der Chemie, Didaktik der Mathematik, Didaktik der Physik, Didaktik der Informatik, Erziehungswissenschaft, Pädagogische Psychologie und Pädagogisch-Psychologische Methoden) erhalten. Die jeweiligen Abteilungsdirektorinnen und Abteilungsdirektoren und ihre Stellvertretungen sind ordentliche, gemeinsam mit einer Hochschule berufene Professorinnen bzw. Professoren. Zumeist sind die gemeinsamen Berufungen mit der Christian-Albrechts-Universität zu Kiel erfolgt, im Falle der Leitung der Abteilung Fachbezogener Erkenntnistransfer mit der Humboldt-Universität zu Berlin. Die stellvertretende Leiterin der Abteilung Fachbezogener Erkenntnistransfer ist Professorin an der Technischen Universität Dortmund, jene der Abteilung Erziehungswissenschaft und Pädagogische Psychologie an der Europa-Universität Flensburg. Die Differenzierung in die unterschiedlichen Fachdidaktiken resultiert aus der Überzeugung, dass institutionelle wie außerschulische Bildungsprozesse in einem erheblichen Maße fachspezifisch erfolgen. Entsprechend erfordern Forschung und Entwicklung einschlägige Expertise im jeweiligen Fach und in der jeweiligen Fachdidaktik. Die Abteilung Erziehungswissenschaft und Pädagogische Psychologie sichert die Perspektive einer allgemeindidaktisch und pädagogisch-psychologisch orientierten Lehr-Lernforschung. Die Abteilung Pädagogisch-Psychologische Methoden und Datenwissenschaften verfügt in besonderem Maße über statistisch-methodische Kenntnisse und trägt damit zu einem sehr hohen Standard bei den statistischen Analysen der am Institut ausgewerteten Daten bei. Schließlich stellt die Abteilung Fachbezogener Erkenntnistransfer sicher, dass wissenschaftsbasiert Formate der Professionalisierung von Lehrkräften entwickelt, erprobt und evaluiert werden, mit deren Hilfe Forschungsergebnisse des IPN in praktisches Handeln übersetzt werden können. Die Abteilungsstruktur garantiert ein hohes Niveau und eine hinreichende Sichtbarkeit der Forschungsarbeiten in den einzelnen Disziplinen. Sie ermöglicht weiterhin, dass alle Forschenden eine fachliche Anbindung an die jeweilige Referenzdisziplin behalten und sich darin mit Promotionen, Habilitationen und Juniorprofessuren qualifizieren.

Pakt für Forschung und Innovation IV (Pakthälfte 2026 bis 2030)

Die Forschungsplanperiode des IPN für die Jahre 2026 bis 2030 ist deckungsgleich mit der zweiten Hälfte des Pakts für Forschung und Innovation (PFI) IV. Für diese zweite Pakthälfte hat die Leibniz-Gemeinschaft orientiert an den forschungspolitischen Paktzielen eine Zielvereinbarung formuliert. Als Einrichtung der Leibniz-Gemeinschaft richtet auch das IPN die Planungen für seine Weiterentwicklung an den Paktzielen aus.

DYNAMISCHE ENTWICKLUNG FÖRDERN: Digitale Technologien und Künstliche Intelligenz haben Einzug in Alltag und damit auch in das Leben von Schülerinnen und Schülern gehalten, wie man es sich vor wenigen Jahren nicht hätte vorstellen können. Sie bieten Potenziale für die Unterstützung von Lehrkräften bei Unterrichtsvorbereitung und -durchführung (besonders im Bereich der Diagnostik) und für eine Lernunterstützung etwa durch individualisierte Leistungsrückmeldungen oder gänzlich neue Erfahrungsräume (etwa digitale simulationsbasierte Lehr-Lernformate wie Labore

mit Virtueller Realität). Das IPN greift innovative Verfahren auf und beforscht ihre Wirkmöglichkeiten, Wirkungsweisen und Wirkmächtigkeit. Es trägt damit dazu bei, die Qualität und Ergebnisse von Bildungsprozessen in den Naturwissenschaften, der Mathematik und der Informatik zu verbessern.

TRANSFER IN WIRTSCHAFT UND GESELLSCHAFT STÄRKEN: Über seine Abteilung Fachbezogener Erkenntnistransfer und das von ihr koordinierte Deutsche Zentrum für Lehrkräftebildung Mathematik (DZLM) ist das IPN in national ausgerichteten Programmen mit erheblicher Reichweite engagiert, die zum Ziel haben, die Qualität des Mathematikunterrichts in Deutschland anzuheben und den besorgnisregenden Anteil der Jugendlichen zu vermindern, die Basiskompetenzen nicht erfolgreich erwerben. Die Expertise und Erfahrungen der Abteilung Fachbezogener Erkenntnistransfer für das Fach Mathematik sollen verstärkt genutzt werden, um Forschungsergebnisse aus den Naturwissenschaften und der Informatik gezielt in die Praxis zu transferieren. An die Gesellschaft richten sich weiterhin unterschiedliche Formate der Wissenschaftskommunikation und außerschulischen Lernens. Indem Wissenschaft ihre neuesten Erkenntnisse Politik und Gesellschaft zeitnah durch adressatengerechte Kommunikation für Entscheidungsprozesse und Diskurse verfügbar macht, wie es etwa das IPN in Sonderforschungsbereichen und Exzellenzclustern der CAU befördert, stärkt Wissenschaftskommunikation zugleich das Verständnis von wissenschaftlichem Erkenntnisgewinn und Vertrauen in Wissenschaft. Das IPN begleitet seine Transferaktivitäten durch Forschung, um sie zukünftig passgenauer ausrichten zu können. Eine Methode, die das IPN im Bereich der Museumsforschung dafür nutzt, ist eine Strukturanalyse der Menschen, die ein Museum besuchen. Derartige Analysen offenbaren auch, welche Gruppen sich bislang weniger angesprochen fühlen und in Hinblick auf welche die Angebote noch gestärkt werden sollten.

VERNETZUNG VERTIEFEN: Langjährig bestehende wie in der vorausgegangenen Forschungsplanperiode etablierte Kooperationen und Vernetzungen sollen in der kommenden Forschungsplanperiode fortgeführt werden. Vertiefen wird das IPN seine Vernetzung im Besonderen im Bereich der Wissenschaftskommunikation, dabei schwerpunktmäßig mit anderen Einrichtungen der Leibniz-Gemeinschaft im Rahmen des Leibniz-Forschungsnetzwerks und assoziierten Institutionen. Mit einem stärkeren internationalen Fokus wird der Aufbau von Kooperationen und Vernetzungen im Bereich der Didaktik der Informatik betrieben; zugleich bemüht sich das IPN um eine Stärkung der nationalen Strukturen in dem noch jungen und vergleichsweise wenig entwickelten Fach.

DIE BESTEN KÖPFE GEWINNEN UND HALTEN: Die interdisziplinäre Zusammenarbeit der Fachdidaktiken untereinander und mit Erziehungswissenschaft, Pädagogischer Psychologie und Pädagogisch-Psychologischen Methoden macht das IPN zu einem einzigartigen Arbeitsumfeld für Forschung und Entwicklung zu Bildungsprozessen in den Naturwissenschaften, der Mathematik und der Informatik. Auch die kommende Forschungsplanperiode wird mit einer Reihe von neu zu besetzenden W-Stellen Gelegenheit geben, durch aktive Rekrutierung herausragende Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler für das IPN zu gewinnen. Die wissenschaftlich Beschäftigten



des IPN werden strukturiert an wissenschaftliche Selbstständigkeit herangeführt und unter anderem durch verschiedene Beratungs- und Mentoringangebote begleitet. Das IPN unterstützt nachdrücklich die Einwerbung von Nachwuchsgruppen im Leibniz-Wettbewerb (SAW) sowie bei anderen Zuwendungsgebern und finanziert mit entsprechenden Personal- und Sachmitteln von Postdoktorandinnen geleitete selbstständige Forschungsgruppen.

INFRASTRUKTUREN FÜR DIE FORSCHUNG STÄRKEN: Auch in der kommenden Forschungsplanperiode wird sich das IPN am nationalen Projektmanagement großer internationaler Bildungsvergleichsstudien¹ beteiligen und neben der nationalen Berichterstattung zu den Leistungsständen der Jugendlichen substanzwissenschaftliche und methodische Forschungsfragen auf Basis dieser großen Datensätze bearbeiten. Im Rahmen des Nationalen Bildungspanels (NEPS) wird sich das IPN als Netzwerkpartner weiter an der Entwicklung von – inzwischen vollständig technologiebasierten – Kompetenztests für unterschiedliche Altersgruppen beteiligen. Die mit diesen Tests generierten Daten erlauben den verschiedenen Disziplinen der Bildungsforschung, wichtige Forschungsfragen zur Kompetenzentwicklung über die Lebensspanne zu beantworten. Die Entwicklung von Datenkompetenz findet in der Ausbildung der wissenschaftlich Beschäftigten am IPN Niederschlag wie auch in weiteren an die wissenschaftliche Gemeinschaft der empirischen Bildungsforschung gerichteten Aktivitäten der Abteilung Pädagogisch-Psychologische Methoden und Datenwissenschaften.

Auf vielen Karrierestufen übertrifft das IPN bereits heute die Zielquoten der Leibniz-Gemeinschaft für die Repräsentation von Frauen in der Wissenschaft. Gleichwohl wird das IPN weiterhin ein besonderes Augenmerk auf die Gleichstellung von Wissenschaftlerinnen mit Wissenschaftlern legen und bestmöglich dazu beitragen, aktiv der Unterrepräsentation von Frauen in der Wissenschaft entgegenzuwirken. Allein in der Forschungsplanperiode 2026 bis 2030 werden mindestens drei Abteilungsleitungspositionen neu zu besetzen sein. Für die Berufungsverfahren zur Besetzung dieser Positionen werden geeignete Wissenschaftlerinnen aktiv rekrutiert. Ferner ist das IPN weiterhin bestrebt, zielgerichtete Maßnahmen zu ergänzen, die Wissenschaftlerinnen in früheren Karrierephasen so in ihrer Qualifizierung unterstützen, dass sie eine erfolgreiche Karriere in der universitären oder außeruniversitären Forschung absolvieren können. Bereits in Vorbereitung befindet sich die Besetzung einer befristeten – im Feld gender-, diversitäts- oder bildungsgerechtigkeitsbezogener Themen im Kontext von Naturwissenschaften, Mathematik oder Informatik angesiedelten – Open-Topic-Professur. Darüber hinaus unterstützt das IPN seine wissenschaftlich Beschäftigten im Hinblick auf Karrieren außerhalb des Wissenschaftssystems.

Schließlich sollen in den Jahren 2026 bis 2030 die vielfältigen in den vergangenen Jahren am Institut etablierten Initiativen und Maßnahmen zur Vereinbarkeit von Familie, Beruf und Karriere fortgeführt und bedarfsgerecht ergänzt werden. Das IPN

¹ Programme for International Student Assessment (PISA), Trends in International Mathematics and Science Study (TIMSS).

war das erste Leibniz-Institut, das hinsichtlich der Vereinbarkeit von Beruf und Familie erfolgreich auditiert wurde und die Dauerzertifizierung erreicht hat. Gegenwärtig erweitert das Institut den Maßnahmenkatalog insbesondere um solche Ansätze, die eine stärkere Diversität begünstigen sollen. Dazu befindet sich das IPN unter anderem im Prozess zur Erlangung eines Zertifikats, welches dem IPN die Verankerung eines systematischen ganzheitlichen Vielfaltmanagements attestieren wird. Die Arbeitszeit- und -ortsmodelle am IPN erlauben den Beschäftigten ein hohes Maß an Flexibilität. Die Vereinbarkeit mit Betreuungsaufgaben wird darüber hinaus durch Beratungs-, Unterstützungs- und Austauschangebote gefördert. Für Kinder im Alter von unter drei Jahren besteht die Möglichkeit einer arbeitsplatznahen institutseigenen Betreuung. Das IPN hat sich damit als Arbeitgeber für mehrheitlich Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler in frühen Karriephassen gut aufgestellt, um zusätzlich zu dem exzellenten wissenschaftlichen Umfeld attraktive Rahmenbedingungen für die wissenschaftliche Qualifizierung zu bieten. Damit wird es auch zukünftig wissenschaftsbasierte Antworten auf gesellschaftliche Herausforderungen im Zusammenhang mit Bildungsprozessen in den Naturwissenschaften, der Mathematik und der Informatik erarbeiten können.



FORSCHUNGSLINIE FACHLICHES
LERNEN IM VORSCHULISCHEN UND
SCHULISCHEN BEREICH



FORSCHUNGSLINIE FACHLICHES LERNEN IM VORSCHULISCHEN UND SCHULISCHEN BEREICH

Die digitale Transformation stellt aktuell eine der großen Herausforderungen im Bildungsbereich dar. Ihr wird durch bildungspolitische Programme wie dem Digitalpakt oder der Einrichtung von Kompetenzzentren für Digitale Bildung begegnet. Ziel dieser Maßnahmen ist zum einen die Vermittlung von Kompetenzen im Umgang mit digitalen Technologien, wie sie zunehmend auch bei der Bewältigung beruflicher bzw. alltäglicher Aufgaben zum Einsatz kommen. Zum anderen ist mit dem Einsatz digitaler Technologien im Kontext Schule die Hoffnung verbunden, Lehrkräfte in ihrer Unterrichtstätigkeit und Schülerinnen und Schüler beim Lernen gezielt unterstützen und unterschiedliche Lernausgangslagen besser ausgleichen zu können (z. B. durch individualisierte Lern- oder Übungsmaterialien). Trotz dieser und anderer Bemühungen um eine Verbesserung des Unterrichts in Mathematik, Informatik und den Naturwissenschaften gelingt es derzeit jedoch nicht in ausreichendem Maße, den Erwerb der Kompetenzen in diesen Fächern und damit das Decken des Bedarfs an ausreichend qualifizierten Fachkräften zu sichern, wie es für den Umgang mit der digitalen Transformation und weiteren Herausforderungen des 21. Jahrhunderts notwendig wäre.

Internationale Bildungsvergleichsstudien legen nahe, dass Defizite bereits in frühen Bildungsphasen entstehen. Wie die *Trends in International Mathematics and Science Study* (TIMSS) 2023 zeigt, liegt der Anteil der Viertklässlerinnen und Viertklässler mit nur rudimentären oder geringen Kompetenzen bei 25 Prozent in Mathematik, in den Naturwissenschaften bei fast 30 Prozent. Ähnliche Befunde ergaben sich im *Programme for International Student Assessment* (PISA) 2022 zum Ende der Regelschulzeit. Insbesondere haben sich die Anteile der Schülerinnen und Schüler auf den höchsten Kompetenzstufen gegenüber PISA 2018 nahezu halbiert. Auch zeigt sich nach wie vor ein starker Zusammenhang zwischen sozialen Faktoren wie bspw. dem sozioökonomischen Status oder einem Zuwanderungshintergrund und der Kompetenz der Schülerinnen und Schüler. Offensichtlich gelingt es dem Unterricht in Mathematik und den Naturwissenschaften nicht, heterogene Lernausgangslagen adäquat zu adressieren und dabei die Kompetenzentwicklung sowohl in der Breite als auch an der Spitze angemessen zu fördern. Der Ansatz, digitale Technologien zu einer Verringerung vorhandener Disparitäten einzuset-



VERANTWORTLICH:

Knut Neumann (Sprecher),
Sascha Bernholt, Ute Harms,
Susanne Prediger



zen, war bisher kaum wirksam. Aktuelle Befunde zu computer- und informationsbezogenen Kompetenzen von Jugendlichen (bspw. aus der *International Computer and Information Literacy Study*, ICILS) zeigen vielmehr, dass Schülerinnen und Schüler mit günstigeren Lernausgangslagen häufig stärker vom Einsatz digitaler Technologien profitieren, weil sie auch privat eher Zugang zu digitalen Technologien haben und im Umgang mit ihnen eher unterstützt werden. Die Befunde verdeutlichen, dass die digitale Transformation bestehende Herausforderungen mathematischer, informatischer und naturwissenschaftlicher Bildung sogar tendenziell eher verschärft als verringert. Dies ist insbesondere vor dem Hintergrund des weiter wachsenden Bedarfs an Fachkräften im Bereich Mathematik, Informatik oder den Naturwissenschaften problematisch. Erschwerend kommt hinzu, dass die Zahl derjenigen, die einen Beruf in einem dieser Bereiche wählen, selbst unter denjenigen, die sich in diesen Schulfächern auf den oberen Kompetenzstufen befinden, stagniert oder sogar abnimmt. Gleichzeitig ist die Zahl derjenigen, die ein Studium im Bereich der Mathematik, Informatik, Naturwissenschaften und Technik (MINT) aufnehmen, es dann aber abbrechen, unverändert hoch.

Vor diesem Hintergrund widmet sich der erste Forschungsschwerpunkt der Forschungslinie der Frage, wie ein kumulativer Aufbau der in Mathematik, Informatik und den Naturwissenschaften geforderten Kompetenzen gelingen kann, der die individuellen Lernausgangslagen stärker berücksichtigt und insbesondere auch leistungsschwächere Schülerinnen und Schüler fördert. Dabei wird gezielt das Potenzial digital gestützten Unterrichts für eine systematische Analyse von Lernvoraussetzungen und -verläufen und die Erforschung von Ansätzen individualisierten Lehrrens und Lernens genutzt. Ziel ist sicherzustellen, dass alle Kinder und Jugendlichen im Rahmen vorschulischer und schulischer Bildungsphasen grundlegende mathematische, informatische und naturwissenschaftliche Kompetenzen erwerben, die sowohl eine gute Grundlage für lebenslanges Lernen als auch eine Vorbereitung auf das Leben in einer modernen Demokratie bieten.

Der zweite Forschungsschwerpunkt befasst sich mit der Frage, wie Jugendliche, die sich für einen Beruf oder ein Studium im Bereich Mathematik, Informatik und Naturwissenschaften bzw. mit einem Bezug zu diesen Fächern entscheiden, besser auf das weiterführende Lernen in diesen Bereichen vorbereitet bzw. wie sie überhaupt für eine MINT-Karriere gewonnen werden können. Die Arbeiten in diesem Forschungsschwerpunkt sollen unter anderem mit Blick auf bestehende Erkenntnisse zum Übergang von der Schule in das Studium untersuchen, wie Schülerinnen und Schüler im Rahmen der Oberstufe besser auf diesen Übergang vorbereitet werden können – und zwar im Hinblick auf die Schaffung der kognitiven Voraussetzungen einerseits (d. h. notwendiger Kompetenzen/Wissenschaftspropädeutik/Studierfähigkeit) und der Vermittlung eines adäquateren Berufsbildes andererseits (d. h. berufliche Interessen/Studien- und Berufsorientierung).



Grundlegende fachliche Kompetenzen als Erträge fachlichen Lernens

In diesem Forschungsschwerpunkt wird die Entwicklung von Kompetenzen in Mathematik, Informatik und den Naturwissenschaften im vorschulischen und schulischen Bereich aus zwei Perspektiven untersucht: einer fachlichen, die primär von fachdidaktischen Arbeiten adressiert wird, und einer generischen, die sich aus den Disziplinen Erziehungswissenschaft und Psychologie speist.

Beide Perspektiven verbindet die Definition von Kompetenzen als Konglomerat aus Wissen, Fähigkeiten und Fertigkeiten. Die fachliche Perspektive fokussiert dabei auf die kumulative Entwicklung mathematischer und naturwissenschaftlicher Kompetenzen im Wechselspiel zwischen individuellen fachlichen Lernvoraussetzungen und fachspezifischen Lerngelegenheiten im vorschulischen und schulischen Bereich. Die generische Perspektive betrachtet die Bedeutung individueller kognitiver und nicht-kognitiver Voraussetzungen, des familiären Hintergrunds, der Zusammensetzung von Lerngruppen, überfachlicher Unterrichtsmerkmale sowie institutioneller Rahmenbedingungen für die kumulative Kompetenzentwicklung.

Das übergeordnete Ziel für die kommende Forschungsplanperiode ist einerseits, neue Erkenntnisse über Faktoren zu gewinnen, welche die Entwicklung der im Rahmen der Pflichtschulzeit geforderten Kompetenzen beeinflussen, sowie andererseits zu erforschen, wie insbesondere heterogene Lernausgangslagen durch einen stärker individualisierten Unterricht adressiert werden können, damit ein kumulativer Kompetenzaufbau und insbesondere die Sicherung grundlegender Kompetenzen gelingen kann. Es geht also nicht primär darum, wie sich kurzzeitige Fördermaßnahmen unter gegebenen individuellen und institutionellen Rahmenbedingungen auf den Lernerfolg auswirken, sondern wie über einen längeren Zeitraum aufeinander abgestimmte Maßnahmen (Interventionsketten) den kumulativen Aufbau von Kompetenzen in Mathematik, Informatik und den Naturwissenschaften vom vorschulischen Bereich bis zum Ende der Pflichtschulzeit sichern können. Mit Blick auf den negativen Trend in der Kompetenzentwicklung von Schülerinnen und Schülern in Deutschland soll dabei zugleich verstärkt untersucht werden, wie die gewonnenen Erkenntnisse (besser) in die Unterrichtspraxis transferiert werden können.

Vor diesem Hintergrund fokussieren die Arbeiten im **Elementarbereich** auf die Entwicklung allgemeiner und fachspezifischer Vorläuferfähigkeiten, die für den erfolgreichen Übergang in die Primarstufe wichtig sind (z. B. Zahlverständnis). Kern dieser Arbeiten ist das am IPN koordinierte Verbundprojekt *Bremer Initiative zur Stärkung frühkindlicher Entwicklung* (BRISE). Im Rahmen der quasi-experimentellen Längsschnittstudie werden Kinder und deren Familien aus Bremen, die aufgrund sozio-ökonomischer oder kultureller Merkmale als bildungsbenehanteligt gelten, von der Geburt bis in die Grundschule begleitet. Aus BRISE sollen Erkenntnisse für eine verbesserte frühkindliche Förderung bildungsbenehanteliger Kinder gewonnen werden. Im Fokus stehen dabei die Wirkungen einer durchgängigen Förderung mittels etablierter Programme im Sinne einer Förderkette auf die (früh)kindliche Entwicklung. BRISE



erlaubt, die Bedeutung vorschulisch erworbener Sprachkompetenzen auf den Erwerb naturwissenschaftlicher Vorläuferfähigkeiten im Längsschnitt zu untersuchen. Durch enge Zusammenarbeit mit der Bildungspraxis, -administration und -politik werden Erkenntnisse aus BRISE zur frühen Förderung bildungsbeteiligter Kinder projektbegleitend in die Praxis zurückgeführt.

Der Fokus der Arbeiten im Bereich der **Primarstufe** liegt auf der Entwicklung grundlegender fachlicher Kompetenzen und der Bedeutung allgemeiner (z. B. sprachlicher) und fachspezifischer Vorläuferfähigkeiten (z. B. Zahlverständnis) dafür. In Fortsetzung der Arbeiten der vorherigen Forschungsplanperiode soll in der Mathematik die Bedeutung von Unterrichtsmaterialien, insbesondere der Schulbuchqualität und -nutzung, auf die Entwicklung arithmetischer Kompetenzen weiter erforscht werden. Darüber hinaus soll untersucht werden, welche Bedeutung sprachliche Fähigkeiten für den Aufbau logischer Kompetenzen in der Grundschule haben. In Informatik und den Naturwissenschaften sollen ebenfalls Arbeiten der vorherigen Forschungsplanperiode fortgesetzt werden, die sich mit der Frage befassen, welches grundlegende Verständnis zentraler fachlicher Konzepte und zentraler fachlicher Fähigkeiten in der Primarstufe erreicht werden muss, um eine kumulative Kompetenzentwicklung in der Sekundarstufe I sicherzustellen. Außerdem soll erforscht werden, inwieweit durch eine gezielte Förderung leistungsschwache Kinder in Mathematik beim Übergang in den Sekundarbereich unterstützt werden können.

Im Bereich der **Sekundarstufe** sollen die Arbeiten zur Unterstützung eines kumulativen Kompetenzaufbaus fortgeführt und in Richtung einer stärker individualisierten Unterstützung und gezielten Aufarbeitung fehlender Kompetenzen weiterentwickelt werden. Die Arbeiten am IPN fokussieren traditionell auf die Entwicklung des Wissens über zentrale Konzepte der Fächer und die Entwicklung der zur Anwendung dieses Wissens notwendigen Fähigkeiten und Fertigkeiten. Dazu wurden in den letzten Jahren ausgehend von entsprechenden am IPN entwickelten und empirisch validierten Modellen der Kompetenzentwicklung individuelle und institutionelle Bedingungen der Kompetenzentwicklung erforscht. Konkret wurde dabei vor dem Hintergrund des Forschungsstands in den einzelnen Fächern untersucht, welche Kompetenzen Schülerinnen und Schüler in welchem Ausmaß in verschiedenen Stadien der Beschulung entwickelt haben, welche fachspezifischen individuellen und institutionellen Bedingungen ihre Kompetenzentwicklung positiv beeinflussen und wie innovative Unterrichtskonzepte bzw. -ansätze ihre Kompetenzentwicklung besser unterstützen können. Auf Basis der gewonnenen Erkenntnisse, insbesondere der Erkenntnis, dass es trotz innovativer Unterrichtskonzepte bzw. -ansätze nicht gelingt, alle Schülerinnen und Schüler unabhängig von ihrem Kompetenzstand gleichermaßen zu fördern, rückte zunehmend die Frage nach einem stärker individualisierten Unterricht in den Vordergrund. Im Rahmen mehrerer Projekte, unter anderem des abteilungsübergreifenden Projekts *Analyzing Learning for an Individualized Development of Competence in Mathematics und Science Education* (ALICE), wurde untersucht, inwieweit mittels Verfahren der Künstlichen Intelligenz (KI) der zentralen Herausforderung begegnet werden kann, das Lernen jeder einzelnen Schülerin und jedes einzelnen Schülers kontinuierlich zu verfolgen. Da die Lernenden im Unterricht in Mathematik, Informatik



und Naturwissenschaften zunehmend mit digitalen Technologien arbeiten, könnten die dabei umfangreich anfallenden Daten zur Unterstützung ihres Lernprozesses genutzt werden. In unseren Arbeiten konnte gezeigt werden, dass sich aus diesen Daten Informationen über das Wissen der Schülerinnen und Schüler und die Veränderung des Wissens ableiten lassen. Dies ermöglicht einerseits eine Weiterentwicklung der verwendeten Kompetenzentwicklungsmodelle und andererseits eine stärkere Individualisierung des Unterrichts. Diese Arbeiten sollen in den Jahren 2026 bis 2030 fortgesetzt werden.

Abhängig vom Stand der Forschung in den einzelnen Fächern sind dazu Arbeiten vorgesehen, die Lücken in der Modellierung der Kompetenzentwicklung im jeweiligen Fach schließen sollen. So sind in der Informatik – ausgehend von ersten (qualitativen) Untersuchungen des Verständnisses von Maschinellem Lernen – quantitative Untersuchungen geplant, wie sich das Verständnis von Maschinellem Lernen über die Schulzeit entwickelt. Auch sollen neben dem Wissen über zentrale Konzepte in Mathematik, Informatik und den Naturwissenschaften zunehmend solche Fähigkeiten in den Blick genommen werden, wie sie insbesondere für gesellschaftliche Teilhabe im Informationszeitalter relevant sind, bspw. Fähigkeiten im Bereich des Umgangs mit epistemischer Unsicherheit sowie des kritischen Umgangs mit Informationen. Ebenso sollen Kompetenzen im Bereich des Umgangs mit der Digitalisierung aufgenommen werden, bspw. um ein Verständnis und produktiven Umgang mit KI in gesellschaftlichen Entscheidungsprozessen (u. a. *fake news*) zu erlangen.

Darüber hinaus sind zunächst weiterführende Analysen der im Rahmen des Projekts ALICE gewonnenen Daten vorgesehen, um Erkenntnisse im Hinblick auf eine längerfristige Kompetenzentwicklung und produktive bzw. unproduktive Lernverläufe zu gewinnen sowie zugrunde liegende Ursachen und mögliche Instruktionsstrategien zur Adressierung dieser Ursachen zu identifizieren. In einem weiteren Schritt sind Interventionsstudien vorgesehen, die untersuchen, inwieweit die Rückmeldung der gewonnenen Erkenntnisse über Lernverläufe sowie Ursachen unproduktiver Lernverläufe an die Schülerinnen und Schüler bzw. Lehrkräfte eine stärker individualisierte Kompetenzentwicklung unterstützen kann; insbesondere auch, ob und wie es gelingen kann, leistungsschwächere und -stärkere Schülerinnen und Schüler besser in ihrer Kompetenzentwicklung zu unterstützen. Zu diesem Zweck sollen die entsprechenden Arbeiten in den fachdidaktischen Abteilungen bzw. Arbeitsgruppen mit jenen der Nachwuchsgruppen der Abteilung Erziehungswissenschaft und Pädagogische Psychologie zusammengeführt werden. Konkret sollen die Erkenntnisse der Arbeiten aus ALICE zur Analyse von Lernverläufen mit den Erkenntnissen aus den Projekten *Formatives Assessment beim Schreiben: Automatisiertes Feedback unter Verwendung von künstlicher Intelligenz* (FORMAT) und *Digital Argumentation Instruction for Science* (DARIUS) zum automatisierten Feedback zusammengeführt werden, um die Wirkung automatisierter Analysen durch Kombination mit automatisiertem Feedback zu unterstützen und damit das Potenzial von KI zu erforschen und mittelbar für den Unterricht nutzbar zu machen. Dies erfordert auch neue Unterrichtsansätze und -konzepte, die den traditionellen, ausschließlich lehrkraftgestützten Unterricht erweitern und die individuellen Stärken von lehrkraftgesteuerten und individualisierten KI-gestützten Unterrichtsphasen sy-



nergetisch nutzen. Entsprechende Konzepte sollen in den Jahren 2026 bis 2030 entwickelt und im Rahmen von Interventionsstudien erforscht werden. Auch die Perspektive der Lehrkräfte soll beim Einsatz derartiger Ansätze berücksichtigt werden. In Abstimmung mit Arbeiten in der Forschungslinie Professionelle Kompetenz und professionsbezogenes Lernen von Lehrkräften stellt sich die Frage, welche und wie viele Informationen zu welchen Zeitpunkten Lehrkräfte aus solchen Rückmeldungssystemen benötigen (und verarbeiten können), um in der Durchführung bzw. der Planung von Unterricht darauf reagieren zu können.

Im Projekt *Mathe sicher können* wurde eine fokussierte, diagnosegeleitete, aber nicht vollständig individualisierte Förderung von Basiskompetenzen als lernwirksam evaluiert und derzeit durch digitale Elemente (Erklärvideos, virtuelle Arbeitsmittel) erweitert. Die formative Diagnostik wurde vollständig digitalisiert und wird im Leibniz-Transfer-Projekt *Assessment for Learning with Artificial Intelligence* (ALwAI) durch KI-Unterstützung zu noch tiefergehenden und validieren Instrumenten mit für Lehrkräfte handlungsleitenden Rückmeldungen ausgebaut. Über die bundesweiten Projekte *Unterrichts- und Fortbildungsqualität in Mathematik entwickeln* (QuaMath) und *Startchancen* wird das Diagnose- und Förderkonzept implementiert, in fünf Bundesländern auch die digitale Diagnostik, sodass vielfältige neue Daten zu erwarten sind, deren Auswertung die longitudinalen Entwicklungen erfassen sollen.

Übergreifend über die Arbeiten in den unterschiedlichen Bildungsetappen sollen mit Blick auf den Einsatz digitaler Technologien wie bspw. die Nutzung von KI nicht nur die theoretischen und methodischen Grundlagen, sondern auch unmittelbar für die Praxis relevante Konzepte bzw. Handlungsanweisungen erarbeitet werden. Entsprechend soll in weiterführenden Arbeiten untersucht werden, wie sich diese Konzepte in der Breite der Unterrichts- und Lehrpraxis bewähren und welche individuellen, aber auch systemischen Anpassungen notwendig sind. Dadurch werden mittelfristig auch Strategien bereitgestellt, um mit dem Lehrkräftemangel in unterschiedlichen Schulformen umzugehen.

Neben dem stark unterrichtlichen Fokus der Arbeiten sollen auch weiterhin Sekundäranalysen der großen quer- und längsschnittlichen Datensätze, die am IPN vorliegen, durchgeführt werden, um Effekte von motivationalen und herkunftsbezogenen (Zuwanderungshintergrund, sozioökonomischer Status) Merkmalen auf fachbezogene Kompetenzverläufe zu untersuchen. Kontextvariablen (Klassenkomposition, Unterrichtsmerkmale) sollen zusätzlich bei den Analysen berücksichtigt werden. Dazu werden Daten aus der BERLIN-Studie, dem Nationalen Bildungspanel (NEPS), der Langzeitstudie *Bildungsverläufe und psychosoziale Entwicklung im Jugendalter* (BIJU) sowie den aktuellen internationalen Large-scale Assessments PISA 2022 und TIMSS 2023 ausgewertet. Bei den TIMSS-Daten soll ein deutlicher Schwerpunkt auf Effekte von Individual- und Kontextvariablen auf Nachhaltigkeitskompetenzen gelegt werden.



Vertiefte Kompetenzen als Voraussetzung für weiteres fachliches Lernen

Der zweite Forschungsschwerpunkt fokussiert auf die Bedeutung mathematischer und naturwissenschaftlicher Kompetenzen für das Lernen in späten schulischen und daran anschließenden nachschulischen Bildungsphasen. Im Fokus steht insbesondere die Teilgruppe der Jugendlichen, die sich für ein Studium oder eine Ausbildung im MINT-Bereich interessieren bzw. sich bereits durch entsprechende Wahlentscheidungen in einem solchen Zweig befinden. Dabei wird in dieser Forschungsplanperiode ein Schwerpunkt auf die gymnasiale Oberstufe gelegt, die einerseits auf Kompetenzen aus den vorherigen Bildungsabschnitten aufbaut und andererseits notwendige Kompetenzen für den Übergang in Ausbildungsberufe bzw. in ein Hochschulstudium bereitstellen soll. Die übergeordneten Ziele liegen somit zum einen in der Untersuchung, welche Bedeutung die in der Sekundarstufe I erworbenen Kompetenzen für einen erfolgreichen Übergang in die gymnasiale Oberstufe haben und wie sich diese Kompetenzen im Verlauf der gymnasialen Oberstufe in Abhängigkeit von Lerngelegenheiten und Eingangsvoraussetzungen weiterentwickeln. Diese Ziele werden zum anderen auch für den Übergang von der Schule in nachfolgende Bildungsabschnitte in den Blick genommen. Dabei wird untersucht, welche Bedeutung die in der gymnasialen Oberstufe erworbenen Kompetenzen sowie die Berufs- und Studienorientierung für den Übergang in die Ausbildung oder ein Hochschulstudium haben und welche Effekte Unterstützungsmaßnahmen für Studienanfängerinnen und -anfänger im ersten Studienabschnitt zeigen.

Mit der gymnasialen Oberstufe wird ein Bildungsabschnitt betrachtet, der zentral für den formalen Zugang zur Hochschule bzw. zu anspruchsvollen Berufsausbildungen ist. Gleichzeitig bauen die unterrichtlichen Anforderungen der gymnasialen Oberstufe im Sinne des kumulativen Kompetenzerwerbs auf die zuvor erworbenen Kompetenzen auf und erweitern diese um fachliche Kompetenzen auf voruniversitärem Niveau. Kompetenz wird in diesem Zusammenhang als breites Konstrukt verstanden, das sich an den Bildungszielen der gymnasialen Oberstufe – vertiefte Allgemeinbildung, Wissenschaftspropädeutik und Studierfähigkeit – orientiert und fachspezifisch konkretisiert wird. Es umfasst neben dem fachlichen Wissen und Können auch das (propädeutische) Verständnis von fachbezogenem wissenschaftlichem Arbeiten sowie die fachlichen und beruflichen Interessen. Kompetenzen in diesem Sinne sind für ein anschlussfähiges Weiterlernen in einem nachfolgenden Bildungsabschnitt notwendig, ermöglichen aber auch eine weitergehende gesellschaftliche Teilhabe. So werden Schülerinnen und Schüler besser darauf vorbereitet, aktuelle Probleme mit persönlicher oder gesellschaftlicher Relevanz zu bewältigen, da sie Ursachen, Hintergründe und Zusammenhänge von globalen oder nationalen Herausforderungen wie Pandemien, der Klimakrise oder der wirtschaftlichen Transformation besser verstehen und bewerten können.

Trotz der hohen Bedeutung gibt es nur wenige Studien zur Kompetenzentwicklung in der gymnasialen Oberstufe. Bisher ist TIMSS 1995 die einzige Studie, die bundesweit mathematische und naturwissenschaftliche Kompetenzen im voruniversitären Bereich



umfangreich erfasst hat. Dazu gibt es ergänzende Studien zu mathematischen und teilweise naturwissenschaftlichen Kompetenzen in einzelnen Bundesländern, bspw. die LISA-6-Studie des IPN an beruflichen und allgemeinbildenden Gymnasien in Schleswig-Holstein. In diesen Studien wurde mehrfach gezeigt, dass ein Großteil der Oberstufenschülerinnen und -schüler das vorgesehene Niveau bei den voruniversitären mathematischen und naturwissenschaftlichen Kompetenzen nicht erreicht. Längsschnittliche Studien mit curricular validen Testinstrumenten, die belastbare Rückschlüsse zur Verbesserung des Unterrichtsangebots zulassen, gibt es dabei kaum. Vor diesem Hintergrund soll in den Jahren 2026 bis 2030 im Projekt *Mathematik in der Oberstufe* (MiO) ein Schwerpunkt auf eine Längsschnittuntersuchung gelegt werden, die den Zeitraum vom Eintritt in die gymnasiale Oberstufe bis in den nachfolgenden Bildungsabschnitt (Ausbildung oder Studium) abdeckt. Im Fokus steht dabei die mathematische Kompetenz, die durch weitere Kompetenzbereiche (z. B. physikalische Kompetenz) und Merkmale (z. B. berufliche Interessen) ergänzt wird. Mathematik ist einerseits für alle Schülerinnen und Schüler ein Pflichtfach, das im Verlauf der Oberstufe durchgehend unterrichtet wird. Andererseits stellen mathematische Kompetenzen zentrale Lernvoraussetzungen für die naturwissenschaftlichen Fächer in der Oberstufe dar, da deren Unterrichtsinhalte zunehmend auf mathematische Methoden und Modelle zurückgreifen. Zum Beispiel spielen mathematische Kompetenzen eine bedeutsame Rolle bei den zunehmend quantitativen Modellierungen im Physikunterricht der Oberstufe. Schließlich sind mathematische Kompetenzen von hoher Bedeutung für den erfolgreichen Übergang in die Hochschule, sowohl bei Studienfächern im MINT-Bereich als auch außerhalb des MINT-Bereichs. Das Projekt MiO wird arrondiert durch weitere Projekte aus dem mathematischen, informatischen und naturwissenschaftlichen Bereich, die analoge bzw. komplementäre Fragestellungen bearbeiten.

Die erste der oben genannten Leitfragen in diesem zweiten Forschungsschwerpunkt der Forschungslinie untersucht die Bedeutung der in der Sekundarstufe I erworbenen Kompetenzen für den Lernerfolg in der gymnasialen Oberstufe. Neben der Beschreibung der Ausgangslage zu mathematischen Kompetenzen bei Eintritt in die gymnasiale Oberstufe wird vor allem analysiert, welche mathematischen Basiskompetenzen aus der Sekundarstufe I auf welchem Niveau verfügbar sein müssen, um ein anschlussfähiges Lernen im Fach Mathematik und weiteren Fächern wie der Physik zu ermöglichen. Aufbauend auf Vorarbeiten soll erstens ein Beitrag zu der Frage geleistet werden, welches prozedurale Wissen (z. B. Termumformungen) notwendig für den Erwerb von aufbauenden Konzepten im Fach Mathematik (z. B. Ableitungsgriff) und weiteren Fächern (z. B. Physik) der gymnasialen Oberstufe ist und somit im Unterricht der Sekundarstufe I nicht vollständig an Mathematiksoftware ausgelagert werden sollte.

Neben dieser kognitiven Perspektive steht zweitens im Fokus, wie in der Sekundarstufe I, aber auch darüber hinaus die Motivation der Schülerinnen und Schüler zum Lernen von mathematischen, informatischen und naturwissenschaftlichen Unterrichtsinhalten gefördert werden kann. Dazu vorgesehene Arbeiten widmen sich der Verknüpfung von fachlichen Unterrichtsinhalten mit beruflichen Anwendungskontexten (Projekt STEPS – *STEM Perspectives in Primary and Secondary Education*) bzw.



mit sogenannten Grand Challenges wie notwendigen Anpassungen aufgrund der Klimakrise (z. B. in den Bereichen Energiegewinnung, Wirtschaft, Verkehr, Ernährungssicherheit, Schutz vor Wetterextremen im Projekt *Wissenslandkarten*). Mit diesen Maßnahmen soll insbesondere dem Relevanzparadox entgegengewirkt werden. Dieses besagt, dass Lernende den MINT-Fächern gleichzeitig eine hohe objektive Relevanz und eine geringe subjektive Relevanz beimessen. Sie erkennen die Relevanz der Fächer für verschiedene gesellschaftliche und technologische Bereiche an, können aber deren konkrete Rolle nicht erkennen, da ihnen nicht gelingt, sie mit Unterrichtsinhalten zu verbinden.

Die zweite Fragestellung widmet sich der Kompetenzentwicklung im Verlauf der gymnasialen Oberstufe und damit verbundenen schulisch-organisatorischen (z. B. Kurswahl), unterrichtlichen (z. B. Nutzung digitaler Werkzeuge) und außerschulischen (z. B. Erklärvideos) Bedingungen. Zusätzlich soll die Effektivität gezielter Fördermaßnahmen untersucht werden. Dabei stehen verschiedene Merkmale im Fokus. So ist eine zentrale Frage, inwieweit die vorhandenen Basiskompetenzen aus den vorherigen Bildungsabschnitten erhalten bleiben und inwiefern die Schülerinnen und Schüler darauf aufbauend voruniversitäre Kompetenzen in den Fächern Mathematik und Physik erwerben. Damit verbunden ist die Frage, inwiefern Lehrkräfte Defizite diagnostizieren und kurze Lernangebote machen können, um gezielt spezifisches Vorwissen für Unterrichtseinheiten im Sinne eines anschlussfähigen Lernens zu sichern. Diese Frage steht in engem Zusammenhang zu geplanten Arbeiten der KI-basierten individualisierten Unterstützung der Kompetenzentwicklung des ersten Forschungsschwerpunkts der Forschungslinie. Dabei werden die Wissensentwicklung zu Konzepten in der Analysis und der Mechanik betrachtet sowie wissenschaftspropädeutische Kompetenzen bezogen auf inner- und außermathematische Anwendungen. Von Interesse ist bei Letzterem insbesondere, inwiefern sich das Wissenschaftsverständnis der Jugendlichen ausdifferenziert und ob dies durch metafachliche Reflexionsangebote im Unterricht gefördert werden kann. So gelten bspw. Ergebnisse der deduktiven Strukturwissenschaft Mathematik als gesichert, während Ergebnisse der empirischen Disziplinen nur mit hoher Wahrscheinlichkeit als sicher angenommen werden. Offen ist, ob Schülerinnen und Schüler Ergebnissen in empirischen Disziplinen subjektiv eine höhere Sicherheit beimessen, wenn diese mit mathematischen Methoden erzielt wurden, und in welchem Umfang gezielte Förderung wissenschaftspropädeutischer Kompetenzen effektiv beim Erwerb eines differenzierten Wissenschaftsverständnisses ist.

Schließlich entwickeln die Schülerinnen und Schüler im Verlauf der gymnasialen Oberstufe auch ihre beruflichen Interessen weiter, die Einfluss auf die Zufriedenheit mit den eigenen Kurswahlen haben können. Die bisherige Forschung deutet darauf hin, dass Interessenprofile eine hohe zeitliche Stabilität aufweisen, Veränderungen aber nicht ausgeschlossen sind. Gleichzeitig zeigte sich, dass Wahlentscheidungen nicht immer interessenkongruent vorgenommen werden, sondern auch durch andere Faktoren beeinflusst werden, was im Falle einer geringen Interessenpassung zu Motivationsverlusten führen kann. Entsprechend soll untersucht werden, wie stabil Interessenprofile im Verlauf der Oberstufe sind und inwieweit Veränderungen von Interessenprofilen Reaktionen auf veränderte Rahmenbedingungen darstellen. Die bisherigen



Studien legen nahe, dass sich die individuellen Interessenprofile in nachschulischen Bildungsabschnitten kaum systematisch verändern. Inwieweit dies auch für die gymnasiale Oberstufe gilt, ist jedoch eine offene Frage. Eine hinreichende Plastizität der in den beruflichen Interessenprofilen zum Ausdruck kommenden Vorlieben und Abneigungen gegenüber berufsrelevanten Tätigkeiten ist Voraussetzung für den Erfolg von Interventionen, die auf die Steigerung der Attraktivität von MINT-Berufen und die Sicherung des Studien- und Ausbildungserfolgs in den entsprechenden nachschulischen Bildungsabschnitten abzielen. Insbesondere sollen Effekte von Informationsangeboten, unter anderem zur Relevanz der Mathematik für verschiedene Studienfächer und Berufe, auf die Entwicklung beruflicher Interessen und die Wahl von Oberstufenkursen untersucht werden. In einem arrondierenden Design-based-Research-Projekt ist vorgesehen, angeknüpft an die Teilprojekte Öffentlichkeitsarbeit verschiedener Sonderforschungsbereiche konkrete Angebote für naturwissenschaftliche Profilseminare der gymnasialen Oberstufe auszuarbeiten, die Einblicke in zukunftsorientierte Berufsfelder geben und somit zur Berufsorientierung beitragen.

Die dritte Leitfrage widmet sich den Effekten der in der gymnasialen Oberstufe erworbenen Kompetenzen auf den Übergang in den jeweils nachfolgenden Bildungsabschnitt. Diese sollen durch Weiterführung der Stichprobe im Projekt MiO untersucht werden. Wesentlich ist die Frage, inwieweit die in der gymnasialen Oberstufe erfassten mathematischen und physikalischen Kompetenzen und beruflichen Interessen prädiktiv für den erfolgreichen Einstieg in eine Ausbildung oder ein Studium im MINT-Bereich sind. Zusätzlich werden im MiO-Projekt in Teilstichproben Interventionen zur Rolle der Mathematik in verschiedenen Berufsfeldern und Studienfächern durchgeführt, um Effekte auf die beruflichen Interessen sowie die Berufs- und Studienwahl der Schülerinnen und Schüler zu untersuchen. Diese Untersuchungen werden durch Studien zur vierten Leitfrage nach der Unterstützung in der Studieneingangsphase ergänzt. In den Projekten *Digitales Initial-Assessment für den MINT-Bereich* (DIAMINT) und *Lernzentrum Mathematik* werden Studierenden der MINT-Fächer in Bezug auf ihre mathematischen und physikalischen Kompetenzen digitale Diagnose-, Reflexions- und Förderangebote gemacht, um sie beim Übergang vom schulischen zum universitären Lernen zu unterstützen und Studienabbrüche zu vermeiden. Mit Blick auf die Studieneingangsphase im Chemiestudium wurden Lernumgebungen entwickelt, die virtuelle Realität nutzen, um unterschiedliche Lernausgangslagen von Studierenden bspw. beim ersten Laborpraktikum stärker berücksichtigen zu können. Diese Arbeiten sollen fortgeführt und beforscht werden, inwieweit auch hier der Übergang zum universitären Lernen unterstützt und Studienabbrüche durch wahrgenommene Überforderung verringert werden können. In weiterführenden Arbeiten im Bereich des universitären Studiums liegt der Fokus der Arbeiten noch stärker darauf zu erforschen, wie sich das Verständnis zentraler Fachkonzepte im Verlauf einzelner Module entwickelt, dies aber in einzelnen Bereichen (wie bspw. der Organischen Chemie) auch über Veranstaltungen hinweg. Dabei spielt wiederum die Einbindung digitaler Technologien (bspw. in Form von Erklärvideos oder adaptiver Übungsformate) eine zentrale Rolle. Diese Arbeiten sollen systematisch fortgeführt und, aufbauend auf dem Forschungsnetzwerk *Research in Organic Chemistry Education and Teaching* (ROChET) über mehrere Universitätsstandorte eingesetzt und beforscht werden. Neben der Frage



nach dem Einfluss individueller und institutioneller Bedingungen der Kompetenzentwicklung der Studierenden steht dabei im Fokus, wie Studierende in ihrer Kompetenzentwicklung durch innovative Lehrkonzepte besser unterstützt werden können.



FORSCHUNGSLINIE
PROFESSIONELLE KOMPETENZ UND
PROFESSIONSBEZOGENES LERNEN
VON LEHRKRÄFTEN

FORSCHUNGSLINIE PROFESSIONELLE KOMPETENZ UND PROFESSIONSBEZOGENES LERNEN VON LEHRKRÄFTEN

Lehrkräfte der Fächer Biologie, Chemie, Informatik, Mathematik und Physik stehen im Mittelpunkt der Forschungslinie Professionelle Kompetenz und professionsbezogenes Lernen von Lehrkräften am IPN. Die Qualifizierung von Lehrkräften wird als ein entscheidender Beitrag zur Optimierung von Bildungsprozessen betrachtet. Ihr Wissen und Können ist maßgeblich für den Bildungserfolg von Schülerinnen und Schülern. Um die Aus- und Fortbildung von Lehrkräften sowie in diesem Zusammenhang auch die Qualifizierung von Multiplikatorinnen und Multiplikatoren in der Lehrkräftebildung und anderen relevanten systemischen Ebenen zu gestalten, wird theoretisch fundiertes und empirisch gesichertes Wissen benötigt, das Auskunft über die beruflich relevanten Merkmale dieser Berufsgruppen sowie über effektive Maßnahmen zur Unterstützung professionellen Lernens gibt.



VERANTWORTLICH:

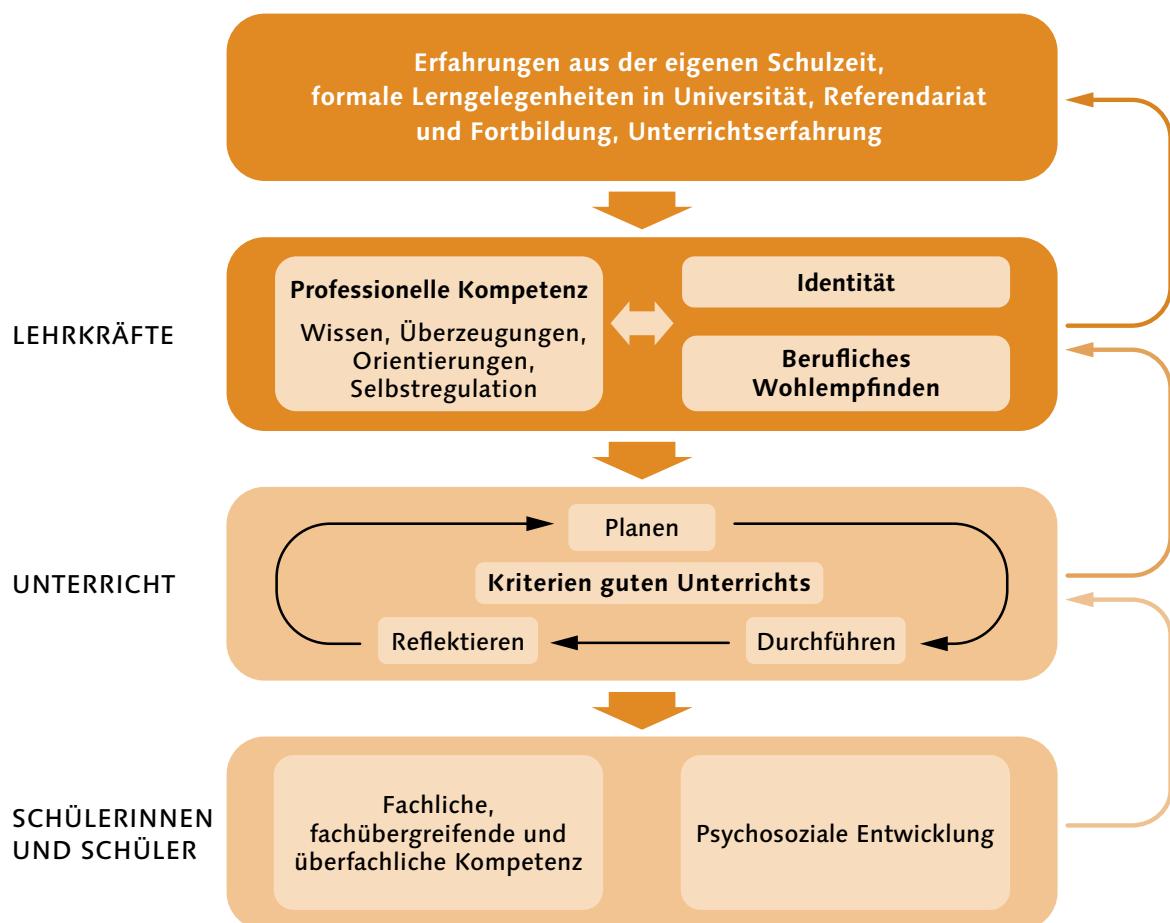
Moritz Krell & Daniel Sommerhoff (Sprecher),
Andreas Mühling,
Hans Anand Pant,
Ilka Parchmann

In der Bildungsforschung werden beruflich relevante Merkmale unter dem Begriff der professionellen Kompetenz zusammengefasst. Diese umfasst das Fachwissen, fachdidaktisches und pädagogisch-psychologisches sowie technologiebezogenes Wissen als Facetten des Professionswissens. Professionelle Kompetenz beinhaltet außerdem motivationale, metakognitive und selbstregulative Merkmale und wird arrondiert von weiteren Merkmalen der Lehrkräfte wie bspw. deren fachlichen und beruflichen Identitäten oder ihrem beruflichen Wohlempfinden.

Die Arbeiten der Forschungslinie fußen auf dem Grundsatz, dass das unterrichtliche Handeln von Lehrkräften auf deren professioneller Kompetenz beruht. Die professionelle Kompetenz beinhaltet erlern- und veränderbare Merkmale, welche von den jeweils genutzten Lerngelegenheiten abhängen. Die Merkmale professioneller Kompetenz von Lehrkräften wirken sich auf deren Unterricht und über diesen auf die Schülerinnen und Schüler aus. Diese allgemeinen theoretischen Grundlagen sind in dem Rahmenmodell professioneller Kompetenz und ihrer Entwicklung der Forschungslinie abgebildet (Abbildung 1). Das Modell stellt Lehrkräfte und deren professionelle Kompetenz ins Zentrum und bildet die angenommene Ursache-Wirkungs-Kette von Lehrkräften über die Qualität von Unterricht bis hin zur Entwicklung der Schülerinnen und Schüler sowie mögliche rekursive Wirkungsschleifen ab.

In der Forschungsplanperiode 2021 bis 2025 wurden Arbeiten zur Entwicklung, zu Effekten sowie zur Förderung der professionellen Kompetenz von (angehenden) Lehrkräften durchgeführt. Mit Projekten, die digital gestützte Methoden, teils auch unter Verwendung von Künstlicher Intelligenz (KI), in der Aus- und Fortbildung forschungsbasiert weiterentwickeln und evaluieren, wurde ein neuer abteilungsübergreifender Forschungsschwerpunkt gesetzt. Die Ergebnisse dieser Arbeiten haben unter anderem gezeigt, dass digital gestützte Aus- und Fortbildungsangebote große Potenziale bergen. Allerdings ist ihre Wirksamkeit erheblich von der konkreten Ausgestaltung ihrer Designelemente und dadurch beeinflusste Merkmale effektiver Aus- und Fortbildungsangebote sowie von den Einstellungen der Lehrkräfte abhängig. Daher gibt es weiteren Forschungsbedarf.

Abbildung 1: Rahmenmodell professioneller Kompetenz von Lehrkräften und ihrer Entwicklung



Die für die Jahre 2026 bis 2030 geplanten Projekte bauen auf den Erkenntnissen der bisherigen Arbeiten auf und haben zum Ziel, Wissen für die Weiterentwicklung der Lehrkräftebildung (Aus- und Fortbildung) sowie der Qualifizierung von Fortbildenden, welche als Multiplizierende auf der Lehrkräfteebene wirken, zu generieren. Daher werden grundlegende Studien aus der letzten Periode fortgeführt, die Wissen zu Merk-



malen professioneller Kompetenz sowie ihrer Entwicklung und Förderung bereitstellen. Zukünftige Studien greifen zusätzlich die Problematik des Lehrkräftemangels und die damit verbundenen Herausforderungen auf, qualitätsvolle alternative Professionalisierungswege in den Lehrkräfteberuf sowie Lehrkräftekollaboration zu gestalten. Aber auch das mathematische, informatische bzw. naturwissenschaftliche Lehramtsstudium als traditioneller Weg in das Lehramt wird vor dem Hintergrund des Lehrkräftemangels und der relativ hohen Zahl an Studienabbrüchen als ein Handlungsfeld fokussiert. Die Arbeiten der Forschungslinie widmen sich dabei insbesondere der Kohärenz in der Lehrkräftebildung. Diese umfasst sowohl die Kohärenz über die drei Phasen der Lehrkräftebildung hinweg (vertikal) als auch die Kohärenz zwischen verschiedenen Lehrveranstaltungen oder Studienbereichen innerhalb einer Studienphase (horizontal). Gerade im Kontext der ersten, also der universitären, Ausbildungsphase fokussieren die Arbeiten dabei auch die Verzahnung von universitären und schulischen Inhalten. Dies geschieht bspw. im Kontext von schulbezogenem Fachwissen (*School-Related Content Knowledge*, SRCK) sowie bei der Integration konkreter lehramttypischer Praktiken und Sichtweisen in das Lehramtsstudium, um die Entwicklung fach- und lehramtsbezogener Identitätsfacetten der Studierenden zu fördern. Ein weiteres Handlungsfeld der Forschungslinie ergibt sich aus dem Umstand, dass die fachdidaktische und empirische Bildungsforschung zwar vielfach Grundlagen und Konzepte für die Gestaltung von effektiven Lehr-Lernarrangements bereitstellt, diese Kenntnisse aber oftmals nicht ausreichend oder nur sehr langsam Eingang in die professionelle Praxis finden. Daher werden in der Forschungslinie Studien zum Transfer von fachdidaktischen bzw. bildungswissenschaftlichen Erkenntnissen in die professionelle Praxis durchgeführt, die bspw. Merkmale effektiver Lehrkräftefortbildungen und das Zusammenspiel von Implementationsarchitekturen untersuchen. Zusammenfassend ergeben sich für die abteilungsübergreifende Arbeit der Forschungslinie vier Handlungsfelder:

1. Merkmale professioneller Kompetenz und Identität sowie ihre Entwicklung und Förderung
2. Alternative Wege in das Lehramt
3. Kohärenz in der Lehrkräftebildung
4. Transfer und Transferforschung

Ergänzend durchzieht das Thema Digitalisierung die Handlungsfelder der Forschungslinie. So führen die rasante Entwicklung digitaler Tools und die Möglichkeiten von KI dazu, dass die Digitalisierung und damit verbundene Möglichkeiten und Herausforderungen nicht isoliert betrachtet werden können, sondern vielmehr in jedes Handlungsfeld integriert und berücksichtigt werden müssen. Entsprechend wird Digitalisierung nicht als eigenes, von den anderen Schwerpunkten losgelöstes Handlungsfeld definiert. Im Handlungsfeld *Merkmale professioneller Kompetenz* werden bspw. digitale simulationsbasierte Lehr-Lernformate wie Labore mit Virtueller Realität (VR) betrach-

tet, um die Entwicklung handlungsnaher professioneller Kompetenzen von angehenden Lehrkräften zu fördern. Ebenso wird im Handlungsfeld *Transfer und Transferforschung* der Einfluss verschiedener Technologien auf die Gestaltung und die Effekte von Fortbildungen (bspw. Online-Selbstlernmaterialien) untersucht.

Abschließend hervorzuheben ist, dass sich die Forschungslinie gerade im Kontext der Handlungsfelder (2) bis (4) durch den gezielten Transfer der Forschungsergebnisse in konkrete Angebote zur Professionalisierung von Lehrkräften auszeichnet. So fließen die Ergebnisse der Forschungslinie direkt in die Bemühungen der Allianz für Lehrkräftebildung, die Weiterbildungsmaßnahmen im Bereich Lehramt Informatik in Schleswig-Holstein oder auch die Lehramtsstudiengänge an der Christian-Albrechts-Universität zu Kiel und darüber hinaus ein. Einzelne Projekte wie *Unterrichts- und Fortbildungsqualität in Mathematik entwickeln* (QuaMath) und das *Startchancen-Programm*, an denen die Forschungslinie beteiligt ist, haben einen direkten, deutschlandweiten Impact.

Merkmale professioneller Kompetenz und Identität sowie ihre Entwicklung und Förderung

Die für die Forschungsplanperiode 2026 bis 2030 geplanten Arbeiten adressieren Aspekte, die in der fachdidaktischen Forschung zur professionellen Kompetenz von Lehrkräften bisher zu kurz kamen. Hierzu zählen insbesondere Studien in der noch relativ jungen Disziplin Didaktik der Informatik, die bspw. nicht an Großprojekten des IPN zu Struktur und Entwicklung professionellen Wissens (*Messung professioneller Kompetenzen in mathematischen und naturwissenschaftlichen Lehramtsstudiengängen*, KiL; *Kompetenzentwicklung in mathematischen und naturwissenschaftlichen Lehramtsstudiengängen*, KeiLa) beteiligt war. In der Didaktik der Informatik fehlen aktuell Kompetenzmodelle für fachdidaktisches Wissen noch fast vollständig. Dies soll für den Bereich des Programmierens im Rahmen einer Studie geändert und ein entsprechendes Modell empirisch gestützt entwickelt werden. Das Programmieren ist ein zentraler Bereich des Informatikunterrichts, der in praktisch allen Ausprägungen von Informatikunterricht in den verschiedenen Schulformen und Bundesländern vorkommt. Lehrkräfte müssen dafür aus einer sich ständig weiterentwickelnden Menge von Angeboten geeignete Werkzeuge auswählen. Dies sollte anhand fachdidaktischer Kriterien passieren. Eine explorative Studie innerhalb der deutschsprachigen Informatikfachdidaktik zeigt jedoch, dass kaum Einigkeit über solche Kriterien besteht.

In weiteren Arbeiten wird die Bedeutung der professionellen Identität von Lehrkräften für die Entwicklung ihrer professionellen Kompetenz untersucht. Die professionelle Identität von Lehrkräften setzt sich aus verschiedenen Teilidentitäten zusammen, die sich gegenseitig ergänzen oder hierarchisch geordnet sein können, wobei für Lehrkräfte der Mathematik, Informatik und Naturwissenschaften (MIN) offenbar zentral für ihre Ausbildung sowie spätere Tätigkeit ist, ob ihre eigene Fach-Identität oder ihre Pädagogik-Identität dominiert. Konkret wird in dieser Arbeit in einer mehrteiligen Fortbildung qualitativ-explorativ untersucht, inwieweit die bei den teilnehmenden



Lehrkräften unterschiedlich ausgeprägten Teilidentitäten im Zusammenhang mit der Entwicklung ihrer professionellen Kompetenz im Rahmen dieser Fortbildung stehen. Die Untersuchungen bauen dabei direkt auf einer bereits erprobten Fortbildung zur digitalen Messwerterfassung im Physikunterricht auf, welche im Rahmen des Projekts *Digitalisierungsbezogene und digital gestützte Professionalisierung von MIN-Lehrkräften* (DigiProMIN) entwickelt und evaluiert wurde. In diesen Bereich der Forschungslinie gehört auch eine Studie, in der die fachbezogenen Studien- und Berufswahlmotive von angehenden Biologielehrkräften erfasst und beschrieben werden. Aufbauend auf Ergebnissen dieser Studie, die gezeigt haben, dass angehende Biologielehrkräfte sich neben dem grundsätzlichen Wunsch, mit Kindern und Jugendlichen zu arbeiten, insbesondere aufgrund eines fachlichen Interesses an der Biologie sowie der Relevanz des Faches Biologie (bspw. für gesellschaftliche Herausforderungen wie dem Klimawandel oder Pandemien) für ihr Studienfach entscheiden, soll in einer längsschnittlichen Erhebung die Entwicklung dieser Berufswahlmotive über den Studienverlauf untersucht werden.

Ein weiterer Fokus innerhalb des Handlungsfelds liegt auf der Untersuchung der Einstellungen von Lehrkräften gegenüber KI und der Entwicklung von Interventionen zur Reduktion potenzieller Stereotype und negativer Vorannahmen. Eigene Vorarbeiten und erste Ergebnisse deuten auf teils starke negative Vorannahmen von Lehrkräften gegenüber KI hin, welche ihre Einschätzungen des pädagogischen Potenzials dieser Technologien im Unterricht negativ beeinflussen können. Diese Einstellungen und ihre Entstehungsprozesse werden weiter untersucht und bestehende Arbeiten zu Ende geführt. Ziel ist es, auf Basis dieser Erkenntnisse zielgerichtete Interventionen und Fortbildungsangebote zu entwickeln und zu evaluieren, die dazu beitragen, potenzielle negative Verzerrungen in der Wahrnehmung und Bewertung von KI abzubauen und eine offene, evidenzbasierte Auseinandersetzung mit den Möglichkeiten und Grenzen von KI im Bildungskontext zu fördern.

Ebenfalls mit Fokus auf KI werden Professionalisierungskonzepte und -module entwickelt und beforscht, die Lehrkräfte beim lernförderlichen Einsatz KI-basierter Lernsysteme unterstützen. Diese Konzepte zielen darauf ab, Lehrkräfte zu befähigen, KI-basierte Lernsysteme didaktisch fundiert in ihren Unterricht zu integrieren. Dazu gehört, dass Lehrkräfte KI-gestützte Werkzeuge einsetzen, um komplexe Schülerleistungen wie bspw. das Verfassen von naturwissenschaftlichen Argumentationen im Themenfeld Klimawandel zu bewerten und dazu Rückmeldung zu geben.

Weitere Arbeiten in diesem Handlungsfeld befassen sich mit der Performanz von angehenden und praktizierenden Lehrkräften in unterschiedlichen berufsbezogenen Handlungssituationen. Hierzu gehören Studien zur Modellierungskompetenz von angehenden Lehrkräften der Biologie. Das Modellieren ist eine zentrale Erkenntnismethode in den Naturwissenschaften. Entsprechend benötigen Lehrkräfte der Biologie ein fundiertes Verständnis dieser Methode sowie die Fähigkeit, selbst naturwissenschaftlich zu modellieren, um das Modellieren in ihrem Unterricht umsetzen und mit Schülerinnen und Schülern reflektieren zu können. Zwei Studien zur Modellierungskompetenz leisten hier einen zentralen Beitrag zur Grundlagenforschung,



indem sie (a) die zentralen Dimensionen dieser Kompetenz beschreiben sowie (b) die Performanz angehender Biologielehrkräfte über Problemstellungen hinweg untersuchen. Um das Professionswissen von Lehramtsstudierenden handlungsnah zu entwickeln, braucht es entsprechende Lerngelegenheiten zur Übung und zur Reflexion. Dies betrifft insbesondere Unterrichtssituationen, die mit einem erhöhten Gefahrenpotential einhergehen, bspw. das Experimentieren in Kleingruppen im Chemieunterricht. Mithilfe eines VR-Labor-Klassenzimmers können im virtuellen Raum immersive Lernsituationen ermöglicht werden, die Studierende auf entsprechende unterrichtliche Situationen vorbereiten, ohne sie oder die Lernenden in gefährliche Situationen zu bringen. Aufbauend unter anderem auf Vorarbeiten im Projekt DigiProMIN soll weiterführend untersucht werden, wie Handlungsstrategien und -kompetenzen von Lehramtsstudierenden und aktiven Lehrkräften durch simulationsbasierte Lernszenarien gefördert werden können. Dabei soll auch der Einfluss von Facetten der professionellen Kompetenz, insbesondere Fachwissen, fachdidaktischem Wissen und Selbstwirksamkeitserwartungen, auf das Handeln der Studierenden und Lehrkräfte in simulationsbasierten Lernumgebungen untersucht werden. Diese Kenntnisse sollen letztlich auch zu einer besseren Verzahnung der Lernumgebungen mit Veranstaltungen im Lehramtsstudium führen. Im Bereich der Mathematik werden diese Studien durch das bundesweite Projekt QuaMath ergänzt, welches Stand und Förderbarkeit mathematikdidaktischer Kompetenzen zum Planen, Durchführen und Reflektieren guten Unterrichts in verschiedenen Anforderungssituationen untersucht: Lernziele setzen und Lernpfade konzipieren, Aufgaben und Medien auswählen und adaptieren, Lernprozesse diagnostizieren und beurteilen, Lernprozesse unterstützen und fördern und gemeinsame Gespräche führen.

Als gänzlich neuen Bereich im Handlungsfeld werden im Rahmen einer 2025 etablierten Forschungsgruppe *Kollaboratives Problemlösen in der Lehrkräftebildung – Unterstützung der Kollaboration und Regulation beim Lernen mit Agenten* (CoPLA) im Bereich der Mathematikdidaktik auch kollaborative Kompetenzen von Lehramtsstudierenden sowie deren Förderung untersucht. Angesichts von Forderungen für zunehmend fächerübergreifenden Unterricht, der sich bspw. an zentralen gesellschaftlichen Themen orientiert, erscheinen auch kollaborative Kompetenzen von Lehrkräften bedeutsam. Dies gilt gleichsam für die zunehmende Heterogenität von Lehrkräften, die Kollaboration einerseits aufgrund unterschiedlicher Kompetenzprofile notwendiger und erfolgversprechender macht, gleichzeitig aber aufgrund der Heterogenität ggf. auch komplexer. Im Rahmen der Arbeiten werden effektive Bedingungen für das Lernen von Kompetenzen des kollaborativen Problemlösens bei Studierenden des Lehramts Mathematik in Abhängigkeit von deren individuellen Charakteristika (bspw. Wissensfacetten, Motivation zur Kollaboration) untersucht. Im Fokus steht dabei das Lernen mit KI-basierten Agenten (auf Basis von *Large Language Models*), die eine gezielte Standardisierung der Lernsituation, gleichzeitige Authentizität der kognitiven Prozesse und eine Unterstützung des Lernenden durch die Reduktion der Anforderungen des kollaborativen Problemlöseprozesses im Sinne von repräsentationalem Scaffolding erlauben. Die Arbeiten verknüpfen somit bisherige Arbeiten zur professionellen Kompetenz von Lehrkräften, Forschung zu simulationsbasiertem Lernen, Digitalisierung in der Lehrkräfteausbildung sowie zu alternativen Wegen ins Lehramt.



Alternative Wege in das Lehramt

Angesichts des akuten und künftigen Lehrkräftemangels in den MINT-Fächern engagiert sich das IPN sowohl für die Etablierung von alternativen Wegen in das Lehramt als auch für die systematische Erforschung dieser Wege sowie der so qualifizierten Lehrkräfte. Mit dem Ziel, grundlegendes Wissen darüber bereitzustellen, wie die professionellen Kompetenzen von Personen ausgeprägt sind, die über den Quer- und Seiteneinstieg in den Lehrkräfteberuf in Deutschland kommen, wird bspw. ein systematisches Literaturreview erarbeitet, dessen Ergebnisse auch Grundlage für weiterführende Arbeiten der Forschungslinie in diesem Handlungsfeld sein werden.

Das Fach Informatik unterrichten in Deutschland aktuell Lehrkräfte, von denen ca. 70 Prozent in Weiterbildungsmaßnahmen für den Unterricht nachqualifiziert wurden und Informatik nicht grundständig als Unterrichtsfach studiert haben. Solche Weiterbildungsmaßnahmen zeichnen sich typischerweise durch einen im Vergleich zum Lehramtsstudium deutlich geringeren Anteil von fachlichen und oftmals auch fachdidaktischen Veranstaltungen aus, bieten andererseits aber meist eine engere Verzahnung von Theorie und Unterrichtspraxis und sind speziell für aktive Lehrkräfte konzipiert. In einer Studie zur Wirkung einer Weiterbildungsmaßnahme in Schleswig-Holstein wurden zunächst die Motivation und die fachlichen Überzeugungen von Lehrkräften verschiedener Ausbildungswege (regulär, Weiterbildung, Quer-/Seiteneinstieg) untersucht. Neben ersten interessanten Erkenntnissen (z. B. einer vorwiegend extrinsischen Motivation für das Fach Informatik in Weiterbildungen) wird aus diesen Ergebnissen ein Fragebogen konzipiert und querschnittlich in mehreren Bundesländern eingesetzt, um die Hypothesen, dass zum Beispiel je nach Ausbildungsweg unterschiedliche Vorstellungen zum Fach Informatik bestehen, quantitativ zu untersuchen.

Im Rahmen des Verbundprojekts *Vermittlung Fachbezogenen Bildungswissenschaftlichen Wissens für die Unterrichtspraxis* (FaBiUs) wird ein digitales Angebot entwickelt, das den bidirektionalen Transfer fachbezogenen bildungswissenschaftlichen Wissens zwischen Forschung und Schule ermöglicht. Besonders für Personen, die über den Quer- und Seiteneinstieg in das Lehramt kommen, bietet das Projekt eine praxisnahe Qualifizierung, indem bildungswissenschaftliche Erkenntnisse auf ein authentisches Forschungsprojekt zur Lichtverschmutzung und deren Auswirkungen auf Fledermäuse angewendet werden. Von dieser Verknüpfung bildungswissenschaftlicher und naturwissenschaftlicher Forschung in der Lehrkräftebildung wird angenommen, dass sie den Aufbau professioneller Kompetenzen unterstützt und die besonderen Bedarfe der Zielgruppe adressiert. Die Wirksamkeit des Transferinstruments auf die professionelle Kompetenz der Teilnehmenden wird begleitend evaluiert.



Kohärenz in der Lehrkräftebildung

Nicht nur angesichts des akuten Lehrkräftemangels ist es zunehmend wichtig, das Lehramtsstudium so zu gestalten, dass Studierende dieses als relevant und sinnstiftend wahrnehmen. Eine Kohärenz über die Studienphasen hinweg (vertikal) sowie Kohärenz zwischen verschiedenen Lehrveranstaltungen oder Studienbereichen innerhalb einer Studienphase (horizontal) kann zu einer solchen Wahrnehmung beitragen.

Diesbezüglich verfolgt das Land Schleswig-Holstein das Ziel, systematische Veränderungen in der Lehramtsausbildung anzustoßen und zu begleiten, für die das IPN maßgeblich mitverantwortlich ist. So wird im Rahmen der *Student Teacher Professional Development Study* (STePS) beforscht, wie sich die berufsbezogenen Kompetenzen von Lehramtsstudierenden sowie ihre Wahrnehmung der Studienstrukturen im Verlauf des Bachelor- und Masterstudiums entwickeln. Das Panel wurde 2016 im Projekt *Lehramt mit Perspektive an der CAU* (LeaP@CAU) unter Leitung des IPN angelegt und seit 2024 durch die beiden Landesprogramme Zukunft Schule im digitalen Zeitalter und Allianz für Lehrkräftebildung hochschulübergreifend unter Leitung des IPN in Schleswig-Holstein fortgeführt. Das Multi-Kohorten-Sequenz-Design ermöglicht die Beschreibung und Evaluation von programmatischen bzw. strukturellen Veränderungen im Lehramtsstudium auf individueller Ebene der Studierenden mit Blick auf deren professionelle Kompetenzen, aber auch hinsichtlich Indikatoren der Studienzufriedenheit oder des Studienabbruchs. Neben der Rolle von Praxisphasen für die Abbruchintentionen von Lehramtsstudierenden stehen derzeit Prädiktoren digitalisierungsbezogener Kompetenzen sowie deren Veränderungen im Studienverlauf im Forschungsfokus. Perspektivisch soll das Lehramtspanel auf die zweite Phase der Lehrkräfteausbildung in Schleswig-Holstein ausgeweitet werden, um Entwicklungen professioneller Kompetenzen über das Lehramtsstudium hinaus abilden zu können und Erkenntnisse über die Kohärenz beider Phasen zu gewinnen.

Bisherige Ansätze des IPN zur Weiterentwicklung von Lehramtsstudiengängen in den Naturwissenschaften haben hauptsächlich bildungswissenschaftliche und fachdidaktische Lehr-Lernangebote und weniger fachwissenschaftliche in den Blick genommen – im Gegensatz zur Mathematik, in der bspw. die Verbindung von schulischer und universitärer Mathematik in den Fachmodulen im Sinne einer vertikalen Kohärenz bereits seit Längerem erforscht wird. In den vorhandenen Ansätzen unter Einbindung von fachwissenschaftlichen Lehr-Lernangeboten wurden zudem überwiegend einzelne Module bearbeitet und durch Forschung begleitet. Die Projekte *Diversitätssensibel in Virtual Reality Experimentieren* (DiVEx) und *Studiengangsentwicklung Chemie als prototypischer Change- und Innovationsentwicklungsprozess für die Lehrkräftebildung* (SeCCLA) begegnen diesem Desiderat ausgehend von fachwissenschaftlichen Lehr-Lernangeboten der Chemie. Diese fachwissenschaftlichen Lehr-Lernangebote eignen sich für einen solchen Fokus aufgrund ihrer Ambivalenzen besonders gut: Zum einen sind Kenntnisse der Chemie in allen Lebensbereichen von zentraler gesellschaftlicher Bedeutung, erfahren im Alltag jedoch eher kritische oder geringere Aufmerksamkeit. Zum anderen ist das Chemiestudium aufgrund einer langen Fachtradition mit Spannungen zwischen hohen fachlichen Ansprüchen und Lehramtsbedarfen ver-

bunden. Unter systematischem Einbezug der diversen Perspektiven von Lehrenden und Lernenden in der Studieneingangsphase werden im Projekt DiVEx durch Digitalisierung und Kontextualisierung differenzierte Lehr-Lernangebote für chemische Laborpraktika entwickelt, implementiert und evaluiert, die die vielfältigen Voraussetzungen, aber auch Lernziele und Herausforderungen berücksichtigen. Ziel ist es, die Diversität der Studierenden (nicht nur basierend auf der geschlechtlichen Identität) im Sinne eines Universal Designs möglichst weitgehend zu berücksichtigen, um individuell optimale Lehr-Lernangebote zu schaffen. Das Projekt SeCCLA knüpft an diese Arbeiten an und arbeitet forschungsbasiert – ebenfalls unter Einbezug der Perspektiven von Lehrenden und Lernenden – Kriterien und Konzepte für eine kohärente Weiterentwicklung fachwissenschaftlicher Lehr-Lernangebote für Lehramtsstudierende und potenzielle Verknüpfungen mit fachdidaktischen und bildungswissenschaftlichen Lernangeboten heraus.

Transfer und Transferforschung

Die Forschungslinie arbeitet intensiv daran, Konzepte für die Gestaltung von effektiven Lehr-Lernarrangements zu erforschen und entsprechende Erkenntnisse bzw. Angebote systematisch in die Professionalisierung von Lehrkräften, aber bspw. auch Fortbildenden (Multiplizierenden) zu integrieren. Der dazu notwendige Wissenschafts-Praxis-Transfer folgt idealtypisch einem Entwicklungskreislauf (Abbildung 2). Ausgehend von der wissenschaftlichen Entwicklung, Erprobung und Wirksamkeitsüberprüfung der „prototypischen“ Innovation, die transferiert werden soll (z. B. ein neues bzw. effizienteres Unterrichts- oder Fortbildungskonzept), erfolgt deren Implementation in wenigen Schulen (bzw. Regionen, Aus- oder Fortbildungseinrichtungen o. ä.) unter „Realbedingungen“. Im Anschluss an möglicherweise notwendige Adaptationen werden zuvor strategisch festgelegte Ansätze und Mechanismen zur flächendeckenden Verbreitung (Scaling-up) genutzt. Um Transfer, das heißt Implementation und Scaling-up, zu ermöglichen, wird eine Kombination aus personalen (z. B. Qualifizierung von Fortbildungspersonal), materialen (z. B. Online-Selbstlernmaterialien) und systemischen Ansätzen (z. B. Umgestaltung von Studien- oder Fortbildungsstrukturen) kohärent ausgerichtet und auf mehreren Systemebenen eingesetzt. Der Forschungsfokus verschiebt sich im Verlauf zunehmend von Wirksamkeitsfragen hin zu Wirkungs- und Effizienzfragen, das heißt den prozessbezogenen und systemischen Faktoren, die den Transfer befördern oder behindern. Zentral für die Untersuchung dieser Fragestellungen ist zuvor jedoch auch die Etablierung entsprechender Transferstrukturen.

Abbildung 2: Transferprozessmodell mit idealtypischem Transferzirkel (1.–6.) und assoziierten phasen-spezifischen Forschungstypen



Über die in der Forschungslinie und dem IPN traditionell bestehenden Bemühungen für Umsetzung von Wissenschafts-Praxis-Transfer hinaus wird seit dem Jahr 2021 in der Abteilung Fachbezogener Erkenntnistransfer angestrebt, Transferprozesse stärker zu systematisieren, in ihrer Praxiswirkung zu stärken und begleitend zu beforschen. Das Deutsche Zentrum für Lehrkräftebildung Mathematik (DZLM) wird von der Abteilung koordiniert und trägt durch das Netzwerk von mathematikdidaktischen Professuren an zwölf Universitäten erheblich zum erfolgreichen Transfer von Professionalisierungsmaßnahmen und dessen Erforschung bei. Insbesondere die beiden auf jeweils zehn Jahre angelegten bundesweiten Projekte QuaMath und Startchancen (Kompetenzzentrum Mathematik) durchlaufen nahezu alle in Abbildung 2 skizzierten Transferphasen und deren Erforschung. Dabei wird seit 2024 in QuaMath das Ineinandergreifen von materialen, personalen und systemischen Strategien im Hinblick auf Gelingensbedingungen und Wirkungen in mehreren Kohorten von Schulen und unterschiedlichen Fortbildungsgegenständen untersucht. In 2025 startete im Projekt

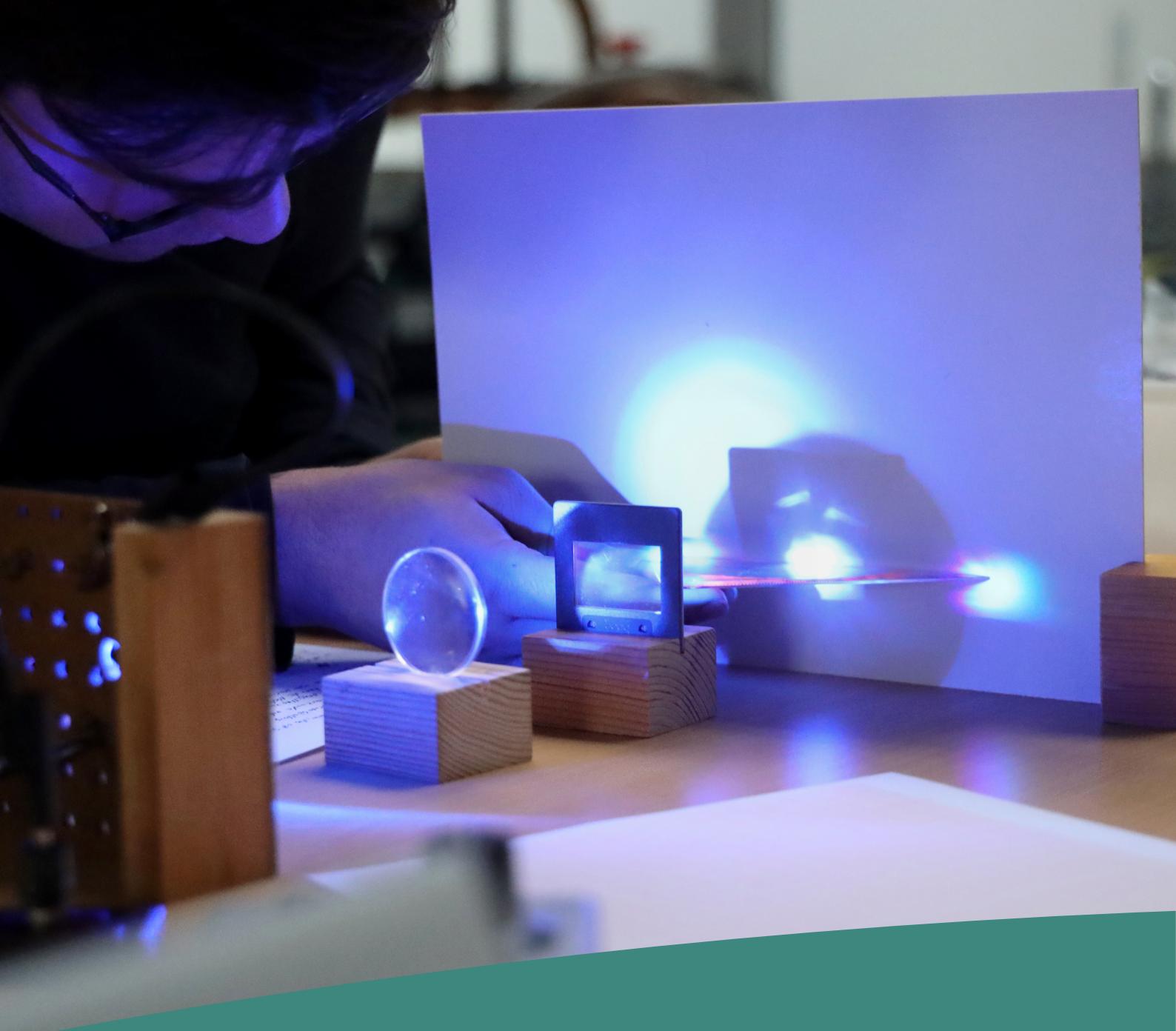


Startchancen die inter- und transdisziplinäre Transferforschung – auch im Hinblick auf Ineinandergreifen von Unterrichts-, Schul- und Systementwicklung. Die Teilstudie QuaMath-System, die 2025 begonnen hat, legt besonderes Augenmerk auf die Wechselwirkungen zwischen den verschiedenen Akteursebenen (Bildungssteuerung auf Landesebene, Schulleitungen, Multiplizierende und Lehrkräfte) sowie auf die strukturellen und organisatorischen Rahmenbedingungen, um nachhaltige und skalierbare Strategien des Innovationstransfers zu entwickeln, die für weitere Projekte handlungsleitend sein können.

Die Ausweitung der Arbeiten der Abteilung Fachbezogener Erkenntnistransfer an den Schnittstellen zu den drei Naturwissenschaften Biologie, Chemie und Physik sowie zu der Informatik verknüpft die ersten drei Forschungslinien, indem zum einen die Stärkung von Kohärenz in und zwischen den Fächern und zum anderen die Adressierung gesellschaftsrelevanter Themen über alle drei Naturwissenschaften hinweg fokussiert werden. Die erste Zielstellung der Förderung von Kohärenzentwicklung soll durch verschiedene co-konstruktive und analytische Prozesse ein Grundgerüst an theoretisch und – soweit vorhanden – empirisch fundierten Lernpfaden (anknüpfend an die *Learning-Progressions*-Forschung der ersten Forschungslinie) von der frühen naturwissenschaftlichen Bildung bis in die Studien- und Berufsorientierung aufzubauen und für Lehrkräftefortbildungen sowie den weiteren Austausch mit Multiplizierenden bzw. Fortbildenden zur Verfügung stellen. Die fächerverbindende Adressierung gesellschaftlich relevanter Themen verknüpft nicht nur die Fächer selbst und die dort hinterlegten Bildungsziele (*Scientific Literacy, Socio-scientific Issues, Grand Challenges* oder Schlüsselprobleme), sondern bindet ebenso Arbeiten zu Wissenschaftskommunikation und Talentförderung ein (s. nachfolgendes Kapitel zur Forschungslinie Wissenschaftskommunikation und extracurriculares Lernen). Ziel ist hier die Entwicklung von Themenlandkarten und Open Educational Resources, wiederum als Basis fächerverbindender Fortbildungs- und Strukturentwicklungskonzepte, aufbauend auf vorhandenen Konzepten bspw. zu Klima, Gesundheit, Energie und funktionalen Materialien.

Neben diesen Projekten der Abteilung Fachbezogener Erkenntnistransfer sowie den Schnittstellen zu den Naturwissenschaften zielen zahlreiche weitere Arbeiten der Forschungslinie auf Transferprozesse und adressieren dabei oft nur einen Teil der dargestellten Transferphasen. Bspw. wurden im Rahmen des Projekts *Lehrkräftefortbildungen zur Förderung von Erkenntnisgewinnungskompetenzen im Biologieunterricht* (LeFEB) evidenzbasiert ein Lehrkräftefortbildungsprogramm entwickelt und Merkmale effektiver Lehrkräftefortbildungen zum Kompetenzbereich Erkenntnisgewinnung und deren Effekte auf Lehrkräfte, Unterrichtsgestaltung und Leistung von Schülerinnen und Schülern untersucht. Ausgehend von den Ergebnissen wird in einem Anschlussprojekt die Fortbildung von Multiplizierenden in den Fokus gerückt werden, um ein Scaling-up zu ermöglichen. Dabei sollen auch digitale Technologien genutzt werden, die angesichts hoher Anforderungen im Lehrkräfteberuf eine flexiblere und individuelle Nutzung von Fortbildungsangeboten ermöglichen. Im Kompetenzverbund *lernen:digital* werden ab 2026 die Arbeiten im Handlungsfeld Transfer abgeschlossen. Ziel ist es, die Handlungskoordination zwischen relevanten Beteiligten in der digitalisierungsbezogenen Lehrkräftebildung zu beschreiben und Bedingungsfaktoren für

unterschiedlich erfolgreiche Transferprozesse zu identifizieren. In sozialen Netzwerkanalysen und Fokusgruppeninterviews wird rekonstruiert, wer mit wem wie aus Praxis und Wissenschaft zusammenarbeitet und wie diese Kooperationsmuster auf den Transfer(miss)erfolg wirken. Die Arbeiten tragen damit auch zur Weiterentwicklung und Erforschung des bidirektionalen Transferbegriffs des IPN bei.



FORSCHUNGSLINIE
WISSENSCHAFTSKOMMUNIKATION
UND EXTRACURRICULARES LERNEN

FORSCHUNGSLINIE WISSENSCHAFTSKOMMUNIKATION UND EXTRACURRICULARES LERNEN

Die Forschungslinie Wissenschaftskommunikation und extracurriculares Lernen hat sich am IPN in den letzten Jahren mit zwei zentralen Ausrichtungen etabliert: Förderung von Zugängen zu Aktivitäten im Bereich Mathematik, Informatik, Naturwissenschaften und Technik (MINT) über den formalen Regelunterricht hinaus (extracurriculares bzw. non-formales Lernen) sowie Gestaltung und Beforschung ausgewählter Teilbereiche von Wissenschaftskommunikation und informellen Lernangeboten. Die Arbeiten bauen damit Brücken zwischen schulischer und außerschulischer MINT-Bildung und beziehen neben formalen Bildungsinstitutionen weitere Lernorte (z. B. Museen) und Akteure (z. B. Forschende aus Fachwissenschaften) ein.

Aus dieser Fokussierung ergeben sich inhaltliche und methodische Fragestellungen, die sich die Forschungslinie eng aufbauend auf den Arbeiten des vorhergehenden Forschungsplans widmet. Sie lassen sich den vier Handlungsfeldern (a) Adressatenorientierung, (b) Rezeption und Wirkung, (c) Methoden und Designs sowie (d) Transfer und Implementation zuordnen.

Wie bisher verbindet die Forschungslinie mit ihrem Ansatz der forschungsbasierten und forschungsbegleiteten Entwicklung *Theoria cum praxi* im Sinne der Maxime der Leibniz-Gemeinschaft. Übergreifende Forschungsziele mit theoretischer Herleitung und empirischer Fundierung sind mit Entwicklungsarbeiten und Transferaktivitäten verbunden. Das IPN übernimmt auch zentrale Aufgaben in internationalen, bundesweiten und regionalen Verbünden. Beispiele dafür sind die Organisation der bundesweiten Auswahlrunden für die internationalen ScienceOlympiaden, die Kieler Forschungswerkstatt als *Joint Lab* zwischen IPN und Christian-Albrechts-Universität zu Kiel (CAU), die systematische Konzeption und Beforschung von Outreach-Projekten großer Forschungsverbünde wie Sonderforschungsbereichen sowie die Initiierung von und Beteiligung an kooperativen Leibniz-Strukturen, unter anderem den Leibniz-Forschungsmuseen. Ergänzend wurde mit dem Wissenschaftskommunikationsforschungszentrum *Kiel Science Communication Network* (KielSCN) ein neuer Schwerpunkt auf visuelle Wissenschaftskommunikation in Zusammenarbeit mit der CAU und der Muthesius Kunsthochschule in Kiel aufgebaut. Die in der Forschungslinie entstehenden evidenzbasierten Angebote bilden ein breites Spektrum von Enrichment-Angeboten für talen-



VERANTWORTLICH:

Ilka Parchmann &
Melanie Keller (Sprecherinnen),
Olaf Köller, Knut Neumann,
Carolin Enzingmüller



tierte oder interessierte Schülerinnen und Schüler (z. B. Wettbewerbe, Schülerlabore) über Outreach-Events für Jugendliche und Lehrkräfte bis hin zu Ausstellungen und digitalen Formaten für die nicht-wissenschaftliche Öffentlichkeit ab.

Adressatenorientierung

Im Handlungsfeld Adressatenorientierung stehen die Untersuchung von Gewinnungs- und Förderfaktoren auf Teilnehmenden- wie auch auf Angebotsebene im Fokus. Ziel ist es, Erkenntnisse darüber zu gewinnen, wie Angebote differenzierter gestaltet werden können, um zusätzliche Personengruppen einzubeziehen und sowohl eine zielgerichtete als auch adressatenspezifische Breiten- und Talentförderung weiterzuentwickeln. Untersuchungen zu Gewinnungs- und Förderfaktoren wurden in vergangenen Forschungsplanperioden in den Bereichen von Schülerwettbewerben, Schülerlabor- und -forschungszentren, Citizen Science und Museen umgesetzt. Daraus resultierten sowohl Erkenntnisse über primär adressierte und unteradressierte Gruppen, Teilnehmenden- und Förderprofile als auch über Faktoren, die Teilhabe begünstigen oder erschweren. Auch in der kommenden Forschungsplanperiode sind Begleitstudien zu eigenen und weiteren Förderprogrammen vorgesehen. Darüber hinaus sollen grundlagenorientierte Forschungsarbeiten zur Weiterentwicklung von Interaktionsmodellen, insbesondere mit Blick auf MINT-Identitäten und differenzierte bzw. adaptive Förderansätze realisiert werden.

FÖRDERUNG VON MINT-IDENTITÄTEN. Für die Untersuchung von Faktoren, welche die (erfolgreiche) Teilhabe an Enrichment- und Outreach-Angeboten beeinflussen und sich damit auf Bildungslaufbahnen und berufliche Entscheidungen auswirken können, stützen sich die Arbeiten der Forschungslinie auf wissenschaftliche Rahmenmodelle aus der Psychologie sowie den Bildungswissenschaften. Auf deren Basis sollen zentrale Mechanismen der Identitätsentwicklung und deren Kontextabhängigkeit analysiert werden. Dafür wird ein erster Schwerpunkt auf die quantitative Erhebung der MINT-Identität von Schülerinnen und Schülern gelegt, die an außerschulischen Lernprogrammen teilnehmen. Hierfür soll eine Untersuchung Jugendlicher im Alter von 16 bis 21 Jahren repliziert und auf eine jüngere Zielgruppe in außerschulischen naturwissenschaftlichen Programmen angewandt werden. Als Kernfragestellung wird untersucht, wie wahrgenommene Kompetenz und verschiedene Wertkomponenten die Teilnahme beeinflussen. Die differenzierte Analyse nach soziodemografischen Merkmalen wird zeigen, inwieweit Geschlecht, sozialer Hintergrund und Zuwanderungshintergrund Effekte auf die Erwartungen und Werte haben und somit die Identitätsentwicklung indirekt beeinflussen. Darauf aufbauend sind längsschnittliche Untersuchungen geplant, um Effekte der MINT-Identitätsentwicklung auf Bildungs- und Berufsentscheidungen zu erfassen (s. auch Handlungsfeld Rezeption und Wirkung, S. 44ff.). Ziel ist dabei, weitere Erkenntnisse darüber zu gewinnen, wie die Teilnahme an außerschulischen Programmen die Fächerwahl in der Schule, die Studienwahl und die berufliche Laufbahn beeinflusst. Mit der Gruppenzugehörigkeit zu MINT-Interessierten wird ein Konstrukt berücksichtigt, das sich langfristig auf Bildungslaufbahnen auswirken kann, bislang durch die Forschung aber noch vergleichsweise wenig



beachtet wird. Ein dritter Fokus liegt auf geplanten Arbeiten, die die Übertragbarkeit der MINT-Identität aus außerschulischen Programmen in den Schulalltag adressieren. Dabei stellt sich die zentrale Frage, ob und wie die in Enrichment-Angeboten entwickelte Identität von Schülerinnen und Schülern im schulischen Kontext genutzt und weiterentwickelt werden kann oder ob diese Identität primär auf die außerschulischen Räume beschränkt bleibt und es damit ggf. zu einer Kompartmentalisierung der Identität kommt. Die Erkenntnisse sollen sowohl in Förderangebote als auch in Handreichungen und Fortbildungsangebote einfließen, wie bereits zu Fragen von Genderdisparitäten und unteradressierten Gruppen in Kooperation mit bundesweiten und internationalen Partnern realisiert. So soll die in der Abteilung Fachbezogener Erkenntnistransfer (FET) vorhandene Expertise genutzt werden, um eine Fortbildung für Multiplizierende weiterzuentwickeln und zu testen, die darauf abzielt, MINT-Identität bei Schülerinnen und Schülern gezielt zu fördern (siehe auch Vorhaben zur Erweiterung der FET-Aktivitäten auf die Naturwissenschaften, S. 37). Im Rahmen einer Interventionsstudie ist mittelfristig vorgesehen, die Wirksamkeit der Fortbildung auf die Identitätsentwicklung von Schülerinnen und Schülern zu untersuchen, die an außerschulischen naturwissenschaftlichen Programmen teilnehmen.

TEILNEHMENDENPROFILE ALS GRUNDLAGE DIFFERENZIERTER TALENT-E-FÖRDERANSÄTZE.

Im Rahmen der Forschungsplanperiode 2021 bis 2025 wurden die Daten des abteilungsübergreifenden Projekts *Wirkungen naturwissenschaftlicher Schülerwettbewerbe* (WinnerS) mit Bezug zur PhysikOlympiade mittels Profilanalysen vertiefend ausgewertet. Ziel war es, die Bedürfnisse der Teilnehmenden besser zu verstehen, um sie gezielt bei der Entwicklung ihrer MINT-Potenziale zu unterstützen. Gerade in den ersten Runden ist ein durchaus breites Leistungsspektrum zu finden. Besonders auffällig war ein substanzialer Anteil an Teilnehmenden mit vergleichsweise geringen physikalischen Problemlösefähigkeiten. Dies unterstreicht die Notwendigkeit, spezifische Unterstützungsmaßnahmen zur Förderung physikalischer Problemlösekompetenzen im Wettbewerb bereitzustellen. Auf Basis dieser Erkenntnisse wurden erste Ansätze entwickelt, bei denen Verfahren der Künstlichen Intelligenz (KI) eingesetzt werden, um automatisiertes Feedback zu physikalischen Problemlösungen zu generieren. In Zusammenarbeit mit der Pädagogischen Hochschule Heidelberg entstand ein KI-basiertes Feedbacksystem zur Förderung der Problemlösefähigkeiten. Die während der laufenden Testphase erhobenen Daten sollen genutzt werden, um das System weiterzuentwickeln. Insbesondere sollen adaptive Elemente integriert werden, sodass das generierte Feedback zukünftig individuell auf die Lernenden abgestimmt ist und die Aufgaben basierend auf einem dynamischen Modell der jeweils nutzenden Person ausgewählt werden. Ein weiterer Vorteil dieses Systems besteht darin, dass es mittelfristig auch in anderen Wettbewerben und MINT-Förderangeboten eingesetzt werden könnte, um neue Teilnehmende zu gewinnen und gezielt vorzubereiten. Das Erkenntnisinteresse ist in der Forschungsplanperiode 2026 bis 2030 auf übergeordnete Fragestellungen zur effektiven KI-gestützten Förderung von motivierten und potenziell hochleistenden Schülerinnen und Schülern gerichtet. Unter anderem soll untersucht werden, inwiefern vortrainierte große Sprachmodelle – wie bspw. die GPT-Modelle von OpenAI – geeignet sind, Aufgaben zur Messung des physikalischen Problemlösen zu generieren. Ein Vorteil solcher Modelle liegt darin, dass sie auch mit



wenigen bis gar keinen Schülerlösungen zu spezifischen Problemen genutzt werden können. Da valide Messungen jedoch eine notwendige Voraussetzung für die Generierung individuellen Feedbacks darstellen, kommt der Evaluierung solcher Modelle eine besondere Bedeutung zu. Im Hinblick auf die Gestaltung von Feedback sollen Fragen geklärt werden, wie adaptives Feedback optimal gestaltet werden kann, um physikalische Problemlösefähigkeiten effektiv zu fördern. Dabei wird auch untersucht, unter welchen Bedingungen regelbasierte (*Rule-based*) oder datengetriebene (*Data-driven*) KI-Ansätze besser für die Generierung von Feedback geeignet sind. Diesbezüglich ist eine enge Kooperation mit der Forschungslinie Fachliches Lernen im vorschulischen und schulischen Bereich vorgesehen.

ZIELGRUPPENERWEITERUNG IN MUSEEN. Im Kontext von Museen verfolgt die Forschungslinie weiterhin das Ziel, deren Bedeutung als außerschulische Lernorte – gerade bei bildungsbenachteiligten Bevölkerungsschichten – zu fördern und über empirische Studien einen Beitrag zu dem gesamtgesellschaftlichen Bildungsauftrag von Museen zu leisten. Eine aus dem Leibniz-Kompetenzzentrum Lernen im Museum im Rahmen des Projekts *Leibniz-Platform for Advancing and Supporting Visitor Research in Museums* (LePAS) heraus gestaltete nutzungsfreundliche Onlineplattform zielt darauf ab, Werkzeuge zu sammeln und bereitzustellen, mit denen zuverlässig standardisierte Daten von Personen gewonnen werden können, die ein Museum besuchen. Die Onlineplattform wird in der kommenden Forschungsperiode systematisch weiterentwickelt und für Datenerhebungen und -auswertungen genutzt; unter anderem ist angedacht, eine KI-gestützte Auswertung der Ergebnisse zu implementieren. Gleichzeitig werden bereits erhobene Daten zu Besucherinnen und Besuchern von 22 Museen und Science Centern in Deutschland und Österreich als Grundlage in die Onlineplattform eingepflegt. Ziel ist es, durch den strategischen und gemeinsamen Einsatz von Daten zunehmend besser zu verstehen, wodurch sich Personen auszeichnen, die Museen und Science Center besuchen (ihre Motive, aber z. B. auch soziodemografische Merkmale). Auf dieser Basis soll der Museumsbesuch bislang unteradressierter Gruppen gezielter gefördert werden. Damit verbunden zielen empirische Untersuchungen darauf ab zu verstehen, wie datengestützte Entscheidungen in der Ausrichtung, Gestaltung und Nutzung durch eine gemeinsam genutzte Dateninfrastruktur in Museen implementiert werden kann.

Rezeption und Wirkung

Die Arbeiten im zweiten Handlungsfeld zielen darauf ab zu verstehen, wie bestimmte Gestaltungsmerkmale Rezeption, Nutzung und Wirkung beeinflussen. Ein Fokus der Arbeiten soll darauf liegen, wie momentane Nutzungs- und Interaktionsprozesse so optimiert werden können, dass eine langfristige Wirkung erzielt werden kann. Ein weiterer Fokus wird in der Untersuchung epistemischer Netzwerke liegen und der Frage nachgehen, wie, wo und in welcher Form Menschen wissenschaftlichen Informationen in ihrem Alltag begegnen bzw. sie diese nutzen und in sogenannten epistemischen Netzwerken miteinander teilen.



EMOTIONALE PROZESSE IN DER WISSENSCHAFTSKOMMUNIKATION. Emotionen spielen in der Wissenschaftskommunikation eine zentrale Rolle, wenn es darum geht, wie Menschen der nicht-wissenschaftlichen Öffentlichkeit wissenschaftliche Informationen wahrnehmen, diesen Vertrauen schenken und wie sie sie verarbeiten und für bspw. individuelle Entscheidungsprozesse nutzen. Im KielSCN wird aktuell zunächst ein konzeptueller und methodischer Rahmen entwickelt, in dem momentane Nutzung und kognitive und emotionale Verarbeitungsprozesse von langfristige(re)n Wirkungen unterschieden werden. Daran gekoppelt wird ein Rahmenmodell zur Qualität von Visualisierungen im Kontext der Wissenschaftskommunikation, in dem – basierend auf Erkenntnissen aus Wissenschaftskommunikation und Informationsdesign – Gestaltungsmerkmale identifiziert und systematisiert werden. Auf Basis dieser theoretischen Überlegungen werden verschiedene Studien durchgeführt, um Erkenntnisse zu gewinnen, wie bestimmte visuelle Gestaltungsmerkmale über die Optimierung momentaner Nutzungsprozesse langfristige Wirkungen günstig beeinflussen können. Emotionale Appelle mit visuellen Gestaltungsmitteln werden darauf untersucht, inwieweit sie korrespondierende Handlungssintentionen positiv beeinflussen. Dabei werden sogenannte *Embedded Assessments* nicht nur zur Erfassung der momentanen Emotionen direkt innerhalb des Formats eingesetzt, sondern auch als Mittel, um für Nutzende ihre emotionale Awareness zu steigern und so ggf. maladaptiven Auswirkungen bestimmter Emotionen wie Angst und Ekel vorgreifen zu können. In einer anderen Arbeit stehen statistische Unsicherheit und deren Visualisierung im Mittelpunkt. Diese Unsicherheit ist zwar in der Wissenschaft allgegenwärtig, für Nicht-Wissenschaftler:innen aber nur schwer zu verstehen und zu bewerten. In verschiedenen Studien wird getestet, inwieweit unterschiedliche Visualisierungen von Unsicherheit den wahrgenommenen momentanen Nutzen der zur Verfügung gestellten Informationen beeinflussen. Die Studien entstehen dabei teilweise in Zusammenarbeit mit dem KielSCN-Praxispartner Spektrum der Wissenschaft und werden in Real-Life-Experimenten umgesetzt. Diese Arbeiten werden aus der laufenden Forschungsplanperiode fortgeführt.

UNTERSTÜTZUNG VON KARRIEREORIENTIERUNG IN AUSSERSCHULISCHEN

BILDUNGSANGEBOTEN. Aufbauend auf vorhergehenden Arbeiten zu Wissenschaftsverständnis und Interessen sowie auf grundlegenden Studien zu MINT-Identitäten (s. Handlungsfeld Adressatenorientierung, S. 42ff.) sollen Förderangebote an außerschulischen Lernorten mit einem Schwerpunkt auf Studien- und Berufsorientierungen in verschiedenen MINT-Kontexten theoriebasiert weiterentwickelt werden. Die Wirkungen dieser konzipierten Lernangebote auf Studien- und Berufswahlorientierung von Jugendlichen, aber auch auf deren Interesse und fachspezifische Identitäten soll anschließend empirisch überprüft werden. Diese Arbeiten werden, wie bisher, im Rahmen von Outreach-Projekten und mittels *Evidence-based-Design-* und *Design-based-Research*-Ansätzen realisiert (s. auch Handlungsfeld Methoden und Designs, S.47ff.), um die Entwicklung von Produkten mit der Beantwortung von Forschungsfragen zu verknüpfen. Die so entstehenden Lernangebote werden im Rahmen von Sonderforschungsbereichen und Exzellenzclustern im Bereich Medizin, Gesundheit und Technik und gemeinsam mit Forschenden aus den Fachwissenschaften entwickelt. Diese unmittelbare Einbindung der Fachwissenschaften sichert unter anderem die Aktualität und



Authentizität der Forschungsthemen. Für die Entwicklung und Implementation werden zudem Strukturen wie die Kieler Forschungswerkstatt genutzt. Für den Transfer der gewonnenen Erkenntnisse werden neben den eigenen Strukturen auch etablierte Netzwerkkooperationen eingebunden wie etwa *Lernort Labor* oder das bundesweite digitale Kompetenzzentrum *Digitalisierungsbezogene und digital gestützte Professionalisierung von MIN-Lehrkräften* (DigiProMIN). Ebenso wird das von der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG) geförderte Netzwerk zu *Science Outreach* fortgeführt.

EPISTEMISCHE NETZWERKE. Ausgangspunkt eines neuen Schwerpunktes der Forschungslinie ist die bedeutsame Tatsache, dass Jugendliche und andere Menschen der allgemeinen Öffentlichkeit nicht nur von Wissenschaftskommunikation oder schulischen sowie außerschulischen Bildungsangeboten adressiert werden, sondern sie ebenso auch selbst als Kommunizierende aktiv wirken, indem sie bspw. in ihren Netzwerken wissenschaftliche Informationen teilen und diskutieren. Unter diesem Fokus sollen Projekte weiterentwickelt und initiiert werden, die auf der Konzeptualisierung sogenannter *Epistemic Networks* basieren. Die Idee der Epistemic Networks ist, dass Menschen wissenschaftliche Informationen nicht nur individuell, sondern in sozial-epistemischen Netzwerken nutzen. So wird ein Verständnis von und Einstellung zu *Socio-scientific Issues* (SSI), also komplexen, oft kontroversen Sachverhalten an der Schnittstelle von Wissenschaft und Gesellschaft, gemeinsam konstruiert und aufgebaut. Die für diese Prozesse relevante Scientific Literacy ist dabei ebenso nicht nur ausschließlich individuell, sondern in den Netzwerken verstreut oder geteilt vorhanden. Die bisherige Forschung, auf der die Idee der Epistemic Networks fußt, ist vielfach qualitativ und auf Einzelfallanalysen basierend. Die Projekte in diesem Bereich sollen sich in der Forschungsplanperiode 2026 bis 2030 daher auch der (quantitativen) Modellierung und Analyse dieser Netzwerke widmen, um Erkenntnisse darüber zu gewinnen, wie Menschen (a) welche Personen in ihrem unmittelbaren sozialen Umfeld zu (b) welchen Fragestellungen bzw. SSI aktivieren. Damit verbunden ist von Interesse, wie Gestaltungsmerkmale geteilter wissenschaftlicher Informationen, bspw. in Texten oder Visualisierungen, Interaktion in diesen Netzwerken und den Aufbau eines geteilten Verständnisses bzw. Einstellungen beeinflussen.

Dazu wird im Rahmen eines bereits begonnenen Projekts *Critical Information Processing* untersucht, wie Schülerinnen und Schüler der Sekundarstufe Argumente in für sie relevanten wissenschaftlichen Texten verstehen, bewerten und zur Entscheidungsfindung nutzen. Hier soll bspw. weiter untersucht werden, wie die Plausibilität von Argumenten und die Glaubwürdigkeit ihrer Quellen die Bereitschaft von Schülerinnen und Schülern beeinflussen, Informationen über soziale Netzwerke mit anderen zu teilen. In einem weiteren, zwischen dem KielSCN und der MINT-Akademie Schleswig-Holstein verorteten Projekt wird zunächst ein Bildungsangebot für Jugendliche im Kontext Pharmazie entwickelt. Darauf aufbauend werden die Auswahl und argumentative Bewertung visueller Formate der Wissenschaftskommunikation für rezeptive (z. B. das eigene Lernen) und aktiv kommunizierende (z. B. die Unterhaltung mit Freunden) Kontexte analysiert, unter anderem nach Kriterien wie Komplexität und Inhaltsumfang, Ästhetik oder emotionaler Wirkung. Mittelfristig ist darauf aufbauend die Erstellung einer Auswahl an adressatenorientierten visuellen Infor-



mationen geplant, die in die Weiterentwicklung von Programmen an Schnittstellen von extracurricularer Bildung und Wissenschaftskommunikation einfließen. Ein drittes forschungslinienübergreifendes Interesse in Kooperation mit der Forschungslinie Fachliches Lernen im vorschulischen und schulischen Bereich besteht darin zu untersuchen, in welchen Formen wissenschaftliche Informationen und Evidenzen Menschen in ihrem Alltag begegnen und wie sie diese nutzen. Die hier geplanten Projekte werden zunächst darauf abzielen, solche sozial-epistemischen Netzwerke zu modellieren, um sie einer wissenschaftlichen Analyse zugänglich zu machen. Dabei sind unterschiedliche Ansätze denkbar: personenzentrierte oder medienzentrierte Perspektiven sowie statische oder dynamische Modellierungen. Zunächst sollen die Interaktionsprozesse in den Netzwerken bspw. bezüglich des Aufbaus eines geteilten Verständnisses oder Bewertung einer Fragestellung oder SSI analysiert und beschrieben werden. Auch hier sollen Erkenntnisse darüber gewonnen werden, wie Gestaltungsmerkmale wissenschaftlicher Informationen die Interaktionsprozesse beeinflussen. Ein weiterführendes Ziel ist es, Individuen dazu zu befähigen, ihre eigenen Netzwerke zu reflektieren, deren Stärken und Schwächen einzuschätzen und daraus einen bewussteren, reflektierten Nutzen für ihren Alltag zu ziehen.

Methoden und Designs

Ein zentraler Ansatz der bisherigen Arbeit in der Forschungslinie war und ist es, in die Entwicklung von extracurricularen Bildungs- und Wissenschaftskommunikationsangeboten neben Bildungsforschenden auch Fachforschende und Praktiker:innen aus verschiedenen Kontexten einzubeziehen, um den Transfer der Fachthemen und -arbeitsweisen authentisch, evidenzbasiert und ökologisch valide zu gestalten. Dieser Anspruch bringt jedoch auch Herausforderungen mit sich, die zum einen die Qualitätssicherung und Übertragbarkeit der Designprozesse zwischen Akteuren, Themenfeldern und Kontexten betreffen und zum anderen die Evaluierung in überwiegend nicht formalen Kontexten mit freiwilligen Teilnehmenden.

Für eine zukünftig auch an andere Standorte übertragbare Abbildung und Qualitäts sicherung von doppelt forschungsbasierten Entwicklungsprozessen im Zusammen wirken sehr unterschiedlicher Expertinnen und Experten sollen in der Arbeit der Forschungslinie übergeordnet *Modes of Doing* projektübergreifend retrospektiv hinsichtlich realisierter Qualitätskriterien, Workflows und Outputs reflektiert werden, wie es analog in dem von der DFG geförderten Netzwerk zu Science Outreach avisert ist. Erfahrungs- und prozessbasiertes Wissen (bspw. in Form von Typologien, Qualitätsframeworks und Best Practices, Prozessbeschreibungen sowie Tools und Toolboxes zur ziel- und bedarfsoorientierten Unterstützung, hier auch arrondiert um Embedded Assessments) soll im Hinblick auf einen Transfer auf zukünftige Projekte zusammen geführt werden und somit Kohärenz, Kontinuität und Transparenz der vielfältigen Entwicklungs- und Forschungsarbeiten klarer sicherstellen.

Die Modes of Doing lassen sich derzeit entlang eines Spektrums von designgetrieben bis forschungsgetrieben anordnen, wobei drei zentrale Modi unterschieden werden:



- **EVIDENCE-BASED DESIGN.** Hier steht das zu entwickelnde Produkt im Vordergrund. Entscheidungen und Gestaltungsprozesse werden jedoch auf der Grundlage wissenschaftlich fundierter Erkenntnisse und empirischer Forschung getroffen. Zum Beispiel werden Lernmaterialien oder Kommunikationsstrategien entwickelt, die auf bewährten Erkenntnissen darüber beruhen, wie Menschen wissenschaftliche Informationen aufnehmen, verarbeiten und anwenden. Wesentlicher Output in diesem Ansatz ist ein evidenzbasiertes Produkt, das in Bildungs- oder Kommunikationskontexten zur Verfügung gestellt und eingesetzt werden kann.
- **DESIGN-BASED RESEARCH.** Dieser Ansatz zielt sowohl darauf, Produkte zu entwickeln, als auch theoretisches Wissen, zum Beispiel über deren Nutzung, zu generieren. Produkte werden dabei in realen Kontexten gestaltet, getestet und optimiert – je nach Ausprägung wird dieser Zyklus mehrmals iterativ durchlaufen. Der Design-Prozess kann dabei kollaborativ oder partizipatorisch im Sinne von Co-Design gestaltet werden. Dies ermöglicht es, verschiedene Perspektiven – sei es aus der Forschung, der Praxis oder der Endnutzenden – einzubeziehen, was sowohl die Qualität der Ergebnisse als auch die Anwendbarkeit der entwickelten Produkte stärkt. Outputs sind neben dem Produkt selbst, das anschließend für Anwendungen zur Verfügung steht, auch Erkenntnisse zu dem Produkt innerhalb des jeweiligen Kontextes, bspw. zur Wirksamkeit bestimmter Gestaltungsmerkmale.
- **GRUNDLAGENORIENTIERTE FORSCHUNG.** Dieser Ansatz zielt auf wissenschaftliche Erkenntnisse zu einer bestimmten Fragestellung und einem bestimmten Forschungsdefizit ab. Der Ansatz soll beobachtete Effekte absichern, aber ebenso die Akzeptanz innerhalb der beteiligten wissenschaftlichen Communities sicherstellen.

Ziel wird es in der kommenden Forschungsplanperiode sein, diese Modes of Doing durch eine explizite Reflexion und Vergleich der vorherrschenden Praktiken weiterzuentwickeln. Dabei sollen Kernelemente und Qualitätskriterien festgelegt werden, die zukünftige Projekte erfüllen müssen, um eine Vergleichbarkeit des Vorgehens und Erkenntnisse dazu auch über einzelne Projekte hinaus zu erreichen. Konkrete Arbeitspakete in der kommenden Forschungsplanperiode werden sein:

- **DOKUMENTATION UND ANALYSE BESTEHENDER METHODEN.** Systematische Analyse der derzeit in der Forschungslinie eingesetzten Methoden, Paradigmen und Workflows in Bezug auf die drei Modes of Doing mit dem Ziel der Identifikation zentraler Elemente.
- **ENTWICKLUNG EINES QUALITÄTSFRAMEWORKS.** Definition von Qualitätskriterien und Best Practices für jeden Mode, um eine konsistente und transparente Evaluierung und Anwendung der Produkte zu gewährleisten.
- **ENTWICKLUNG VON PROZESSBESCHREIBUNGEN.** Erstellung von Kriterien oder standardisierter Verfahren für die Beschreibung von insbesondere Entwicklungsprozessen, die eine transparente, nachvollziehbare und vergleichbare Dokumentation bspw. für Publikationen sicherstellen.



- **ERSTELLUNG EINES GEMEINSAMEN OUTPUT- UND IMPACTPORTFOLIOS.** Entwicklung eines umfassenden Portfolios, das die unterschiedlichen Outputs in der Forschungslinie im Hinblick auf eine Impactorientierung bündelt.
- **WEITERENTWICKLUNG DER MODES OF DOING UND INTEGRATION INNOVATIVER METHODEN.** Identifikation innovativer Ansätze und deren Integration in die bestehenden, um die Methodenkohärenz und Qualität kontinuierlich zu steigern.

Transfer und Implementation durch Strukturentwicklung

Transferprozesse sind in der Forschungslinie nicht nur im Sinne der Vorstellung und Verbreitung erzielter Erkenntnisse und Produkte etabliert, sondern über strukturelle Entwicklungen auch selbst Ziel und Gegenstand der Forschungs- und Entwicklungsarbeit. In der neuen Forschungsplanperiode soll unter Rückgriff auf die Expertise der Abteilung FET gelingen, diese Prozesse der Verknüpfung von Forschung, Entwicklung und strukturellem Transfer bzw. struktureller Implementation expliziter zu dokumentieren (vgl. Handlungsfeld Methoden und Designs sowie Forschungslinie Professionelle Kompetenz und professionsbezogenes Lernen von Lehrkräften) und damit für andere Akteure und Programme leichter nutzbar zu machen.

Ein bereits gut dokumentierter und weiterhin angewandter Prozess betrifft die Aufbereitung neuer Forschungsthemen und -erkenntnisse für Bildungsprozesse. Hier wird auch zukünftig das Modell der Didaktischen Rekonstruktion genutzt, um in Kooperation mit Fachwissenschaften einerseits und Schulen bzw. außerschulischen Bildungsinstitutionen über die Kieler Forschungswerkstatt und die MINT-Akademie Schleswig-Holstein andererseits mittels verschiedener Transferformate Einblicke in aktuelle wissenschaftliche und technologische Entwicklungen, damit verbundene Berufsfelder und gesellschaftliche Entwicklungen zu bieten und eigene Aktivitätsbereiche für Jugendliche zu gestalten. Diese Arbeiten werden fortgeführt und in zunehmend co-curriculare Entwicklungen und Transferprozesse eingebunden. So werden bspw. Förderangebote im Kontext Medizin – Gesundheit – Ernährung sowohl für verschiedene Förderstufen der MINT-Akademie Schleswig-Holstein aufbereitet als auch für eine zukünftige schulische Nutzung als Lerneinheiten für etablierte Inhalte (vgl. *Curriculum Replacement Units* im Kontext Energie in der Forschungslinie Fachliches Lernen im vorschulischen und schulischen Bereich) und Projektarbeiten im Wahlpflichtbereich. Neben der inhaltlichen Produktentwicklung ist Ziel dieser Arbeiten, begleitende Fortbildungs- und Transferprozesse zu konzipieren und zu erproben, die neben den Fachlehrkräften auch Fachkonferenzleitungen auf der Systemebene einbinden und fächergemeinsame Perspektiven aufzeigen (vgl. Arbeiten der FET an Schnittstellen zu Naturwissenschaften). Die langjährigen Erfahrungen mit der Zusammenarbeit von Lehrkräften, Fachwissenschaften und Fachdidaktiken an der Kieler Forschungswerkstatt bilden dafür eine breite Basis.

Auch die systematischere Nutzung von Erkenntnissen für die Weiterentwicklung von Wettbewerben und Schülerforschungszentren bleibt Fokus der Transfer- und



Implementierungsvorhaben. Dabei sollen in der anstehenden Forschungsplanperiode insbesondere digitale Potenziale ausgebaut werden, basierend auf Praxisrückmeldungen und Erkenntnissen zu (nicht) erreichten Zielgruppen und adaptiven Förderprofilen.

Ein drittes Ziel, das bisher nur konzeptionell begonnen wurde, betrifft die systematische Implementierung von Erkenntnissen und Produkten der extra- bzw. co-curricularen Förderung für die Ausarbeitung und Umsetzung von Qualifizierungsangeboten für Personen in außerschulischen Bildungskontexten im Sinne der personalen Transferstrategie in Ergänzung zu den bereits gut etablierten materialen und in Teilen auch systemischen Strategien. Am Ziel der Entwicklung entsprechender Angebote im Sinne der Förderung von Bildungsökosystemen soll auch zukünftig in Kooperation mit Netzwerken wie Lernort Labor oder der Allianz für Lehrkräftebildung weitergearbeitet werden.



FORSCHUNGSLINIE
METHODENFORSCHUNG UND
MASCHINELLES LERNEN

FORSCHUNGSLINIE METHODENFORSCHUNG UND MASCHINELLES LERNEN

Die empirische Schul- und Unterrichtsforschung hat sich durch die digitale Transformation methodisch erheblich verändert und weiterentwickelt. Nicht nur sind Computer leistungsfähiger geworden, auch die Menge verfügbarer Daten hat sich deutlich vergrößert, was wiederum die Entwicklung der Künstlichen Intelligenz (KI) forciert hat: Die großen Datenmengen können genutzt werden, um intelligente Systeme über Maschinelles Lernen (Machine Learning) zu trainieren. Diesen Entwicklungen trägt das IPN in dieser Forschungslinie Rechnung, indem die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler mit ihren Forschungs-, Entwicklungs- und Servicearbeiten wichtige Wissens- und Anwendungsgrundlagen für die empirische Bildungsforschung schaffen. Die entsprechenden Arbeiten beziehen sich auf zwei Bereiche: Pädagogisch-psychologische Methodenforschung im engeren Sinne (*Educational Statistics*) sowie Fragestellungen der pädagogisch-psychologischen Diagnostik (*Educational Assessment*). Einen Überblick, welchen Themenfeldern die geplanten und teilweise auch schon laufenden Arbeiten entstammen, gibt Tabelle 1.



VERANTWORTLICH:

Oliver Lüdtke (Sprecher),
Aiso Heinze, Andrea Horbach,
Marlit Lindner

Tabelle 1: Struktur der Forschungslinie Methodenforschung und Maschinelles Lernen am IPN

Pädagogisch-psychologische Methodenforschung	Pädagogisch-psychologische Diagnostik
Methodik von Large-scale Assessments	Bildungsmonitoring
Analyse von Mehrebenenstrukturen	Diagnostik und Testentwicklung
Psychometrie	Testbearbeitungsprozesse
Schätzung von kausalen Effekten	Natural Language Processing

In vielen Fällen werden diese Themenfelder im Zusammenhang mit großen quer- und längsschnittlichen Bildungsvergleichsstudien (Large-scale Assessments; z. B. PISA, Programme for International Student Assessment; TIMSS, Trends in Mathematics and Science Study; NEPS, Nationales Bildungspanel) bearbeitet. Entstehen schon in diesen Studien große Datensätze, so generieren digitale Lernumgebungen, in denen alle Arbeitsschritte automatisch gespeichert werden, noch viel größere Datenmengen. Die Auswertung dieser Big Data erfordert Methoden des



Maschinellen Lernens, die natürlichsprachlichen Daten, die dabei anfallen wie zum Beispiel Freitextantworten, erfordern Verfahren des Natural Language Processings. Digitale Lernumgebungen bieten große Chancen, Schülerinnen und Schülern automatisierte lernunterstützende Rückmeldungen über ihre Arbeitsschritte und -ergebnisse zu geben. Auch hierbei helfen Methoden des Maschinellen Lernens in Kombination mit Verfahren des Natural Language Processings.

Neben der Entwicklung von Methoden werden in dieser Forschungslinie auch Empfehlungen für die wissenschaftliche Praxis in der empirischen Bildungsforschung generiert, zum Beispiel welche statistischen Verfahren für die jeweilige Datenauswertung geeignet sind. Hiervon profitieren insbesondere die empirisch ausgerichteten Arbeiten der anderen Forschungslinien im IPN. Ein Teil der Arbeiten ist eng mit dem Zentrum für internationale Bildungsvergleichsstudien (ZIB) abgestimmt. Das IPN ist Partnereinrichtung im ZIB, neben dem DIPF | Leibniz-Institut für Bildungsforschung und Bildungsinformation und der Technischen Universität München. Im ZIB werden unter anderem das Projektmanagement und die Berichterstattung von PISA auf nationaler Ebene koordiniert.

Pädagogisch-psychologische Methodenforschung

METHODIK VON LARGE-SCALE ASSESSMENTS. Im Zentrum von Large-scale Assessments wie PISA oder TIMSS steht die Bestimmung, wie sich die Kompetenzen von Schülerinnen und Schülern in verschiedenen inhaltlichen Domänen (z. B. Mathematik, Naturwissenschaften) verteilen, und der Zusammenhang dieser Kompetenzen zu zentralen Hintergrundvariablen (z. B. sozioökonomischer Status). Dabei werden die Kompetenzen als latente (unbeobachtete) Variablen interpretiert, deren Ausprägungen durch beobachtete Antworten auf Testaufgaben erfasst werden. Ein erster Forschungsstrang befasst sich mit der Plausible-Values-Technik, die zur Korrektur von Messfehlern bei der Erfassung der latenten Kompetenzen durch die beobachteten Testantworten standardmäßig eingesetzt wird. Bei diesem Verfahren werden die unbekannten Fähigkeitsausprägungen als ein spezieller Fall von fehlenden Werten angesehen und die latenten unbeobachteten Ausprägungen mehrfach durch plausible Werte (*Plausible Values*) ersetzt bzw. imputiert. Bei der Erzeugung der plausiblen Werte werden die Zusammenhänge zu den Kovariaten in einem sogenannten Hintergrundmodell berücksichtigt, das auch als Imputationsmodell bezeichnet wird. Es soll in den kommenden Jahren eine systematische Evaluation verschiedener Methoden zur Schätzung des Hintergrundmodells für die Fähigkeitswerte vorgenommen werden. Dazu werden statistische Verfahren für das Hintergrundmodell entwickelt und evaluiert, die (a) eine sehr große Anzahl von Variablen adäquat berücksichtigen, (b) den Umgang mit fehlenden Daten in den Kovariaten ermöglichen und (c) die Mehrebenenstruktur der Daten repräsentieren. Es soll damit möglich sein, präzisere Aussagen darüber zu machen, wie sich Kompetenzen einzelner Teilnehmerstaaten der Bildungsvergleichsstudien verteilen und wie die Kompetenzen mit Variablen aus dem Schülerfragebogen zusammenhängen.



Ein zweiter Forschungsstrang zur Methodik von Large-scale Assessments ist den methodischen Herausforderungen bei der Durchführung und Interpretation von quer- und längsschnittlichen Gruppenvergleichen (Trendschätzungen) gewidmet. Es sollen Verfahren entwickelt werden, die auch bei unterschiedlich funktionierenden Items (*Differential Item Functioning*) eine robuste Interpretation von Gruppenunterschieden ermöglichen.

Schließlich sollen in einem dritten Forschungsstrang statistische Methoden zur Modellierung von interaktiven Aufgaben entwickelt und evaluiert werden, die zunehmend in Large-scale Assessments eingesetzt werden (z. B. Learning in the Digital World in PISA 2025). Interaktive Aufgaben ermöglichen vertiefte Einblicke in das individuelle Lösungsverhalten, da die ausgeführten Aktionen mitsamt Zeitstempel dokumentiert werden. Die entwickelten Verfahren können sowohl dazu verwendet werden, die Aufgaben weiter zu optimieren, als auch geeignete Interventionen zu entwickeln, die bestimmte Gruppen von Personen (z. B. mit wenig Vorwissen) bei der Lösung der Aufgabe gezielt unterstützen.

ANALYSE VON MEHREBENENSTRUKTUREN. Merkmale des sozialen Kontextes wie zum Beispiel der Unterricht oder die soziale Zusammensetzung einer Schule sind wichtige Determinanten schulischer Lernergebnisse. Zur adäquaten Modellierung von Kontextmerkmalen gilt es, die Mehrebenenstruktur der erhobenen Daten zu berücksichtigen. Komplexe Mehrebenenstrukturen treten aber auch bei der Erhebung von Netzwerkdaten (etwa Round-Robin-Designs, in denen die Schülerinnen und Schüler sich gegenseitig beurteilen) oder der Beurteilung des Unterrichts aus verschiedenen Perspektiven (z. B. Schülerinnen und Schüler, Lehrkräfte, externe Beobachtende) auf. Ein Schwerpunkt dieses Themenfeldes besteht in der Entwicklung und Evaluation von Ansätzen zur Schätzung von Mehrebenenmodellen, die eine flexible und robuste Modellierung von Kontexteffekten unter Berücksichtigung unterschiedlicher Typen von Messfehlern ermöglichen (*Doubly Latent*). So wurde in einer Reihe von Arbeiten gezeigt, wie mithilfe von Bayes-Verfahren die Schätzung von Kontexteffekten in problematischen Datenkonstellationen (z. B. kleine Anzahl von Klassen, geringe Reliabilität) optimiert werden kann. Diese Arbeiten sollen weiter vertieft werden und sogenannte Zwei-Schritt-Verfahren entwickelt werden. Diese Verfahren besitzen den Vorteil, dass sie die Behandlung der Messfehler (1. Schritt) von der Schätzung der interessierenden Zusammenhänge (2. Schritt) separieren. Somit haben sie das Potenzial, zu robusteren Schätzungen von Effekten zu führen. Im IPN sollen die entwickelten Verfahren vor allem zur Modellierung der Effekte von Unterrichtsmerkmalen (z. B. Klassenklima, Klassenführung) auf Bildungsergebnisse (z. B. Kompetenzen, motivationale Orientierungen), aber auch zur Auswertung von Experience-Sampling-Studien eingesetzt werden.

In einem weiteren Forschungsstrang sollen mehrebenenanalytische Verfahren zur Auswertung von Metaanalysen weiterentwickelt werden. Im Rahmen von *Systematic Reviews* werden Metaanalysen standardmäßig zur quantitativen Zusammenfassung von Studienergebnissen eingesetzt. Metaanalytische Daten besitzen eine Mehrebenenstruktur: Die Effektstärken (Ebene 1) sind in Studien (Ebene 2) geschachtelt.



Ein besonderer Fokus soll auf der Entwicklung und Evaluation von metaanalytischen Strukturgleichungsmodellen (MASEM) liegen, die eine effektive Kombination von Einzelstudien zu einem Gesamtdatensatz ermöglichen. Auf Basis dieses Gesamtdatensatzes können dann Strukturgleichungsmodelle und die Effekte möglicher Moderatoren (z. B. Altersgruppe, Design der Studie) geschätzt werden. Auch hier sollen Bayes-Verfahren verwendet werden.

PSYCHOMETRIE. Die Erfassung von Kompetenzstrukturen und deren Entwicklung mithilfe von psychometrischen Modellen für latente Variablen, das heißt *Item Response Theory* (IRT) und *Structural Equation Modeling* (SEM), stehen im Zentrum vieler Forschungsarbeiten des IPN. Ein erster Forschungsstrang widmet sich der Entwicklung von Methoden zur Schätzung von ein- und mehrdimensionalen IRT-Modellen und SEMs, die hinsichtlich des benötigten Rechenaufwands effizient sind. Insbesondere in komplexen Item-Designs (z. B. Multi-Matrix-Designs) sowie bei Datensätzen mit einer Mehrebenenstruktur führen traditionelle Schätzverfahren wie das Maximum-Likelihood-Verfahren aufgrund der Auswertung von hochdimensionalen Integralen zu instabilen und sehr rechenintensiven Schätzungen. Einen vielversprechenden Ansatz zur Schätzung dieser Modelle stellen auch hier wieder Bayes-Verfahren dar. In diesem Kontext soll auch das Potenzial von Verfahren des Maschinellen Lernens zur Schätzung von Modellen mit latenten Variablen exploriert werden.

Ein zweiter Forschungsschwerpunkt im Themenfeld der Psychometrie befasst sich mit der Modellierung der Verlässlichkeit individueller Antworten in Leistungstests und Fragebögen als Indikatoren zugrunde liegender Fähigkeiten und Einstellungen. In beiden Teilbereichen sollen bestehende Mischverteilungsmodelle weiterentwickelt werden, um das Potenzial von Log-Daten (z. B. Antwortzeiten) und anderen Kovariaten (z. B. Aufmerksamkeitschecks) zur Klassifikation der Verlässlichkeit besser ausschöpfen zu können. So sollen zum Beispiel im Bereich der Leistungsmessung Antwortzeiten genutzt werden, um bestehende Ansätze, die eine binäre Klassifikation von Antworten als engagiert vs. nicht engagiert vornehmen, um feinere Abstufungen (z. B. schwach engagiert) zu erweitern. Im Bereich der Einstellungsmessung sollen Modellierungsansätze vorangetrieben werden, die verschiedene Informationsquellen gleichzeitig berücksichtigen, um die Klassifikationsgenauigkeit zu verbessern. Insgesamt sollen die entwickelten Verfahren zu einer valideren Erfassung von kognitiven und nicht-kognitiven Konstrukten beitragen.

Ein dritter Schwerpunkt soll sich mit Fragen zur Bestimmung der Messgenauigkeit (Reliabilität) von psychologischen Tests befassen – einem klassischen Thema der Psychometrie. Neben einer systematischen Evaluation von traditionellen Verfahren zur Bestimmung der Reliabilität im querschnittlichen und eindimensionalen Fall sollen vor allem Ansätze zur Schätzung der Reliabilität in komplexeren Designs wie zum Beispiel Mehrebenenstrukturen oder längsschnittlichen Designs entwickelt und evaluiert werden.



SCHÄTZUNG VON KAUSALEN EFFEKTEN. Aus der Sicht einer evidenzbasierten Bildungsforschung besteht ein besonderes Interesse an belastbaren kausalen Schlussfolgerungen über die Wirksamkeit gezielter Veränderungen im Bildungssystem. In diesem Themenfeld sollen statistische Verfahren untersucht werden, die auch bei fehlender Randomisierung (nicht-experimentelle Daten) eine zumindest vorsichtige kausale Interpretation von Zusammenhangsmustern ermöglichen. Ein Forschungsschwerpunkt widmet sich der umfassenden Evaluation von verschiedenen Gewichtungsansätzen (z. B. Propensity-Score-Gewichte) zur Schätzung von kausalen Effekten (z. B. Schülerinnen und Schüler erhalten Nachhilfe vs. keine Nachhilfe). Mithilfe dieser Ansätze werden die Daten so gewichtet, dass (zumindest approximativ) keine Unterschiede mehr zwischen der Treatment- und der Kontrollgruppe in den beobachteten Kovariaten (z. B. elterliche Unterstützung) bestehen. Des Weiteren können Gewichtungsansätze mit einer Outcome-Regression kombiniert werden, um eine robustere Schätzung (*Doubly Robust*) von kausalen Effekten zu erzielen. Diese Doubly-Robust-Verfahren sollen für die Schätzung der Effekte von diskreten (z. B. Nachhilfe, Schulform) und stetigen (z. B. Motivation) Treatments evaluiert werden. Die Schätzung der kausalen Effekte von stetigen Treatments (z. B. sogenannte *Dose-response Functions*) findet bisher in der Bildungsforschung nur wenig Beachtung, insbesondere, wenn die Daten eine Mehrebenenstruktur aufweisen. Zusätzlich soll auch exploriert werden, inwiefern Algorithmen des Maschinellen Lernens zur Modellierung komplexer Zusammenhänge (z. B. nichtlineare Effekte der Kovariaten) eingesetzt werden können, um das Risiko von Fehlspezifikationen zu minimieren.

In einem weiteren Forschungsstrang soll das Potenzial von längsschnittlichen Designs für die Schätzung kausaler Effekte vertieft untersucht werden. In der Bildungsforschung werden häufig Cross-Lagged-Paneldesigns umgesetzt, in denen (mindestens) zwei Variablen (X_t und Y_t) über die Zeit erhoben werden. Im Zentrum steht dabei der zeitversetzte Effekt (Cross-Lagged-Effekt) einer Variablen (X_{t-1}) auf eine andere Variable (Y_t). Ein Schwerpunkt soll auf den Effekten von zeitlich variierenden kausalen Variablen (z. B. kumulative Effekte des Unterrichts auf die Leistung über mehrere Messzeitpunkte) liegen. Besondere Aufmerksamkeit gilt dabei der flexiblen Kontrolle von zeitlich variierenden Kovariaten (z. B. über Gewichtungsverfahren) sowie der Behandlung von stetigen kausalen Variablen.

Pädagogisch-psychologische Diagnostik

BILDUNGSMONITORING. Mit seiner hohen Expertise im Bereich der Methodenforschung und befördert durch die fachdidaktischen Abteilungen ist das IPN prädestiniert, sich an der Planung, Auswertung und Dokumentation von internationalen Large-scale Assessments zu beteiligen. Das IPN ist als Mitglied des ZIB regelmäßig an der Planung, Auswertung und Dokumentation der nationalen PISA-Erhebung beteiligt. Im laufenden Jahr 2025 findet die aktuelle PISA-Erhebung statt, in der erstmalig neben den Kerndomänen Lesen, Mathematik und Naturwissenschaften auch die fremdsprachlichen Kompetenzen im Fach Englisch (Lesen, Hören, Sprechen) getestet werden. Als nationale Ergänzung erhebt das ZIB dabei auch die Schreibkompetenzen,



wobei ein Teil der getesteten Schülerinnen und Schüler die Texte mit Unterstützung von KI (*Large Language Models, LLM*) schreiben darf.

Darüber hinaus ist das Institut Mitglied im nationalen Konsortium für TIMSS. Die Planungen für das gemeinsame nationale Projektmanagement für TIMSS 2027 mit der Universität Hamburg und weiteren universitären und außeruniversitären Partnern haben bereits begonnen. Die Auswertung und Dokumentation der PISA-2025- und TIMSS-2027-Daten wird in den kommenden Jahren eine wichtige Rolle in der Forschungslinie spielen.

Bildungsmonitoring, wie es in diesen zwei Studien betrieben wird, ist eine zentrale wissenschaftliche und gleichzeitig bildungspolitiknahe Dienstleistung, die typischerweise Aufgabe von Leibniz-Instituten ist. Die generierten Datensätze werden darüber hinaus auch in der Forschungsplanperiode 2026 bis 2030 genutzt werden, um substanzwissenschaftlichen Forschungsfragen jenseits des Bildungsmonitorings nachzugehen.

DIAGNOSTIK UND TESTENTWICKLUNG. Das IPN ist Teil der Säule Kompetenzmessung im NEPS, welches vom Leibniz-Institut für Bildungsverläufe (LiBfBi) in Bamberg verantwortet wird. Am IPN werden Testaufgaben zur Erfassung mathematischer, informationstechnologischer und naturwissenschaftlicher Kompetenzen entwickelt. Nachdem in den ersten Jahren von NEPS Papier-und-Bleistift-Tests entwickelt wurden, erfolgt die Aufgabenentwicklung seit einigen Jahren ausschließlich für die computerbasierte Testung. Der Geltungsbereich der Kompetenzmessung reicht vom Kindergartenalter bis ins hohe Erwachsenenalter, wobei natürlich altersgruppenspezifische Aufgaben entwickelt werden. Dass die Testungen zukünftig online durchgeführt werden, bedingt neue Herausforderungen an die Testentwicklung. So könnten die getesteten Personen bei der Bearbeitung des Onlinetests andere Internetseiten aufrufen, um Lösungshilfen zu finden.

Die im Rahmen der Testentwicklung anfallenden Daten im IPN können immer wieder zur Beantwortung diagnostischer Fragestellungen genutzt werden. Dies betrifft Fragen der Konstruktvalidität, Fragen, wie sich Itemcharakteristiken verändern, wenn von Papier-und-Bleistift auf Computer umgestellt wird, und Fragen der Trendschätzung in Large-scale Assessments wie PISA (s. auch den Abschnitt Methodik von Large-scale Assessments, S. 54).

Darüber hinaus eröffnet der Einsatz digitaler Testverfahren und generativer KI vielversprechende Möglichkeiten zur Entwicklung innovativer Testformate, insbesondere für eine Neugestaltung der Diagnostik in formativen Bildungskontexten. Im Fokus stehen die Entwicklung und praktische Erprobung digitaler, gesprächsbasierter Diagnostiksysteme (*Conversation-based Assessment*), die automatisiertes Scoring mit elaboriertem KI-gestützten Feedback kombinieren, das durch einen virtuellen Agenten dargeboten wird. Ein zentraler Aspekt der Untersuchung ist die gezielte Variation und Analyse der Wirkung unterschiedlicher Gestaltungsmerkmale von Gesprächsumgebungen und Feedbackformaten. Dabei werden insbesondere der Einfluss dieser Merkmale



auf kognitive sowie affektiv-motivationale Prozesse während der Testbearbeitung und die Potenziale zur Generierung neuer Datenformate aus Gesprächsprotokollen untersucht. Ziel ist dabei, die Anwendungsmöglichkeiten und Potenziale gesprächsbasierter KI-gestützter Testumgebungen in verschiedenen Bildungskontexten systematisch zu erforschen.

TESTBEARBEITUNGSPROZESSE. Der hohe politische und gesellschaftliche Stellenwert der Ergebnisse aus Large-scale Assessments wie PISA begründet ein erhebliches Interesse, hohe Anforderungen an die Qualität der entsprechenden Testinstrumente zu stellen. Eine stetige Optimierung der verwendeten Messinstrumente ist notwendig, um die Reliabilität und Validität der resultierenden Daten zur Kompetenzeinschätzung von Schülerinnen und Schülern sicherzustellen. Testaufgaben können dabei basierend auf differenzierterem Wissen über kognitive Prozesse bei der Aufgabenbearbeitung systematisch geprüft und verbessert werden. Dies steht auch in Zusammenhang mit der voranschreitenden Digitalisierung von Tests. Digitale Tests bieten neue Optionen, Aufgabeninhalte und Testumgebungen zu gestalten. Deren Auswirkungen auf Testteilnehmende wurden bisher wenig untersucht und werden somit nicht erschöpfend verstanden. Dazu gehört insbesondere die Untersuchung multimedialer Darstellungen. Effekte von Text-Bild-Kombinationen in Testaufgaben sind besonders relevant zu verstehen, da sie in Testaufgaben im Bildungsmonitoring häufig eingesetzt werden. Experimentelle Studien sollen Aufschluss darüber geben, welche Bildarten mit welchen Effekten auf die Aufgabenschwierigkeit, die kognitive Belastung, die Bearbeitungszeiten und die Motivation von Schülerinnen und Schülern bei der Testbearbeitung einhergehen. Dabei werden sowohl Varianten statischer Bilder (z. B. unterschiedlich gestaltete repräsentationale und dekorative Bilder) als auch sequenziell animierte Illustrationen bzw. Prozessanimationen betrachtet. Diese Forschung ermöglicht eine empirisch fundierte, reflektierte Nutzung multimedialer Inhalte in Tests.

Vor diesem Hintergrund wird in der Forschungslinie auch Wissen über kognitive Prozesse bei der Bearbeitung von standardisierten Leistungstests generiert. Dafür nutzt sie einen kognitionspsychologisch geprägten Forschungsansatz in experimentellen Untersuchungen in Klassenzimmern, welcher ergänzt wird durch im Labor erhobene Blickbewegungsdaten. Dieser Ansatz bietet unter anderem die Möglichkeit, Testgestaltungsmerkmale und deren Interaktionen mit Aufgaben- und Personenmerkmalen eingehend zu untersuchen und dabei auch Verlaufsmessungen über die Testbearbeitungszeit einzubinden. Dies ist vor allem deshalb von großer Relevanz, da nicht nur die Aufgabenschwierigkeit oder Charakteristika der Personen, sondern zudem die Aufgabenposition einen systematischen Einfluss auf die Effekte von Aufgabengestaltungsmerkmalen haben kann. Um Hypothesen über mögliche Wirkmechanismen von Gestaltungsmerkmalen in Tests abzuleiten, werden vor allem Theorien und Prinzipien der Instruktions- und Kognitionspsychologie herangezogen.

NATURAL LANGUAGE PROCESSING. Mit der computerbasierten Testung sind nicht nur vielfältige Aufgabentypen und Antwortformate möglich, sondern auch ganz neue Verfahren der automatischen Auswertung von Antworten durch Methoden der Verarbeitung natürlicher Sprache (*Natural Language Processing*, NLP). So wurden schon in den



letzten Jahren bspw. in zwei Nachwuchsgruppen am IPN NLP-Verfahren genutzt, um Texte von Lernenden aus dem Englisch- und Naturwissenschaftsunterricht automatisch auszuwerten.

In den kommenden Jahren sollen Anstrengungen unternommen werden, die Entwicklung von Verfahren für die automatische Verarbeitung von unterschiedlichen Arten offener Antworten weiter voranzutreiben. Ein wichtiges Teilgebiet dabei ist die Freitextbewertung, bei welcher Antworten von Lernenden automatisch hinsichtlich ihrer Güte kodiert werden. Dabei werden die Texte entweder hinsichtlich ihrer konzeptuellen Korrektheit analysiert (*Automated Content Scoring*, ACS) oder hinsichtlich verschiedener Aspekte von sprachlicher und inhaltlicher Korrektheit (*Automated Essay Evaluation*, AEE). Voraussetzung für sowohl ACS als auch AEE sind große, menschlich annotierte Textkorpora. In vielen Fällen müssen die Korpora zunächst generiert werden, das heißt, große Stichproben von Schülerinnen und Schülern müssen entsprechende Texte schreiben. Spezifisch dafür qualifizierte Personen (menschliche Kodiererinnen und Kodierer, MK) müssen diese Texte annotieren, das heißt, sie mit den richtigen Bezeichnungen versehen, und so einen sogenannten Gold-Standard für die relevanten Bewertungskriterien erstellen. Die annotierten Daten können dann als Trainingsdaten im Machine-Learning-Prozess dienen.

Für das Training kommen verschiedene Arten von Maschinellen Lernverfahren zum Einsatz. Im klassischen Feature Engineering werden grundlegende, maschinell gut erfassbare Merkmale der Texte durch NLP elektronisch ausgewertet. Solche Merkmale können zum Beispiel den Gebrauch von bestimmten lexikalischen Einheiten (n-gramme), die Häufigkeit bestimmter sprachlicher Konstruktionen (Nebensätze, Passiv etc.), das Vorkommen von Grammatik- und Rechtschreibfehlern, Maße lexikalischer Komplexität, Kohärenz etc. erfassen. Je nach Umfang einer offenen Aufgabe können mehrere hundert Textmerkmale (*Text Features*) maschinell kodiert werden.

Alternativ können neuronale Netze verwendet werden, geeignete Merkmalsrepräsentationen automatisch zu finden. Dazu werden vortrainierte Sprachmodelle, sogenannte Transformer-Modelle, verwendet, die auf großen Mengen generischer Texte grundsätzliche Regelmäßigkeiten einer Sprache gelernt haben. Auch generative große Sprachmodelle (*Generative Large Language Models*) kommen zum Einsatz. Diese Klasse von Modellen bietet zusätzlich zur Encodierung menschlicher Sprache auch die Möglichkeit der Decodierung, also natürlichsprachlichen Output, der bspw. als formatives Feedback genutzt werden kann.

Neben der Erschließung von neuen Datenquellen soll in den nächsten Jahren beforscht werden, wie sich die verschiedenen Modellvarianten (feature-basiert, neuronal, LLM und ACS vs. AEE) in Bezug auf ihren Ressourcenhunger (menschliche Annotationen, aber auch Laufzeit) verhalten. Dabei spielt insbesondere der Transfer von Modellen auf neue Anwendungskontexte eine wichtige Rolle. Dieser Domänentransfer ist aktuell noch unzureichend beforscht, aber funktioniert bspw. im Bereich Essay Scoring bereits deutlich besser als im Content Scoring. Darüber hinaus sollen auch Erklärbarkeit und potenzielle Biases der Modelle untersucht werden, zum Beispiel



im Hinblick darauf, ob die Modelle für alle Untergruppen von Lernenden ähnlich gute Ergebnisse liefern.

Sämtliche Textmerkmale, sowohl im Feature Engineering als auch in neuronalen Netzen gefundene, können dann mithilfe von Techniken des Maschinellen Lernens mit den Bewertungen von menschlichen Kodiererinnen und Kodierern in Beziehung gesetzt werden und erhalten Vorhersagegewichte für die Werte der MK-Urteile. Typischerweise wird die Vorschrift, mit der die Textmerkmale die MK-Urteile vorhersagen, an einer Teilstichprobe der Texte ermittelt und an einer anderen Teilstichprobe validiert. Die Validierungsanalysen zeigen in der Regel, dass die automatisch generierten Urteile von ihrer psychometrischen Güte denen sehr gut geschulter MK nahekommen, das heißt, ein gut trainierter Computer wertet einen offenen Text annähernd so reliabel und valide aus wie menschliche Expertinnen und Experten.

Eine weitere Spielart der automatischen Freitextbewertung, die zukünftig stärker beforscht werden soll, ist die Kodierung bestimmter Elemente in längeren Texten, wie es bspw. beim *Argument Mining*, also der Erkennung von argumentativen Einheiten in argumentativen Essays, passiert. Während beim traditionellen ACS oder AEE Bewertungsurteile für den gesamten Text getroffen werden, werden hier Textabschnitte mit einer bestimmten Funktion im Text gefunden, um sie bspw. als neue Features für ein holistisches Texturteil oder als direktes Feedback an Lehrende oder Bewertende zurückzumelden.

Während die Bewertung sprachlicher Qualität in vielen Anwendungen gut möglich ist, ist die inhaltliche Bewertung gerade längerer Texte aktuell noch nicht zufriedenstellend. Hier soll in Zukunft bspw. ein stärkerer Fokus auf die inhaltliche Qualität von einzelnen Argumenten oder die Passung von Lernendenantworten auf (verstandene oder noch nicht verstandene) Konzepte des fachlichen Curriculums gelegt werden.

Zusätzlich zur vollautomatischen Bewertung sollen darüber hinaus Methoden der Bewertungsunterstützung beforscht werden, bei denen die finale Bewertungsentcheidung beim Menschen verbleibt (*Human-in-the-Loop-Ansätze*). Solche Methoden heben saliente Textmerkmale hervor oder clustern ähnliche Texte, um so zu einer höheren Erklärbarkeit und damit einer besseren Akzeptanz der Bewertung beizutragen.

Ein anderer methodischer Weg, um per Computer erhobene Antworten auf offene Formate auszuwerten, besteht im *Keystroke Logging*. Dabei wird das Tippverhalten von Personen aufgezeichnet und zu den MK-Bewertungen in Beziehung gesetzt, um bspw. frühzeitig im Schreibprozess durch Feedback intervenieren zu können. Auch hier nutzt man Algorithmen Maschinellen Lernens. Gegenüber der bisherigen Schreibprozessforschung, die sich häufig darauf konzentriert, wann und wieviel geschrieben wird (z. B. durch die Messung von Pausen und Bursts), soll nun auch verstärkt genutzt werden, dass – durch automatische Segmentierung, wie oben beschrieben – oft auch bekannt ist, was gerade geschrieben wird. Durch eine Kombination von Argument Mining und Keystroke Logging soll so zielgerichtetes Feedback im Schreibprozess ermöglicht werden.



Über die Freitextbewertung und daraus resultierendes Feedback hinaus sollen weitere Wege beforscht werden, wie durch NLP-Verfahren Lehr- und Lernprozesse unterstützt werden können. Ein Aspekt ist dabei die Bewertung der Schwierigkeit bzw. die lexikalische Vereinfachung von Texten für Lernende, also bspw. die Identifikation schwierigen Vokabulars und die Bereitstellung personalisierter Vereinfachungen oder Erklärungen.

