



## 1) Ursprüngliche Aufgabenstellung sowie wissenschaftlicher und technischer Stand, an den angeknüpft wurde

Das Verbundprojekt MINT-ProNeD hatte das Ziel, ein integratives Gesamtkonzept für die MINT-Lehrkräftebildung zu etablieren, das die digital gestützte und adaptive Förderung prozessbezogener Kompetenzen von Schülerinnen und Schülern in den MINT-Fächern in den Mittelpunkt stellt. Der Verbund arbeitete in drei thematischen Netzwerken zusammen: Fortbildung, Unterrichtsentwicklung und-beratung sowie Future Innovation Hub. Ergänzend dazu wurde ein querliegender Arbeitsbereich Translation und Dissemination eingerichtet, der die nachhaltige Verbreitung der Ergebnisse auf der Grundlage von Open-Educational-Resources-Produkten sicherstellt. Die wissenschaftliche Fundierung und Qualitätssicherung des Gesamtprojekts erfolgte durch die Beteiligung außeruniversitärer Forschungsinstitute und Landesinstitute für Lehrkräftebildung.

Das Teilprojekt des DIPF | Leibniz-Instituts für Bildungsforschung und Bildungsinformation war an den Netzwerken Fortbildung sowie Unterrichtsentwicklung und-beratung beteiligt. Seine zentrale Aufgabe bestand in der Entwicklung der Rahmenkonzeptionen, insbesondere für das Netzwerk Unterrichtsentwicklung und-beratung, sowie in der wissenschaftlichen Begleitung und Qualitätssicherung der Umsetzung an den beteiligten Hochschulstandorten. Darüber hinaus sollte das DIPF die Netzwerkpartner bei der Konzeption, Planung und Durchführung von Workshops und weiteren Formaten beraten, um die Erkenntnisse aus pädagogisch-psychologischer Forschung zu adaptiven Lernprozesse in die praktische Arbeit der Standorte zu integrieren. Hierzu wurde auf eigene Vorarbeiten zu digitaler, formativer Diagnostik im Schulkontext und deren Nutzung durch Lehrkräfte (siehe Schmitterer & Brod, 2021) sowie zu adaptiver Unterrichtsgestaltung (siehe Tetzlaff, Schmiedek, & Brod, 2021) zurückgegriffen.

## 2) Ablauf des Vorhabens

Zu Beginn des Vorhabens führte das Teilprojekt im Rahmen der Auftaktveranstaltung des Gesamtverbunds einen Workshop durch, in dem Grundprinzipien zur Individualisierung und Adaptivität von Lernprozessen erarbeitet wurden. Im Anschluss erfolgten vertiefte theoretische Arbeiten zur Integration verschiedener Ansätze der Individualisierung, etwa Intelligenter Tutorieller Systeme und selbstregulierten Lernens, in ein übergreifendes konzeptionelles Modell. Diese Arbeiten mündeten in ein wissenschaftliches Manuskript, das Ende 2024 veröffentlicht wurde (siehe Brod, 2024). Aus diesen Arbeiten ergaben sich weitere theoretische Arbeiten, die sich mit dem Spannungsfeld von Individualisierung und der Entwicklung von Agency – Handlungsmacht bzw. Selbstwirksamkeit – beschäftigen (siehe Brod, im Druck).

Darüber hinaus wurde diese Integration auch praktisch erprobt. Hierzu wurde an der Erstellung und Erprobung einer digitalen, adaptiven Lernapplikation für den Naturwissenschaftsunterricht gearbeitet, die beispielhaft den lernförderlichen Einsatz von modernen Bildungstechnologien im Fach Biologie in der Grundschule demonstrieren soll. Die Anwendung unterstützt die Kinder dabei, die Funktionsweise von Ökosystemen zu verstehen und gleichzeitig Experimentierfähigkeiten zu erwerben. Hierzu können in einem virtuellen Labor Versuche durchgeführt werden.

Im Netzwerk Unterrichtsentwicklung wirkte das DIPF maßgeblich an der Ausarbeitung eines schulübergreifenden Beratungs- und Entwicklungskonzepts mit und unterstützte die beteiligten Hochschulstandorte bei dessen Implementierung. Durch die Funktion von Prof. Brod als Co-Sprecher des Netzwerks nahm das Teilprojekt zudem eine koordinierende Rolle ein und war an der übergeordneten Steuerung des Verbundprojekts beteiligt, unter anderem durch die Vertretung des Netzwerks in den Projektleitungs- und Lenkungskreistreffen.

### 3) Wesentliche Ergebnisse sowie Zusammenarbeit mit anderen Forschungseinrichtungen

Das Teilprojekt am DIPF trug wesentlich zur wissenschaftlichen Fundierung des Verbundvorhabens bei und stellte die konzeptionelle Kohärenz der verschiedenen Maßnahmen sicher. Durch seine theoretische und empirische Expertise gewährleistete das DIPF, dass die Forschungsperspektive auf adaptive Lernprozesse in allen Projektphasen verankert blieb. Die enge Verbindung von theoretischer Modellbildung, praktischer Entwicklung und standortübergreifender Beratung ermöglichte eine kontinuierliche Rückkopplung zwischen Forschung und Anwendung. Damit leistete das DIPF einen zentralen Beitrag zur Qualitätssicherung und Nachhaltigkeit des Gesamtprojekts. Das Teilprojekt stärkte die evidenzbasierte Weiterentwicklung der MINT-Lehrkräftebildung und schuf Grundlagen für den langfristigen, pädagogisch fundierten Einsatz adaptiver digitaler Lerntechnologien in Schule, Lehramtsausbildung und Lehrkräftefortbildung.

Aufbauend auf dem vom Teilprojekt durchgeführten Workshop bei der Auftaktveranstaltung des Verbundprojekts wurden weiterführende konzeptionelle Arbeiten zur Individualisierung und Adaptivität von Lernprozessen entwickelt und publiziert. Im Zentrum stand dabei die theoretische Integration unterschiedlicher Ansätze der Individualisierung, insbesondere Intelligenter Tutorieller Systeme und selbstregulierten Lernens, um Synergien zwischen technologischer Adaptivität und pädagogischer Selbststeuerung aufzuzeigen (vgl. Brod, 2024). In einer weiteren Publikation wurden zudem Wege aufgezeigt, wie computergestützte Individualisierung mit der Förderung von Lernenden-Agency verbunden werden kann (Brod, im Druck). Diese Arbeiten bilden eine zentrale theoretische Grundlage für die Weiterentwicklung adaptiver Lernumgebungen im MINT-Bereich.

Darüber hinaus wurde im Teilprojekt eine digitale, adaptive Lernapplikation für den naturwissenschaftlichen Unterricht entwickelt und erprobt, die exemplarisch den lernförderlichen Einsatz moderner Bildungstechnologien im Fach Biologie in der Grundschule demonstriert. Die Anwendung steht kurz vor der Veröffentlichung und wird zukünftig als Beispiel für die Verbindung von adaptiver Technologieentwicklung und fachdidaktischer Forschung zur Verfügung stehen.

Im Netzwerk Unterrichtsentwicklung arbeitete das DIPF eng mit anderen Forschungseinrichtungen zusammen, insbesondere mit der Pädagogischen Hochschule Heidelberg und der Universität Tübingen. Diese Kooperation umfasste sowohl die Entwicklung der Rahmenkonzeption für das schulübergreifende Beratungs- und Entwicklungskonzept als auch die begleitende Unterstützung bei der praktischen Umsetzung. Durch diese enge Abstimmung zwischen Forschung und Praxis konnten die im Verbund entwickelten Konzepte effektiv aufeinander abgestimmt und ihre Transferfähigkeit in die Lehrerbildung und schulische Praxis sichergestellt werden. Die Verwertbarkeit der Ergebnisse ist umfassend gegeben. Die im Projekt gewonnenen Erkenntnisse und Erfahrungen wurden erfolgreich publiziert und die auf Grundlage der im Teilprojekt erarbeiteten Rahmenkonzeption sowie der begleitenden Beratung entwickelten Fortbildungs- und Unterrichtskonzepte wurden als offene Bildungsressourcen (OER) aufbereitet und stehen dauerhaft über etablierte Kanäle für die Lehrkräftefortbildung und die Unterrichtspraxis zur Nachnutzung bereit.

# MINT-ProNeD – Teilprojekt DIPF

## Sachbericht zum Verwendungsnachweis

### Teil II: Eingehende Darstellung

Leibniz-Institut für Bildungsforschung und Bildungsinformation (DIPF)

Förderkennzeichen:  
01JA23M02D

Vorhabenbezeichnung:

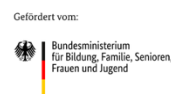
**Professionelle Netzwerke zur Förderung adaptiver, prozessbezogener, digital-gestützter Innovationen in der MINT-Lehrpersonenbildung (MINT-ProNeD) – Teilprojekt DIPF**

Laufzeit des Vorhabens: 01.04.2023 bis 30.09.2025

Berichtszeitraum: 01.04.2023 bis 30.09.2025



Finanziert durch die Europäische Union - NextGenerationEU und gefördert durch das Bundesministerium für Bildung, Familie, Senioren, Frauen und Jugend (BMBFSFJ). Die geäußerten Ansichten und Meinungen sind ausschließlich die des Autors/der Autorin und spiegeln nicht unbedingt die Ansichten der Europäischen Union, Europäischen Kommission oder des Bundesministeriums für Bildung, Familie, Senioren, Frauen und Jugend wider. Weder Europäische Union, Europäische Kommission noch Bundesministerium für Bildung, Familie, Senioren, Frauen und Jugend können für sie verantwortlich gemacht werden.



# Inhalt

<a href="#">1. Verwendung der Zuwendung und erzielte Ergebnisse</a> .....	7
<a href="#">2. Wichtigste Positionen des zahlenmäßigen Nachweises</a> .....	9
<a href="#">3. Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Projektarbeiten</a> .....	11
<a href="#">4. Voraussichtlicher Nutzen und Verwertbarkeit der Ergebnisse</a> .....	11
<a href="#">5. Bekannt gewordener Fortschritt auf dem Gebiet des Vorhabens bei anderen Stellen</a> .....	12
<a href="#">6. Liste der Veröffentlichungen</a> .....	12

## 1. Verwendung der Zuwendung und erzielte Ergebnisse

Die Mittel wurden im Berichtszeitraum bestimmungsgemäß zur Durchführung des Teilprojekts am DIPF – Leibniz-Institut für Bildungsforschung und Bildungsinformation eingesetzt. Das Teilprojekt war im Rahmen des Verbundprojekts *MINT-ProNeD* an den Netzwerken *Fortbildung* sowie *Unterrichtsentwicklung und -beratung* beteiligt. Ziel des Gesamtvorhabens war die Entwicklung eines integrativen Gesamtkonzepts für die MINT-Lehrkräftebildung mit einem Schwerpunkt auf der digital-gestützten, adaptiven Förderung prozessbezogener Kompetenzen von Schülerinnen und Schülern. Das Teilprojekt am DIPF übernahm dabei eine zentrale Rolle in der wissenschaftlichen Fundierung und theoretischen Rahmung der Verbundaktivitäten, um sicherzustellen, dass das Konzept der Adaptivität als leitendes Prinzip über alle Phasen der Projektarbeit hinweg konsistent umgesetzt wurde. Zu diesem Ziel hat das Teilprojekt konzeptionelle Grundlagen digital-gestützter, adaptiver Förderung erarbeitet sowie prototypisch erprobt im Kontext des MINT-Unterrichts. Die Arbeiten erfolgten in enger Abstimmung mit den Partnerstandorten und orientierten sich an den Arbeitspaketen des Gesamtprojekts.

### **Theoretische Grundlagen zu Adaptivität, Individualisierung und Lernenden-Agency**

Die Arbeiten im Teilprojekt dienten zunächst der theoretischen und konzeptionellen Fundierung des Gesamtvorhabens sowie speziell der Rahmenkonzeptionen in den Netzwerken *Fortbildung* (AP1.1) sowie *Unterrichtsentwicklung und -beratung* (AP 2.1). Ziel war es, zentrale Begriffe und Mechanismen adaptiver Lernprozesse zu klären, verschiedene theoretische Ansätze der Individualisierung miteinander zu verknüpfen und diese in ein kohärentes Rahmenmodell für adaptive Lehr-Lern-Prozesse im MINT-Bereich zu überführen.

Ausgangspunkt war die Beobachtung, dass digitale Lernumgebungen zunehmend Möglichkeiten bieten, Lernprozesse individuell zu gestalten. Der Einsatz digitaler Endgeräte und KI-gestützter Systeme ermöglicht die Zuweisung unterschiedlicher Aufgaben und Unterstützungsniveaus an verschiedene Lernende, etwa über formative Assessments oder intelligente tutorielle Systeme. Diese Form der Personalisierung – also die adaptive Anpassung von Lerninhalten und Unterstützung an die individuellen Bedürfnisse der Lernenden – hat in der Forschung und Praxis hohe Relevanz gewonnen. Gleichwohl zeigten sich konzeptionelle Lücken, insbesondere in der theoretischen Integration verschiedener Wege zur Personalisierung.

Das Teilprojekt adressierte diese Lücke, indem es auf Basis einer systematischen Literaturanalyse und konzeptioneller Synthese drei sich ergänzende Wege zur Personalisierung identifizierte: (1) die adaptive Aufgaben- und Unterstützungszuweisung durch Lehrkräfte oder KI-gestützte Systeme, (2) die Förderung selbstregulierten Lernens, und (3) die Entwicklung adaptiver Lernaktivitäten, etwa durch generative Lernstrategien oder differenzierende Aufgabenformate. Diese drei Wege wurden als gleichwertige, aber unterschiedlich wirksame Formen der Individualisierung beschrieben, die in ihrer Kombination ein besonders hohes Potenzial entfalten.

Das zentrale Ergebnis bestand in der theoretischen Ausarbeitung eines Modells, das sowohl ein Konzept für die Integration dieser Pfade zur Personalisierung liefert als auch empirisch anschlussfähig ist (veröffentlicht in Brod, 2024). Das Modell argumentiert, dass die Kombination von extern gesteuerter und intern regulierter Adaptivität nicht nur unmittelbare Lernleistungen verbessert, sondern auch langfristig zur Entwicklung übergeordneter Lernkompetenzen beiträgt. Diese Kombination erlaubt es, Lernumgebungen zu gestalten, die sowohl die individuelle Unterstützung durch Technologie als auch die aktive Selbststeuerung der Lernenden fördern. Die theoretischen

Arbeiten wurden im Verbund für die Ableitung didaktischer Prinzipien und Entwicklungsziele nutzbar gemacht.

Ein weiteres zentrales konzeptionelles Ergebnis dieser Arbeiten war die Einsicht, dass adaptive Lernumgebungen dann besonders effektiv sind, wenn sie nicht nur Informationen anpassen, sondern Lernende zunehmend in die Lage versetzen, selbst adaptive Entscheidungen zu treffen. Damit rückte das Konzept der Agency ins Zentrum der weiteren theoretischen und empirischen Arbeiten. In der Folge wurde im Rahmen des Arbeitspakets eine vertiefende theoretische Analyse der Lernenden-Agency durchgeführt, deren Ergebnisse in einer weiteren Publikation (Brod, im Druck) zusammengefasst sind.

Ausgangspunkt war die Beobachtung, dass die Diskussion über Agency im Kontext von KI-gestütztem Lernen bislang zu stark auf die Frage reduziert wird, wer die Entscheidungen im Lernprozess trifft – die Lernenden oder die künstliche Intelligenz. Diese dichotome Sichtweise greift jedoch zu kurz, da sie Agency auf formale Entscheidungsfreiheit reduziert, ohne die kognitiven und motivationalen Voraussetzungen für selbstbestimmtes Lernen zu berücksichtigen. Auf Grundlage psychologischer, pädagogischer und kognitionswissenschaftlicher Erkenntnisse wurde ein konzeptueller Rahmen entwickelt, der es erlaubt, Entwicklungsunterschiede und Förderpotenziale von Agency über die gesamte Schulzeit hinweg differenziert zu beschreiben. Agency wird darin nicht als statische Eigenschaft, sondern als sich entwickelnde Fähigkeit verstanden, die durch pädagogische Gestaltung und technologische Unterstützung gezielt gefördert werden kann.

Die theoretische Arbeit zeigt, dass Agency im Zeitalter der KI-gestützten Bildung eine Schlüsselfunktion einnimmt: Sie entscheidet darüber, ob Lernende Technologien nur passiv nutzen oder aktiv zur Gestaltung ihres Lernprozesses einsetzen können. Damit wurde im Arbeitspaket ein zentraler Beitrag zur aktuellen internationalen Diskussion über Lernen mit KI geleistet. Das entwickelte Modell dient im Verbund als theoretische Grundlage für die Gestaltung adaptiver digitaler Lernumgebungen, insbesondere im Hinblick auf die Balance zwischen technologischer Unterstützung und Lernendenautonomie.

Darüber hinaus wurden auf Basis dieser theoretischen Arbeiten didaktische Leitprinzipien abgeleitet, die adaptive Lehr-Lern-Prozesse im MINT-Unterricht strukturieren. Diese umfassen unter anderem die adaptive Anpassung von Lernangeboten unter Berücksichtigung individueller Lernvoraussetzungen, die gezielte Förderung metakognitiver Strategien zur Stärkung selbstregulativer Prozesse, sowie die Implementierung digitaler Werkzeuge, die nicht nur Aufgaben steuern, sondern Lernende zu aktiver Auseinandersetzung mit ihrem eigenen Lernverhalten anregen.

### **Entwicklung und Erprobung einer digitalen, adaptiven Lernapplikation für den naturwissenschaftlichen Unterricht**

Um die theoretischen Arbeit zu konkretisieren, wurde am DIPF eine digitale, adaptive Lernapplikation für den naturwissenschaftlichen Unterricht in der Grundschule entwickelt und erprobt. Ziel des Arbeitspakets war die konzeptionelle und empirisch fundierte Umsetzung einer Lernumgebung, die Schüler:innen dazu befähigt, zentrale prozessbezogene Kompetenzen des naturwissenschaftlichen Denkens – insbesondere das Planen und Interpretieren von Experimenten – in einem fachlich eingebetteten Kontext zu erwerben. Zugleich sollte die Anwendung das Verständnis ökologischer Zusammenhänge fördern und exemplarisch demonstrieren, wie adaptive digitale Lerntechnologien in schulische Lehr-Lernprozesse integriert werden können, um Lernprozesse individuell zu unterstützen und agency-orientierte Lernformen zu ermöglichen.

Die Applikation simuliert ein virtuelles Ökosystem, in dem Kinder ökologische Zusammenhänge explorieren und Hypothesen zu Veränderungen in der Umwelt entwickeln können. Das System ist so gestaltet, dass Lernende durch verschiedene Funktionen – etwa Zoomstufen, Zeitebenen und interaktive Werkzeuge – eigenständig Untersuchungen planen, Daten erheben und auswerten können. Eine integrierte Zeitebene ermöglicht es, Veränderungen im Ökosystem im Zeitverlauf zu beobachten und zu analysieren. Ergänzende Tools – darunter eine Kamera, ein Logbuch, ein Populationstool, ein Concept-Map-Tool sowie Messinstrumente zur Bodenanalyse – werden im Verlauf des Kurses schrittweise freigeschaltet. Dadurch entsteht ein adaptiver Lernverlauf, der sich am Fortschritt und den Vorkenntnissen der Lernenden orientiert.

Zentraler Bestandteil der Applikation ist die Förderung der Variablenkontrollstrategie – einer Schlüsselkompetenz wissenschaftlichen Denkens. Innerhalb des virtuellen Ökosystems können Lernende Experimente planen und durchführen, um beispielsweise zu untersuchen, wie verschiedene Lebewesen die Bodenqualität beeinflussen. In diesen Szenarien können sie gezielt Variablen variieren und kontrollieren, Messergebnisse vergleichen und aus den Beobachtungen Schlussfolgerungen ableiten. Rückmeldungen und Hilfestellungen sind dynamisch an den Lernfortschritt angepasst: Lernende, die Schwierigkeiten bei der Planung experimenteller Vergleiche zeigen, erhalten strukturierte Unterstützung, während fortgeschrittene Lernende zunehmend autonom agieren und eigene Untersuchungsfragen entwickeln können.

Im späteren Verlauf des Kurses werden den Lernenden alle Zeitebenen des Ökosystems zugänglich gemacht, sodass sie ökologische Veränderungen – etwa den Rückgang bestimmter Pflanzenarten oder den Einfluss menschlicher Eingriffe wie Straßenbau – erkennen und deren Ursachen mithilfe der erlernten Variablenkontrollstrategie erforschen können. Dadurch wird das Zusammenspiel zwischen naturwissenschaftlicher Erkenntnisgewinnung und ökologischem Systemverständnis erfahrbar gemacht. Die Applikation integriert somit fachliches und methodisches Lernen und schafft eine Umgebung, in der adaptives, konzeptuell anspruchsvolles und zugleich kindgerechtes Lernen möglich ist.

Die Pilotierung der Applikation erfolgte in enger Abstimmung mit den Partnerinstitutionen des Netzwerks Unterrichtsentwicklung und Beratung. In der Erprobungsphase wurde besonderes Augenmerk auf die Usability, die Verständlichkeit der Aufgabenstruktur sowie die adaptiven Rückmeldemechanismen gelegt. Erste Rückmeldungen von Lehrkräften und Lernenden zeigen, dass die Verbindung von instruktionalen und explorativen Elementen eine hohe Lernmotivation erzeugt und die intendierten Kompetenzen gezielt fördert.

### **Entwicklung der Rahmenkonzeption für das Netzwerk Unterrichtsentwicklung und -beratung und Beratung bei der Etablierung**

Ein praktischer Arbeitsschwerpunkt lag auf der Entwicklung, theoretischen Fundierung und Umsetzung einer standortübergreifenden Rahmenkonzeption für das Netzwerk Unterrichtsentwicklung und -beratung (siehe AP 2.1 und AP 2.2 in der Vorhabenbeschreibung). Hierzu arbeitete das Teilprojekt insbesondere mit Teilprojekten an der Pädagogischen Hochschule Heidelberg und an der Universität Tübingen eng zusammen. Im Zentrum stand die Frage, wie Lehrkräfte systematisch darin unterstützt werden können, digital-gestützte, adaptive Unterrichtsprozesse in den MINT-Fächern zu planen, durchzuführen und zu reflektieren. Das Teilprojekt am DIPF trug hierbei maßgeblich zur theoretischen, empirischen und methodischen Fundierung der Rahmenkonzeption bei und übernahm eine koordinierende Funktion zwischen den beteiligten Hochschulstandorten.

Ausgangspunkt der Arbeiten war das European Framework for the Digital Competence of Educators (DigCompEdu), das als gemeinsamer Referenzrahmen für die Entwicklung der Professionalisierungsangebote diente. Aufbauend auf diesem Bezugsrahmen und unter Rückgriff auf standortbezogene Vorarbeiten wurde ein Konzept ausgearbeitet, das Schulen ein strukturiertes Angebot zur partizipativen Unterrichtsentwicklung über schulübergreifende professionelle Lerngemeinschaften bereitstellt.

Im Mittelpunkt stand die Weiterentwicklung adaptiver digitaler Unterrichtskonzepte, die Lehrkräfte bei der Förderung prozessbezogener Kompetenzen unterstützen. Adaptivität wird dabei als eine möglichst passgenaue Ausrichtung von inhaltlichen Angeboten, Diagnoseinstrumenten und methodischen Unterstützungsmaßnahmen an den individuellen Lernvoraussetzungen der Schülerinnen und Schüler verstanden. Da eine solche adaptive Förderung auf kontinuierlicher formativer Diagnostik beruht, wurde die Rolle digitaler Technologien als unverzichtbarer Bestandteil der Unterrichtsentwicklung hervorgehoben. Das DIPF-Teilprojekt brachte hierbei Erfahrungen aus früheren Projekten zu digitaler, formativer Diagnostik im Schulkontext und deren Nutzung durch Lehrkräfte ein (siehe Schmitterer & Brod, 2021).

Die Ausgestaltung des Netzwerkes Unterrichtsentwicklung und -beratung folgte dem Co-Design-Ansatz, bei dem Lehrkräfte und Forschende gemeinsam und in enger Abstimmung Unterrichtskonzepte entwickeln. Dieser Ansatz gewährleistet, dass neue Konzepte sowohl wissenschaftlich fundiert als auch für die schulische Praxis anschlussfähig sind. Die professionelle Lerngemeinschaft (PLG) fungiert hierbei als zentrales Strukturprinzip, da sie eine kontinuierliche, kollaborative und durch externe Expertise begleitete Zusammenarbeit ermöglicht. Die PLG dient der gemeinsamen Reflexion, der Öffnung des eigenen Unterrichts und der ko-konstruktiven Entwicklung neuer Unterrichtsideen.

Entsprechend sah die Arbeit im Netzwerk die Entwicklung eines iterativen Prozesses vor, in dem Lehrkräfte und Forschende zunächst exemplarische Unterrichtskonzepte zu adaptiver digitaler Förderung entwickeln, diese erproben und anschließend in übergreifenden PLGn weitergeben und diskutieren. Dadurch entsteht ein systematischer Transfer von Konzepten und Erfahrungen, der sowohl standortspezifische Bedarfe berücksichtigt als auch gemeinsame Standards im Verbund fördert. Zugleich tragen die Ergebnisse aus dem Netzwerk Unterrichtsentwicklung zu den Fortbildungsformaten in Arbeitspaket 1 bei, indem sie dort als Good- und Future-Practice-Beispiele integriert werden.

Die Arbeiten des Teilprojekts bildeten die Grundlage für eine systematische, nachhaltige und wissenschaftlich fundierte Unterstützung schulischer Entwicklungsprozesse im Bereich digital gestützter adaptiver MINT-Unterrichtskonzepte. Das DIPF leistete durch die konzeptionelle Ausarbeitung einen substantiellen Beitrag zum Aufbau dieses Netzwerkes. Zudem führte das Teilprojekt im Rahmen der Auftaktveranstaltung des Gesamtverbunds einen Workshop durch, in dem Grundprinzipien zur Individualisierung und Adaptivität von Lernprozessen den Projektpartnern vermittelt wurden. Das DIPF übernahm außerdem die kontinuierliche Beratung der Partnerstandorte. Prof. Brod übernahm als Co-Sprecher des Netzwerkes eine koordinierende Rolle und vertrat das Netzwerk zudem in den Projektleitungs- und Lenkungskreistreffen, um die Kohärenz der Maßnahmen im Gesamtverbund sicherzustellen.

## 2. Wichtigste Positionen des zahlenmäßigen Nachweises

Für die Umsetzung der genannten Projektmaßnahmen wurden im Teilprojekt eine 0,75 TV-L (TV-H) E 13-Stelle für eine wissenschaftliche Mitarbeiterin beantragt. Aufgrund einer zwischenzeitlichen dreimonatigen Beurlaubung der Stelleninhaberin aufgrund einer anderen Tätigkeit wurde für zwei Monate ein anderer Mitarbeiter im Projekt eingesetzt (1,0 E 13 Ü). Zusätzlich wurden Reisemittel benötigt, u. a. für Verbundtreffen und für die Teilnahme an Kongressen/Tagungen zur Präsentation der Projektergebnisse.

### 3. Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Projektarbeiten

Der Verlauf der Arbeit im Projekt folgte der im Projektantrag formulierten Planung. Alle im Arbeitsplan formulierten Aufgaben wurden erfolgreich bearbeitet.

Die im Teilprojekt am DIPF durchgeführten Arbeiten waren notwendig, um die im Gesamtvorhaben angestrebte forschungsbasierte Weiterentwicklung adaptiver MINT-Unterrichtskonzepte zu ermöglichen, die wiederum in Lehrkräftefortbildungen und Professionellen Lerngemeinschaften mündeten. Sie adressieren zentrale Herausforderungen der Bildungsdigitalisierung, insbesondere die Frage, wie Lernende in digital gestützten und zunehmend KI-basierten Lernumgebungen aktiv und selbstbestimmt bleiben können.

Die Angemessenheit der Projektarbeiten ergibt sich aus ihrer klaren Anbindung an die in der Vorhabenbeschreibung definierten Arbeitspakete sowie an die übergeordneten Ziele des Verbundes. Die theoretischen Arbeiten schufen die Grundlage für ein differenziertes Verständnis adaptiver Lernprozesse, das über rein algorithmische Adaptivität hinausgeht und die Handlungskompetenzen der Lernenden in den Mittelpunkt stellt. Die Arbeiten stellten sicher, dass die entwickelten Modelle und Instrumente in schulische Entwicklungsprozesse eingebettet und über professionelle Lerngemeinschaften nachhaltig verankert werden können. Die prototypische Entwicklung der Lernapplikation war schließlich erforderlich, um die theoretischen Konzepte praktisch zu illustrieren und damit für die Lehrkräftefortbildung nutzbar zu machen. Die Zusammenarbeit mit den Verbundstandorten sowie der kontinuierliche Austausch mit der schulischen Praxis trugen dazu bei, die Arbeiten bedarfsorientiert und praxisrelevant auszugestalten.

Damit leistete das DIPF einen wesentlichen Beitrag zur Sicherung der wissenschaftlichen Qualität, Kohärenz und Nachhaltigkeit des Gesamtverbundes. Durch die Verbindung von theoretischer Modellbildung, empirisch fundierter Konzeptentwicklung und standortübergreifender Beratung trug das Teilprojekt dazu bei, die Anschlussfähigkeit zwischen Forschung, Lehrkräftebildung und Unterrichtspraxis zu stärken. Ebenfalls wertvoll sind die durch die Projektförderung entstandenen Kontakte, Kommunikationskanäle und Kooperationsstrukturen mit der Bildungspraxis und -administration.

### 4. Voraussichtlicher Nutzen und Verwertbarkeit der Ergebnisse

Die erzielten Ergebnisse sind sowohl wissenschaftlich als auch praktisch von hoher Relevanz. Das theoretische Modell zur Lernendenagency in adaptiven digitalen Lernumgebungen bietet eine konzeptionelle Grundlage für zukünftige empirische Forschung im Bereich der Lehrkräftebildung und Lerntechnologieforschung. Es trägt zur Weiterentwicklung pädagogisch fundierter

Digitalisierungsstrategien bei und kann unmittelbar in die Gestaltung von Fortbildungs- und Unterrichtsentwicklungsmaßnahmen einfließen. Der im Teilprojekt entwickelte Prototyp einer digitalen Lernapplikation besitzt einen hohen didaktischen und anwendungsbezogenen Nutzen. Er zeigt exemplarisch, wie digitale Lernumgebungen gestaltet werden können, um sowohl kognitive als auch metakognitive Kompetenzen von Lernenden zu fördern und zugleich deren Selbststeuerung und Verantwortungsübernahme zu stärken. In Verbindung mit den Arbeiten zur Unterrichtsentwicklung bildet er eine konkrete Grundlage für Fortbildungsangebote.

Darüber hinaus besteht die Absicht, die erarbeiteten theoretischen und empirischen Ergebnisse in künftige Forschungs- und Entwicklungsprojekte einzubringen, insbesondere in Vorhaben zur Förderung von Agency und Selbstregulation in KI-gestützten Lernkontexten. Durch die enge Anbindung an bestehende Strukturen des DIPF ist eine langfristige Nutzung und Weiterentwicklung der Ergebnisse sichergestellt. Insgesamt leisten die Arbeiten einen wichtigen Beitrag zur nachhaltigen Integration digitaler Technologien in den MINT-Unterricht und zur Stärkung adaptiver, lernendenzentrierter Lehr-Lernprozesse.

Die Verwertbarkeit der Ergebnisse ist sowohl innerhalb des MINT-ProNeD-Verbundes als auch darüber hinaus umfassend gegeben. Die auf Grundlage der im Teilprojekt erarbeiteten Rahmenkonzeption sowie der begleitenden Beratung entwickelten Fortbildungs- und Unterrichtskonzepte wurden als offene Bildungsressourcen (OER) aufbereitet und stehen dauerhaft über etablierte Kanäle für die Lehrkräftefortbildung und die Unterrichtspraxis zur Nachnutzung bereit. Zudem befindet sich eine Anschlussstudie zur Wirksamkeit der adaptiven Lernumgebung in Vorbereitung, wodurch die wissenschaftliche Fundierung und Weiterentwicklung der erzielten Ergebnisse fortgeführt wird.

Die im Projekt gewonnenen Erkenntnisse und Erfahrungen wurden auf zahlreichen Fachtagungen und wissenschaftlichen Kongressen vorgestellt und in begutachteten sowie praxisorientierten Publikationen veröffentlicht, was ihre Sichtbarkeit und Anschlussfähigkeit in der Fachgemeinschaft weiter erhöht. Darüber hinaus wirken die im Rahmen der Projektförderung aufgebauten Kooperations- und Kommunikationsstrukturen mit Akteurinnen und Akteuren der Bildungspraxis und -verwaltung über das Projektende hinaus fort und bilden eine tragfähige Grundlage für zukünftige gemeinsame Vorhaben und Initiativen.

## 5. Bekannt gewordener Fortschritt auf dem Gebiet des Vorhabens bei anderen Stellen

Das Teilprojekt stand über die gesamte Projektlaufzeit hinweg in einem kontinuierlichen und strukturierten Austausch mit der Transferstelle lernen:digital, den weiteren Projektverbänden der Kompetenzzentren sowie mit Kooperationspartnerinnen und Kooperationspartnern aus Wissenschaft und schulischer Praxis. Dieser Austausch erfolgte sowohl unmittelbar als auch vermittelt über das Gesamtprojekt und ermöglichte es, konzeptionelle Entwicklungen eng mit aktuellen Anforderungen und Erkenntnissen aus Forschung und Praxis abzustimmen. Zugleich flossen die Informationen und Erfahrungswerte der beteiligten Landesinstitute für Lehrkräftebildung systematisch in die Ausgestaltung und fortlaufende Optimierung der Professionalisierungsangebote ein. Dadurch konnte sichergestellt werden, dass die Angebote sowohl wissenschaftlich fundiert als auch anschlussfähig an bestehende Strukturen der Lehrkräftefortbildung waren.

Darüber hinaus hat das Teilprojekt die dynamische Entwicklung im Bereich generativer Künstlicher Intelligenz aktiv aufgegriffen, die sich im gesamten Projektzeitraum – insbesondere mit Blick auf Large

Language Models – deutlich beschleunigt hat. Die theoretischen und konzeptionellen Arbeiten wurden kontinuierlich an diese Entwicklungen angepasst und integrieren aktuelle Erkenntnisse zur Nutzung generativer KI im Bildungsbereich. Dadurch konnten fundierte Perspektiven und konkrete Ansatzpunkte entwickelt werden, wie KI-Technologien gewinnbringend für Lehr- und Lernprozesse eingesetzt werden können.

## 6. Liste der Veröffentlichungen

ORCID-ID Prof. Dr. Garvin Brod: 0000-0002-7976-5609

ORCID-ID Leonie Weindorf: 0000-0002-3215-9863

### **Erfolgte Veröffentlichungen (mit Peer Review):**

Brod, G. (2024). There Are Multiple Paths to Personalized Education, and They Should Be Combined. *Current Directions in Psychological Science*, 33(3), 153-158.

Brod, G. (im Druck). Agency Does Not Equal Choice – Conceptualizing Agency for Learning in the Age of AI. *Learning and Individual Differences*.

### **Erfolgte Veröffentlichungen (ohne Peer Review):**

Reinhold, F., Brod, G., Burde, J.-P., Friesen, M., Gerjets, P., Huwer, J., Kuhn, J., Thyssen, C., & Lachner, A. (2025). Lehrkräfte für einen adaptiven, digital gestützten und prozessorientierten MINT-Unterricht vorbereiten: Das Verbundprojekt MINT-ProNeD. In C. Thyssen, M. Meier, S. Becker-Genschow, T. Bruckermann, A. Finger, J. Huwer, E. Kremser, L.-J. Thoms, & L. von Kotzebue, (Hrsg.), *Digitale Kompetenzen für das Lehramt in den Naturwissenschaften – DiKoLAN PLUS* (S. 13-42). Joachim Herz Stiftung.

### **Geplante Veröffentlichungen:**

Weindorf, L., Loesche, P., Hasselhorn, M., & Brod, G. (in Vorbereitung). Fostering Data Interpretation and Experimenting Skills in Primary School.