

MARTIN-LUTHER-UNIVERSITÄT HALLE-WITTENBERG

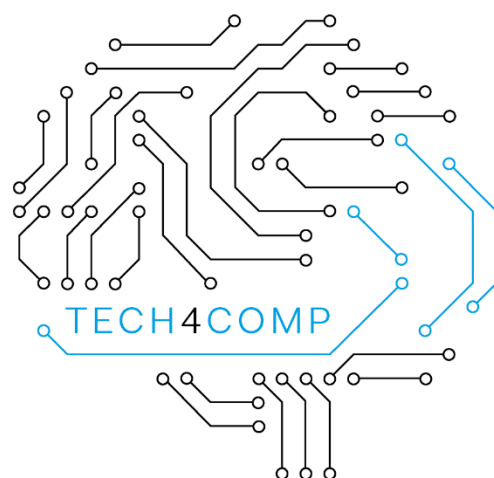


Vorhaben	tech4compKI Personalisierte Kompetenzentwicklung und hybrides KI-Mentoring
Teilvorhaben	Domänen- und Wissensmodellierung
Titel	Abschlussbericht
Förderkennzeichen	16DHB2209
Zuwendungsempfänger	Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg (MLU) Universitätsplatz 10, 06108 Halle a.d. Saale
Ausführende Stelle	MLU, PhilFak III, Institut für Pädagogik, Pädagogische Psychologie
Projektleitung	Prof. Dr. Pablo Pirnay-Dummer
Bewilligungszeitraum	01.09.2022 - 30.09.2024
Autor:innen	Dr. Matthias Zaft
Erstellungsdatum	26.09.2024

GEFÖRDERT VOM



**Bundesministerium
für Bildung
und Forschung**



Das diesem Bericht zugrundeliegende Vorhaben wurde mit Mitteln des Bundesministeriums für Bildung und Forschung (BMBF) unter dem Förderkennzeichen 16DHB2105 gefördert. Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei den Autor:innen.



Inhalt

1	Kurzbericht nach NABF 2017	1
1.1	Aufgabenstellung	1
1.2	Ablauf des Teilvorhabens.....	4
1.3	Ergebnisse und Zusammenarbeit mit anderen Stellen	4
1.4	Literatur	7
2	Eingehende Darstellung nach NABF 2017.....	1
2.1	Verwendung der Zuwendung und erzielte Ergebnisse im Einzelnen	1
2.2	Standort MLU.....	1
2.2.1	Wissensanalyse mit T-MITOCAR und T-MITOCAR Artemis	9
2.2.2	Schnittstellen zu T-MITOCAR	11
2.2.3	Domänenmodellierung	11
2.2.4	Domänenvisualisierung und Einsatz als Lerngegenstand	13
2.2.5	Feedbackentwicklung und Textsynthese	18
2.2.6	Darüber hinausgehende Forschung und Entwicklungen	21
2.3	Literatur	22
2.4	Die wichtigsten Positionen des zahlenmäßigen Nachweises.....	27
2.5	Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Projektarbeiten	27
2.6	Verwertbarkeit der Ergebnisse und Verstetigung.....	27
2.7	Bekannt gewordener Fortschritt bei anderen Stellen	28
2.8	Veröffentlichungen	28



1 Kurzbericht nach NABF 2017

1.1 Aufgabenstellung

Studierende müssen in der Hochschulbildung des 21. Jahrhunderts selbstgesteuert mit Lernherausforderungen umgehen. Dies setzt die eigenverantwortliche Gestaltungsfähigkeit des Studiums voraus, welche im Rahmen schulischer Sozialisation jedoch oft nicht ausreichend ausgebildet wird (McCabe, 2011). Pandemieinduzierte Online-Lehre verstärkte die Problematik, (Gaaw & Stuetzer, 2020), der mit gezieltem Einsatz intelligenter Systeme begegnet werden soll und sollte (Lernende Systeme, 2020). Hybride Ansätze gelten als niedrigschwellige technologische Zugangsmöglichkeit für den breiten Einsatz von KI in der Hochschulbildung (Greer et al., 2015). Diese Ansätze kombinieren lernende Verfahren mit regelbasierten Ansätzen, um gezielte Reflexion durch automatische Rückmeldung zu Lernendertexten mit Naive-Bayes-Klassifikatoren in Verbindung mit Domänenwissen zu ermöglichen (Wang et al., 2020).

Prozessbegleitendes Feedback gilt in der internationalen bildungswissenschaftlichen Forschung als zentraler Impact-Faktor für den Lernerfolg, sofern es denn möglichst unmittelbar und möglichst genau erfolgt (Hattie & Yates, 2014). Rückmeldungen zu individuellen Wissensständen werden in pädagogischen Arrangements oft durch einen Soll-Haben-Abgleich hergestellt. Dabei geraten vorhandene Kenntnisse der Lernenden ebenso aus dem Blick wie eine solche Rückmeldung jeglichen Einblick in die vorhandenen individuellen Wissensstrukturen verhindert (Pirnay-Dummer, 2015).

Da es für Lernen unabdingbar ist, Wissen über einen Gegenstand zu kennen, zu prüfen und zu reorganisieren, ist die Modellierung eigenen und neuen Wissens als der innovative Aspekt automatisierten Mentorings herauszustellen. Die Auseinandersetzung mit dem eigenen Wissen gilt als eine Grundvoraussetzung für Selbstwirksamkeitserfahrungen und selbstgesteuertes Lernen (Deci & Ryan, 2012). Um Lernenden einen Zugang anzubieten, zusätzlich zum Wissensstand - dem *was* - mehr über die Organisiertheit - das *wie* - ihres Wissens in Erfahrung zu bringen, wurde die computerlinguistische Wissensanalyse mit T-MITOCAR im Projekt stetig beforscht und weiterentwickelt.

Während wissensintensive Anwendungen auf individuellen Modellen basieren und Möglichkeiten bieten zur intra- wie interpersonellen Auseinandersetzung mit Wissen (Pirnay-Dummer & Seel, 2018), nutzen wissensinterne Anwendungen das Wissen der Lernenden und spiegeln den eigenen Inhalt als Teil der Lernumgebung. Kein Modell der Lernumgebung steuert dieses Wissen (Pirnay-Dummer et al., 2012), vielmehr wird das Lernendenwissen selbst zum Gegenstand des Lernens sowie zum Steuerungselement der Lernumgebung. Lernende werden so zu gestaltenden wie erkundenden Akteuren ihrer Bildungsräume und Wissensdomänen, wobei ihnen die ästhetische Komponente der (Wissens-)Begegnung es ermöglicht, sich als Lernumgebung wahrzunehmen (Dabbagh & Kitsantas, 2012).



Mixed Reality (MR)-Räume können solcherart Lernumgebungen sowohl in ästhetischer Weise bereichern als auch Interaktionsmuster erweitern. KI-gestützte Verfahren ermöglichen die Generierung von Mixed Reality Agenten in Kombination mit Chatbots, die als virtuelle Entitäten in der Umgebung interagieren und eine erweiterte Benutzeroberfläche bieten. Diese Agenten, verstanden als virtuelle Verkörperung von künstlicher Intelligenz in Mixed Reality Umgebungen, können beispielsweise als Wissens-Tour Guides fungieren und Lernende als erkundende Akteur:innen der Lernumgebung begleiten, etwa als menschlich visualisierte Avatare. (Holz et al. 2011).

Die im Forschungsvorhaben adressierte Leitfrage (**FFO**) lautet: *Wie müssen Gestaltungskonzepte aussehen, die die Qualität von digital-gestützten, intelligenten mentoriellen Prozessen studienbegleitend innerhalb eines intelligenten Bildungsnetzwerks skalierbar machen?*

Zur Beantwortung der Leitfrage wurden die in FPh1 bereitgestellten Infrastrukturen und die mentoriell unterstützten Lernsettings *Lern- und Prüfungsräume* in FPh2 didaktisch und technologisch weiterentwickelt, um sie organisational über Testbeds und Semester hinweg zu etablieren. Zur Weiterführung der Idee, diese Räume nicht nur als Handlungsfelder für Lernen und Lehren zu nutzen, sondern ebenso als *bildungswissenschaftliche Forschungsräume an Hochschulen*, wurden Modelle, Werkzeuge und weitere Artefakte aus FPh1 (Darbietung Mentoring-relevanter Informationen und Automatisierung von Mentoring-Prozessen durch KI-basierte Wissensdienste) für den Einsatz in einem *intelligenten Bildungsnetzwerk* adaptiert. Entsprechend der Leitfrage sind die Räume dieses Netzwerks als Bildungsräume konzipiert und bildungswissenschaftlich als erlebbare, nicht-physische Konzeptionsräume zu verstehen. Die Erweiterung dieser Räume erforderte Anpassungen in Bezug auf didaktische Gestaltung (Bildungsräume), technische (Hybridität & Mixed Reality) und organisationale Implementierungen (Testbeds) sowie der Instrumente zur Wirksamkeitsmessung (bildungssoziologisch, multiperspektivisch. Dabei war ein Einbezug der Nutzenden- und der Organisationsperspektive für Design und Entwicklung unerlässlich. Unter Berücksichtigung aktueller Bedarfe und technischer Möglichkeiten wurden bestehende Modelle *didaktisch* weiterentwickelt, um das Innovationspotential von Bildungstechnologie & KI zur Unterstützung selbstgesteuerten Lernens, sozial-emotionalem Support und affektiver Lernzustände in *Bildungsräumen* nutzbar zu machen. Im technologischen Fokus standen wissensintensive & -interne Anwendungen, die eine verstärkte Auseinandersetzung mit Re-Präsentationen des eigenen Wissens ermöglichen (hybride KI-Systeme, Mixed Reality Agenten, knowledge graphs), die in bestehende intelligente Infrastrukturen (las2peer) integriert und durch verteilte Datenanalyse gestützt werden.

Die Beantwortung der adressierten Leitfrage ebenso wie der abgeleiteten interdisziplinären Forschungsfragen (FF) erlaubt die entsprechende *technische* Weiterentwicklung der vernetzten innovativen Infrastruktur aus FPh1 (las2peer), deren *didaktische* Gestaltung und *organisationale* Implementierung sowie deren Bemessung und Bewertung in ihrer



Wirksamkeit. Die Bearbeitung der FF erfolgte in interdisziplinärer Zusammenarbeit in den zu bearbeiteten Arbeitspaketen (AP): *AP1: Didaktische Modellierung, AP2: Domänen- und Wissensmodellierung, AP3: Verteilte Datenanalyse, AP4: Mentoring-Werkzeuge, AP5: KI-basierte Adaptivität, AP6: Organisationale und technologische Begleitung & Implementierung, AP7: Wirksamkeit und AP8: Testbed.* Hierzu wurde auf die Erfahrungen der verbundinternen Zusammenarbeit aus FPh1 aufgebaut und sich organisatorisch an ihre Zuständigkeiten angelehnt.

AP2 fokussierte neben der Konzipierung, Entwicklung und Evaluation skalierbarer, d.h. semi- und vollautomatischer Verfahren zur Erstellung von Domänen- und Wissensmodellen, auf deren Nutzung in Umgebungen der Wissensbegegnung im Sinne selbstgesteuerten Lernens in KI-gestützten Mentoring-Szenarien sowie die Erstellung von E-Assessment-Aufgaben zur automatischen Kompetenzanalyse und von Fallvignetten. Die Erprobung und Implementierung wissensintensiver und wissensinterner Anwendungen in Mixed Reality Umgebungen erfolgte in Microtestbeds und in Zusammenarbeit mit den Testbeds. Dabei wurde theorie-generierend und psychologisch-experimentell vorgegangen sowie auf computerlinguistische Textanalyse, (Meta-)Daten aus LMS und Crowdsourcing-Wissen zurückgegriffen. Das Ziel bestand in der Identifizierung von Gestaltungsmöglichkeiten und Modifikationsempfehlungen der Lernumgebungen durch o.g. Anwendungen. Darauf basierend erfolgten die Ableitung wissensintensiver und wissensinterner Anwendungen für erfolgreiches Lernen sowie Modifikationsempfehlungen für Lernumgebungen in den Domänen der Testbeds.

Das **Teilprojekt „Domänenmodellierung und Wissensmodellierung“ der MLU** (Leitung AP2) fokussierte die Konzipierung, (Weiter-)Entwicklung und Evaluation skalierbarer, d.h. semi- und vollautomatischer Verfahren zur Erstellung von Wissens- und Domänenmodellen als Re-Präsentation mentaler Modelle Lehrender sowie Lernender und deren erweiterte Nutzung, sowie zur peerbasierten Wissens- & Lernleistungsdiagnostik zur automatischen Kompetenzabschätzung in E-Assessments. Für die Wissensmodellierung wurde T-MITOCAR benutzt, um mentale Modelle und Modellbildungsprozesse in Lernszenarien abzubilden. Diese computerlinguistische Wissensmodellierung erfolgt auf der Grundlage von Text und gibt als Wissensmodell ein in mentaler Modelltheorie begründetes und verschiedenfach darstellbares Assoziationsnetz aus (Heßdörfer, Hachmann, & Zaft, 2021; Pirnay-Dummer, 2020; Pirnay-Dummer, Ifenthaler, & Spector, 2010). Die Visualisierung der Wissensmodelle aus Text bietet Gelegenheit, sich mit einem Artefakt des mentalen Modells eigenen wie fremden Wissens auseinanderzusetzen. Fokussiert wurde hierbei eine gezielte Weiterentwicklung der Darstellungsweisen mentaler Modelle in Lernrauminszenierungen als Begegnungsmöglichkeit mit eigenem und fremdem Wissen sowie deren Interaktionen. Darstellungsweisen betreffen die Visualisierung von Graphen und Domänenmodellen (2d-3d, interaktiv, Kombinationen aus eigenem und neuem Wissen etc.), aber auch funktionale Verbindungen zu lernrelevanten Interaktionsmöglichkeiten (Zoomfunktion, Auswahl, Annotation, etc.), um die Begegnung mit dieser neuen Art, bisher lediglich textuell verfasstes Wissen aufbereitet zu sehen, im Sinne des



didaktischen Modells und selbstgesteuerten Lernens in digital-gestützten Mentoring-Szenarien in einer personalisiert lernförderlichen Umgebung zu ermöglichen. Dies erfolgte qua Erprobung von Ästhetisierung (Semiotik v. Bild & Sprache, lernpsychologisch ganzheitlich u. körperlich-sinnlich erfahrbar, leicht zugänglich), Personalisierung und Gruppierung der Lernangebote und wurde in AP2 als Verschränkung konzeptioneller, technisch- methodischer und evaluativer Verfahren aufgegriffen und in Microtestbeds begleitend beforscht.

Neben den anträglich veranschlagten Aufgaben der (Re-)Konzipierung, Implementierung und Evaluation von Feedbackelementen, der Erweiterung der Nutzbarmachung von Domänen- und Wissensmodellen für diverse skalierbare Mentoring-Szenarien, der Pflege, Anpassung und Weiterentwicklung der in FPh1 aufgebauten produktiven Serverumgebung, wurde dem im Projektverlauf von FPh1 identifizierten Bedarf an empirischer Beforschung und Absicherung neuer Fragestellungen durch intensivierete Beforschung in zusätzlichen, eigenen Testbeds sowie Studien und einzelnen Erhebungen sowie Fortsetzung und Auswertung der bereits begonnenen Studienreihe weiterhin Rechnung getragen.

1.2 Ablauf des Teilvorhabens

Das Teilvorhaben lief fest integriert mit den Partnervorhaben in den Phasen: Konzipierung, Implementierung, Evaluation, iterativ in fortgesetzten Zyklen und in ständiger Zusammenarbeit mit den beteiligten Verbundpartner:innen ab. Gegenseitige Bedarfe wurden flexibel erhoben und umgesetzt, Konzipierungen interdisziplinär diskutiert und agil implementiert sowie methodisch gegenstandsadäquat beforscht (mixed methods, qualitativ, und quantitativ bis zu Laborexperimentation). Die Zusammenarbeit der MLU lebte mit allen Verbundpartner:innen von einem engen und offenen Austausch.

1.3 Ergebnisse und Zusammenarbeit mit anderen Stellen

Der Standort MLU lieferte die Konzeption, Durchführung und Auswertung eigener Studien und Testbedbeforschung zur Weiterentwicklung von Feedback und Nutzbarmachung von Wissensmodellen in verschiedenen Szenarien wissenschaftlich, als Workshops und iterativ in Expert:innenzyklen.

Zur Beforschung von Präflektionserfahrungen im Zuge textbasierter Wissenserschließung erfolgte die Weiterentwicklung der Komponenten der offenen, plattformunabhängigen, lernerzentrierten Wissensanalysestation (WA), welche fachunabhängig und ohne Datenspeicherung Lehrenden wie Lernenden zur Wissensbegegnung zur Verfügung gestellt und ebenfalls in Microtestbeds beforscht wurde. Die **Präflektions**möglichkeit mittels Auto-Abstracter zur Texterschließung (z.B. für Seminare oder Prüfungen) wurde erweitert um einen weiteren wesentlichen Schritt zur Begegnung mit eigenem Wissen, der **Reflektion** mit dem Modell des selbstgeschriebenen Textes und dem des Expert:inntestes und im TB UL AP implementiert. Besonders die Komponenten des zweiten Schrittes aus der Entwicklung der WA sind bereits in die stark gemeinsam entwickelte, iterative Konzeption und Umsetzung des TB Leipzig und der Feedbackszenarien geflossen, weshalb die WA zurückgestellt wurde und ihre Nutzung bisher nur als Prototyp verbundintern erfolgte.



In den Bereichen Feedbackentwicklung und -weiterentwicklung wurden szenarienweise ausformulierte Feedbackbausteine konkret für wissensintensive und -interne Anwendungen des Verbundes gemeinsam mit Partnern re-konzipiert, weiterentwickelt und bedarfsbezogen implementiert. Lernrelevante Personvariablen für Lerner:innenmodellierung und Evaluation wurden weiterhin kontinuierlich für die einzelnen Studien und Testbeds und zudem als Empfehlungsliste für Variablen und Tests zur Verfügung gestellt. Als Ergebnis und Dokumentation der Weiterentwicklung szenarienbasierten Feedbacks wurde mit AP1 (UL AP) gemeinsam der Leitfaden: **„FeedBot und TASA: Entwicklung und technische sowie didaktische Beschreibung des Unterstützungsangebotes“** erstellt.

Eng mit der Feedbackweiterentwicklung verbunden ist die statistische Auswertung der Graphenmaße des TB UL AP (als Zuarbeit zu M2, 3 und 4). Die Vergleichsmaße der Modelle aus Expert:innen- und Lerner:innentexten des TB UL wurden statistisch ausgewertet und die Ergebnisse geteilt. Diese inspirierten unter anderem 1. die Feedbackentwicklung und 2. Konzepte der teacher facing MWB. Zum Abschied von Dr. W. Hachmann (Sept. 2023) wurden der UL AP die gesamten Ergebniszusammenfassungen, Daten und Auswertungsscripte (in R) zur weiteren Verwendung geliefert.

Zur Evaluation der Einsatzfähigkeit und des Transfers der computer-linguistischen Domänenmodelle (Domäne steht hier für partielle Teildomäne oder große Wissensmodelle) in textbasierten Lernszenarien wurden weitere Auswertungen der seit Frühjahr 2022 laufenden Studie „Textverstehen-I“ vorgenommen und neben der verbundweiten Dissemination der Ergebnisse auch der Fachöffentlichkeit präsentiert:

- Konferenzteilnahme (05.-07.09.) KogWis 2022 der Dt. Gesellschaft für Kognitionswissenschaft der Uni Freiburg (Meet and Greet With Knowledge: A Paradigm and Study Investigating Text. Comprehension Processes With Knowledge Models Generated by T-MITOCAR; Wilde, Willisch, Hachmann, Zaft, & Pirnay-Dummer)
- Symposiumteilnahme („KI-unterstützte, wissensintensive Technologien bei digital gestütztem Mentoring an Hochschulen“) beim 52. DGPs-Kongress 2022 (10.-15.09.) in Hildesheim (Paradigmaentwicklung zum Erschließungsprozess von T-MITOCAR generierten Wissensmodellen, MLU; The Digital Promotion of Learning Math Using the Transformation of Formal Language into natural language and knowledge maps, MLU; Automatically Identifying Hierarchy and Causality in Computer-Generated Association Maps, MLU)

Zusätzlich wurde eine zweite Iteration der qualitativen Auswertung der vorausgegangenen, Grounded Theory basierten Studie zur Wissensbegegnung durchgeführt, um die hier quantitativ erhobenen Schritte des Wissenserschließungsprozesses solide zu begründen. Die Ergebnisse beider Studien wurden konkret bezogen auf die Bedarfe und Anwendungen des Verbundes disseminiert. Ebenso erfolgte die Kommunikation der Ergebnisse zu intellektueller Verspieltheit und kreativem Stil sowie anteilig studienbezogener Selbstwirksamkeit. Zu Personmerkmalen und konkreten Bezügen auf die Anpassungen der Anwendungen wurden zudem iterative Expert:innenzyklen mit AP1, der HTWK, Cedis und FUB durchgeführt.



Zu Domänenutzung und -anpassungen, Personvariablen und deren Erhebung in Studien und Evaluationen, zu Feedback und zu weiteren Microtestbeds wurden iterative formative Expert:innenzyklen mit AP1,4,5,8 durchgeführt. Aus den Ergebnissen der Studien wurden anwendungs- und szenarienbasierte Feedbackkomponenten und schrittweise Anleitungen abgeleitet und im Verbund bedarfs- und anwendungsbezogen disseminiert und, wie beispielhaft im Fall von Gamma-II, direkt zur Erweiterung des rückversprochenen Feedbacks aus Einzelgraphenmaßen genutzt.

Gleichzeitig erfolgten fortwährend Pflege, Anpassung und Weiterentwicklung der in FPh1 aufgebauten produktiven Serverumgebung samt Dokumentation, Codebuch und Manualen, inkl. der Technologien für Serverschnittstellen und APIs zur Erstellung von Usercontent bzw. Wissensabbildung, zum inter- und intra- individuellen Vergleich von Wissensmodellen aus Text (TASA) und zu wissensintensiver Datenbearbeitung. Dies erfolgte in regelmäßiger Abstimmung mit AP3,4,5 hinsichtlich Laufzeit, Datenverarbeitung und Interaktion der Dienste.

Zudem konnte in einer zusätzlichen Tech-Studie zur Nutzbarkeit von aus T-MITOCAR generierten Prompts für Chat-GPT (GPT3) gezeigt werden, dass zur Vermittlung der Ergebnisse der Wissensmodellierung ein automatisierter Prozess zur Generierung eines Erklärtextes in Chat-GPT genutzt werden und damit das Feedback durch dynamische Anteile aufgewertet werden kann.

Die Studien zur Nutzung mathematischer Formalismen (math. Wissens) als Grundlage für Textmodellierung und Darstellung in Graphen zur Erschließbarmachung im Mathematikstudium durch NAGRA (NAtural Language conceptual GRaph) wurden zudem erfolgreich fortgeführt. Hierbei wird formalisiertes mathematisches Wissen für Studierende in Form von Prosatext übersetzt und somit der Wissensanalyse mit T-MITOCAR zugänglich gemacht. Die Intervention mit Texten allein führt nach kurzer Exposition zu höherem mathematischen Verständnis, welches durch die Präsentation der Graphen als Wissensnetz noch verstärkt wurde (Luleich, Waterstraat, & Reiter, 2020). Im SoSe23 wurde eine weitere Studie zu Voraussetzungen der Aufgabenbewältigung in der Mathematik („Voraussetzungsvisualisierung“) durchgeführt. Wie auch die Wissensintegration ist das TB NAGRA ein von tech4compKI unabhängiges Forschungsvorhaben des Arbeitsbereichs geworden.

Die Integration von Wissen aus unterschiedlichen Fachkulturen und -disziplinen (wie den Fachdidaktiken und Bildungswissenschaftlichen Teildomänen) kann und konnte durch die Begegnung mit Wissensnetzen signifikant gefördert werden. All diesen lernförderlichen Wirkungen stand eine z.T. skeptische Haltung der Studierenden gegenüber, welche durch selbstgesteuerte Erfolgszuweisung in erhöhte Akzeptanz mündete. Die Re-Präsentation von Wissen als Assoziationsnetz im Vergleich zu reiner Textarbeit ist in der Lage, zu Akkommodationsprozessen anzuregen und damit zu Reorganisation von Wissen beizutragen.



1.4 Literatur

- Dabbagh, N. & Kitsantas, A. (2012). Personal Learning Environments, social media, and self regulated learning: A natural formula for connecting formal and informal learning. In *Social Media in Higher Education*, 15(1), 3-8.
- Deci, E., & Ryan, R. (2012). Self-determination theory. In: *Handbook of theories of social psychology* (S. 416–436). Sage Publications Ltd. <https://doi.org/10.4135/9781446249215.n21>
- Gaaw, S., & Stuetzer, C. M. (2020). A proactive perspective on the future of Learning Analytics: A systematic literature review. *Proceed. of 10th Intern. Conf. on Learning Analytics & Knowledge LAK20*, 74–76.
- Greer, J. E., Frost, S., & Banow, R. (2015). The Student Advice Recommender Agent: SARA. Posters, Demos, Late-breaking Results & *Workshop Proceed. of UMAP'15*.
- Hattie, J., & Yates, G. C. R. (2014). *Visible learning and the science of how we learn*. Routledge.
- Holz, T., Campbell, A. G., O'Hare, G. M.P., Stafford, J. W., Martin, A. & Dragone, M. (2011). MiRA—Mixed Reality Agents. In *Intern. Journal of Human-Computer Studies*, 69(4), 251–68.
- Heßdörfer, F., Hachmann, W., & Zaft, M. (2021). Graphenbasierte Textanalyse in Lernkontexten: Technische Voraussetzungen, prototypische Szenarien, didaktische Reflexion. In H.-W. Wollersheim, M. Karapanos, & N. Pengel (Eds.), *Bildung in der digitalen Transformation* (Vol. Medien in der Wissenschaft, pp. 245-256). Münster; New York: Waxmann.
- Luleich, C., Waterstraat, N., & Reiter, P. (2020). *Modeling Mathematical Knowledge from Natural Language Representations. Introducing a New Method*. Paper presented at the AECT annual meeting, Jacksonville, USA.
- McCabe, J. (2011). Metacognitive awareness of learning strategies in undergraduates. In *Memory & cognition* 39(3), 462-476.
- Pirnay-Dummer, Pablo (2020). Knowledge and Structure to Teach. A Model-Based Computer-Linguistic Approach to Track, Visualize, Compare and Cluster Knowledge and Knowledge Integration in Pre-Service Teachers. In: T. Lehmann (Ed.), *International Perspectives on Knowledge Integration in Pre-service Teachers' and Future Educational Specialists' Professional Development. Theory, Research, and Good Practice*. (pp. 133-154). Boston: Brill Sense.
- Pirnay-Dummer, P., & Seel, N. M. (2018). The Sciences of Learning. In L. Lin & J. M. Spector (Eds.), *The Sciences of Learning and Instructional Design. Constructive Articulation between Communities* (pp. 8-35). New York: Routledge.
- Pirnay-Dummer, P. (2015). Linguistic analysis tools. In C. A. MacArthur, S. Graham, & J. Fitzgerald (Eds.), *Handbook of Writing Research* (S. 427-442). New York: Guilford Publications.
- Pirnay-Dummer, P.; Ifenthaler, D. (2011). Text-Guided Automated Self Assessment. A Graph-Based Approach to Help Learners with Ongoing Writing. In: D. Ifenthaler, J. M. Spector, Kinshuk, P. Isaias and D. G. Sampson: *Multiple Perspectives on Problem Solving and Learning in the Digital Age*. New York: Springer. https://doi.org/10.1007/978-1-4419-7612-3_14



Pirnay-Dummer, P., Ifenthaler, D., & Spector, J. M. (2010). Highly integrated model assessment technology and tools. *Educational Technology Research and Development*, *58*(1), 3-18. doi:10.1007/s11423-009-9119-8

Wang, X., Gülenman, T., Pinkwart, N., de Witt, C., Gloerfeld, C., & Wrede, S. (2020). Automatic Assessment of Student Homework and Personalized Recommendation.

Wilde, T., Willisch, A., Hachmann, W., Zaft, M., & Pirnay-Dummer, P. (2022, Sep. 5th- 7th 2022). Meet and Greet With Knowledge: A Study and Paradigm Investigating Text Comprehension Processes With Knowledge Models Generated by T-MITOCAR. Paper presented at the KogWis2022, the 5th Biannual Conference of the German Society for Cognitive Science, Albert-Ludwigs-Universität Freiburg, Germany.



2 Eingehende Darstellung nach NABF 2017

2.1 Verwendung der Zuwendung und erzielte Ergebnisse im Einzelnen

Studierende müssen in der Hochschulbildung des 21. Jahrhunderts selbstgesteuert mit Lernherausforderungen umgehen. Dies setzt die eigenverantwortliche Gestaltungsfähigkeit des Studiums voraus, welche im Rahmen schulischer Sozialisation jedoch oft nicht ausreichend ausgebildet wird (McCabe, 2011). Pandemieinduzierte Online-Lehre verstärkte die Problematik, (Gaaw & Stuetzer, 2020), der mit gezieltem Einsatz intelligenter Systeme begegnet werden soll und sollte (Lernende Systeme, 2020).

Hybride Ansätze gelten als niedrigschwellige technologische Zugangsmöglichkeit für den breiten Einsatz von KI in der Hochschulbildung (Greer et al., 2015). Diese Ansätze kombinieren lernende Verfahren mit regelbasierten Ansätzen, um gezielte Reflexion durch automatische Rückmeldung zu Lernendertexten mit Naive-Bayes-Klassifikatoren in Verbindung mit Domänenwissen zu ermöglichen (Wang et al., 2020). Die Anregung von Reflexions- und Interaktionsprozessen überschreitet ein bloßes Vorschlagen von Lernpfaden und Lerninhalten klassischer adaptiver Lernumgebungen. Mentor:innen können Mentees im Rahmen von Mentoring hierbei in Wissensdomänen inhaltlich unterstützen und selbständige Auseinandersetzung fördern (Sitzmann & Ely, 2011).

Interaktion als wesentlicher Faktor im Mentoring adressiert die Voraussetzungen für selbstgesteuertes Lernen (Kognition, Metakognition, Motivation, Volition, Emotion). Häufige Interaktionen führen zu höherer Zufriedenheit der Kommunizierenden, solange dabei rückgemeldete Inhalte sowie der Kommunikationsstil hohen Qualitätsanforderungen entsprechen (Hattie & Yates, 2014).

Rückmeldungen zu individuellen Wissensständen werden in pädagogischen Arrangements oft durch einen Soll-Haben-Abgleich hergestellt. Dabei geraten vorhandene Kenntnisse der Lernenden ebenso aus dem Blick wie eine solche Rückmeldung jeglichen Einblick in die vorhandenen individuellen Wissensstrukturen verhindert (Pirnay-Dummer, 2015).

Aus Perspektive aktiven Kompetenzerwerbs ist dies ebenso problematisch wie unter Diversitätsaspekten (Rancière, 2007), und zudem unbrauchbar, wenn intendierte Prozesse des Mentorings den Skopus des Technologietransfers bestimmen. Während wissensintensive Anwendungen auf individuellen Modellen basieren und Möglichkeiten bieten zur intra- wie interpersonellen Auseinandersetzung mit Wissen (Pirnay-Dummer & Seel, 2018), nutzen wissensinterne Anwendungen das Wissen der Lernenden und spiegeln den eigenen Inhalt als Teil der Lernumgebung. Kein Modell der Lernumgebung steuert dieses Wissen (Pirnay-Dummer et al., 2012), vielmehr wird das Lernendenwissen selbst zum Gegenstand des Lernens sowie zum Steuerungselement der Lernumgebung. Lernende werden so zu gestaltenden wie erkundenden Akteuren ihrer Bildungsräume und Wissensdomänen, wobei ihnen die



ästhetische Komponente der (Wissens-)Begegnung es ermöglicht, sich als Lernumgebung wahrzunehmen (Dabbagh & Kitsantas, 2012).

Mixed Reality (MR)-Räume können solcherart Lernumgebungen sowohl in ästhetischer Weise bereichern als auch Interaktionsmuster erweitern. KI-gestützte Verfahren ermöglichen die Generierung von Mixed Reality Agenten in Kombination mit Chatbots, die als virtuelle Entitäten in der Umgebung interagieren und eine erweiterte Benutzeroberfläche bieten. Diese Agenten, verstanden als virtuelle Verkörperung von künstlicher Intelligenz in Mixed Reality Umgebungen, können beispielsweise als Wissens-Tour Guides fungieren und Lernende als erkundende Akteur:innen der Lernumgebung begleiten, etwa als menschlich visualisierte Avatare. (Holz et al. 2011).

Bisherige Forschungsansätze haben gezeigt, dass Mixed-Reality-Agenten erfolgreich als Tourguides oder Wissensrepräsentanten in Museumsführungen eingesetzt werden können (Hammady et al. 2020). Neuere Ansätze ermöglichen die Generierung hochpersonalisierter, fotorealistischer Animationen, die in solchen Umgebungen lippensynchron und emotional kommunizieren und interagieren können (Huang et al., 2019). Aufgrund der pandemiebedingten Online-Lehre hat v.a. die soziale Interaktion der Studierenden gelitten, eine der Voraussetzungen für kollaboratives Lernen und Mentoring. Die Kombination von sozialen Netzwerkanalysen, inhaltlichen Analysen und KI-gestützten Sentiment-Analysen (Stuetzer et al., 2011) ermöglicht die Erfassung und Auswertung von Interaktionsdaten im Bildungsbereich sowie deren Einfluss auf den individuellen Lernerfolg (Ferguson et al., 2012). Data Analytics kann zudem Lerngruppen unterstützen, beispielsweise durch Gruppenbildung oder Visualisierungen (Zheng & Pinkwart, 2014). Es besteht jedoch weiterer Forschungsbedarf, insbesondere in Bezug auf die erfolgreiche Implementierung von gruppenorientierten KI-Instrumenten, die Interaktion der Lernenden und die Personalisierung (Wang et al. 2017). Eine reibungslose Integration erfordert die Ko-Evolution der Infrastruktur (Pipek & Wulf, 2009).

Die im Forschungsvorhaben adressierte Leitfrage (FF0) lautet: *Wie müssen Gestaltungskonzepte aussehen, die die Qualität von digital-gestützten, intelligenten mentoriellen Prozessen studienbegleitend innerhalb eines intelligenten Bildungsnetzwerks skalierbar machen?*

Während der ersten Förderphase (FPh1) wurde begonnen, den Bildungsraum technologisch als Lehr/Lern- sowie Forschungsraum zu erschließen. Hierzu wurden Didaktiken und Technologien entwickelt und erprobt, um diese den Untersuchungen zur Wirksamkeit hochschuldidaktischer und digitaler Lehr-/Lernkonzepte zugrunde zu legen. Die Beforschung im iterativen Prozess aus FPh1 ließ hierzu erste Rückschlüsse auf generalisierbare Erkenntnisse zu. Um den Anschluss an international führende Forschung auf dem Gebiet technikgestützter Lehr-/Lernforschung weiter auszubauen, wurde in FPh2 aufbauend auf den bisherigen Erkenntnissen insbesondere die Weiterentwicklung von Gestaltungskonzepten für



innovative Möglichkeiten des Zusammenspiels von intelligenter Bildungstechnologie und (Hochschul-)Didaktik sowie deren organisationale Implementierung adressiert. Vor dem Hintergrund derzeitiger hochschul- und bildungspolitischer Wandlungsprozesse scheint die Leitfrage (FF0) nach wie vor von immenser Bedeutsamkeit, um den Herausforderungen der digitalen Transformation im Hochschulkontext zu begegnen. Den didaktisch- konzeptionellen Handlungsrahmen bietet hierzu der Fokus auf KI-gestützte mentorielle Prozesse innerhalb digital-gestützter Lehr/Lern-Settings.

Zur Beantwortung der Leitfrage wurden die in FPh1 bereitgestellten Infrastrukturen und die mentoriell unterstützten Lernsettings *Lern- und Prüfungsräume* in FPh2 didaktisch und technologisch weiterentwickelt, um sie organisational über Testbeds und Semester hinweg zu etablieren. Zur Weiterführung der Idee, diese Räume nicht nur als Handlungsfelder für Lernen und Lehren zu nutzen, sondern ebenso als *bildungswissenschaftliche Forschungsräume an Hochschulen*, wurden Modelle, Werkzeuge und weitere Artefakte aus FPh1 (Darbietung Mentoring-relevanter Informationen und Automatisierung von Mentoring-Prozessen durch KI-basierte Wissensdienste) für den Einsatz in einem *intelligenten Bildungsnetzwerk* adaptiert. Entsprechend der Leitfrage sind die Räume dieses Netzwerks als Bildungsräume konzipiert und bildungswissenschaftlich als erlebbare, nicht-physische Konzeptionsräume zu verstehen. Die Erweiterung dieser Räume erforderte Anpassungen in Bezug auf didaktische Gestaltung (Bildungsräume), technische (Hybridität & Mixed Reality) und organisationale Implementierungen (Testbeds) sowie der Instrumente zur Wirksamkeitsmessung (bildungssoziologisch, multiperspektivisch. Dabei war ein Einbezug der Nutzenden- und der Organisationsperspektive für Design und Entwicklung unerlässlich. Unter Berücksichtigung aktueller Bedarfe und technischer Möglichkeiten wurden bestehende Modelle *didaktisch* weiterentwickelt, um das Innovationspotential von Bildungstechnologie & KI zur Unterstützung selbstgesteuerten Lernens, sozial-emotionalem Support und affektiver Lernzustände in *Bildungsräumen* nutzbar zu machen. Im technologischen Fokus standen wissensintensive & -interne Anwendungen, die eine verstärkte Auseinandersetzung mit Re-Präsentationen des eigenen Wissens ermöglichen (hybride KI-Systeme, Mixed Reality Agenten, knowledge graphs), die in bestehende intelligente Infrastrukturen (las2peer) integriert und durch verteilte Datenanalyse gestützt werden.

Hierzu stellte sich das Verbundprojekt mit Bezug zur Leitfrage (FF0) folgende interdisziplinäre **Forschungsfragen (FF)**: **FF1**: Wie lassen sich mentorielle Prozesse für selbstgesteuertes Lernen durch a) hybride KI-Systeme/ Verfahren & -Anwendungen, b) Sensorintegration zur Identifikation affektiver Lernzustände, c) Mixed Reality Systeme (KI-gestütztes Mentoring) unterstützen? **FF2**: Wie können a) hybride KI-Systeme/ Verfahren & -Anwendungen, b) Sensorintegration zur Identifikation affektiver Lernzustände, c) Mixed Reality Systeme (KI-gestütztes Mentoring) für skalierbares Mentoring in der Hochschulbildung organisational implementiert werden? **FF3**: Welche Lerneffekte lassen sich durch kleine Testreihen (Microtestbeds) sowie aus niederschweligen technischen Anwendungen (Wissensüberblickssysteme) zusätzlich zum lokalen Standard in der digitalen Hochschulbildung



erzielen und daraus alltagstaugliche, technische Hilfen für Lernende und Lehrende ableiten? **FF4:** Welche Veränderungen im Lernprozess und Lernergebnis werden mit technisch angereicherten und ästhetisierten Lernraumszenierungen (Begegnung mit eigenem Wissen, z.B. Mixed Reality-Agenten) erzielt? **FF5:** Welche methodischen Verfahren eignen sich zur Extraktion, Exploration und übergreifenden Bemessung von (Wechsel-)Wirkungsprozessen KI-gestützten Mentorings aus bildungswissenschaftlicher, soziotechnischer & organisationstheoretischer Perspektive? **FF6:** Welche verteilten Datenquellen & Datenanalyseverfahren sind notwendig und welche Daten können in einem intelligenten Bildungsnetzwerk digital-gestützt und automatisiert erhoben, ausgewertet und visualisiert werden? **FF7:** Welche Qualitäts-, Erfolgs- & Wirksamkeitsindikatoren KI-gestützter Mentoring-Settings lassen sich innerhalb eines intelligenten Bildungsnetzwerkes identifizieren, operationalisieren sowie verwerten und inwieweit tragen diese zur erfolgreichen Implementierung bei? **FF8:** Welchen Einfluss haben kommunikative Elemente (aus wissensintensiven Anwendungen ableitbares Feedback und Personalisierung durch hybride KI) auf den Lernerfolg und auf affektive Zustände? **FF9:** Wie können semantische Verfahren in die automatisierte Erzeugung von Modellen eingebunden werden, um Crowdsourcing-Effekte in Mentoringszenarien zu unterstützen?

Die Beantwortung der FF erlaubt die entsprechende *technische* Weiterentwicklung der vernetzten innovativen Infrastruktur aus FPh1 (las2peer), deren *didaktische* Gestaltung und *organisationale* Implementierung sowie deren Bemessung und Bewertung in ihrer *Wirksamkeit*. Die Bearbeitung der FF erfolgte in interdisziplinärer Zusammenarbeit in den zu bearbeiteten Arbeitspaketen (AP): AP1: *Didaktische Modellierung*, AP2: *Domänen- und Wissensmodellierung*, AP3: *Verteilte Datenanalyse*, AP4: *Mentoring-Werkzeuge*, AP5: *KI-basierte Adaptivität*, AP6: *Organisationale und technologische Begleitung & Implementierung*, AP7: *Wirksamkeit* und AP8: *Testbed*. Hierzu wurde auf die Erfahrungen der verbundinternen Zusammenarbeit aus FPh1 aufgebaut und sich organisatorisch an ihre Zuständigkeiten angelehnt.

AP2 fokussierte neben der Konzipierung, Entwicklung und Evaluation skalierbarer, d.h. semi- und vollautomatischer Verfahren zur Erstellung von Domänen- und Wissensmodellen, auf deren Nutzung in Umgebungen der Wissensbegegnung im Sinne selbstgesteuerten Lernens in KI-gestützten Mentoring-Szenarien sowie die Erstellung von E-Assessment-Aufgaben zur automatischen Kompetenzanalyse und von Fallvignetten. Die Erprobung und Implementierung wissensintensiver und wissensinterner Anwendungen in Mixed Reality Umgebungen erfolgte in Microtestbeds und in Zusammenarbeit mit den Testbeds. Dabei wurde theorie-generierend und psychologisch-experimentell vorgegangen sowie auf computerlinguistische Textanalyse, (Meta-)Daten aus LMS und Crowdsourcing-Wissen zurückgegriffen. Das Ziel bestand in der Identifizierung von Gestaltungsmöglichkeiten und Modifikationsempfehlungen der Lernumgebungen durch o.g. Anwendungen. Darauf basierend erfolgten die Ableitung wissensintensiver und wissensinterner Anwendungen für



erfolgreiches Lernen sowie Modifikationsempfehlungen für Lernumgebungen in den Domänen der Testbeds.

2.2 Standort MLU

Das Teilprojekt „Domänenmodellierung und Wissensmodellierung“ der MLU (Leitung AP2) fokussierte die Konzipierung, (Weiter-)Entwicklung und Evaluation skalierbarer, d.h. semi- und vollautomatischer Verfahren zur Erstellung von Wissens- und Domänenmodellen als Re-Präsentation mentaler Modelle Lehrender sowie Lernender und deren erweiterte Nutzung, sowie zur peerbasierten Wissens- & Lernleistungsdiagnostik zur automatischen Kompetenzabschätzung in E-Assessments. Für die Wissensmodellierung wurde T-MITOCAR benutzt, um mentale Modelle und Modellbildungsprozesse in Lernszenarien abzubilden. Diese computerlinguistische Wissensmodellierung erfolgt auf der Grundlage von Text und gibt als Wissensmodell ein in mentaler Modelltheorie begründetes und verschiedenfach darstellbares Assoziationsnetz aus (Heßdörfer, Hachmann, & Zaft, 2021; Pirnay-Dummer, 2020; Pirnay-Dummer, Ifenthaler, & Spector, 2010). Die Visualisierung der Wissensmodelle aus Text bietet Gelegenheit, sich mit einem Artefakt des mentalen Modells eigenen wie fremden Wissens auseinanderzusetzen. Fokussiert wurde hierbei eine gezielte Weiterentwicklung der Darstellungsweisen mentaler Modelle in Lernrauminszenierungen als Begegnungsmöglichkeit mit eigenem und fremdem Wissen sowie deren Interaktionen. Darstellungsweisen betreffen die Visualisierung von Graphen und Domänenmodellen (2d-3d, interaktiv, Kombinationen aus eigenem und neuem Wissen etc.), aber auch funktionale Verbindungen zu lernrelevanten Interaktionsmöglichkeiten (Zoomfunktion, Auswahl, Annotation, etc.), um die Begegnung mit dieser neuen Art, bisher lediglich textuell verfasstes Wissen aufbereitet zu sehen, im Sinne des didaktischen Modells und selbstgesteuerten Lernens in digital-gestützten Mentoring-Szenarien in einer personalisiert lernförderlichen Umgebung zu ermöglichen. Dies erfolgte qua Erprobung von Ästhetisierung (Semiotik v. Bild & Sprache, lernpsychologisch ganzheitlich u. körperlich-sinnlich erfahrbar, leicht zugänglich), Personalisierung und Gruppierung der Lernangebote und wurde in AP2 als Verschränkung konzeptioneller, technisch- methodischer und evaluativer Verfahren aufgegriffen und in Microtestbeds begleitend beforscht.

Zur Beforschung von Präflektionserfahrungen im Zuge textbasierter Wissenserschließung erfolgte die Weiterentwicklung der Komponenten der offenen, plattformunabhängigen, lernerzentrierten Wissensanalysestation (WA), welche fachunabhängig und ohne Datenspeicherung Lehrenden wie Lernenden zur Wissensbegegnung zur Verfügung gestellt und ebenfalls in Microtestbeds beforscht wurde. Jegliche Ergebnisse stellen eine Grundlage zur Ableitung wissensintensiver und wissensinterner Anwendungen für erfolgreiches Lernen dar und bieten verbundweit Implementierungs-, Modellierungs- und Modifikationsempfehlungen für die Begegnung mit Wissen in den Lernumgebungen der Testbeds. Besonders die Erweiterung der Wissensbegegnung um den (zusätzlich zur Präflektion) möglichen Schritt einer Reflektionserfahrung im Zuge der Entwicklung der WA



mündeten in die stark gemeinsam entwickelte, iterative Konzeption und Umsetzung des TB Leipzig und der Feedbackszenarien, weshalb die WA ab diesem Punkt zurückgestellt wurde und ihre Nutzung bisher nur als Prototyp verbundintern erfolgte.

In den Bereichen Feedbackentwicklung und -weiterentwicklung wurden szenarienweise ausformulierte Feedbackbausteine konkret für wissensintensive und -interne Anwendungen des Verbundes gemeinsam mit Partnern re-konzipiert, weiterentwickelt und bedarfsbezogen implementiert. Lernrelevante Personvariablen für Lerner:innenmodellierung und Evaluation wurden weiterhin kontinuierlich für die einzelnen Studien und Testbeds und zudem als Empfehlungsliste für Variablen und Tests zur Verfügung gestellt. Als Ergebnis und Dokumentation der Weiterentwicklung szenarienbasierten Feedbacks wurde mit AP1 (UL AP) gemeinsam der Leitfaden: **„FeedBot und TASA: Entwicklung und technische sowie didaktische Beschreibung des Unterstützungsangebotes“** erstellt.

Eng mit der Feedbackweiterentwicklung verbunden ist die statistische Auswertung der Graphenmaße des TB UL AP (als Zuarbeit zu M2, 3 und 4). Die Vergleichsmaße der Modelle aus Expert:innen- und Lerner:innentexten des TB UL wurden statistisch ausgewertet und die Ergebnisse geteilt. Diese inspirierten unter anderem 1. die Feedbackentwicklung und 2. Konzepte der teacher facing MWB. Zum Abschied von Dr. W. Hachmann (Sept. 2023) wurden der UL AP die gesamten Ergebniszusammenfassungen, Daten und Auswertungsscripte (in R) zur weiteren Verwendung geliefert.

Zur Evaluation der Einsatzfähigkeit und des Transfers der computerlinguistischen Domänenmodelle (Domäne steht hier für partielle Teildomäne oder große Wissensmodelle) in textbasierten Lernszenarien wurden weitere Auswertungen der seit Frühjahr 2022 laufenden Studie „Textverstehen-I“ vorgenommen (2x2 Gruppendesign mit den Faktoren Wissensnetz (ja/nein) und Bearbeitungsschritten (ja/nein), mit 12 lernrelevanten Kovariaten und zwei Messzeitpunkten zu Textverstehen pro Person, N=80) und neben der verbundweiten Dissemination der Ergebnisse auch der interessierten Fachöffentlichkeit präsentiert.

- Konferenzteilnahme (05.-07.09.) KogWis 2022 der Dt. Gesellschaft für Kognitionswissenschaft der Uni Freiburg (Meet and Greet With Knowledge: A Paradigm and Study Investigating Text. Comprehension Processes With Knowledge Models Generated by T-MITOCAR; Wilde, Willisch, Hachmann, Zaft, & Pirnay-Dummer)
- Symposiumteilnahme („KI-unterstützte, wissensintensive Technologien bei digital gestütztem Mentoring an Hochschulen“) beim 52. DGPs-Kongress 2022 (10.-15.09.) in Hildesheim (Paradigmaentwicklung zum Erschließungsprozess von T-MITOCAR generierten Wissensmodellen, MLU; The Digital Promotion of Learning Math Using the Transformation of Formal Language into natural language and knowledge maps, MLU; Automatically Identifying Hierarchy and Causality in Computer-Generated Association Maps, MLU)

Zusätzlich wurde eine zweite Iteration der qualitativen Auswertung der vorausgegangenen, Grounded Theory basierten Studie zur Wissensbegegnung durchgeführt, um die hier



quantitativ erhobenen Schritte des Wissenserschließungsprozesses qualitativ solide zu begründen. Dabei konnte ein Paradigma zur Wissenserschließung und Graphennutzung abgeleitet werden, welches in der Studie „Textverstehen-I“ validiert und weiter beforscht wurde. Die Ergebnisse beider Studien (Abhängigkeit des Lernerfolges von Intervention x Personmerkmalen, entsprechende Ableitung zur Nutzung von T-MITOCAR-Graphen sowie zur Rolle von Kreativität und intellektueller Verspieltheit → Lerner:innenprofil) wurden konkret bezogen auf die Bedarfe und Anwendungen des Verbundes disseminiert. Ebenso erfolgte die Kommunikation der Ergebnisse zu intellektueller Verspieltheit und kreativem Stil sowie anteilig studienbezogener Selbstwirksamkeit. Zu Personmerkmalen und konkreten Bezügen auf die Anpassungen der Anwendungen wurden zudem iterative Expert:innenzyklen mit AP1, der HTWK, Cedis und FUB durchgeführt.

Zu Domänennutzung und -anpassungen, Personvariablen und deren Erhebung in Studien und Evaluationen, zu Feedback und zu weiteren Microtestbeds wurden iterative formative Expert:innenzyklen mit AP1,4,5,8 durchgeführt. Aus den Ergebnissen der Studien wurden anwendungs- und szenarienbasierte Feedbackkomponenten und schrittweise Anleitungen abgeleitet und im Verbund bedarfs- und anwendungsbezogen disseminiert und, wie beispielhaft im Fall von Gamma-II, direkt zur Erweiterung des rückversprochenen Feedbacks aus Einzelgraphenmaßen genutzt.

Gleichzeitig erfolgten fortwährend Pflege, Anpassung und Weiterentwicklung der in FPh1 aufgebauten produktiven Serverumgebung samt Dokumentation, Codebuch und Manualen, inkl. der Technologien für Serverschnittstellen und APIs zur Erstellung von Usercontent bzw. Wissensabbildung, zum inter- und intra- individuellen Vergleich von Wissensmodellen aus Text (TASA) und zu wissensintensiver Datenbearbeitung. Dies erfolgte in regelmäßiger Abstimmung mit AP3,4,5 hinsichtlich Laufzeit, Datenverarbeitung und Interaktion der Dienste.

Zudem konnte in einer zusätzlichen Tech-Studie zur Nutzbarkeit von aus T-MITOCAR generierten Prompts für Chat-GPT (GPT3) gezeigt werden, dass zur Vermittlung der Ergebnisse der Wissensmodellierung ein automatisierter Prozess zur Generierung eines Erklärtextes in Chat-GPT genutzt werden und damit das Feedback durch dynamische Anteile aufgewertet werden kann.

Die Studien zur Nutzung mathematischer Formalismen (math. Wissens) als Grundlage für Textmodellierung und Darstellung in Graphen zur Erschließbarmachung im Mathematikstudium durch NAGRA (NAtural Language conceptual GRaph) wurden zudem erfolgreich fortgeführt. Hierbei wird formalisiertes mathematisches Wissen für Studierende in Form von Prosatext übersetzt und somit der Wissensanalyse mit T-MITOCAR zugänglich gemacht. Die Intervention mit Texten allein führt nach kurzer Exposition zu höherem mathematischen Verständnis, welches durch die Präsentation der Graphen als Wissensnetz noch verstärkt wurde (Luleich, Waterstraat, & Reiter, 2020). Im SoSe23 wurde eine weitere Studie zu Voraussetzungen der Aufgabenbewältigung in der Mathematik („Voraussetzungsvisualisierung“) durchgeführt. Wie auch die Wissensintegration ist das TB



NAGRA ein von tech4compKI unabhängiges Forschungsvorhaben des Arbeitsbereichs geworden.

Die Integration von Wissen aus unterschiedlichen Fachkulturen und -disziplinen (wie den Fachdidaktiken und Bildungswissenschaftlichen Teildomänen) kann und konnte durch die Begegnung mit Wissensnetzen signifikant gefördert werden. All diesen lernförderlichen Wirkungen stand eine z.T. skeptische Haltung der Studierenden gegenüber, welche durch selbstgesteuerte Erfolgszuweisung in erhöhte Akzeptanz mündete. Die Re-Präsentation von Wissen als Assoziationsnetz im Vergleich zu reiner Textarbeit ist in der Lage, zu Akkommodationsprozessen anzuregen.

Wie bereits in FPh1 erfolgt, wurden am Standort MLU auch in FPh2 anhand der Bedarfe der Testbeds automatisierte Verfahren zur Erstellung von Wissens- und Domänenmodellen konzipiert, entwickelt, eingesetzt und evaluiert, um das individuelle Wissen Lernender sowie das Expert:innen-Hintergrundwissen abzubilden. Deren Einsatz diente der Unterstützung mentaler Modellbildungsprozesse beim Lernen, sowie forschungspraktisch zur quantitativen und qualitativen Analyse. Die bestehenden computer-linguistischen Textanalyseverfahren mit T-MITOCAR und T-MITOCAR Artemis wurden in diesem Teilprojekt in drei Aspekten aufbereitet:

1. Konzeptionell: Zur Visualisierung und Interpretation universitärer Domänenmodelle in ausgewählten Fachbereichen
2. Technisch-Methodisch: Für die Textsynthese zur Verwendung in automatischen Feedback-Systemen für Self-Assessment und andere Prozesse selbstgesteuerten Lernens im Vergleich Domäne-Domäne, Domäne-Studentische Texte, Studentische Texte untereinander
3. Technisch: Für Schnittstellen zur verbundweiten Verarbeitung und Verstetigung der Infrastruktur.

Die Ergebnisse bildeten die Basis für die Identifizierung von Faktoren, die erfolgreiches Lernen fördern, sowie für Empfehlungen zur Anpassung der Lernumgebungen in den Wissensanwendungen der Testbeds. Es entstanden generelle Verfahren zur Erstellung von Domänen- und Wissensmodellen sowie ihre spezifischen, anwendungsbezogenen Ausarbeitungen zur Nutzung in den Szenarien der Testbeds. Weitere spezifische Fragen wurden seither in Microtestbeds agil und unabhängig von den großen Testbeds des Verbundes beforscht. Dadurch wurde der Design-Based Research (DBR) der Testbeds durch Studienbegleitforschung und klassische psychologische Experimentation zu kognitiven Prozessen ergänzt. Grundlegende Forschungsfragen, die im anwendungsbezogenen DBR aufgeworfen wurden, konnten dadurch gezielt beantwortet und die Anwendungen entsprechend weiterentwickelt werden.



2.2.1 Wissensanalyse mit T-MITOCAR und T-MITOCAR Artemis

Da es für Lernen unabdingbar ist, Wissen über einen Gegenstand zu kennen, zu prüfen und zu reorganisieren, stellt die Modellierung eigenen und neuen Wissens (als Re-Repräsentation mentaler Modelle mit T-MITOCAR und T-MITOCAR Artemis) hier den innovativen Aspekt automatisierten Mentorings dar. Als eine wesentliche Grundvoraussetzung für Selbstwirksamkeitserfahrungen und selbstgesteuertes Lernen gilt die Auseinandersetzung mit dem eigenen Wissen (Deci & Ryan, 2012). Hierzu wird dieses Wissen in Textform versprachlicht und zur Beforschung als Wissen operationalisierbar. Um Lernenden einen Zugang anzubieten, zusätzlich zum Wissensstand - dem WAS - mehr über die Organisiertheit - dem WIE - ihres Wissens in Erfahrung zu bringen, wurde die computerlinguistische Wissensanalyse mit der Software T-MITOCAR auch in FPh2 beforscht und weiterentwickelt. Der Aspekt, Auskunft über die Organisationsweise (eigenen wie neuen) Wissens als Lernunterstützung angeboten zu bekommen, kann für selbstgesteuertes Lernen ebensowenig unterschätzt werden wie es für mentorielle Prozesse unabdingbar ist, Ableitungen zu Wissensstrukturen und -beständen vornehmen zu können. Dasselbe gilt für die Voraussetzungen zur Gestaltung von Feedback.

So kann das (unterstützte) Wiedererkennen eigenen Wissens und die Identifikation von neuem und abweichendem Wissen in Texten anderer Autor:innen (z.B. Lehrtexte, Expert:innentext, Peertexte) zu Selbstwirksamkeitserfahrungen führen. Das „Andere“ selbst wird dabei womöglich als interessant oder relevant entdeckt und das eigene Wissen selbständig erweitert oder sogar umstrukturiert – reorganisiert. Diese Reorganisation betrifft sogenannte Akkommodationprozesse des Lernens, welche mit erheblichem kognitivem Aufwand verbunden und oft gehemmt sind, weshalb sie als sehr anstrengend empfunden (und ggf. vermieden) werden. Zur Ermöglichung und Unterstützung solcher Reorganisationsprozesse von Wissen in Lernsituationen bietet die Re-Repräsentation mentaler Modelle durch T-MITOCAR und T-MITOCAR Artemis zusätzlich zur Begegnung mit dem eigenen Wissen auch Vergleiche mit Wissensdomänen oder Domänenmodellen an. Aus der Ähnlichkeit etwa zwischen Studierendentexten mit Expert:innentexten lassen sich Wissensstrukturen und -bestände ableiten.

T-MITOCAR basiert auf der Theorie mentaler Modelle (Johnson-Laird, 1983; Seel, 1991; Schnotz, 1994; Pirnay-Dummer, Ifenthaler, & Seel, 2012; Pirnay-Dummer, & Seel, 2018), der Sprach- und Assoziationspsychologie (Lewin, 1922; Strasser, 2010; Jonassen & Cho, 2008) sowie der formalen Semantik und Syntax als Teilbereiche der Linguistik und allgemeinen Sprachwissenschaft (Bach, 1968; Montague, 1974; Helbig, 2006). Die Technologie fußt auf einem alten Theorem der Assoziations- und Sequenzforschung, welches besagt, dass Syntax und Semantik voneinander abhängig sind. Was im Individuum eng assoziiert ist, wird beim Schreiben durch Strukturen der Syntax auch nah externalisiert (z. B. Smith, 1894; Wells, 1911). Entsprechend extrahiert die Software T-MITOCAR das dahinterliegende Wissensmodell eines Textes anhand der Syntax, indem es die Nähe von Nomenpaaren eines Satzes über deren Distanzen innerhalb der Phrasenstruktur berechnet. Diese Nomenpaare entsprechen Propositionen und die Wörter Konzepten (Johnson-Laird, 1983; Seel, 1991; Schnotz, 1994; Pirnay-Dummer, Ifenthaler, & Seel, 2012; Pirnay-Dummer, & Seel, 2018). Aus der Redundanz der Sprache über viele Sätze hinweg (mindestens 350 Wörter) entsteht ein



zusammenhängendes Wissensmodell des Textes aus einzelnen Propositionen, ein ungerichteter Graph. Das flexible, veränderliche, individuelle Wissen (Epistem) wird so über die strukturellen Eigenschaften der Sprache (Syntax) aus der aktuellen Produktion (dem Schreibenanlass und der Parole nach DeSaussure) gewonnen.

Konzepte werden also auf propositional-assoziative Weise verbunden und sind im Text unterschiedlich stark assoziiert. T-MITOCAR erlaubt es, ein Modell zu konstruieren, das nicht nur Informationen darüber enthält, welche Konzepte im Text enthalten sind, sondern eben auch, auf welche Weise sie vernetzt sind und wie stark sie miteinander assoziiert sind. Dieser Graph/dieses Modell kann, und dies ist wesentlich für den Aspekt der Wissensbegegnung zum Zweck der Auseinandersetzung, visualisiert werden (siehe Abb. 1).

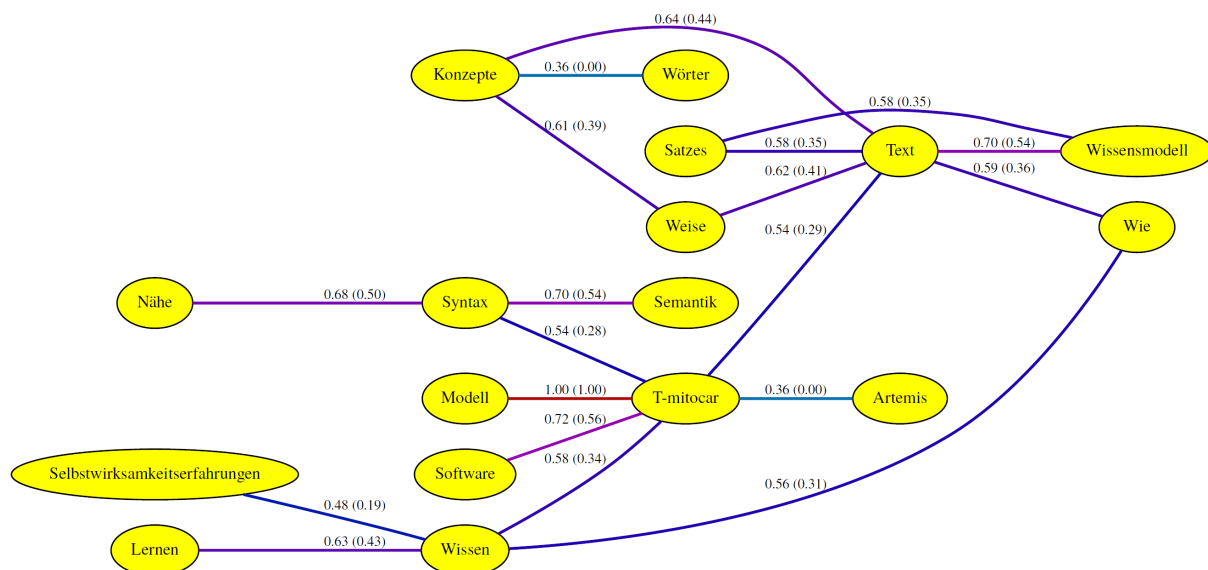


Abbildung 1: T-MITOCAR Assoziationsnetz über den obigen Textabschnitt zu „Wissensanalyse mit T-MITOCAR“.

Die Netzhaftigkeit, die Strukturiertheit bzw. Art der Verknüpftheit, verleiht dem Graphen Bedeutung. Ihre Gewichtung wird in Assoziationsstärken von $0 < x < 1$ angegeben. In den Graphen aufgenommen werden nicht alle Propositionen des Textes, sondern nur die stärkeren Verbindungen. Die Zahlen an den Verbindungen zeigen die Assoziationsstärken in Relation zum gesamten Text an, also auch gegenüber den Propositionen, die nicht angezeigt werden. Die Zahlen in der Klammer dagegen zeigen die Assoziationsstärken relativ zu den propositionellen Verbindungen, die in den Graphen einfließen, also die hier angezeigt werden. Zusätzlich zur Berechnung der Nähe von Nomenpaaren eines Satzes über deren Distanzen innerhalb der Phrasenstruktur wurde an der MLU zudem ein Verfahren zur epistemologischen Auflösung von Präpositionen aus einzelnen Texten entwickelt. Neben den Nomen können jetzt auch Verben abgeleitet und ausgegeben werden, die die Verbindungen beschreiben. Für die Implementierung im Backend und Bereitstellung der Schnittstellen mit Dokumentation wurde bislang im Verbund kein Bedarf angemeldet.

T-MITOCAR Artemis ist eine Weiterentwicklung von T-MITOCAR, durch welche aus multiplen Textquellen, z.B. aus dem Textkorpus einer Wissensdomäne, automatisch oder voreingestellt integrierte Assoziationsnetze generiert werden können. Diese beinhalten eine Vielzahl von



Wissensmodellen. Diejenigen Konzepte, die in mehr als einem Cluster der Modelle auftreten, fungieren als Knotenpunkte und konzeptionelle Brücken zwischen Wissensbereichen. Diese Technologie wird hier zur epistemologischen Domänenmodellierung eingesetzt. T-MITOCAR und T-MITOCAR Artemis erlauben u.a. die Analyse von Domänenkorpora, den Vergleich von individuellen Texten mit Domänenmodellen, mit Teildomänenmodellen, mit Expert:innen-Referenzmodellen (Fachtextmodellen) oder mit primus-inter-pares-Referenzmodellen sowie den Vergleich von Domänenmodellen untereinander. Zudem kann ein einzelnes Modell charakterisiert und der individuelle Fortschritt bei Schreiblernprozessen beschrieben werden. Aus dem Vergleich zwischen Wissensmodellen kann lernrelevantes Feedback abgeleitet werden, da der Vergleich anhand graphentheoretischer Ähnlichkeitsmaße vorgenommen wird, die sich inhaltlich interpretieren lassen. Die Modellierung als Graphen stellt eine formal und quantitativ-graphentheoretisch analysierbare Einheit zur Verfügung. Zudem bieten die mathematischen Eigenschaften der Graphen Statistiken, die in quantitativen Analysen und zum Vergleich verschiedener Graphen genutzt werden können, um semantische und strukturelle Ähnlichkeiten zwischen Texten aufzudecken (Pirnay- Dummer, 2010).

2.2.2 Schnittstellen zu T-MITOCAR

Die APIs zur Wissens- und Domänenmodellierung mit T-MITOCAR und T-MITOCAR Artemis sind bedarfsorientiert konzipiert und implementiert worden und in einem ausführlichen Manual dokumentiert. Sie wurden zu Beginn der Projektlaufzeit auf Deutsch, und später auch auf Englisch zu nichtkommerziellen Zwecken für den Verbund und weitere Kooperationspartner:innen und darüber hinaus zur Verfügung gestellt. Seither laufen die kontinuierliche Serverpflege und bedarfsorientierte Updates als verstetigter Serverdienst. Hierzu zählen die iterative Weiterentwicklung des Server-Dienstes zu T-MITOCAR-Schnittstellen für die verteilte Datenanalyse, die Durchführung von Laufzeittests, von Skalierungstests sowie die Anpassung des Dienstes und der Schnittstellen zur Verbesserung der Dienste und des Zugriffs auf T-MITOCAR und T-MITOCAR Artemis sowie auf die Text-Vergleichs- und Einzelmodellindikatoren.

Zur Funktionsweise von T-MITOCAR, den Verfahren zur Domänenmodellierung sowie zur Ausarbeitung einzelner Teildomänen waren in der FPh1 jeweils mehrtätige Workshops für und mit dem Verbund durchgeführt worden. Der Dienst zur Wissensmodellierung wurde zudem ausführlich durch Lernvideos und Manuale zur Interpretation von Wissensmodellen, zur Domänenmodellierung und zur Funktionsweise von T-MITOCAR beschrieben. Gleichwohl zeigte sich auch in der FPh2 ein, durch personelle Diskontinuitäten ggf. verstärkter, anhaltender Beratungsbedarf. Die kontinuierliche, bedarfsorientierte Beratung und Unterstützung durch die MLU illustriert daher beispielhaft, wie hochgradig kommunikationsintensiv ein solch interdisziplinäres Verbundprojekt zu realisieren ist.

2.2.3 Domänenmodellierung

Die Domänenmodellierung zielt auf die Modellierung des veränderlichen, an einem Standort in Menschen aktiv lebendigen Wissens ab, um es als Expert:innen-Hintergrundwissen in



digitalgestützten Mentoring-Szenarien zur Verfügung zu stellen. Vom Standort MLU waren hierzu die Konzeption, Verfahrenserprobung und Bereitstellung des übertragbaren Domänenmodellierungsprozesses wissenschaftlich und als Anwendung inklusive Workshops, Manualen und Lehrvideos zur Verfügung gestellt worden. Darüber hinaus erfolgten weiterhin regelmäßige Zyklen zur Präzisierung der Nutzung von Teildomänen speziell im TB UL AP inklusive Wiederholungen auch für neue Mitarbeiter:innen.

Eine akademische Wissensdomäne ist abhängig von der Episteme des intendierten Curriculum. Auf der Grundlage der gewachsenen und konkreten Situiertheit der Disziplin vor Ort, sowie der individuellen, expertisespezifischen Überzeugungen, suchen Lehrende Lehrmaterialien und Lehrtexte aus. Diese Texte konstituieren die Wissensdomäne. Sie ist somit dasjenige, was in der Lehre wirksam wird, d.h. das, was ausgewählt, fokussiert, präsentiert, debattiert, geprüft und rückgemeldet wird. Akademische Wissensdomänen sind also standortspezifisch, einzigartig und flexibel, weshalb die Modellierung derselben immer eine Momentaufnahme darstellt. Konsequenterweise war für jedes Testbed ein eigenes Teildomänenmodell bzw. Fachtextmodell angelegt worden, wozu jeweils das Material der Partner:innen gemeinsam aufbereitet wurde. Im Projektverlauf wurde wiederholt die bedarfsgerechte Flexibilität der Re-Modellierung geprüft. Daraus entstand in Zusammenarbeit mit der UL DB die softwaregestützte Vereinfachung des Textaufbereitungsprozesses als pdf-Konvertierungsprogramm mit Texterkennung. Dieses war an der MLU in einem systematischen Vergleich der Auswirkung von händischer und automatischer Textaufbereitung evaluiert worden, wonach nicht alle Vorteile der händischen Aufbereitung softwaregestützt automatisiert werden konnten.

Der Modellierungsprozess mit T-MITOCAR Artemis in den verfügbaren Varianten OSOC, CbF und CbC (siehe https://www.pirnay-dummer.de/?page_id=109&lang=de) war bereits vielfach in Beratungskonsultationen und Workshops gemeinsam im Verbund erprobt worden. Hinzu kamen stetige interdisziplinäre Expert:innenzyklen und Workshops für Verbundpartner:innen zu Funktionsweise und Einsatz von T-MITOCAR, zu bedarfsorientierter Anpassung der Modelle und der gemeinsamen Konzipierung der jeweiligen Teildomänen der Testbeds. Sowohl Bedarfe als auch spezifische Forschungsfragen, die in Testbeds auftraten, wurden iterativ erhoben und anlassbezogen beforscht, und die Ergebnisse in die Re-Konzipierungen und Implementierungen der Testbeds zurückgeführt. Entsprechend konnten nicht nur die Domänenmodelle, sondern auch die damit arbeitenden Wissensanwendungen angepasst werden.

Für die präzisierten Anwendungsmöglichkeiten maschinenlesbarer Domänenmodelle für verschiedenste Mentoringsszenarien wurde zudem ein Leitfaden finalisiert und disseminiert. Zu den szenarienbasierten Erweiterungen zählen Peerdomänen, die Verortung eines Einzelmodells in einer (Teil-)Domäne sowie die Möglichkeit zur Präflektion mittels des T-MITOCAR-auto-Abstracters.

Durch die Beforschung der Wissensanwendungen der MLU, die im Testbed UL verwendet wurden, konnte eine unserer zentralen Forschungsfragen bereits beantwortet werden: Welche Aussagen lassen sich (u.a.) über den Zusammenhang von mentalen Modellen,



Lernprozess und Lernerfolg machen? Aus dem Vergleich der studentischen Schreibaufgaben mit den angelegten Fachtextmodellen hatte sich gezeigt, dass diejenigen Studierenden, die hohe Leistungen in der Abschlussklausur erbrachten, weniger Überlappung mit dem Vokabular der Fachtexte aufwiesen (concept matching, siehe Abbildung 2). Dies weist deutlich auf die Entwicklung eigenen Vokabulars hin. Die Entwicklung eigenen Vokabulars steht am Beginn einer Lerntrajektorie, da die Integration in das eigene, durch vorwissenschaftliche Repräsentationen und Kategorien geprägte Wissensmodell durch Assimilation lernförderlich ist (Seel, 1991). Im Verlauf sollte eine Annäherung an die Fachsprache messbar werden, welche jedoch individuell ausgebildet werden muss (Rosch & Lloyd, 1978). Letzteres betrifft eine konkrete, zukünftige Forschungsfrage für diese Anwendung.

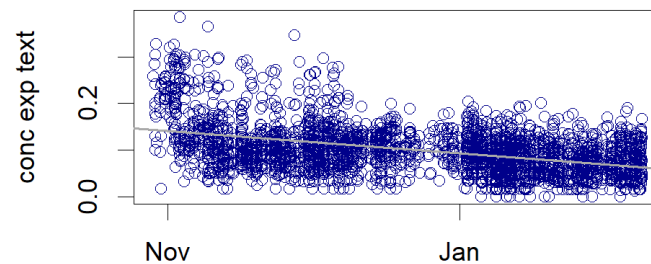


Abbildung 2: Über die Zeit nimmt concept matching mit Expert:innentexten ab. Das ist besonders deutlich in der Gruppe, die hohe Punktzahlen im Seminaranteil der Klausur erreichte.

Strukturell nähern sich die Wissensmodelle erfolgreicher Lerner:innen denjenigen der Fachtextmodelle an (gamma matching, siehe Abbildung 3, sowie structural matching). Das Graphenmaß Gamma gibt die interne Vernetztheit an und weist bei Expert:innentexten eine besonders hohe Vernetztheit auf. Dieses Ergebnis zeigt, inwieweit das Wissen Lernender über die Zeit komplexer und ähnlicher der Fachtextstruktur vernetzt wurde.

Die Weiterentwicklung des im Testbed verwendeten Feedbacks zielte entsprechend auch auf die Unterstützung dieser beiden Prozesse ab.

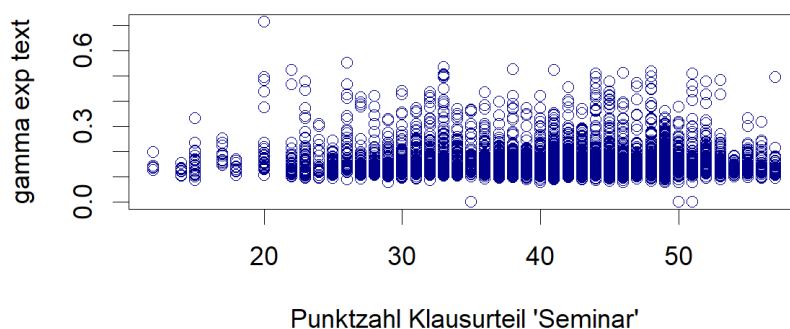


Abbildung 3: Gamma matching mit Expert:innentexten steigt mit höherer Punktzahl im Seminaranteil der Klausur.

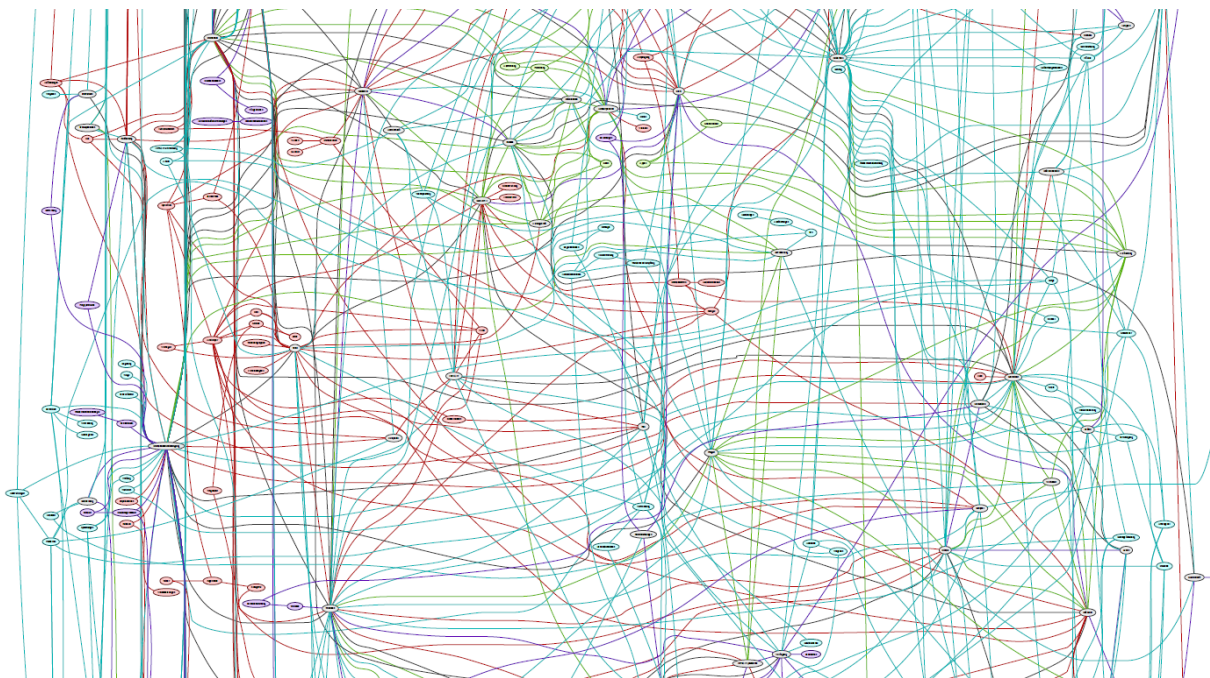
2.2.4 Domänenvisualisierung und Einsatz als Lerngegenstand

Domänenmodelle erfordern aufgrund ihrer Multidimensionalität und Komplexität spezifische Darstellungsweisen, um als Gegenstand der Auseinandersetzung mit Wissensstrukturen



zugänglich zu sein. Dem waren jedoch mit den bekannten Darstellungsweisen deutliche technische Grenzen gesetzt. Visualisiert mit GraphViz (Ellson et al., 2004) waren sie selbst im Posterdruck A0 oder auf einem großen Bildschirm nicht überschaubar und noch weniger navigierbar (siehe Abbildung 4). Eine zumindest technische Lösung hätte die begehbare Projektion in Fußballfeldgröße dargestellt.

Neue Visualisierungen der Domänenmodelle wurden daher an der MLU und gemeinsam mit dem Verbund erarbeitet, in Begegnungsszenarien integriert und iterativ beforscht. Daraus entstanden innerhalb der Fachlandkartenanwendung EAs.LiT zur Annotation von Wissensmodellen der UL DB (Universität Leipzig, Datenbanken, siehe Meissner & Koebis, 2020) drei verschiedene Darstellungsweisen für Graphen: GraphViz für kleine Modelle, eine integrierte Sigma-Anwendung für alle weiteren Modelle samt Modellvergleich und eine Darstellung in 3D (eine Integration von 3d-force-graph) für große Modelle sowie zum Modellüberblick. Die Schnittstellen zu T-MITOCAR waren entsprechend um die Ausgabe in .GraphML erweitert worden, welche für Sigma und 3d-force-graph zu verwenden sind. Die Visualisierungsformen stellen unterschiedliche Anforderungen und Lösungen für kleine bis sehr große Graphen dar und wurden verschieden rezipiert. Die Vor- und Nachteile der Zugänglichkeit und Nutzbarkeit wurden durch die MLU bei Studierenden des Testbed UL AP sowie in einer mehrstufigen Studie bei Expert:innen der MLU erhoben. Aus unseren Erhebungen zeigt sich, dass der Fokus unserer Anwendungen auf Sigma liegen sollte, da sich diese Darstellung trotz vielfacher features (Wörterliste am Rand, überlappende Graphen, bewegbare Knoten) als am besten navigierbar zeigte und dort auch die Verortung mehrerer Modelle (bisher 2) miteinander darstellbar ist. GraphViz wurde für sehr kleine Graphen präferiert, weil es in diesen Fällen eine bessere Übersichtlichkeit bietet, ist aber nicht interaktiv. Die Darstellung mit 3d-force-graph wurde in einzelnen Fällen präferiert und als sehr ansprechender Überblick gelobt, zeigte sich aber im größeren Anwendungsfeld als überladen, zu voraussetzungsvoll und technisch nicht so niederschwellig anpassbar wie Sigma.





Darstellung von Wissen als Assoziationsnetz unmittelbar intuitiv nutzbar fand, stellte sich bei vielen zunächst ein Eindruck von Überwältigung ein. Bei der schrittweisen Erarbeitung der Wissenseinheiten und ihrer Verknüpftheit wurde zunehmend Selbstwirksamkeit und Wiedererkennen rückgemeldet. In nicht wenigen Fällen führte die neue Darstellungsweise zu Irritation, die wiederum durch Reflexion der Wissensgrundlage aufgelöst wurde. Dies wurde als „Aha-Erlebnis“ oder Änderung im Verständnis ausgedrückt, ein deutlicher Hinweis auf Akkommodationsprozesse.

Außerdem zeigte sich, dass die Auseinandersetzung mit einem Assoziationsnetz die Vertiefung des Wissens förderte, auch wenn das Netz eingangs als überwältigend beschrieben wurde. Dieser Kontrast wurde mehrmals repliziert. Das Ergebnis unterstützt aktuelle wissenspsychologische Erkenntnisse, wonach der Transfer und die Abstraktionsleistungen, die vollzogen werden müssen, um das eigene Wissen mit der linearisierten Darstellung als Text und zudem der multidimensionalen Darstellung im Assoziationsnetz abzugleichen, zusätzliche kognitive Ressourcen und persönlichen Einsatz erfordert (Kalyuga & Singh, 2016). Daraus entsteht jedoch ein Einsichtsgewinn, der ohne die ungewohnte Darstellung des Wissens als Assoziationsnetz schwerer zu erreichen ist. Darin spielen Biases der oberflächlichen Wiedererkennung (expectation bias; overconfidence) - die hier ausgeschaltet werden können - genauso wie der Umgang mit Irritationen und die Nähe des Assoziationsnetzes zur angenommenen Assoziiertheit und Re-Konzeptualisierung menschlichen Wissens gleichermaßen eine Rolle (Anderson, 1996; Seel, 1991). Auf die Unterstützung dieser Prozesse zielte die Entwicklung von Feedback an der MLU ab.

Die Ableitungen aus diesen qualitativen Erhebungen bildeten die Grundlage für die weitere Beforschung des Begegnungsprozesses mit Wissen im Zusammenhang mit Lernunterstützung in einer Studienreihe. So wurde zusätzlich eine zweite Iteration der qualitativen Auswertung der vorausgegangenen Studie zur Wissensbegegnung mit Expert:innen ihrer eigenen Domänen durchgeführt, um die hier quantitativ erhobenen Schritte des Wissenserschließungsprozesses qualitativ solide zu begründen. Als Ergebnis wurden kaskadische, z.T. interdependente iterative Erschließungsschritte und deren Zwischenschritte herausgearbeitet (1. Orientierungsversuch, Assoziation bekannten Wissens; 2. Einstiegspunkt für Auseinandersetzung auf Propositionsebene; 3. Auseinandersetzung auf Propositionsebene), als Paradigma zur Graphennutzung abgeleitet und im Verbund disseminiert. Der Prozess der Erschließung lässt sich demnach darstellen als primär fehlerhafte Annäherung mittels Abduktionen, als ein gradueller, kognitiver Prozess zunehmender Elaborationstiefe mit optional rekursivem Vorgehen der Modellreflexion anhand des Textinhalts auf Mikroebene der Propositionen. Zur weiteren Beforschung und Validierung des Paradigmas zur Wissenserschließung und Graphennutzung sowie zur Nutzbarmachung für Textverständnis und Lernerfolg erfolgte die experimentelle Untersuchung vom Umgang mit und der Wirkung von T-MITOCAR-generierten Graphen zu den genannten Aspekten in der Studie „Textverstehen-I“ (2x2 Gruppendesign mit den Faktoren Wissensnetz (ja/nein) und Bearbeitungsschritten (ja/nein), mit 12 lernrelevanten Kovariaten und zwei Messzeitpunkten zu Textverstehen pro Person, N=80). Konkret wurde untersucht, wie sich verschiedene Personmerkmale hierbei im Kontext von Graphennutzung



auswirken, wer im Kontext didaktischer Bedarfe in welchem Umfang von welcher Intervention profitiert sowie verschiedene Interventionsmodelle exploriert.

Die Ergebnisse der beiden Studien (Abhängigkeit des Lernerfolges von Intervention x Personmerkmalen, entsprechende Ableitung zur Nutzung von T-MITOCAR-Graphen sowie zur Rolle von Kreativität und intellektueller Verspieltheit → Lerner:innenprofil) wurden konkret bezogen auf die Bedarfe und Anwendungen des Verbundes disseminiert. So erfolgte die Kommunikation der Ergebnisse zu intellektueller Verspieltheit und kreativem Stil sowie anteilig studienbezogener Selbstwirksamkeit, zu Personmerkmalen und konkreten Bezügen auf die Anpassungen der Anwendungen wurden zudem iterative Expert:innenzyklen mit AP1, der HTWK, Cedis und FUB durchgeführt.

2.2.5 Feedbackentwicklung und Textsynthese

Das Ziel der Ableitung von Graphenmaßen und Vergleichsindikatoren für Feedback war und ist es, Rückmeldung zu einzelnen Wissensmodellen und ihrem Vergleich mit anderen Wissens- und Domänenmodellen im Sinne des didaktischen Modells durch den Chatbot zu ermöglichen sowie die Modellinterpretation zur selbstgesteuerten Überprüfung und Einschätzung zu unterstützen.

Automatisierte Feedbackkomponenten wurden aus Text-zu-Text-Vergleichen abgeleitet und neben den technischen Schnittstellen zur Analysesoftware als Dienst zur Verfügung gestellt. Auf dieser Grundlage wurden sie beständig gemeinsam weiterentwickelt.

Aus bestehendem Feedback zur Textüberarbeitung (TASA: Text-Guided Automated Self-Assessment, Pirnay-Dummer and Ifenthaler, (2011); Pirnay-Dummer et al., 2009) wurde in enger Zusammenarbeit mit der UL AP Feedback zum Vergleich studentischer Einzeltexte mit Expert:innentexten der Seminarlektüre ausgearbeitet. Das Feedback basiert auf Vergleichsindikatoren zwischen Wissensmodellen (Graphenmaße und Tversky-Ähnlichkeit, Pirnay-Dummer, 2010), etwa zwischen einem Studierendentext zu einer Schreibaufgabe und den dazu hinterlegten Expert:innentexten, die laut Curriculum das darin behandelte Wissen abbilden (wie in den Testbeds der UL AP und TUD MZ). Dieses Feedback wurde iterativ für jedes Semester überarbeitet und über den Chatbot (Feedbot) angeboten. Auch pre-post-Vergleiche für die Überarbeitung desselben Textes wurden weiterentwickelt. Für diverse weitere Anwendungsszenarien wurde entsprechendes Feedback in Baumstruktur und Ablaufplänen entworfen und in FPH2 iterativ an verschiedenen Standorten weiterentwickelt. Feedbackkomponenten als Dienst für wissensintensive und -interne Anwendungen im Verbund (Zuarbeit zu M2) wurden in szenarienweise ausformulierten Feedbackbausteinen konkret für Anwendungen des Verbundes weiterentwickelt. Die iterative gemeinsame Überarbeitung und Weiterentwicklung erfolgte anhand **technischer und didaktischer Features** (Text und Modell gemeinsam einblenden, Zentralität anzeigen, im Modell angeklickte Wörter im Text highlighten), einem Konzept der Ausdifferenzierung zu Szenarien für **Peer-Mentoring** (Modellierung der Peer-Domäne zum Thema und Vergleich des Modells eines Einzeltextes mit der aktuellen Peer-Domäne) und für Personalisierung (Anzeige der Modelle als Interaktionsfläche für solche Studierende, die eine mittlere bis hohe intellektuelle



Verspieltheit aufweisen). Hinzu kam die **Re-Konzipierung eines Use Cases** mit der TUC (AP8, René Schmidt) zur Modellierung eines ad-hoc Expert:innenmodells anhand eingegebener Referenztexte und Vergleich dieses Referenzmodells mit dem eingegebenen, selbstverfassten Studierendentext (Feedback erfolgt in drei Schritten und schließt eine geführte Animation durch den Graphen ein).

Zudem wurden aus den Ergebnissen der Studien anwendungs- und szenarienbasierte Feedbackkomponenten und schrittweise Anleitungen abgeleitet und im Verbund bedarfs- und anwendungsbezogen disseminiert und, wie beispielhaft im Fall von Gamma-II, direkt zur Erweiterung des rückversprachlichten Feedbacks aus Einzelgraphenmaßen genutzt.

Zur Erweiterung der Textsynthese für Feedback um Komponenten der Einzelmodellindikatoren (Einzelgraphenmaße) wurden Schnittstellen zu Einzelgraphenmaßen als Modellstatistiken aus T-MITOCAR entsprechend implementiert.

Um zu einem einzelnen Text allein indikatorenbasiert Rückmeldung zu bekommen, ist der didaktisch und psychologisch fundierte Einbezug der Einzelgraphenmaße in die Textsynthese erforderlich. Diese Möglichkeit wurde bedarfsorientiert und vor dem Hintergrund grundlegender interdisziplinärer Forschungsfragen (Wie lassen sich einzelne Merkmale der Modelle so konkret sprachlich rückmelden, dass die darunterliegende textuelle Wissensstruktur spezifisch und individuell abgebildet wird und Änderungsanregungen didaktisch sinnvoll, als passend empfunden und praktisch umsetzbar sind?) weiterentwickelt. So wurden an der MLU in einem weiteren Microtestbed zur empirischen Basis von Feedbackbausteinen die Ergebnisse der Gamma I-Studie (Zusammenhang zwischen Gamma und Ratings der Modellzerrüttetheit) in der Gamma-Studie II weiter beforscht. Die Durchführung und Auswertung der Studie zur Beforschung des in T-MITOCAR modellierten Graphenstrukturmaßes Gamma als Einzelgraphenmaß in Zusammenhang mit der zugrunde liegenden Textgüte erfolgte in einer Lehrveranstaltung (Microtestbed, Februar/März 2023). Gamma ist das Verhältnis der Anzahl von Knoten zu Kanten eines Graphen und stellt somit ein Maß der internen Vernetztheit dar. Die Ergebnisse sprechen für einen Zusammenhang der Kohärenz eines Textes mit dem Gamma des Wissensmodells desselben Textes: je niedriger Gamma, i.e. je besser der Text intern vernetzt ist, desto höher ist die Textkohärenz. Dies wurde direkt zur Erweiterung des rückversprachlichten Feedbacks aus Einzelgraphenmaßen genutzt, da nun Gamma direkt ausgelesen und als Kriterium für Textbausteine bezüglich Anregungen zur Verbesserung der Textkohärenz genutzt werden kann.

Zur Dissemination der Ergebnisse aus den Microtestbeds (Gamma-Studien) und der Studien (Wissensbegegnung in Graphen und Textverstehen I) sowie zur gemeinsamen Weiterentwicklung von Feedback veranstaltete die MLU im Juni 2023 einen Szenario-Workshop an der MLU Halle. Mit Fokus auf AP 1, 4, 5 und 8 wurden Angebote anhand der Mentoring- Szenarien, der Ergebnisse zu Begegnung mit Wissen in Lernumgebungen, zur Integration in Wissensumgebungen und unter Rückbindung an das didaktische Modell sowie als Anregung für die teacher-facing mentoring-workbench (MWB) diskutiert und weiterentwickelt. Weitere, kleinere Workshops wurden im Rahmen von Beratungssitzungen



und Expert:innenzyklen ad hoc durchgeführt. Als Ergebnis und Dokumentation der Weiterentwicklung szenarienbasierten Feedbacks wurde mit AP1 (UL AP) gemeinsam der Leitfaden: „**FeedBot und TASA: Entwicklung und technische sowie didaktische Beschreibung des Unterstützungsangebotes**“ erstellt.

Zudem wurde ergebnisbasiert in enger Kooperation mit Verbundpartner:innen die didaktische Umsetzung in regelmäßigen Expert:innenzyklen ausgearbeitet und erprobt. Einzelgraphenmaßbasiertes Feedback wurde in Testbeds implementiert und formt einen weiteren Teil der nach Szenarien organisierten Matrix in Baumstruktur und Ablaufplänen für Feedbackbausteine. Weiterhin erfolgte die kontinuierliche gemeinsame Re-Konzipierung neuer und erweiterter Prototypen für Angebote der MWB und der Bots (LitBot und Feedbot) mit AP1 und AP4 ebenfalls in iterativen Expert:innenzyklen.

Inspirierend bei der Fortführung der iterativen Beratungen mit CEDIS, FUB zu Einsatzszenarien von **Avataren** im Mentoring als Peer-Avatare als Ästhetisierung der Lernumgebung und Formen von Feedback innerhalb eines spezifischen Spektrums war die Studie von Bosch & Ellis (2021) über den Einsatz von Avataren zur Förderung der Selbstwirksamkeit bei Lehrpersonen. Darüber hinausgehend entstanden bei den wiederholten Arbeitstreffen Szenarioentwürfe als Szenario-Simulation gegenstandsbezogenen „Wissens- Austauschs“ mit dem Ziel, Avatare als Peers bei der Wissensbegegnung zum Einsatz zu bringen.

Zur Nutzbarmachung weiterer Graphenmaße (Einzelmodellmaße) über Gamma hinaus wurden die intensiven Arbeitstreffen mit der TUC (René Schmidt) fortgesetzt, u.a. zur iterative Entwicklung und Testung eines Prototypen. Daraus entstand das Evaluationskriterium der „coverage“ (Anzahl der im Text vorhandenen Konzepte im Verhältnis zur im T-MITOCAR-Modell verwendeten Konzeptanzahl) und die Ableitung von Fragen zur Evaluationsstudie zu „Potentialen automatischer Feedbackgenerierung in Mentoring-Settings mit T-MITOCAR und LLM“ (**Potentials of Automatic Feedback Generation in Mentoring Settings using T-MITOCAR and Large Language Models**). Diese Studie wurde gemeinsam mit der TUC konzipiert und mit der Durchführung begonnen. Aufgrund personeller Diskontinuitäten und ungeklärter Unterstützung aus dem Verbund kam es bislang nicht zu einer Finalisierung der Studie.

Im Bereich der Feedbackkomponenten als Dienst für wissensintensive und -interne Anwendungen im Verbund (Zuarbeit zu M3 und M4) wurden szenarienweise ausformulierte Feedbackbausteine konkret für Anwendungen des TB UL AP anhand einer technologischen Studie zur Anwendbarkeit generalisierbarer Anteile von Feedback durch KI-basierte Anwendungen weiterentwickelt. Zentral stand die Frage: **Lassen sich Wissensanalysen aus T-MITOCAR durch Chat-GPT verständlich übermitteln?** Die Studienergebnisse zeigen, dass zur Vermittlung der Ergebnisse der Wissensmodellierung ein automatisierter Prozess zur Generierung eines Erklärtextes in Chat-GPT genutzt werden und damit das Feedback durch dynamische Anteile aufgewertet werden kann. Use-Case, Proof of Concept und die hierin angelegte, technologische Machbarkeitsstudie wurden den beteiligten APs übergeben.



2.2.6 Darüber hinausgehende Forschung und Entwicklungen

An der MLU waren zur Beforschung der im Verlauf von FPh1 entstandenen zusätzlichen Fragestellungen drei weitere, temporäre Testbeds implementiert worden: die Begleitforschung Bildungswissenschaften, das Testbed Mathematik (NaGra-Studie I), und das Testbed Wissensintegration. In diesen zusätzlichen Testbeds wurden ebenfalls Design-Experimente durchgeführt, da sie begleitend und integrativ im laufenden Lehrbetrieb umgesetzt wurden. In der Begleitforschung und dem Testbed zur Wissensintegration kam das lokale Domänenmodell der MLU für Feedback zum Einsatz. Die Ergebnisse bestätigen den Einsatz von Artefakten eigenen Wissens in der Lehre: Abbildungen in GraphViz erhöhten in der Begleitforschung die Befähigung, eigenes Wissen neu zu strukturieren und Texte zu überarbeiten.

Die Studien zur Nutzung mathematischer Formalismen (math. Wissens) als Grundlage für Textmodellierung und Darstellung in Graphen zur Erschließbarmachung im Mathematikstudium durch NAGRA (NATURAL LANGUAGE conceptual GRaph) wurden auch in FPh2 erfolgreich fortgeführt. Hierbei wird formalisiertes mathematisches Wissen für Studierende in Form von Prosatext übersetzt und somit der Wissensanalyse mit T-MITOCAR zugänglich gemacht. Die Intervention mit Texten allein führt nach kurzer Exposition zu höherem mathematischen Verständnis, welches durch die Präsentation der Graphen als Wissensnetz noch verstärkt wurde (Luleich, Waterstraat, & Reiter, 2020). Im SoSe23 wurde eine weitere Studie zu Voraussetzungen der Aufgabenbewältigung in der Mathematik („Voraussetzungsvisualisierung“) durchgeführt. Wie auch die Wissensintegration ist das TB NAGRA ein von tech4compKI unabhängiges Forschungsvorhaben des Arbeitsbereichs geworden.

Speziell für Feedbackkomponenten als Dienst für wissensintensive und -interne Anwendungen im Verbund wurden am Standort MLU in einer technologischen Studie zur Anwendbarkeit generalisierbarer Anteile von Feedback durch KI-basierte Anwendungen szenarienweise ausformulierte Feedbackbausteine konkret für Anwendungen des TB UL AP weiterentwickelt. Unter Nutzung einer Anleitung wurden zentrale und periphere Konzepte aus der Wissensmodellierung mit T-MITOCAR genutzt, um Prompts für Chat-GPT zu erstellen. Die verständlichsten und thematisch passendsten Resultate ließen sich mit generischeren Prompts erstellen, während die verwendeten Konzepte weiterhin aus dem Wissensmodell stammten und nach Graden (Anzahl der Verbindungen) pro Konzept in zentral und peripher eingeteilt wurden. Genutzt wurden Lehrtexte des TB UL AP. Die Ergebnisse zeigen, dass zur Vermittlung der Ergebnisse der Wissensmodellierung ein automatisierter Prozess zur Generierung eines Erklärtextes in Chat-GPT genutzt werden und damit das Feedback durch dynamische Anteile aufgewertet werden kann. Es handelt sich um die Übergabe epistemologisch ermittelten Wissens von Einzelpersonen zur Nutzung als Auto-Prompting. Unsere Studie zeigt, wie sich LLM nutzen lassen und wie Autoprompts generisch formuliert sein können, um individuelles Feedback im Mentoring für eine auf studentischer Ebene



ermittelte Wissensstruktur von LLM zu bekommen. Als Beispiel wurde ChatGPT 3.5 genutzt. Wir gehen davon aus, dass sich der Ergebnisse auch auf andere LLM übertragen lassen.

Eine weitere zusätzliche Aufgabe der MLU betraf den im Verbund entstandenen Bedarf nach psychologisch fundierten Tests lernrelevanter Personmerkmale. Ebenso bedarfsorientiert wurde die Zusammenstellung, Beratung und Zusammenarbeit in Studien und Testbeds zu lernrelevanten Personmerkmalen verbundweit fortgesetzt. So erfolgte in Expert:innenzyklen mit dem Testbed HTWK die Konkretisierung und Begleitung der Evaluation lernrelevanter Personmerkmale als Kovariaten sowie deren Ergebnisse. Mit AP5 erfolgten die iterative, gemeinsame Entwicklung eines Studiendesigns zur Sensordatenmessung bei Lernprozessen der Äquilibration, Zuarbeiten der Literaturarbeit, Vorschläge des Designs, die Ableitung von Hypothesen zu lernrelevanten Personmerkmalen und die Operationalisierung im Microtestbed Sensordaten.

Die Verstetigung der Anwendungen und Nutzbarkeit der Erkenntnisse an der eigenen Universität und darüber hinaus wurde vorangetrieben. Die NaGra-Studien führten zu einer über das Projekt hinausgehenden, weiterhin bestehenden fruchtbaren Kooperation. Die weitere Ausarbeitung der Technologie wird in Abschlussarbeiten sowie in der Beforschung und weiteren Umsetzung in laufender Lehre fortgesetzt. Darin werden die Domänenmodelle und deren Nutzbarkeit als Wissensbegegnungsgelegenheit weiter beforscht.

2.3 Literatur

Anderson, J. R. (1996). *The architecture of cognition* (Vol. 5). Psychology Press.

Bach, E. (1989). *Informal Lectures on Formal Semantics*. NY: State University of New York Press.

Baker, R. S., & Inventado, P. S. (2014). Educational Data Mining and Learning Analytics. In Larusson, J. A. & White, B. (Eds.), *Learning Analytics* (pp. 61-75). New York: Springer.

Bastian, M., Heymann, S. & Jacomy, M. (2009). Gephi: an open source software for exploring and manipulating networks. *Paper presented at the Proceedings of the International AAAI Conference on Web and Social Media*. <https://gephi.org/publications/gephi-bastian-feb09.pdf>

Bosch, C., & Ellis, T. (2021). Using avatars to address teacher self-efficacy. *Journal of Global Education and Research*, 5(1), 15-35. <https://www.doi.org/10.5038/2577-509X.5.1.1069>

Cheng, X., Cao, Q., & Liao, S. S. (2020). An overview of literature on COVID-19, MERS and SARS: Using text mining and latent Dirichlet allocation. *Journal of Information Science, online first*, 0165551520954674. doi:10.1177/0165551520954674

Churchill, R., & Singh, L. (2022). The Evolution of Topic Modeling. *ACM Computing Surveys*, 54(10s), 1-35. doi:10.1145/3507900



- Dabbagh, N. & Kitsantas, A. (2012). Personal Learning Environments, social media, and self regulated learning: A natural formula for connecting formal and informal learning. In *Social Media in Higher Education*, 15(1), 3-8.
- Deci, E., & Ryan, R. (2012). Self-determination theory. In: *Handbook of theories of social psychology* (S. 416–436). Sage Publications Ltd. <https://doi.org/10.4135/9781446249215.n21>
- Ellson, John; Gansner, Emden R.; Koutsofios, Eleftherios; North, Stephen C.; Woodhull, Gordon (2004): Graphviz and Dynagraph — Static and Dynamic Graph Drawing Tools. In: Jünger M., Mutzel P. (eds) *Graph Drawing Software. Mathematics and Visualization*. Springer, Berlin, Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-642-18638-7_6
- Ethikrat. (2020). *Deutscher Ethikrat*. Retrieved from <https://www.ethikrat.org/>
- Ferguson, R. & Buckingham Shum, S. (2012). Social learning analytics: five approaches. In 2nd Intern. Conf. on Learning Analytics & Knowledge, 29 Apr - 02 May 2012, Vancouver, Canada, 23-33.
- Gaaw, S., & Stuetzer, C. M. (2020). A proactive perspective on the future of Learning Analytics: A systematic literature review. *Proceed. of 10th Intern. Conf. on Learning Analytics & Knowledge LAK20*, 74–76.
- Greer, J. E., Frost, S., & Banow, R. (2015). The Student Advice Recommender Agent: SARA. Posters, Demos, Late-breaking Results & *Workshop Proceed. of UMAP'15*.
- Hammady, R., M., M., Strathern, C. & Mohamad, M. (2020). Design and Development of a Spatial Mixed Reality Touring Guide to the Egyptian Museum. *Multimedia Tools and Applications*, 79, (5-6), 3465–94. Springer.
- Hattie, J., & Yates, G. C. R. (2014). *Visible learning and the science of how we learn*. Routledge.
- Helbig, H. (2006). *Knowledge representation and the semantics of natural language*. Berlin, New York: Springer.
- Heßdörfer, F., Hachmann, W., & Zaft, M. (2021). Graphenbasierte Textanalyse in Lernkontexten: Technische Voraussetzungen, prototypische Szenarien, didaktische Reflexion. In H.-W. Wollersheim, M. Karapanos, & N. Pengel (Eds.), *Bildung in der digitalen Transformation* (Vol. Medien in der Wissenschaft, pp. 245-256). Münster; New York: Waxmann.
- Holz, T., Campbell, A. G., O'Hare, G. M.P., Stafford, J. W., Martin, A. & Dragone, M. (2011). MiRA—Mixed Reality Agents. In *Intern. Journal of Human-Computer Studies*, 69(4), 251–68.
- Huang, X., Twycross, J., & Wild, F. (2019). A Process for the Semi-Automated Generation of Life-Sized, Interactive 3D Character Models for Holographic Projection. *Intern. Conference on 3D Immersion (IC3D)*. Brussels, IEEE, 1-8.
- Johnson-Laird, P. N. (1983). *Mental Models. Toward a cognitive science of language, inference and language*. Cambridge: Cambridge Univ. Press.
- Jonassen, D. H., & Cho, Y. H. (2008). Externalizing mental models with mindtools. In D. Ifenthaler, P. Pirnay-Dummer, & J. M. Spector (Eds.), *Understanding models for learning and instruction. Essays in honor of Norbert M. Seel*. (pp. 145-159). New York: Springer.



- Kalyuga, S., & Singh, A. M. (2016). Rethinking the boundaries of cognitive load theory in complex learning. *Educational Psychology Review*, 28, 831-852.
- Lewin, K. (1922). Das Problem der Wissensmessung und das Grundgesetz der Assoziation. *Teil 1. Psychologische Forschung*, 1, 191–302.
- Luleich, C., Waterstraat, N., & Reiter, P. (2020). Modeling Mathematical Knowledge from Natural Language Representations. Introducing a New Method. *Paper presented at the AECT annual meeting*, Jacksonville, USA.
- McCabe, J. (2011). Metacognitive awareness of learning strategies in undergraduates. In *Memory & cognition* 39(3), 462-476.
- Merceron, A.; Blikstein, P. & Siemens, G. (2015) Learning Analytics: From Big Data to Meaningful Data. *Journal of Learning Analytics* 2(3), 4-8.
- Meissner, R. & Koebis, L. (2020): Annotated Knowledge Graphs for Teaching in Higher Education - Supporting Mentors and Mentees by Digital Systems. *Paper presented at the International Conference on Web Engineering (ICWE)*.
- Montague, R. (1974). *Formal philosophy; selected papers of Richard Montague*. New Haven: Yale University Press.
- Pipek, V. & Wulf, V. (2009). Infrastructuring: Towards an Integrated Perspective on the Design and Use of Information Technology. In *Journal of the Association for Information Systems*, 10(5), 447–473.
- Pirnay-Dummer, P. (2021). *tech4comp-T-MITOCAR-Schnittstelle-006*. Internes Working Paper zur Schnittstellendokumentation unter Einbindung von Feedback.
- Pirnay-Dummer, Pablo (2020). Knowledge and Structure to Teach. A Model-Based Computer-Linguistic Approach to Track, Visualize, Compare and Cluster Knowledge and Knowledge Integration in Pre-Service Teachers. In: T. Lehmann (Ed.), *International Perspectives on Knowledge Integration in Pre-service Teachers' and Future Educational Specialists' Professional Development. Theory, Research, and Good Practice*. (pp. 133-154). Boston: Brill Sense.
- Pirnay-Dummer, P., & Seel, N. M. (2018). The Sciences of Learning. In L. Lin & J. M. Spector (Eds.), *The Sciences of Learning and Instructional Design. Constructive Articulation between Communities* (pp. 8-35). New York: Routledge.
- Pirnay-Dummer, P. (2015a). Knowledge Elicitation. In J. M. Spector (Ed.), *The SAGE Encyclopedia of Educational Technology* (pp. 438-442). Thousand Oaks, CA: SAGE.
- Pirnay-Dummer, P. (2015b). Linguistic analysis tools. In C. A. MacArthur, S. Graham, & J. Fitzgerald (Eds.), *Handbook of Writing Research* (S. 427-442). New York: Guilford Publications.
- Pirnay-Dummer, P. (2014). Gainfully guided misconception. How Automatically Generated Knowledge Maps can Help Companies Within and Across Their Projects. In D. Ifenthaler & R. Hanewald (Eds.), *Digital knowledge maps in higher education. Technology-enhanced support for teachers and learners* (S. 253-274). New York: Springer.



- Pirnay-Dummer, P., Ifenthaler, D., & Seel, N. M. (2012). Designing Model-Based Learning Environments to Support Mental Models for Learning. In D. H. Jonassen & S. M. Land (Eds.), *Theoretical Foundations of Learning Environments* (pp. 55-90). New York: Routledge.
- Pirnay-Dummer, Pablo (2012). Measures of Association. In: Seel, N. (Ed.), *Encyclopedia of the Sciences of Learning* (pp. 2145-2147). New York: Springer.
- Pirnay-Dummer, P. (2012). Ontology and Semantic Web. In N. M. Seel (Ed.), *Encyclopedia of the Sciences of Learning* (pp. 2507-2510). New York: Springer.
- Pirnay-Dummer, P.; Ifenthaler, D. (2011). Text-Guided Automated Self Assessment. A Graph-Based Approach to Help Learners with Ongoing Writing. In: D. Ifenthaler, J. M. Spector, Kinshuk, P. Isaias and D. G. Sampson: *Multiple Perspectives on Problem Solving and Learning in the Digital Age*. New York: Springer. https://doi.org/10.1007/978-1-4419-7612-3_14
- Pirnay-Dummer, P. (2010). Complete structure comparison. In D. Ifenthaler, P. Pirnay-Dummer, & N. M. Seel (Eds.), *Computer-based diagnostics and systematic analysis of knowledge* (pp. 235-258): Springer.
- Pirnay-Dummer, P., Ifenthaler, D., & Spector, J. M. (2010). Highly integrated model assessment technology and tools. *Educational Technology Research and Development*, 58(1), 3-18. doi:10.1007/s11423-009-9119-8
- Pirnay-Dummer, P., Ifenthaler, D., & Rohde, J. (2009). Text-guided automated self-assessment. *Paper presented at the Cognition and Exploratory Learning in Digital Age*, Rome.
- Pirnay-Dummer, P., & Ifenthaler, D. (2008). Foundations and methodologies of mental models research. In D. Ifenthaler, P. Pirnay-Dummer, & J. M. Spector (Eds.), *Understanding models for learning and instruction. Essays in honor of Norbert M. Seel*. (pp. 1-2). New York: Springer.
- Pirnay-Dummer, Pablo (2007): Model inspection trace of concepts and relations. A heuristic approach to language-oriented model assessment. *Paper presented at the AREA 2007*.
- Rancièrè, Jacques (2007). *Der unwissende Lehrmeister*. Zürich: Passagen
- Rosch, E., & Lloyd, B. B. (Eds.). (1978). *Cognition and categorization*. Hillsdale: Lawrence Erlbaum Associates.
- Schnotz, W. (1994). *Aufbau von Wissensstrukturen*. Weinheim: Beltz, Psychologie-Verl.-Union.
- Seel, N. M. (1991). *Weltwissen und mentale Modelle*. Göttingen: Hogrefe.
- Smith, W. G. (1894). Mediate association. *Mind*, 3(11), 289-304.
- Sitzmann, T. & Ely, K. (2011). A meta-analysis of self-regulated learning in work-related training and educational attainment: What we know and where we need to go. In *Psychological bulletin* 137 (3), 421-442.
- Strasser, A. (2010). A functional view towards mental representations. In D. Ifenthaler, P. Pirnay-Dummer, & J. M. Spector (Eds.), *Computer-Based Diagnostics and Systematic Analysis of Knowledge* (pp. 15-26). New York: Springer.
- Stuetzer, C. M., Carley, K. M., Koehler, T. & Thiem, G. (2011). The communication infrastructure during the learning process in web based collaborative learning systems. In Proc. of 3rd Intern. Web



Science Conference (WebSci '11). Association for Computing Machinery, New York, USA, 17,1-8.

Tittmann, P. (2010). Graphs and Networks. In D. Ifenthaler, P. Pirnay-Dummer, & N. M. Seel (Eds.), *Computer-Based Diagnostics and Systematic Analysis of Knowledge* (pp. 177-188). New York: Springer.

Ullrich, C. (2008). Pedagogically founded courseware generation for web-based learning: An HTN-planning-based approach implemented in PAIGOS. *Lecture notes in artificial intelligence: Vol. 5260*. Berlin, Heidelberg: Springer.

Wang, X., Gülenman, T., Pinkwart, N., de Witt, C., Gloerfeld, C., & Wrede, S. (2020). Automatic Assessment of Student Homework and Personalized Recommendation.

Wells, F. L. (1911). Some properties of the free association time. *Psychological review*, 18, 1-24.

Zheng, Z., & Pinkwart, N. (2014). Dynamic recomposition of learning groups using PSO-based algorithms. In *Educational Data Mining 2014*



2.4 Die wichtigsten Positionen des zahlenmäßigen Nachweises

Wie anträglich festgelegt, wurden Personalmittel für zwei Postdocs und Hilfskräfte verwendet. Veranschlagte Reisekosten wurden pandemiebedingt nicht vollständig ausgegeben und für die immer stärker werdenden Bedarfe der Beforschung in Form von Aufwandsentschädigung für Proband:innen zurückgehalten. Die durch das vorzeitige Ausscheiden von Dr. Wibke Hachmann zum 30.09.2023 freigewordenen Personalmittel (0812) wurden zur Unterstützung von Dr. Matthias Zaft in Mittel für Hilfskräfte (0822) umgewidmet. Details können dem gesondert zugesendeten zahlenmäßigen Nachweis entnommen werden.

2.5 Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Projektarbeiten

Die geleisteten Arbeiten entsprechen den im Projektantrag dargestellten Vorhaben, den Anforderungen und Bedarfen der Verbundpartner:innen und Testbeds sowie zusätzlichen Aufgaben.

2.6 Verwertbarkeit der Ergebnisse und Verstetigung

Verwendbarkeit im Verbund und darüber hinaus: Die Schnittstellen, Dokumentation und Manuale sind für Forschung und nichtkommerzielle Anwendung verfügbar, sowohl auf Deutsch als auch auf Englisch. Die empirisch erhobenen Ergebnisse wurden bzw. werden in Fachzeitschriften publiziert. Die Verfahren der Domänenmodellierung bzw. der Teildomänen, Visualisierung, und insbesondere die Entwicklung des Feedbacks ermöglicht auch nach der Projektlaufzeit einen Fundus an Möglichkeiten, die Pakete an Mentoring-Szenarien und Anwendungsfeldern weiter zu entwickeln, zu beforschen oder in ganz neuen Feldern anzuwenden. Die Verfahrensbeschreibungen sowie Lehrvideos, Einführungen und Entwicklungsgrundlagen stehen zur Verfügung und werden bereits in weiteren Projekten international weiterverwendet.

Die Entwicklung der Visualisierungsmodi im Rahmen des Fachlandkartentools in EAs.LiT stellt eine Innovation dar, welche ebenfalls für Forschung und nichtkommerzielle Anwendungen verfügbar, dokumentiert und erweiterbar ist. Weitere Stakeholder werden zur Kooperation eingeladen.

Auch im Verlauf der zweiten Förderphase hat der Fokus auf Beforschung zugenommen. Durch den Einsatz der Technologie wurden Forschungsdesiderata konkreter, auf die wir mit der Fortsetzung gezielter Erhebungen reagiert haben: Interviewreihen, Entwurf und Durchführung einer Forschungsreihe und sowie Entwurf, Durchführung und Auswertung großer Erhebungen: Eine erneute Beforschung der Grounded-Theory-basierten Interviewreihe zur Wissenserschließung und das Laborexperiment „Texterschließen und -verstehen I“. Die Arbeiten der Forschungsreihe wurden fortgesetzt und durch kleine Erhebungen gezielt in Microtestbeds (kleine, agile und flexible lokale Erhebungen zusätzlich zu den großen Testbeds) ergänzt. Die Fragen ergaben sich direkt aus den Testbeds, in welche die Ergebnisse zur iterativen Differenzierung der Anwendungen unmittelbar zurückflossen. Gleichzeitig bleiben sie sowohl als Forschungsergebnis wie auch als Anwendungsimplementierung in der Forschungsdateninfrastruktur von tech4comp und tech4compKI über die Laufzeiten hinaus bestehen.



2.7 Bekannt gewordener Fortschritt bei anderen Stellen

Während des Projektes wurden fortlaufend Forschungsergebnisse rezipiert, u.a. durch regelmäßige Sichtung der Fachliteratur, Besuche nationaler und internationaler (Online-)Konferenzen sowie Austausch mit Projekten derselben Förderlinie. Relevant für Überlegungen zur Ästhetisierung der Lernumgebung und Formen von Feedback war beispielsweise eine Studie von Bosch & Ellis (2021) über den Einsatz von Avataren zur Förderung der Selbstwirksamkeit bei Lehrpersonen. Ebenso waren Reviews über Text Mining Technologien inspirierend (Cheng, Cao, & Liao, 2020; Churchill & Singh, 2022), um die Wissensanalyse mit T-MITOCAR noch genauer zu verorten und andere Möglichkeiten auch für Feedbackbausteine (zum Beispiel anhand von Topic Models) zu eruieren. Der breiten Verfügbarkeit (u.a.) automatisch generierten Feedbacks in Textform qua LLM wie Chat-GPT wurde mit der zusätzlichen Tech-Studie zur Nutzbarkeit von aus T-MITOCAR generierten Prompts für Chat-GPT (GPT3) Rechnung getragen. Eine Stärke unseres Standortes liegt weiterhin in der psychologisch realen, auf mentaler Modelltheorie beruhenden Wissensanalyse für die automatisierte Analyse von Text und ihrer Verfügbarkeit für pädagogisch und psychologisch fundierte Feedbackkomponenten. Diese Anforderung steht im Einklang mit einer der weiteren Stärken dieses Projektes: der Begründung digitaler, skalierbarer Anwendungen für Mentoring in einem didaktischen Modell. Zur direkten Anwendung innerhalb dieses Rahmens sind uns keine Fortschritte anderer Stellen bekannt geworden.

2.8 Veröffentlichungen

Peer review talks and proceedings

- Wilde, T., Willisch, A., Hachmann, W., Zaft, M., & Pirnay-Dummer, P. (2022, Sep. 5th- 7th 2022). Meet and Greet With Knowledge: A Study and Paradigm Investigating Text Comprehension Processes With Knowledge Models Generated by T-MITOCAR. *Paper presented at the KogWis2022, the 5th Biannual Conference of the German Society for Cognitive Science, Albert-Ludwigs-Universität Freiburg, Germany.*

Durch MLU eingereichtes Symposium „AI-supported, knowledge-intensive technologies in digitally supported mentoring at universities“ an der Tagung der Deutschen Gesellschaft für Psychologie, Sept. 2022:

- Hähnlein, I., Luleich, C., & Pirnay-Dummer, P. (2022). The Digital Promotion of Learning Math Using the Transformation of Formal Language into Natural Language and Knowledge Maps. *Talk presented at the Symposium AI-supported, knowledge-intensive technologies in digitally supported mentoring at universities at 52nd DGPs Congress, 2022 Hildesheim, Germany.*
- Pirnay-Dummer, P. (2022). Automatically Identifying Hierarchy and Causality in Computer-Generated Association Maps. *Talk presented at the Symposium AI- supported, knowledge-intensive technologies in digitally supported mentoring at universities at 52nd DGPs Congress, 2022 Hildesheim, Germany.*
- Hachmann, W. M., Willisch, A., Wilde, T., & Zaft, M. (2022). Paradigmaentwicklung zum Erschließungsprozess von T-MITOCAR generierten Wissensmodellen. *Talk presented at the*



Symposium AI-supported, knowledge-intensive technologies in digitally supported mentoring at universities at 52nd DGPs Congress, 2022 Hildesheim, Germany.

- Heßdörfer, F., Hachmann, W. M., Moser, E., & Zaft, M. (2022). Transparentes Lernen mit Texten und Daten: Herausforderungen und Chancen der multimodalen Lernanalyse. *Talk presented at the Symposium AI-supported, knowledge-intensive technologies in digitally supported mentoring at universities at 52nd DGPs Congress, 2022 Hildesheim, Germany.*
- Hähnlein, I., Wäscher, A., Zaft, M., Pirnay-Dummer, P. (2023, April). Promoting Pre- Service Teachers' Knowledge Integration from Multiple Text Sources across Domains with Instructional Prompts. *Poster presented at the American Educational Research Association (AERA) Conference, Chicago, USA.*
- Hähnlein, I., Pirnay-Dummer, P. (2023, August). Using knowledge maps as attention- directing support for writing instructional texts. *Paper presented at the European Association for Research on Learning and Instruction (EARLI) Conference, Thessaloniki, Greece.*

- Hähnlein, I., Luleich, C., Reiter, P., Waterstraat, N. & Pirnay-Dummer, P. (2025). Transforming formal knowledge to language and graphs to promote mathematics learning. A repeated-measures mixed design quasi-experiment. *Computer in Human Behavior Reports*, 18, 100640. <https://doi.org/10.1016/j.chbr.2025.100640>
- Hähnlein, I., Luleich, C. & Pirnay-Dummer, P. (2025). Bridging the gap between math formalism and natural language. Introducing the NaGra method. In D. Ifenthaler, P. & Pirnay-Dummer, *Computer-based diagnostics and systematic analysis of knowledge. Critical Reflections and Advancements* (2 Ed., pp. 219-258). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-031-87740-7_12
- Hähnlein, I., Luleich, C. & Pirnay-Dummer, P. (2025). Bridging the gap between math formalism and natural language. Introducing the NaGra method. In D. Ifenthaler, P. & Pirnay-Dummer, *Computer-based diagnostics and systematic analysis of knowledge. Critical Reflections and Advancements* (2 Ed., pp. 219-258). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-031-87740-7_12
- Pirnay-Dummer, P. (2025). T-MITOCAR. An Epistemological Approach to Assessing Artifacts of Knowledge Foundation, Applications, Limitations. In D. Ifenthaler, P. & Pirnay-Dummer, *Computer-based diagnostics and systematic analysis of knowledge. Critical Reflections and Advancements* (2 Ed., pp. 83-103). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-031-87740-7_5