Pädagogik trifft Psychologie und Informatik: Interdisziplinäre Perspektiven zur Gestaltung intelligenter Bildungstechnologien

Dr. Maria Wirzberger[1]

Zusammenfassung

Wie lassen sich Lernsituationen bestmöglich auf die Lernenden abstimmen, um damit individuelle und gesellschaftlich relevante Bildungsziele nachhaltig zu erreichen? Die Antwort darauf suche ich durch die Verbindung von pädagogischer Theorie, psychologischer Methodik und intelligenten Algorithmen. Die daraus entstehenden intelligenten Technologien bieten die Möglichkeit, auf individuelle Bedarfe unterschiedlicher Lernender in verschiedenen Kontexten gezielt einzugehen. Dazu müssen sie allerdings fähig sein, sich auf spezifische Charakteristika der Lernenden und der Situation einzustellen. Dies bedeutet, beobachtete Zustände korrekt zu interpretieren und mit dem notwendigen Maß an Unterstützung angemessen darauf zu reagieren. In meinen Forschungsprojekten setze ich mich mit Aspekten der Lernenden und der Lernsituation auseinander, die für die Schaffung solcher Systeme wichtig sind. Im Beitrag möchte ich vier ausgewählte Schwerpunkte meiner Arbeit vorstellen.

Summary

How can we adjust the learning situation to the learner in the best possible way to achieve educational goals of individual and societal relevance? To answer this question, I combine educational theory, psychological methodology, and intelligent algorithms. The emerging intelligent technologies provide the opportunity to adapt to different learners' individual needs in various contexts. To be able to align to specific characteristics of the learner and the situation, observed states need to be interpreted by the system in the correct way to choose the appropriate amount of support. My research focuses on selected aspects of the learner and the learning situation that are important to create such systems. In the following, I would like to introduce four selected areas of my work.

[1] maria.wirzberger@tuebingen.mpg.de

Einleitung

Wie lassen sich Lernsituationen bestmöglich auf die Lernenden abstimmen, um damit individuelle und gesellschaftlich relevante Bildungsziele nachhaltig zu erreichen? Um diese Frage zu beantworten ist das Fachwissen aus mehr als einer Disziplin notwendig. Ausgehend von meinem interdisziplinären Bildungsweg verbinde ich daher pädagogische Theorie, psychologische Methodik und intelligente Algorithmen. Zu berücksichtigen sind hier zum einen unterschiedliche Kenntnisse, Fertigkeiten und Ressourcen der Lernenden, die in den Lernprozess einfließen. Zum anderen nehmen auch situative Faktoren wie beispielsweise die allgegenwärtigen Ablenkungen durch soziale Medien, Einfluss darauf, wie gut die Fokussierung auf eine Lernaufgabe gelingt. Daraus ergeben sich vielfältige Anforderungen an optimale Unterstützungsmaßnahmen in Lernsituationen, die bei der Erarbeitung förderlicher Lernmaterialien und Unterrichtskonzepte zu berücksichtigen sind.

Intelligente Bildungstechnologien bieten an dieser Stelle die Möglichkeit, auf individuelle Bedarfe gezielt einzugehen. Was genau macht jedoch die Intelligenz solcher Systeme aus? Sie besteht darin, dass die Systeme fähig sind, sich an spezifische Charakteristika der Lernenden und des situativen Kontexts anzupassen, das heißt adaptiv darauf zu reagieren. Im ersten Schritt ist es dazu notwendig zu erfassen, was im Kopf der Lernenden passiert und wie der jeweilige Kontext darauf Einfluss nimmt. Dies gehört zu den Fragen, die im Fokus der Psychologie stehen. Die Vielzahl resultierender Signale muss durch das intelligente System im zweiten Schritt korrekt interpretiert werden, es muss dort also nach bestimmten Mustern gesucht werden, was ein typisches Anwendungsfeld der künstlichen Intelligenz darstellt. Um im dritten Schritt mit dem angemessenen Maß an Unterstützung zu reagieren, sind fundierte Kenntnisse in der didaktischen Gestaltung von Lernmaterialien wichtig, welche durch die Pädagogik vermittelt werden.

Aus diesem disziplinübergreifenden Blick heraus setze ich mich in meinen Forschungsprojekten mit ausgewählten Aspekten der Lernenden und der Lernsituation auseinander, die für die Schaffung intelligenter Bildungstechnologien wichtig sind.

Wissensaufbau strengt an

Wenn wir neues Wissen erwerben, laufen in unserem Kopf eine Reihe von Prozessen ab: Informationen müssen wahrgenommen, interpretiert und mit vorhandenen Wissensstrukturen abgeglichen werden. Wo möglich kann eine Einbettung erfolgen, andernfalls müssen neue Wissensstrukturen aufgebaut werden. Abhängig von den situativen Gegebenheiten und über die Zeit hinweg ändert sich, wie stark die verfügbaren Ressourcen beansprucht werden, da nicht alle Prozesse im gleichen Ausmaß ressourcenintensiv sind.

Ausgehend davon, dass sich die gesteigerte Aktivität im Gehirn des Menschen in vielfältigen Signalen zeigt, kombiniere ich in meiner bestehenden Forschung verschiedene Messmethoden, um Veränderungen in der Ressourcennutzung zu beobachten. Neben der in der Aufgabe erzielten Leistung ziehe ich dabei auch sprachliche und physiologische Merkmale heran, die den Lernprozess begleiten.

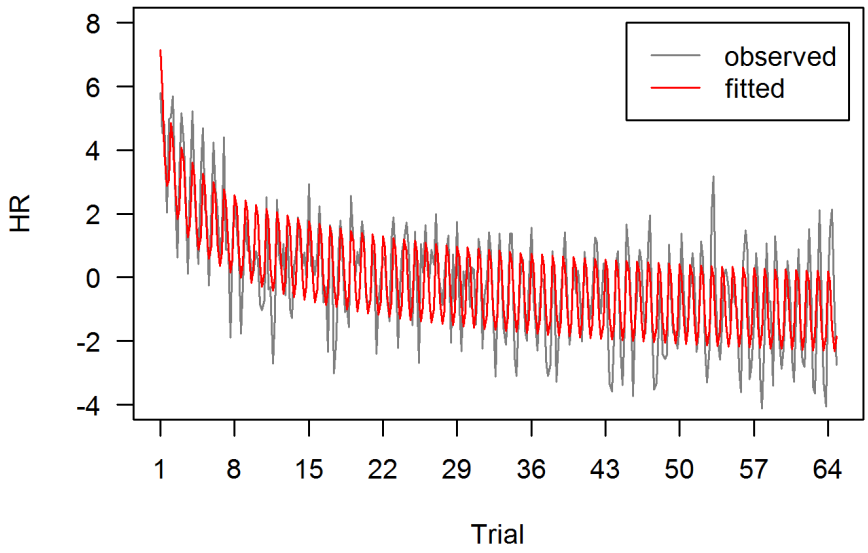

Abbildung 1. Mit sinkender Ressourcenbeanspruchung über die Zeit hinweg schlägt das Herz langsamer. Die graue Linie zeigt die beobachteten Werte, die rote Linie zeigt die daraus abgeleitete Schätzung des Trends (Quelle: Wirzberger et al., 2018a).

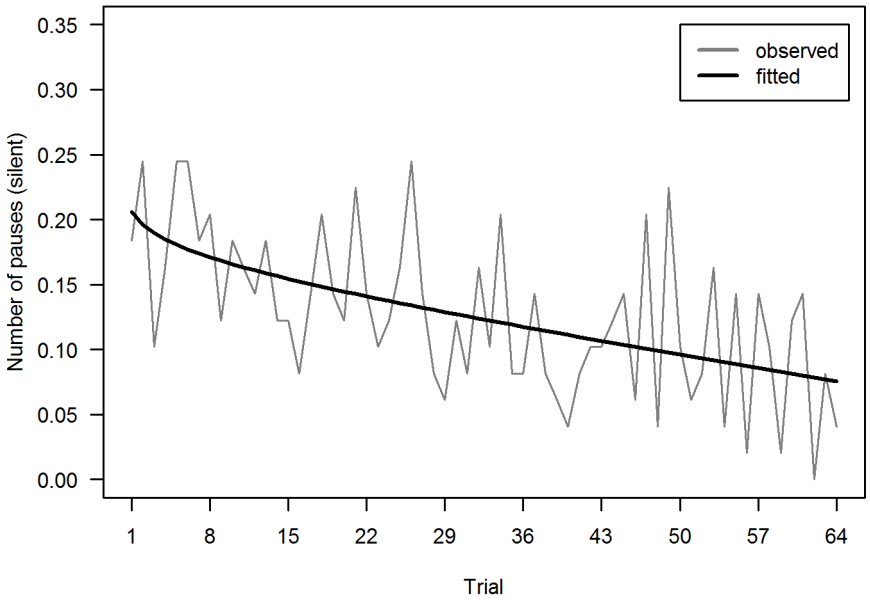

Abbildung 2. Mit sinkender Beanspruchung über die Zeit hinweg sinkt die Anzahl der Pausen. Die graue Linie zeigt die beobachteten Werte und die schwarze Linie die daraus abgeleitete Schätzung des Trends (Quelle: Wirzberger et al., 2018a).

Wir wissen, dass mit erhöhter Beanspruchung von Ressourcen die Leistung sinkt und das Herz schneller schlägt, um das Gehirn für die gestiegene Aktivität mit genügend Blut zu versorgen. Basierend darauf weisen meine in Abbildung 1 dargestellten Befunde auf eine kontinuierlich sinkende Ressourcenbeanspruchung über die Aufgabe hinweg hin. Ebenfalls ist bekannt, dass wir langsamer sprechen und häufigere und längere Sprechpausen machen, wenn wir stark beansprucht sind. Dies soll dazu dienen, den erhöhten Verarbeitungsbedarf auszugleichen. Die Befunde in Abbildung 2 stützen hier ebenfalls die Abnahme der beanspruchten kognitiven Ressourcen über die Zeit hinweg.

Um dem Blick in den Kopf der Lernenden noch ein Stück näher zu kommen, simuliere ich darüber hinaus kognitive Prozesse mit Hilfe von Computermodellen. Dabei verwende ich eine kognitive Architektur (Anderson, 2007), die auf fundierten Theorien zur Funktionsweise menschlicher Informationsverarbeitung basiert und aus einer Reihe klar definierter Module besteht. Diesen kommen jeweils spezifische Funktionen zu, beispielsweise der Abruf von Informationen aus dem deklarativen Gedächtnis, die Aufnahme und Verarbeitung visueller Reize oder motorische Aktivität beim Bewegen des Mauszeigers zu einer bestimmten Stelle auf dem Bildschirm. Die Kommunikation zwischen den Modulen erfolgt regelbasiert im Sinne von „Wenn-Dann“-Zusammenhängen. Werden bestimmte Bedingungen erfüllt, können darauf aufbauende Aktionen ausgeführt werden. Ein Beispiel dafür könnte die Suche von zugehörigen Informationen auf dem Bildschirm nach einem erfolgreichen Gedächtnisabruf sein.

Jedes Modul korrespondiert auf neurophysiologischer Ebene mit spezifischen Hirnregionen, welche in Untersuchungen mit bildgebenden Verfahren bereits nachgewiesen wurden (z.B. Borst et al., 2015). Da sich kontinuierlich aufzeichnen lässt, ob die Module aktiv sind oder nicht, kann aus diesen Informationen über eine mathematische Transformation die Blutsauerstoff-Aktivität in der jeweils zugrunde liegenden Hirnregion simuliert werden. Dieses Verfahren nutzte ich, um zu zeigen, dass eine erhöhte Beanspruchung von Ressourcen beispielsweise durch Gedächtnisabrufe im präfrontalen Kortex sichtbar wird.

Wie Abbildung 3 zeigt, sind über die Zeit hinweg immer weniger kognitive Ressourcen nötig, um Wissen aus dem Gedächtnis abzurufen. Die bereits etablierten Strukturen ermöglichen einen zunehmend schnelleren und korrekteren Zugang zu den gespeicherten Informationen. Ebenfalls wird deutlich, dass die Komplexität einer Aufgabe Einfluss auf den Ressourcenbedarf nimmt. Die Kurvenverläufe in Abbildung 3 weisen auf ein durchweg höheres Beanspruchungsniveau in allen Phasen der Aufgabe hin. Diese Modellvorhersagen werde ich im nächsten Schritt mit menschlichen Daten vergleichen, die ich mittels funktioneller Magnetresonanztomographie oder vergleichbarer bildgebender Verfahren erhebe.

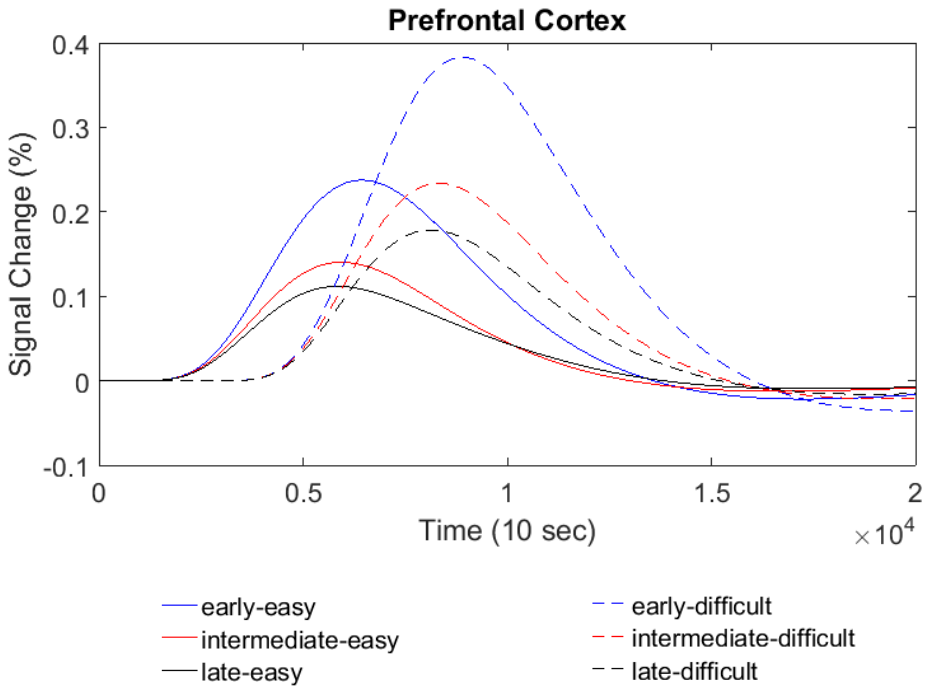

Abbildung 3. Simulierte Hirnaktivität im präfrontalen Kortex beim Abruf von Informationen aus dem deklarativen Gedächtnis. Die blau dargestellten Linien zeigen frühe Phasen der Aufgabe, die roten Linien mittlere Phasen und die schwarzen Linien späte Phasen. Durchgezogene Linien stehen für die einfachere, gestrichelte Linien für die schwierigere Aufgabe. (Quelle: Wirzberger et al., 2019a).

Individuelle Unterschiede in der Techniknutzung

Auf Seiten der Lernenden gibt es neben der Beanspruchung verfügbarer kognitiver Ressourcen noch eine Reihe weiterer Faktoren, die auf den Umgang mit technischen Systemen Einfluss nehmen. Dazu zählen beispielsweise auch die Einstellung zur Technik und die wahrgenommene Kompetenz bei deren Nutzung. Zusätzlich können auch systemseitige Einflussfaktoren eine Rolle dabei spielen, wie gut sich intelligente Technologien für das Lernen eignen.

Diese Aspekte untersuchte ich in einem sprachgesteuerten Gedächtnistraining mit einem virtuellen Trainer. Das Ziel bestand hier darin, den Testpersonen die sogenannte „Loci-Methode“ näher zu bringen. Eine wesentliche Charakteristik dieser Gedächtnistechnik liegt darin, die Lerninhalte mit physischen Orten zu verbinden. Ein Alltagsbeispiel kann dies illustrieren: Angenommen, man möchte eine Reihe von Produkten im Supermarkt einkaufen und sich zu diesem Zweck die dafür notwendige Einkaufsliste merken. Nun könnte man sich im eigenen Wohnzimmer eine Reihe markanter Objekte suchen und auf einem Weg durch den Raum jedes Produkt auf der Einkaufsliste mit einem der Objekte verbinden. Später im Supermarkt würde man sich dann das eigene Wohnzimmer vor das innere Auge rufen,

gedanklich den Weg durch den Raum gehen und die Produkte von den entsprechenden Objekten „einsammeln“.

Wie Abbildung 4 zeigt, übte der virtueller Trainer in meiner Untersuchung die zunehmend eigenständigere Anwendung dieser Technik mit den Testpersonen während einer Trainingsphase ein. Den Lerngegenstand bildeten dabei Wortlisten mit zunehmender Länge. Im ersten Schritt gab der Trainer den Weg durch das Wohnzimmer vor und legte jedes der fünf Worte auf der Liste gemeinsam mit den Testpersonen nacheinander auf einem Gegenstand im Wohnzimmer ab. Der darauffolgende zweite Schritt erforderte es dann schon, sich selbst einen Weg durch das Wohnzimmer zu suchen und die nun sieben Wörter eigenständig zu den verfügbaren Gegenständen zuzuordnen. Im dritten Schritt verschwanden schließlich alle Einrichtungsgegenstände und der Trainer befand sich in einem leeren Raum. Die Aufgabe der Testpersonen bestand nun darin, sich das eigene Wohnzimmer und neun markante Objekte darin vorzustellen, die genutzt werden konnten, um sich die Wörter zu merken. Dies zielte darauf ab, die Gedächtnistechnik mit dem Alltag der Testpersonen zu verknüpfen und damit über die unmittelbare Trainingssituation hinaus nutzbar zu machen.

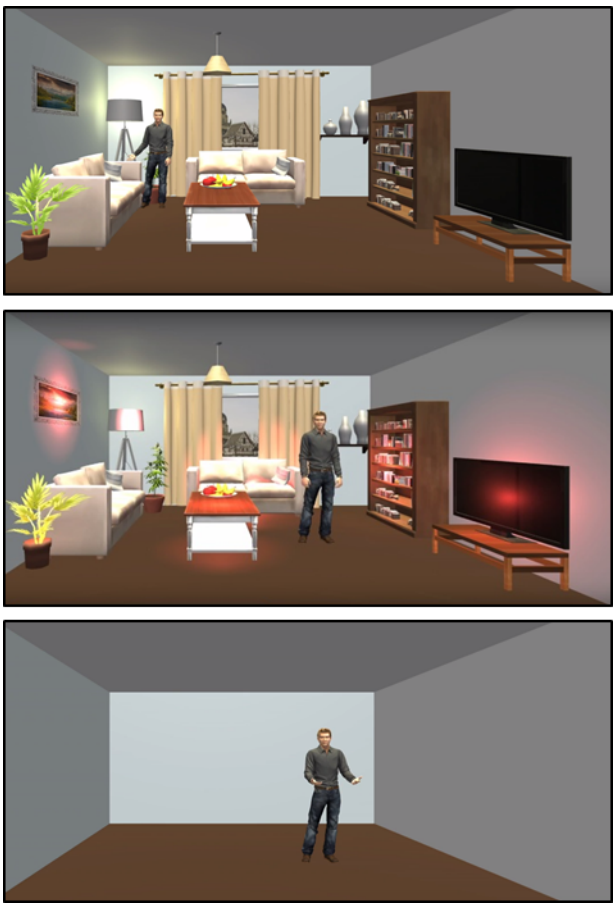

Abbildung 4. Computerbasiertes Gedächtnistraining mit einem virtuellen Trainer und abnehmender Unterstützung (Quelle: Autorin in Anlehnung an Wirzberger et al., 2019b).

Bereits vor den Trainingsdurchgängen wurde die bestehende Merkfähigkeit durch drei Wortlisten mit gleicher Länge – fünf, sieben und neun Wörter – überprüft. Eine identische Aufgabe mit neuen Wörtern wurde nach dem Training gestellt, um den Einfluss verschiedener systembezogener und individueller Einflussfaktoren zu prüfen. Auf Seiten des technischen Systems variierte die Reaktionszeit, mit der der virtuelle Trainer auf die sprachlichen Äußerungen der Testpersonen reagierte. Auf Seiten der Testpersonen wurden die bestehende Merkfähigkeit, das Alter und Geschlecht sowie deren Technikaffinität erfragt. Technikaffinität als Konstrukt reflektiert dabei eine positive Einstellung, Begeisterung und Vertrauen in Technik und umfasst die Teilbereiche Begeisterung, Kompetenz, und positive bzw. negative Einstellung im Zusammenhang mit technischen Systemen.

Das Pfadmodell in Abbildung 5 gibt einen Überblick über die untersuchten Zusammenhänge. Bei der Erprobung des Systems mit 62 Testpersonen im Altersbereich zwischen 60 und 80 Jahren zeigte sich, dass sich insbesondere Frauen und Personen mit einer weniger negativen Einstellung zur Technik nach dem Training mehr Wörter merken konnten. Dies deutet darauf hin, dass der Prozess des „Sich-Einlassens“ auf die Nutzung technischer Systeme gerade im höheren Lebensalter eine entscheidende Rolle spielt. Die resultierenden Geschlechtsunterschiede in der Merkleistung sind in dieser Altersgruppe ebenfalls gut belegt und gründen hier möglicherweise in den generell höheren Leistungen von Frauen bei verbalen Aufgaben. Daneben zeigte sich beispielsweise auch, dass eine stärker ausgeprägte Merkfähigkeit negative Effekte verlängerter Systemantwortzeiten ausgleichen kann.

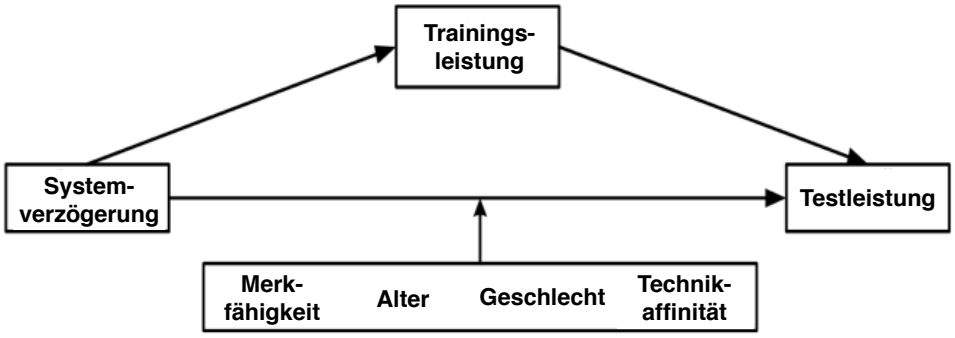

Abbildung 5. Untersuchte Zusammenhänge zwischen verzögerter Systemreaktion, individuellen Unterschieden und der kognitiven Leistung (Quelle: Autorin in Anlehnung an Wirzberger et al., 2019b).

Starke Aufmerksamkeitskontrolle im Alltag

Der Nutzungskontext intelligenter Bildungstechnologien spielt ebenfalls eine wichtige Rolle. Dies wird unter anderem darin deutlich, dass die allgegenwärtige Informationsflut unseres

digitalen Zeitalters die verfügbaren Aufmerksamkeitsressourcen beansprucht und uns oft von unseren eigentlichen Aufgaben ablenkt. So zeigte sich beispielsweise, dass Ablenkungen durch soziale Medien die Lernleistung Studierender deutlich beeinträchtigen und zudem die amerikanische Wirtschaft jährlich rund 650 Milliarden Dollar kosten (Shore, 2012).

Eine starke Fähigkeit zur Kontrolle der eigenen Aufmerksamkeit ist essentiell, um stabile Lernleistungen zu erzielen, wie sich in meiner Forschung bereits zeigte (Wirzberger et al., 2018b). Im Rahmen einer computerbasierten Lernaufgabe wurden hier zu verschiedenen Zeiten ablenkende Systemmitteilungen eingeblendet, die typischerweise während der Computerarbeit auftreten können (z.B. Report des Virenscanners, Mitteilung eines Systemupdates). Lernende, die in einem vorab durchgeführten Aufmerksamkeitstest besser abschnitten, waren in der Lage, trotz der eingeblendeten Ablenkungen höhere Leistungen zu erzielen.

Wie die Forschung zur kognitiven Plastizität zeigt, können wir gezielt unsere Fähigkeit trainieren, Ablenkungen zu widerstehen und auf ein bestimmtes Ziel fokussiert zu bleiben (Lieder et al., 2018). Bestehende Trainingsansätze verwenden jedoch oft artifizielle Aufgaben mit eingeschränkter Übertragbarkeit auf Alltagssituationen. Um dieses Problem zu lösen entwickle ich gegenwärtig die intelligente Anwendung ACTrain (Wirzberger et al., 2020). Sie verwandelt reale Arbeits- und Studienkontexte in optimale Lernumgebungen und ermöglicht es den Nutzenden, mit selbst definierten Zielen zu trainieren.

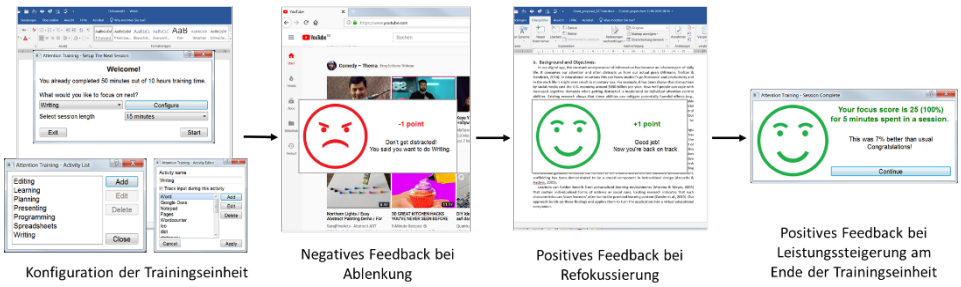

Abbildung 6. Beispielhaft dargestellte Funktionsweise von ACTrain (Quelle: Autorin).

Die grundlegende Funktionsweise von ACTrain, die in Abbildung 6 dargestellt ist, lässt sich am besten anhand eines Beispiels illustrieren, das den meisten Forschenden gut bekannt sein dürfte: Das Ende der Einreichungsfrist für eine Konferenz steht unmittelbar bevor und der dafür geplante Beitrag soll bald eingereicht werden. Nun ist es wichtig, sich vollständig auf den Schreibprozess zu konzentrieren, und genau dabei kann ACTrain perfekt unterstützen. Zu Beginn wird zunächst festgelegt, worauf der Fokus liegen soll, in unserem Fall wäre dies das Schreiben, und welche Programme und/oder Webseiten dafür verwendet werden sollen. Ebenfalls kann ausgewählt werden, wie lange die jeweilige Trainingseinheit dauern soll.

Nun könnte es sein, dass nach Beginn des Schreibprozesses das Bedürfnis entsteht, sich durch ein lustiges Video auf Youtube abzulenken. ACTrain prüft nun, ob die tatsächlich verwendeten Programme mit den zuvor angegebenen Programmen übereinstimmen und erinnert an das ursprünglich gesetzte Ziel – einen Text zu schreiben. Nach der erfolgreichen Rückkehr zum ursprünglichen Fokus, erfolgt eine positive Rückmeldung. Dieser metakognitive Feedbackmechanismus bildet den Kern unserer Anwendung und vermittelt durch Farbe, Sound als sozialen Hinweisreiz und ein punktbasiertes Belohnungssystem den Wert, fokussiert zu bleiben und nicht abgelenkt zu werden.

Am Ende einer Trainingssitzung gibt ACTrain ein zusammenfassendes Feedback über die Leistung in der aktuellen Sitzung. Dieses enthält auch die Information darüber, wie viel besser oder schlechter diese war im Vergleich zum zugrunde liegenden Fähigkeitsniveau. Auf diese Weise lässt sich verfolgen, wie sich die eigenen Aufmerksamkeitskontrollfähigkeiten über die Zeit hinweg verbessern.

Bildungstechnologie für den Artenschutz

Dieses Grundprinzip, den Wert des eigenen Handelns anschaulich zu erfahren, findet auch in einem anderen inhaltlichen Kontext in meiner Forschung Anwendung. Thematisch steht hier der Bereich der Umweltbildung im Vordergrund und stellt ganz besondere Geschöpfe in den Mittelpunkt: die Wildbienen. Generell zählen Bienen zu unseren wichtigsten Nutztieren, da sie durch die Bestäubung der Pflanzen und Bäume maßgeblich zum Erhalt der Vielfalt der Flora beitragen. Neben den Honigbienen helfen insbesondere deren „Wilde Schwestern“ entscheidend bei dieser wichtigen Aufgabe mit – im Gegensatz zu den Honigbienen jedoch meist ohne den Schutz eines Bienenstocks und menschliche Pflege. Wie zahlreiche Medienberichte zeigen, sind die Lebensräume von Wildbienen zunehmend bedroht und einige Arten sind bereits vollständig ausgestorben. Auch bei den mehr als 460 in Baden-Württemberg lebenden Arten sind die Bestände teilweise mehr oder weniger stark gefährdet. Die daraus entstehenden Folgen für den Ernteertrag sind kritisch.

Nun sind Wildbienen und deren große Bedeutung für unser Ökosystem vielen Menschen vergleichsweise unbekannt. Dem Zitat von Konrad Lorenz folgend „Man liebt nur, was man kennt und man schützt nur, was man liebt.“ möchte ich mit meinem methodischen Ansatz einen persönlichen Bezug zur Thematik schaffen. Dieser entsteht dadurch, dass in der mobilen Applikation BeeLife, dargestellt in Abbildung 7, eine Wildbiene gleichsam wie ein Haustier versorgt und gepflegt wird, angelehnt an das „Tamagotchi-Prinzip“. Das wesentliche Ziel besteht dabei darin, durch ökologisch umsichtiges Handeln gute Lebensbedingungen für die eigne Wildbiene zu schaffen. Da bereits möglichst früh die Sensibilität für umweltbewusstes Handeln gestärkt werden soll, richtet sich das Konzept mit der Anschlussfähigkeit an den

Lehrplan im Fach Biologie in den Klassenstufen fünf und sechs ganz bewusst an eine junge Zielgruppe.

Abbildung 7. Design-Prototyp der mobilen Applikation BeeLife mit dem virtuellen Charakter einer Wildbiene (Quelle: Autorin auf Basis einer studentischen Projektarbeit).

Eine weitere Besonderheit des Ansatzes besteht in der Verbindung virtueller und realer sozialer Welten, da die Nutzung von BeeLife in begleitende Projektwerkstätten eingebettet werden soll. In diesen werden gemeinsam mit der betreuenden Lehrkraft umweltbezogene Aktionen durchgeführt, beispielsweise das Anpflanzen wildbienenfreundlicher Blumen und Kräuter im Schulgarten. Ein darauf aufbauendes virtuelles Minispiel könnte das Säen von Blumen zum Gegenstand haben und zeigen, wie sich der Lebensraum der Wildbiene durch Blüten verbessern kann, bei denen Pollen und Nektar leicht zugänglich sind. Auch hier kann ein punktbasiertes Belohnungssystem die Wirkung des Feedbacks verstärken. Die Folgen des eigenen Handelns auf den realen Lebensraum einer Wildbiene können im virtuellen Raum direkt und zeitnah erfahrbar werden, womit das Bewusstsein für den Artenschutz im Alltag gestärkt wird.

Fazit

Wie dieser Streifzug durch meine Forschung zeigt, ist für die Schaffung intelligenter Bildungstechnologien ein disziplinübergreifender Fokus von zentraler Bedeutung. Durch die Synergie pädagogischen, psychologischen und informatischen Wissens kann ein großes Ganzes entstehen und zu technischen Systemen führen, die sich auf die Charakteristika und Bedarfe individueller Lernender einstimmen und damit optimale Lernbedingungen und nachhaltige Lernerfolge zu ermöglichen. Mit meiner Forschung möchte ich dazu beitragen, die technischen Potentiale unseres Informationszeitalters gut und sinnvoll zu nutzen, um unsere Bildungswelt für alle Lernenden immer besser und intelligenter zu machen.

Danksagungen

Die Autorin dankt der Deutschen Forschungsgemeinschaft, dem Sächsischen Staatsministerium für Wissenschaft und Kunst und dem CyberValley für die finanzielle Unterstützung der vorgestellten Forschungsarbeiten.

Literatur

Anderson, J. R. (2007). *How can the human mind occur in the physical universe?* New York, NY: Oxford University Press.

Borst, J. P., Nijboer, M., Taatgen, N. A., van Rijn, H., & Anderson, J. (2015). Using data-driven model-brain mappings to constrain formal models of cognition. *PLoS ONE, 10,* e0119673. doi:10.1371/journal.pone.0119673

Lieder, F., Shenhav, A., Musslick, S., & Griffiths, T. L. (2018). Rational metareasoning and the plasticity of cognitive control. *PLoS Computational Biology, 14*, e1006043. doi:10.1371/journal.pcbi.1006043

Shore, J. (2012). Social media distractions cost U.S. economy $650 billion [INFOGRAPHIC]. Abgerufen von https://mashable.com/2012/11/02/social-media-work-productivity/.

Wirzberger, M., Borst, J. P., Krems, J. F., & Rey, G. D. (2019a). An ACT-R approach to investigating mechanisms of performance-related changes in an interrupted learning task. In A. K. Goel, C. M. Seifert, & C. Freksa (Hrsg.), *Proceedings of the 41st Annual Conference of the Cognitive Science Society* (S. 1206-1211). Montreal, QB: Cognitive Science Society.

Wirzberger, M., Herms, R., Esmaeili Bijarsari, S., Eibl, M., & Rey, G. D. (2018a). Schema-related cognitive load influences performance, speech, and physiology in a dual-task setting: A continuous multi-measure approach. *Cognitive Research: Principles and Implications*, 3:46. doi:10.1186/s41235-018-0138-z

Wirzberger, M., Oreshnikov, I., Passy, J.-C., Lado, A., Shenhav, A., & Lieder, F. (2020). ACTrain: Ein KI-basiertes Aufmerksamkeitstraining für die Wissensarbeit. In GfA, Dortmund (Hg.) *Frühjahrskongress 2020, Digitaler Wandel, digitale Arbeit, digitaler Mensch? (C.8.8)*. Dortmund: GfA Press.

Wirzberger, M., & Rey, G. D. (2018b). Attention please! Enhanced attention control abilities compensate for instructional impairments in multimedia learning. *Journal of Computers in Education, 5*, 243-257. doi:10.1007/s40692-018-0106-0

Wirzberger, M., Schmidt, R., Georgi, M., Hardt, W., Brunnett, G., & Rey, G. D. (2019b). Effects of system response delays on elderly humans' cognitive performance in a virtual training scenario. *Scientific Reports*, 9:8291. doi:10.1038/s41598-019-44718-x