

# Abstraktes begreifen

RWTH Aachen präsentiert intelligente Lehr- und Lernsysteme für Schulen, Hochschulen und Ausbildungsstätten



Intelligente Lehr- und Lernsysteme können den Wissenserwerb in Schulen, Hochschulen und Ausbildungsstätten unterstützen. Wie, das zeigte das Bundesforschungsministerium auf der Informationstour „Erfahrbares Lernen“ mit Stationen an der LMU München, der Universität Bremen, der Hochschule für Technik, Wirtschaft und Kultur Leipzig und zuletzt an der renommierten Rheinisch-Westfälischen Technischen Universität (RWTH) Aachen. Eingebettet war die Vorstellung der Projektergebnisse in eine Diskussion über künstliche Intelligenz und die wachsende Relevanz von MINT-Fächern im Bildungssystem.

„Die zunehmende Digitalisierung sowie der beschleunigte Zuwachs an Innovationen und neuen Technologien führen zu komplexeren Lerninhalten. Damit steigen die Anforderungen an Lernende in Schule, Hochschule und Ausbildung.“ Für das Bundesministerium für Bildung und Forschung war das vor wenigen Jahren der Anlass, den Förderschwerpunkt „Erfahrbares Lernen“ ins Leben zu rufen. Er setzt, so das BMBF, auf „eine neue Generation von Mensch-Technik-Interaktion-Technologien, die anhand realitäts-



naher Lernumgebungen Lernende interaktiv und individualisiert unterstützen.“

Bei einer Veranstaltung der RWTH Aachen wurden die Ergebnisse aus den beteiligten Projekten anhand von Demonstratoren gleichermaßen anschaulich wie erfahrbar präsentiert. Zwar sind die Projekte noch nicht abgeschlossen, doch die „Zwischenstandspräsentation“ unterstreicht nach Ansicht von Professor Jan Borchers vom Lehrstuhl für Medieninformatik und Mensch-Computer-Interaktion an der RWTH das ausgeprägte Transferverständnis der Hochschule und vermittelt den Wissenschaftlern zugleich ein Bild, „wie die Gesellschaft auf Forschung und Entwicklung reagiert, sodass ihr Feedback in das weitere Vorgehen einfließen kann.“

### Begreifbare Lernelemente

Eins der vom BMBF im Kontext „Erfahrbares Lernen“ geförderten Projekte ist das von der Universität Bremen koordinierte „Multimodal Algebra Lernen“ (MAL). Das Projekt geht von der Tatsache aus, dass die Kenntnis abstrakter Algebra-Konzepte unverzichtbare Grundlage für das Verständnis vieler anderer mathematischer Teilgebiete und später der Informationstechnologie ist, deren Aneignung jedoch Lernende in den sekundären und tertiären Bildungssektoren oft vor große Herausforderungen stellt. „Zum anderen“, sagt Dr. Tanja Döring, wissenschaftliche Mitarbeiterin im Digital Media Lab an der Universität Bremen, „erschwert die stark ausgeprägte Heterogenität in den Unterrichtsklassen den Lehrkräften das Bestreben, den individuellen Bedarfen der Lernenden gerecht zu werden. Die Zahl der Inklusionsklassen steigt und damit die Unterschiede zwischen den Schülerinnen

und Schülern bei Lernstand und Lernfortschritt, in der Mathematik zum Beispiel beim Agieren mit Variablen – eine Herausforderung, die für Lehrerinnen und Lehrer kaum noch zu bewältigen ist. Hier besteht die Gefahr, dass Schülerinnen und Schüler die Grundlagen der Mathematik nicht verstehen und so schon früh für ein ganzes Wissensgebiet verloren gehen.“

Ziel der Zusammenarbeit von Expertinnen und Experten der Mathematikdidaktik und der Mensch-Computer-Interaktion im „MAL“-Projekt war deshalb, ein technisch unterstütztes multimodales Algebra-Lernsystem zu entwickeln, das natürliche Modalitäten bei der Interaktion mit digital unterstützten Lernarrangements verknüpft.

Kern des multimodalen Lernsystems sind taktile, also berührbare und damit im doppelten Wortsinn begreifbare Lernelemente – Tangibles – in Form von Smart Objects wie etwa Kacheln, die lineare und quadratische Terme und Gleichungen darstellen und Umformungen sinnlich erfahrbar machen. Tanja Döring: „Diese Elemente können mit der Hand neu angeordnet und verändert werden. So entsteht ein direkter körperlicher, haptischer Bezug zu den abstrakten Konzepten. Die sinnlichen Erfahrungen im Raum führen zu einem tieferen und nachhaltigeren Verständnis algebraischer Zusammenhänge.“

Das digitale System ist flexibel einsetzbar, die Interaktionen zwischen System und Mensch sind variabel. Je nach Leistungsstand der Schülerinnen und Schüler liefert es mehr oder weniger Feedback, sprich Hilfestellung und Unterstützung. Tanja Döring: „Unser Konzept ist vor allem ausgerichtet auf Schülerinnen und Schüler in der Anfangsphase des Lernens und

zu Beginn jeder neuen Lerneinheit, etwa beim Erlernen der binomischen Formeln. Wenn Schülerinnen und Schüler das Abstrakte, die Formeln verstanden haben und im Symbolischen arbeiten und lernen können, verliert das Haptische an Relevanz.“

Heute steht das multimodale Lernsystem in drei prototypischen Varianten zur Verfügung: als interaktiver Tisch für physische Objekte, also Tangibles, mit vielfältigem Feedback sowie in zwei Tablet-Versionen, davon eine mit Tangibles und eine nur mit Touch-Funktion. Tanja Döring: „Die unterschiedlichen Varianten ermöglichen den adaptiven und flexiblen Einsatz des Systems in verschiedenen Lernszenarien.“ Schülerinnen und Schüler können allein damit arbeiten, die Anwesenheit von Lehrkräften ist kein Muss. An den Tablets können sie aber auch in Zweier-Teams arbeiten und bei Bedarf lassen sich die Oberflächen auch an die Wand projizieren, sodass jederzeit gemeinsames Lernen und Arbeiten im Klassenverband möglich ist. Wissenschaftliche Studien zur Wirkung der Systeme stehen noch aus, aber nach Erkenntnissen von Tanja Döring „gibt es starke Indikatoren, die dokumentieren, wie wichtig das haptische Handeln der Lernenden im Lernprozess ist.“

### Digitaler persönlicher Avatar

Das in Aachen ebenfalls vorgestellte Projekt „Kontextbewusste Lernumgebung für Aus- und Weiterbildung“ (KoBeLU) reagiert auf die Erkenntnis, dass ein allzu geringer Austausch zwischen Auszubildenden und Ausbildern zu Beeinträchtigungen der Lernqualität führt. Hier bietet das informelle Lernen, „die interaktive Lernassistenz“, eine neue Chance. „Dabei werden“, erklärt Thomas Kosch, wissenschaftlicher Mitarbeiter am Insti-



tut Human Centered Ubiquitous Media der Ludwig-Maximilian-Universität München, „mithilfe spezieller insitu-Projektionen zum Beispiel Auszubildende oder Studierende in der Fertigungsmechanik oder der Elektrotechnik durch den Lernprozess begleitet und digital unterstützt, indem kontextbezogene Informationen etwa zum Einschrauben einer M2-Schraube in eine Platine direkt in ihren Arbeitsbereich projiziert werden.“

Teil des Systems ist ein Chatbot – ein digitaler persönlicher Avatar, der mit der Anwenderin oder dem Anwender individuell interagiert, das notwendige Wissen Schritt für Schritt methodisch vermittelt und zugleich den Lern- und Gemütszustand der Mitarbeiterin oder des Mitarbeiters anhand sensorischer Gesten- und Emotionserkennung erkennt. Steigt der Wissensstand, stellt das System die Hilfestellung sukzessive ein. Thomas Kosch: „So beginnen die Lernenden, Gelerntes mehr und mehr eigenständig anzuwenden. Doch das System beobachtet den Lernenden auch nach der Reduzierung von Assistenzleistungen und kann bei Fehlern jederzeit erneut punktuell intervenieren.“

Am Beispiel der Montage einer Lichtmaschine oder einer Verdrahtungsübung wurden die neuen Interaktionskonzepte unter anderem in der Firma Audi in realen Szenarien wissenschaftlich evaluiert. Die Ergebnisse zeigen: Lehrinhalte können mit KoBeLU in verständlicher Weise vermittelt werden. Das fördert eine individuelle Betreuung in der Ausbildung oder im Studium. Einsetzbar ist das System übrigens auch in Wohnstätten für kognitiv eingeschränkte Personen.

Thomas Kosch ist sich sicher, dass das neu entwickelte System Ausbilder nicht

ersetzen wird: „Das kann es allein schon deswegen nicht, weil es nicht in der Lage ist, motorische Feinheiten zu vermitteln. Das menschliche, soziale Umfeld geht Lernenden mit dem System nicht verloren. Eine sinnvolle und nützliche Ergänzung ist es in der Ausbildung aber mit Sicherheit, vor allem für junge Menschen, die ein bisschen mehr Zeit brauchen, um komplexere Sachverhalte zu verstehen.“

### Immersiver Produktionsraum

Zwei weitere vom BMBF geförderte und von ihr durchgeführte Projekte stellte die RWTH Aachen anhand von Demonstratoren selbst vor. Schon gleich nach der Begrüßung durch Professor Jan Borchers hatte Katrin Nostadt vom Bundesministerium für Bildung und Forschung in ihrem Vortrag Aachen als eine „besonders würdige Austragungsstätte“ bezeichnet, denn Aachen sei „ein international anerkannter Wissenschaftsstandort“. Tatsächlich eröffnete die RWTH vor zehn Jahren das erste Fab Lab in Deutschland, also eine High-Tech-Werkstätte, in der computergesteuerte Werkzeuge zum Einsatz kommen und eine Idee oder ein neues Produkt sofort in einen Prototypen umgesetzt werden können. Zudem steht hier das Center for Simulation and Data Science, eine Kooperationseinrichtung der RWTH Aachen und des Forschungszentrums Jülich.

Auch im Rahmen des BMBF-Förderprogramms konnte die RWTH, so Katrin Nostadt, „hervorragende Ergebnisse“ vorweisen. Eins davon ist der „Immersive Produktionsraum“ (ImmPro), ein praxisnaher Mix aus virtuellen und realen Lernumgebungen. Hintergrund des Projekts ist die Erkenntnis, dass der technologische Fortschritt in der Produktionstechnik zunehmend hoch

qualifizierte Tätigkeiten erfordert, für die eine abgeschlossene Hochschulausbildung verbunden mit Praxiserfahrung vorausgesetzt wird. „Im ingenieurwissenschaftlichen Studium der Produktionstechnik jedoch“, weiß Dr. Gregor Tücks von der Geschäftsführung der DFA Demonstrationsfabrik im Zentrum des Clusters Smart Logistik der RWTH Aachen, „steht bisher die praxisnahe Bedienung von Maschinen und Produktionssystemen nicht im Fokus, obwohl sie von Unternehmen wie Lernenden immer stärker nachgefragt wird.“

Ziel von „ImmPro“ war deshalb die praxisnahe Gestaltung produktionstechnischer Lehr- und Lerninhalte in der Hochschulausbildung, sodass Studierende neben theoretischen auch praktische Lernerfahrungen sammeln können und dabei ein unmittelbares Lernfeedback erhalten. Weiterhin sollte den Nutzern eine Lernumgebung zur Verfügung gestellt werden, die es erlaubt, jederzeit den persönlichen Lernerfolg zu messen.

Dazu wurde ein neuartiger Produktionsraum als innovatives Lernsystem konzipiert, entwickelt, gebaut und getestet. Gregor Tücks: „Der physisch existierende Raum verbindet Elemente einer realen Werkzeugfertigung mit einer virtuellen Lernumgebung. Darüber hinaus wird das in der deutschen Produktionstechnik vorhandene Wissen von älteren Mitarbeitern aktiv in die Gestaltung der zu lehrenden Inhalte eingebunden.“ Er ist sich sicher: „Die innovative Lehr- und Lernumgebung des immersiven Produktionsraums, die reale und virtuelle Räume miteinander verbindet und dabei die praktische Erfahrung in den Mittelpunkt stellt, bietet Lösungen für den Fachkräftemangel in der deutschen Produktion.“

## Tangibles für die Informatiklehre

Das zweite RWTH-Projekt heißt „Tangibles auf Multitouch-Tischen für die Informatiklehre“ (TABULA) – vom BMBF, als eins von vier „Highlight-Projekten“ ausgewählt.

TABULA vereinfacht das Erlernen von Informatikkonzepten und macht es „anfassbar“, indem es zwei innovative Hardware-Komponenten kombiniert: Ein Multitouch-Tisch mit der von Smartphones bekannten kapazitiven Erkennung durch Berühren dient dabei als physische Arbeitsfläche und als Display, auf dem Inhalte für alle Nutzerinnen und Nutzer sichtbar sind. Hier können Lernende mehrere Tangibles, die zweite Hardware-Komponente, denen Werte und Informationen zugeordnet sind (die sogenannte digitale Aura), ablegen, verschieben und manipulieren.

Auf ihrer Unterseite sind die Tangibles mit Pads versehen. Zusammen mit einer Photo-Diode können so Lage und Ausrichtung genau bestimmt werden. Der Tisch erkennt also die Objekte auf seiner Oberfläche und verfolgt fortlaufend ihre Position und Rotation. „So können Lernende in einer Gruppe um den Tisch herum an konkreten Gegenständen Informatik-Konzepte wie etwa den Algorithmus zum Einfügen von Objekten in einen binären Baum oder die flussbasierte Programmierung von Filtern zur Bildbearbeitung gemeinsam erarbeiten“, erläutert Professor Jan Borchers vom Lehrstuhl Medieninformatik und Mensch-Computer-Interaktion am Human-Computer Interaction Center (HCIC) der RWTH das Konzept. „Die Kombination aus Display, Tangibles und einer dynamisch anpassbaren digitalen Aura“, ist Jan Borchers überzeugt, „macht TABULA sehr flexibel und er-

möglicht ein unmittelbares Lern-Feedback und eine Anpassung an den individuellen Lernfortschritt.“

Christian Cherek, wissenschaftlicher Mitarbeiter am Lehrstuhl Medieninformatik und Mensch-Computer-Interaktion der RWTH, verweist auf eigene Untersuchungen, die sich mit den Auswirkungen des Systems auf kognitive Elemente der Beteiligten befassen haben: „Wir konnten nachweisen, dass die beteiligten Akteure beim Einsatz von Tangibles aufmerksamer sind und deutlich schneller und genauer reagieren als bei rein virtuellen Multitouch-Interaktionen.“

Primäre Zielgruppe der neu entwickelten Lernplattform sind Schülerinnen und Schüler im Informatik-Unterricht der gymnasialen Oberstufe sowie Lernende in der praxisorientierten Informatik-Ausbildung und in der betrieblichen Weiterbildung. Jetzt gilt es, die Prototypen zu marktfähigen Produkten weiterzuentwickeln, die in Schulen, Hochschulen und Betrieben eingesetzt werden können.

## Neue Grammatik des Lernens

„Innovative Technologien wie die anhand von Demonstratoren in Aachen vorgeführten“, sagt Katrin Nostadt vom Bundesministerium für Bildung und Forschung nach ihrem Rundgang durch die Ausstellungshalle, „werden unser Lernen gestalten“. Eine Zukunft des Lernens ohne digitale Unterstützung, die komplexe Lerninhalte erfahrbar machen, sei kaum vorstellbar. Hier engagiere sich zunehmend auch der Bund, so Nostadt, und erinnerte dabei an den Koalitionsvertrag der Regierungsparteien, in dessen Präambel es heißt: „Wir wollen die kreativen Potenziale in Deutschland mobili-



sieren und die Chancen der Digitalisierung nutzen“ sowie an den Forschungsschwerpunkt „Digitalisierung und Bildung“ und sie versprach: „Weitere Förderbekanntmachungen zum Thema ‚Digitalisierung von Lernen‘ können Sie erwarten.“

Wie überfällig das ist, illustrierte Professor Ulrich Rüdiger, Rektor der RWTH mit Hinweis auf schon heute bundesweit rund 40.000 fehlende IT-Experten – „und die Zahl steigt“, denn weil die Menge nutzbarer Daten und die Rechenleistung auf absehbare Zeit weiter schnell wachsen werden, unterliegt die künstliche Intelligenz nach Ansicht von Experten in den kommenden Jahren keiner erkennbaren technischen Wachstumsgrenze. Doch hier hat Deutschland, das laut Resultaten der Acatech/BDI-Rangliste der digitalen Wettbewerbsfähigkeit nur noch Platz 17 in der Welt erreicht, Nachholbedarf. Während in Asien schon 15 Prozent und in Amerika 12 Prozent der Unternehmen KI-Algorithmen einsetzen, sind es in Deutschland gerade mal 7 Prozent.

Alarmierende Zahlen lieferte auch Dr.-Ing. e. h. Ranga Yogeshwar in seiner Keynote zur Aachener Veranstaltung. Nach seiner Kenntnis können sich nur 15 Prozent der Jugendlichen vorstellen, in einem naturwissenschaftlichen Beruf zu arbeiten. Zugleich präsentierte er die Ergebnisse einer OECD-Studie, wonach im Jahr 2030 bereits 37 Prozent aller Hochschulabsolventen in MINT-Fächern aus China kommen, 26,7 Prozent aus Indien und lediglich 1,4 Prozent aus Deutschland. Folglich gilt es, die Begeisterung für MINT-Themen zu fördern. Dabei „muss und wird zukünftige Bildung anders sein als das, was wir kennen“, lautete eine der Thesen des Wissenschaftsjournalisten, der selbst an der

RWTH Aachen studiert und am Schweizer CERN gearbeitet hat: „Die Grammatik des Lernens ändert sich“, zeigte sich Ranga Yogeshwar überzeugt: „Mit der Digitalisierung der Bildung entstehen neue Lernformen.“ Als beispielhaft dafür nannte er den Kanal 3Blue1Brown auf YouTube: „Er vermittelt Mathematik und hat inzwischen über eine Million Abonnenten.“

Die Digitalisierung, so Yogeshwar weiter, wird auch Schule und Ausbildung erfassen. Schon heute können KI-Systeme Lerndaten evaluieren, Mikrolernkurven auswerten und voraussagen, ob jemand die Prüfung schaffen wird oder nicht: „Prüfungen werden überflüssig. Die Daten übernehmen deren Funktion!“ Neue Chancen eröffnen die neuen Medien nach seiner Einschätzung auch älteren Arbeitnehmerinnen und Arbeitnehmern: „Sie werden nicht mehr die Schulbank drücken, wenn sie neue technologische Entwicklungen verstehen und vorantreiben möchten. Doch mit den Innovationen des lebenslangen Lernens wird ihnen das gelingen.“

Offene Lehr- und Lernprozesse, prognostizierte Ranga Yogeshwar, werden die Wissensvermittlung in der tradierten Taktung von Fächern, Klassenarbeiten und Jahrgangsstufen ablösen: „Unser Bildungssystem muss sich fundamental ändern. Wir müssen weg von einer Leistungsorientierung, die sich allein an guten Noten, Tests und Abschlüssen ausrichtet, hin zu einer echten Lernorientierung, die Bildung als wirkliche Lebensbereicherung begreift und zur Übertragung des Erlernten in den eigenen Alltag befähigt.“

Dass es daran gegenwärtig noch mangelt, illustrierte er an einem kleinen Experiment, indem er die Frage stellte: „Wie groß muss

ein Spiegel sein, damit ich mich ganz darin sehen kann?“ Die Reaktion im Publikum zeigte: Nur wenige können das in der Schule erlernte Reflexionsgesetz der Physik – „Einfallswinkel gleich Ausfallswinkel“ – ins wirkliche Leben übertragen. Ranga Yogeshwar: „Hier versagt das System Schule, weil wir dort zwar gelernt, aber nicht verstanden und verinnerlicht haben. Damit Sie sich ganz im Spiegel sehen können“, klärte er abschließend auf, „muss der Spiegel exakt halb so groß sein wie Sie. Probieren Sie es aus“, empfahl er, „und Sie werden es nie wieder vergessen!“

#### ANSPRECHPERSON IN DER G.I.B.

**Carsten Duif**, Tel.: 02041 767178  
c.duif@gib.nrw.de

#### KONTAKTE

RWTH Aachen, Lehrstuhl für Informatik 10  
(Medieninformatik und Mensch-Computer-Interaktion)

**Christian Cherek M. Sc.**, Tel.: 0241 8021077  
cherek@cs.rwth-aachen.de

Universität Bremen

Research Associate – Digital Media Group  
**Dr.-Ing. Tanja Döring**, Tel.: 0421 21864406  
tanja.doering@uni-bremen.de

Ludwig-Maximilian University of Munich  
Human-Centered Ubiquitous Media  
Institute of Computer Science

**Thomas Kosch, M. Sc.**, Tel.: 0151 53577402  
thomas.kosch@ifi.lmu.de

DFA Demonstrationsfabrik Aachen GmbH  
**Dr. Gregor Tücks**, Tel.: 0241 51031800  
info@demofabrik-aachen.de

#### AUTOR

**Paul Pantel**, Tel.: 02324 239466  
paul.pantel@vodafonemail.de