

# KI-basierte, adaptive Lernumgebungen

von Dr. Christoph Meier (swiss competence centre for innovations in learning)

## Inhalt

<b>1</b>	<b>BLITZLICHT: Das Wichtigste auf einen Blick</b>	1
1.1	Zielsetzung des Beitrags	1
1.2	Definition	1
1.3	Einstieg ins Thema	2
<b>2</b>	<b>FAKTEN: Das sollten Sie wissen!</b>	3
2.1	Adaptive Lernumgebungen	3
2.2	KI-basierte, »intelligente« Lernumgebungen	3
2.3	Drei Komponenten einer adaptiven Lernumgebung	4
2.4	Inner loop und outer loop	5
2.5	Beispiele für adaptive Lernumgebungen	6
2.6	Ein Blick unter die Haube von ausgewählten adaptiven Lernumgebungen	8
2.6.1	ALEKS	8
2.6.2	Area9 Lyceum	11
2.7	Wirksamkeit von adaptiven Lernumgebungen	12
<b>3</b>	<b>HANDELN: So gehen Sie vor!</b>	14
3.1	Planung des Einsatzes von Plattformen bzw. Systemen	14
3.2	Entwicklung von Lerneinheiten	15
3.3	Vorbereitung der Lernenden auf eine andere Lernerfahrung	19
	<b>Literaturhinweise</b>	20

## 1 BLITZLICHT: Das Wichtigste auf einen Blick

### 1.1 Zielsetzung des Beitrags

Dieser Beitrag beschreibt die zentralen Komponenten adaptiver Lernumgebung und illustriert anhand verschiedener Beispiele, mit welchen Typen technischer Systeme adaptives Lernen unterstützt werden kann. Es werden die nötigen Schritte zur Planung des Einsatzes von adaptiven, intelligenten tutoriellen Systemen erläutert und konkrete Umsetzungstipps für eine erfolgreiche Umsetzung der Lernumgebungen gegeben.

### 1.2 Definition

KI-basierte, adaptive Lernumgebungen sind Lernumgebungen, die sich in Echtzeit an die Benutzer und ihren Lernstand anpassen. Dies geschieht auf der Grundlage einer durch Algorithmen gesteuerten Verarbeitung von Daten. Für die Funktion von adaptiven Lernumgebungen bzw. intelligenten tutoriellen Systemen zentral sind drei Modelle und die dort hinterlegten Informationen: das Domänen-Modell (Informationen u.a. zu Lernobjekten und deren Beziehungen zueinander bzw. Abhängigkeiten voneinander), das Lernenden-Modell (Informationen u.a. zu bereits bekannten Wissens-elementen) und das tutorielle Modell (Informationen u.a. zu Lernpfaden oder zur Platzierung und Gestaltung von Feedback).

**Daten- & Algorithmen-basierte Anpassung an Lernende in Echtzeit**

### 1.3 Einstieg ins Thema

#### Herausforderungen für das Bildungsmanagement

Eine möglichst gute Ausbildung und daran anschließend lebenslanges Lernen sind weithin als Ziele und normative Orientierungspunkte etabliert. Die dafür verfügbaren Ressourcen und Mittel erscheinen aber immer (zu) knapp. Dies gilt für Schulen und Hochschulen (Klassengröße/Betreuungsverhältnis) ebenso wie für die Berufsbildung (Ausstattung mit aktuellen Maschinen) und die betriebliche Weiterbildung (knappe Budgets). Hinzu kommt, dass unsere Welt bunter geworden ist. Lebensläufe, Berufs- und Bildungsbiografien sind vielfältiger als früher. Die Heterogenität der Nutzer von Bildungsdienstleistungen nimmt zu. Dies gilt für Schulen genauso wie für Hochschulen, die Berufsbildung und auch für die betriebliche Weiterbildung. Und nicht zuletzt haben sich auch unsere Erwartungen an Dienstleistungen und Produkte geändert. Was wir vom Musik-Streaming-Dienstleister gewohnt sind (meine persönliche Playlist), erwarten wir zunehmend auch bei der (Weiter-)Bildung: einen auf meine persönlichen Voraussetzungen und Ziele zugeschnittenen Lernpfad.

#### Diversität als »alte« Herausforderung

Diversität bzw. Heterogenität von Teilnehmenden als Herausforderung für die Gestaltung von Lernumgebungen ist kein neues Thema. Bereits in den 60er und 70er Jahren des 20. Jahrhunderts wurde die Notwendigkeit erkannt, Heterogenität – insbesondere im schulischen Kontext – verstärkt zu berücksichtigen. In der Folge gab es Diskussion beispielsweise darüber, inwiefern möglichst homogene Lernergruppen die Wirksamkeit von Lernprozessen fördern oder welche Potenziale sich aus heterogenen Lerngruppen für den Lernprozess ergeben (RAATZ/BRAHM 2015).

#### Verbesserter Lernerfolg durch individuelle tutorielle Betreuung

BLOOM hat Mitte der 1980er Jahre gezeigt, dass Lernende, die in einer 1:1-Situation von Tutoren individuell betreut wurden, bei Lernerfolgsüberprüfungen etwa 2 Standardabweichungen besser abschnitten als Lernende in konventionellen Lernarrangements (Frontalunterricht mit ca. 30 Lernenden pro Lehrperson). Oder anders gesagt: Die individuell betreuten Lernenden erbrachten im Mittel so gute Prüfungsleistungen wie die besten 2 Prozent der Lernenden in konventionellen Lernarrangements (vgl. Abbildung 1).

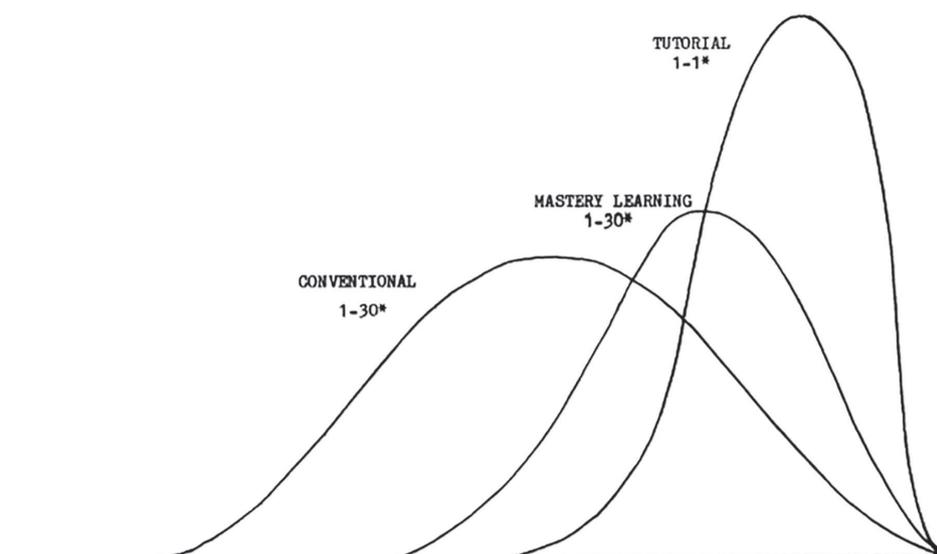


Abb. 1: Vorteile durch 1:1-Betreuung von Lernenden (Quelle: BLOOM 1984)

Tutorielle Einzelbetreuung von Lernenden ist nun aber in der Regel kein tragfähiges bzw. bezahlbares Modell – weder an Schulen und Hochschulen noch in der Berufsbildung noch in der betrieblichen Weiterbildung. Vor diesem Hintergrund werden hohe Erwartungen an Resultate von Forschungs- und Entwicklungsarbeiten im Bereich der künstlichen Intelligenz und adaptiver tutorieller Systeme herangetragen. Die Erwartung ist, dass über diese Systeme hochgradig lernwirksame und zugleich kostengünstige individualisierte Lernunterstützung durch Feedbacks und/oder personalisierte Lernpfade für eine große Anzahl von Menschen möglich wird.

**Das Potenzial technischer Lösungen**

Angetrieben wird die Entwicklung adaptiver tutorieller Lernplattformen nicht nur von fachlich ausgerichteter (Grundlagen-)Forschung, beispielsweise im Bereich künstliche Intelligenz, sondern auch von ökonomischen Entwicklungen. So bemühen sich beispielsweise große Lehrbuchverlage wie McGraw-Hill Education oder Pearson darum, ihr Geschäftsmodell neu auszurichten. Denn ihr bisheriges Geschäftsmodell, das zentral auf dem Verkauf von Lehrbüchern basiert, ist unter Druck geraten. Angesichts schrumpfender Margen investieren diese Verlage unter anderem in adaptive tutorielle Systeme, um höherwertige Dienstleistungen mit höheren Margen anbieten zu können (OREMUS 2015).

**Treiber: Forschung, Entwicklung und ökonomisches Kalkül**

## 2 FAKTEN: Das sollten Sie wissen!

### 2.1 Adaptive Lernumgebungen

Als »adaptives Lernen« wird ein Ansatz bezeichnet, bei dem Computer als interaktive Lehr-/Lernhilfen eingesetzt werden und über diese eine auf individuelle Bedürfnisse abgestimmtes Zuweisen verschiedenster Materialien und Hilfestellungen erfolgt:

**Definitionen: adaptives Lernen und adaptive Lernumgebungen**

»An ITS [Intelligent Tutoring System, CM] is a computer system that aims to provide immediate and customized instructions or feedback to learners, usually without intervention from a human teacher.« (SOTTILARE 2015, S. 1)

»An adaptive, intelligent learning environment needs to select the right instructional strategies at the right time, based on its model of the learner in specific conditions and the learning process in general. Such selections should be taken to maximize deep learning and motivation while minimizing training time and costs.« (SOTTILARE 2015, iv)

Im Unterschied zu Computer Based Training (CBT), zielen adaptive Lernumgebungen darauf ab, Lernende bei der Entwicklung von Wissen und Fertigkeiten in einer bestimmten inhaltlichen Domäne *individualisiert* zu unterstützen und diesen Prozess zu optimieren – im Hinblick auf die Lerninhalte, die Geschwindigkeit des Lernens, die Genauigkeit und den Umfang der Lernaktivitäten (WEBER 2012).

### 2.2 KI-basierte, »intelligente« Lernumgebungen

Häufig ist in diesem Zusammenhang auch von KI-basierten, »intelligenten« Lernumgebungen die Rede. »Künstliche Intelligenz« bezeichnet die Realisierung von intelligentem Verhalten und den zugrunde liegenden kognitiven Fähigkeiten auf Computern. Die Arbeitsgebiete und Anwendungsfelder für

**Realisierung von intelligentem Verhalten auf Computern**

KI gehen über die aktuell im Vordergrund stehenden selbstlernenden Systeme (neuronale Netze) hinaus und beinhalten auch das Problemlösen und die Wissensrepräsentation. Anwendungsfelder im Bildungsbereich sind Vorschläge zu Lerninhalten, adaptives Generieren von Kursen, Unterstützung beim Problemlösen oder das Identifizieren von Plagiaten (ULLRICH 2018). KI genießt aktuell viel Aufmerksamkeit und viele Anbieter von Lernlösungen werben mit dem Hinweis darauf, dass Verfahren künstlicher Intelligenz und Algorithmen eingesetzt werden – was in der Praxis in sehr unterschiedlicher Weise erfolgt.

### 2.3 Drei Komponenten einer adaptiven Lernumgebung

Wie können adaptive Lernumgebungen bzw. intelligente tutorielle Systeme eine solche Anpassung an den einzelnen Lernenden leisten? Die zentralen Komponenten hierfür sind die nachfolgend erläuterten Modelle – ergänzt um eine passende Benutzeroberfläche (vgl. BAGHERI 2015 und Abbildung 2, unten).

KOMPONENTE 1: Domänen-Modell

KOMPONENTE 2: Tutorielles Modell

KOMPONENTE 3: Lernenden-Modell

#### Komponente 1 **Domänen-Modell**

Das Domänen-Modell beinhaltet Informationen zu Konzepten und Inhalten, zu Lernobjekten, wie etwa Beispielen, Grafiken oder Übungsaufgaben, und zu deren Beziehungen untereinander bzw. Abhängigkeiten voneinander. Konkret kann ein Domänen-Modell beispielsweise Informationen zur Baufinanzierung abbilden, z. B. zu verschiedenen Darlehensarten und Möglichkeiten der Finanzierung sowie zur Gestaltung des Gesprächs- und Beratungsprozesses bei der Kundenberatung zur Baufinanzierung.

#### Komponente 2 **Tutorielles Modell**

Das tutorielle Modell beinhaltet unter anderem Informationen zu möglichen Lernpfaden, wann welche Informationen zur Verfügung gestellt werden sowie wann und in welcher Form den Lernenden Feedback gegeben wird.

#### Komponente 3 **Lernenden-Modell**

Das Lernenden-Modell schließlich beinhaltet Informationen u.a. dazu, welche Elemente des Domänen-Modells der bzw. die jeweilige Lernende bereits bearbeitet hat und beherrscht, wie lange üblicherweise die Lernsituationen dauern, wie viele Wiederholungen bzw. Übungen es braucht, bis ein Konzept eines mittleren Schwierigkeitsgrads beherrscht wird, usw.

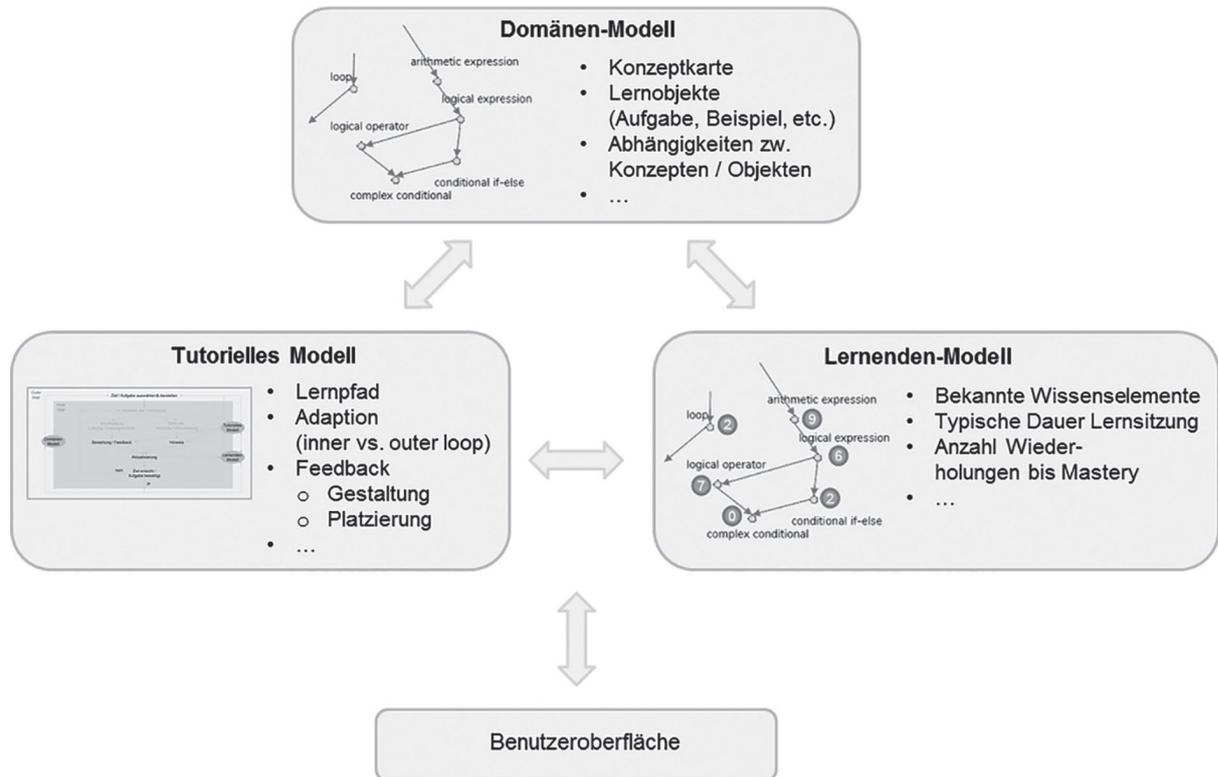


Abb. 2: Zentrale Elemente einer adaptiven Lernumgebung bzw. eines intelligenten tutoriellen Systems (Darstellung in Anlehnung an SOTTILARE et al. 2013; BAGHERI 2015; ULLRICH 2018)

### 2.4 Inner loop und outer loop

Eine wichtige Dimension, auf der sich adaptive Lernumgebungen unterscheiden können, besteht darin, wie kleinschrittig die Anpassung an die Lernenden erfolgt. VANLEHN (2006) hat diesbezüglich die Unterscheidung von »outer loop« und »inner loop« vorgeschlagen (vgl. Abbildung 3, unten).

Im einfachsten Fall wird nur geprüft, ob ein Lernender eine Lernaufgabe (repräsentiert durch ein einzelnes Objekt, beispielsweise eine Aufgabe bzw. ein Test-Item) bewältigen kann oder nicht. Je nach Erfolg wird anschließend eine nächste Lernaufgabe bzw. ein nächstes Lernobjekt angeboten. Diese Bewegung findet im sogenannten »outer loop« statt.

**Outer loop**

Unterstützt die adaptive Lernumgebung dagegen die Lernenden auch kleinteiliger im Verlauf der Bearbeitung einer Aufgabe – beispielsweise durch entsprechende Hinweise zu Aufgabenbearbeitung – so findet diese Bewegung im »inner loop« statt (vgl. Abbildung 3).

**Inner loop**

Wie sich später noch zeigen wird (vgl. Abschnitt 2.7 und Abbildung 10, unten), sind es insbesondere diejenigen adaptiven Lernumgebungen, die Lernende auch im Verlauf der Bearbeitung von Aufgaben unterstützen, die ähnlich gute Effektgrößen aufweisen wie individuelle tutorielle Betreuung.

**Effektgrößen von Umgebungen mit inner loop**

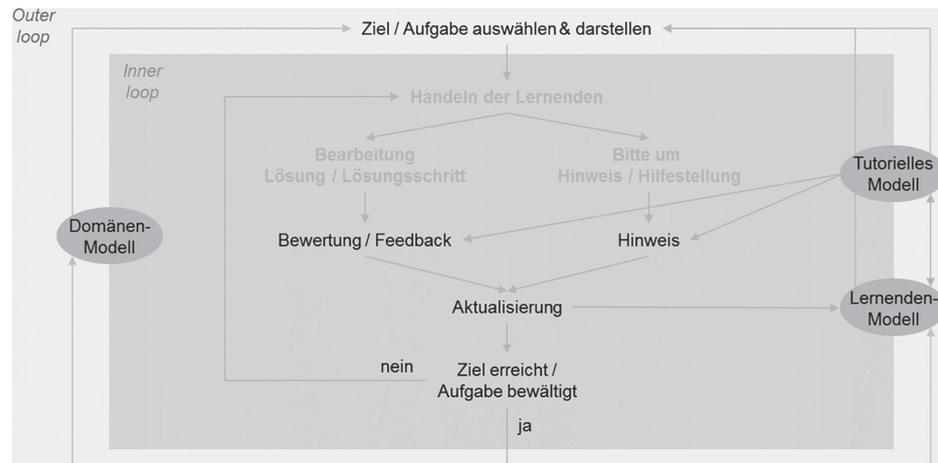


Abb. 3: Inner loop und outer loop bei adaptiven Lernumgebungen (Darstellung in Anlehnung an KOEDINGER et al. 2013, S. 29)

## 2.5 Beispiele für adaptive Lernumgebungen

Adaptives Lernen kann durch verschiedene Typen von technischen Systemen unterstützt werden. Beispiele hierfür sind u.a. die folgenden:

BEISPIEL 1: Lernkarteikartensysteme

BEISPIEL 2: Sprachlern-Apps und -Services

BEISPIEL 3: Plattformen für kuratierte Lerninhalte

BEISPIEL 4: Adaptive Lernplattformen/intelligente tutorielle Systeme

### Beispiel 1 Lernkarteikartensysteme

Lernkarteikartensysteme bilden elektronisch ab, was wir von früher als Papier-basierte Lernkarten kennen: auf der Vorderseite beispielsweise ein Bild oder ein Begriff, auf der Rückseite die dazugehörige Definition oder Übersetzung etc. Lernkarteikartensysteme nutzen Algorithmen, um die Wiedervorlage von Karten in Abhängigkeit von bisherigen Ergebnissen zu steuern. Ein Anbieter im deutschsprachigen Raum ist beispielsweise KnowledgeFox (<https://knowledgefox.net/>).

### Beispiel 2 Sprachlern-Apps und -Services

Für das Erlernen von Fremdsprachen können neben den oben genannten Lernkarteikartensystemen (Vokabeltraining) auch KI-unterstützte Apps und Services genutzt werden, die gesprochene Sprache in Echtzeit verarbeiten. Beispiele hierfür sind etwa Duolingo ([www.duolingo.com](http://www.duolingo.com)) oder Glossika (<https://ai.glossika.com>). Auch diese Apps bzw. Services beobachten bzw. analysieren kontinuierlich die Interaktion der Lernenden mit den einzelnen Lernelementen (Vokabeln, Grammatik, Aussprache, Hörverständnis

etc.). Auf der Grundlage dieser Beobachtungen und gesteuert durch Algorithmen legen sie nächste Inhalte vor.

### Plattformen für kuratierte Lerninhalte

### Beispiel 3

In den letzten Jahren hat sich ein neuer Typ von Lernplattform herausgebildet, bei dem die personalisierte Zusammenstellung von (Lern-)Inhalten für die Nutzer im Vordergrund steht. Ausgehend von der Fülle an Materialien, die im WWW verfügbar sind (und gegebenenfalls auch im Intranet eines Unternehmens) werden den Nutzern spezifisch auf sie zugeschnittene Zusammenstellungen von Inhalte-Objekten zugänglich gemacht. Die Zusammenstellung basiert dabei in der Regel auf den Eintragungen im Benutzerprofil (Funktion und thematische Interessen), auf der Analyse von Empfehlungen anderer Nutzer (welche Inhalte haben wie viele Likes erhalten?) sowie auf Algorithmen-basierter Textanalyse. Beispiele für solche »content curation«-Plattformen sind etwa degreed (<https://degreed.com/>) oder edcast (<https://www.edcast.com/corp/>).

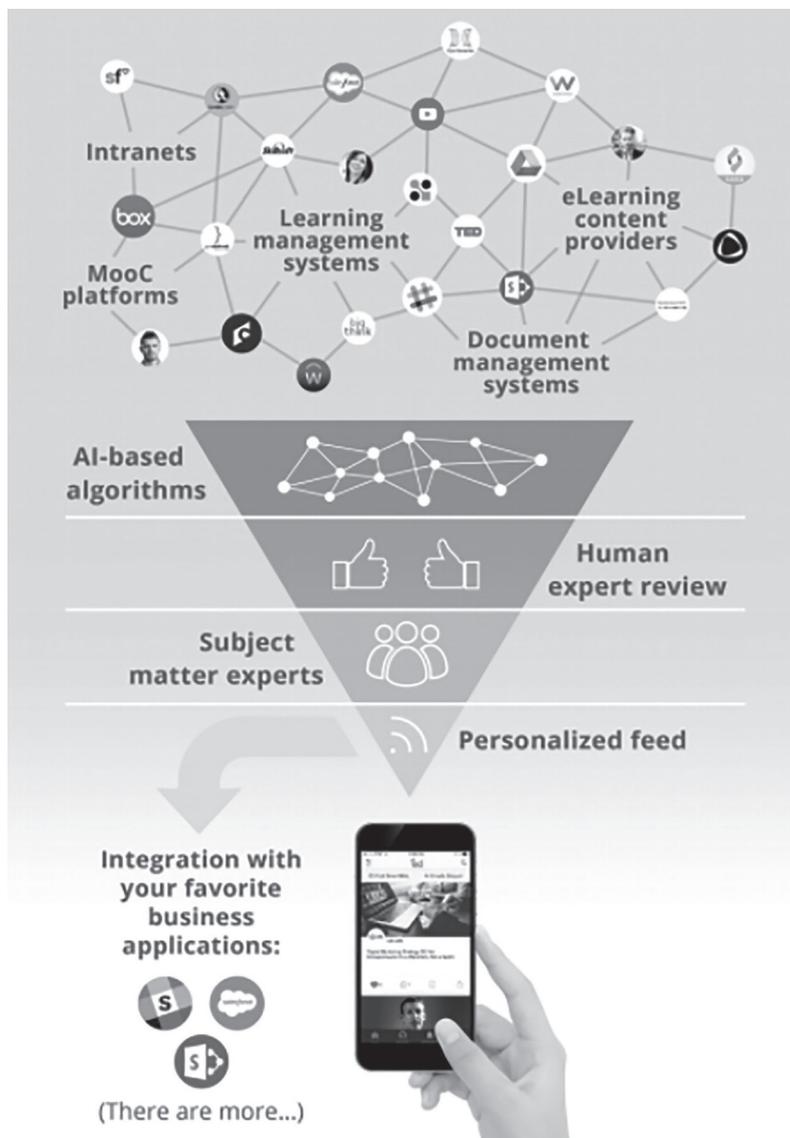


Abb. 4: Funktionsschema einer Plattform für das Kuratieren von Lerninhalten mit KI-Elementen (Quelle: EDCAST 2016)

#### Beispiel 4 **Adaptive Lernplattformen/intelligente tutorielle Systeme**

Von den hier vorgestellten Typen von adaptiven Lernumgebungen sind Adaptive Lernsysteme (ALS) bzw. Intelligente Tutorielle Systeme (ITS) am stärksten darauf ausgerichtet, Lernen durch Berücksichtigung von tutoriellem Modell, Lernenden-Modell und Domänen-Modell zu unterstützen. Mittlerweile sind eine ganze Reihe von adaptiven bzw. intelligenten tutoriellen Systemen verfügbar, die unterschiedliche Bildungskontexte adressieren: Schulen, Hochschulen und betriebliche Weiterbildung ebenso wie verschiedene fachliche Kontexte – von Mathematik und Naturwissenschaften bis hin zu Management-Themen oder Produktschulungen.

#### Marktstudie zu 20 verschiedenen Lösungen

Diese Plattformen bzw. Systeme stehen im Mittelpunkt dieses Beitrags. Eine Marktstudie, die 20 solcher adaptiven Lernplattformen bzw. intelligenter tutorieller Systeme vergleichend gegenüberstellt, hat Tyton Partners in 2016 veröffentlicht (NEWMANN et al. 2016). Damit besser verständlich wird, wie diese Lösungen funktionieren, folgt – bildlich gesprochen – ein Blick unter die Motorhaube von zwei Systemen (zumindest soweit deren Anbieter das zulassen und entsprechende Dokumentationen zur Verfügung stellen).

### 2.6 Ein Blick unter die Haube von ausgewählten adaptiven Lernumgebungen

#### 2.6.1 ALEKS

#### Theorie der Wissensräume als Ausgangspunkt, Mathematik als Fokus

ALEKS (Assessment and Learning in Knowledge Spaces) basiert auf der »Knowledge-Space-Theorie« (Theorie der Wissensräume) und damit verbundenen Ansätzen in der Didaktik der Mathematik (DOIGNON/FALMAGNE 1999). Treiber für die Entwicklung der Knowledge-Space-Theorie war die Einschätzung, dass gängige psychometrische Modelle bzw. Verfahren die Kompetenzen von Lernenden nur ungenau abbilden. Etwa über eine Gesamtpunktzahl (wie beim Scholastic-Aptitude-Test), nicht aber über eine präzise Aufstellung der Problemstellungen, die bewältigt werden können (z. B. »Lösen einer quadratischen Gleichung mit ganzzahligen Koeffizienten«). ALEKS wurde ab 1994 an der University of California, Irvine, im Rahmen eines Forschungsprojekts der US-amerikanischen National Science Foundation entwickelt und 2013 von McGraw-Hill Education erworben. ALEKS bietet eine Reihe von Kursen für Schulen und Hochschulen an, insbesondere zu Mathematik, Statistik, Buchhaltung, Chemie sowie verschiedene Vorbereitungskurse auf Hochschuleignungstests ([https://www.aleks.com/about\\_aleks/course\\_products](https://www.aleks.com/about_aleks/course_products)).

Abbildung 5 (unten) zeigt schematisch einen sehr kleinen Wissensraum und seine Struktur. Algebra 2 als fachliche Domäne (Knowledge Space) umfasst in ALEKS 586 Themen. Daraus resultieren mehr als eine Trilliarde an theoretisch möglichen Knowledge States. Die Lernenden bewegen sich im Lernprozess bei dieser Art der Darstellung von unten nach oben, und meistern nach und nach verschiedene Themen. Die rote Ellipse in Abbildung 5 hebt einen möglichen Wissensstatus hervor (Themen g, h und i werden sicher beherrscht) und zeigt, für welche nächsten Themen der oder die Lernende bereit ist (a und c).

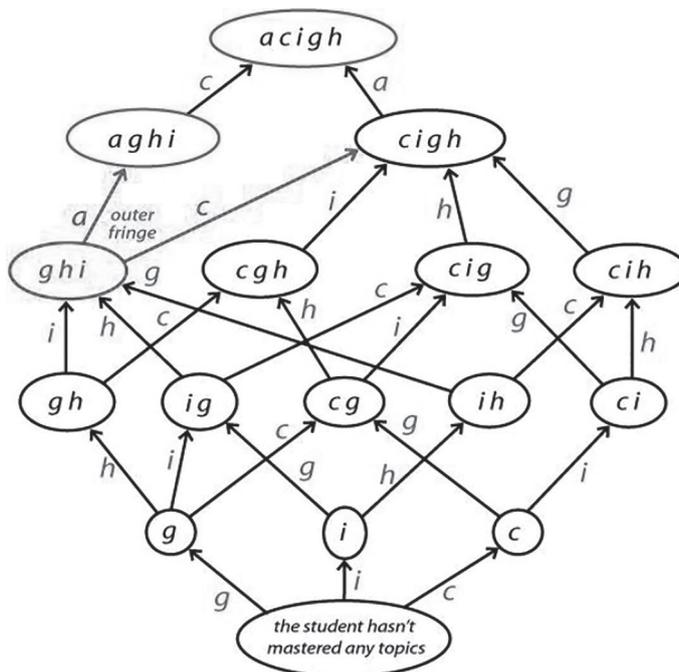


Abb. 5: Darstellung eines Wissensraums (Quelle: ALEKS CORPORATION 2012)

Die Prüfungskomponente in ALEKS ermöglicht es, zum Einstieg in den Lernprozess den Wissensstand eines Lernenden zu klären. Auf der Basis von Wahrscheinlichkeitsrechnungen genügen in der Regel 20 bis 30 Fragen, um den Wissensstand eines Lernenden ausreichend einzugrenzen. Dabei werden in der Regel Bearbeitungsaufgaben (*keine Auswahlaufgaben*) eingesetzt.

**Einstiegstest**

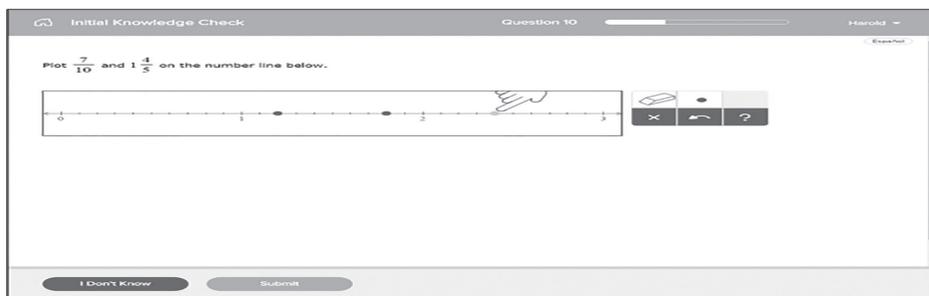


Abb. 6: Beispiel für eine Aufgabe/ein Test-Item in ALKES (Quelle: ALEKS BENUTZER-HANDBUCH 2017, <https://www.aleks.com/manual/pdf/learners-highedmath.pdf>)

Im Rahmen der individualisierten Diagnostik zum Wissensstand wählt ALKES jeweils die Frage/Aufgabe aus, die – auf Basis des aktuell berechneten Wissensstands – maximal informativ ist. Wenig informativ in diesem Sinne wäre eine Aufgabe, von der mit großer Wahrscheinlichkeit zu erwarten ist, dass der/die Lernende sie bewältigen kann. Viel informativer ist dagegen eine Aufgabenstellung, für die diese Erwartung lediglich bei etwa 50 Prozent liegt. Auf der Grundlage der Antwort zu dieser Frage wird dann der individuelle Wissensstand jeweils neu berechnet.

**Maximal informative Test-Items**

Die Wahrscheinlichkeit, dass ein Thema/Konzept beherrscht wird, verändert sich also kontinuierlich im Verlauf der Bearbeitung sowohl eines

Einstiegstests als auch später im Verlauf der Bearbeitung von Inhalten (vgl. Abbildung 7).

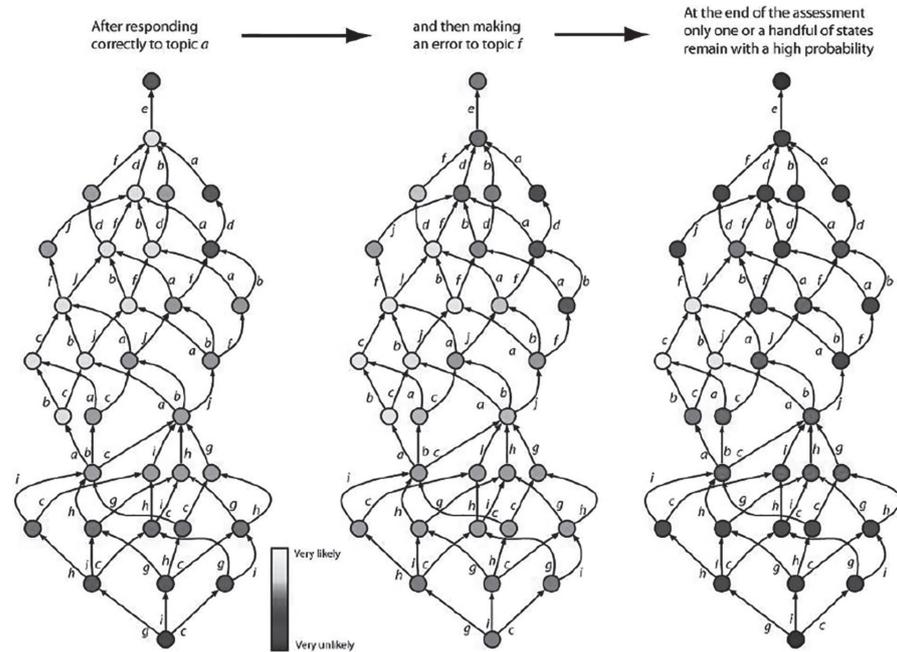


Abb. 7: Veränderung der Wahrscheinlichkeit, mit der Themen/Konzepte beherrscht werden (Quelle: ALEKS CORPORATION 2012)

**Lernenden-Cockpit und »ready to learn«**

Nach dem Ende der Einstiegsprüfung gelangen die Lernenden in den Lernmodus des Systems. Hier erhalten sie u.a. Zugang zu einem Cockpit, das ihnen aufzeigt, welche Themen sie bereits beherrschen, welche sie noch nicht beherrschen und für welche nächsten Themen sie bereit sind. Der Einstiegspunkt in ein nächstes Thema findet sich in Abbildung 8 in der Mitte dunkel hervorgehoben. Kann der oder die Lernende die erste Aufgabe eines neuen Themas nicht erfolgreich lösen, werden ihr/ihm ergänzende Erläuterungen angezeigt und eine nächste Aufgabe präsentiert. Nach einer ausreichend langen Reihe von erfolgreichen Lösungen wird das Teilthema als beherrscht klassifiziert. Der Wissensstand des Lerners wird vom System angepasst und er/sie ist bereit für ein nächstes Teilthema (»ready to learn«).

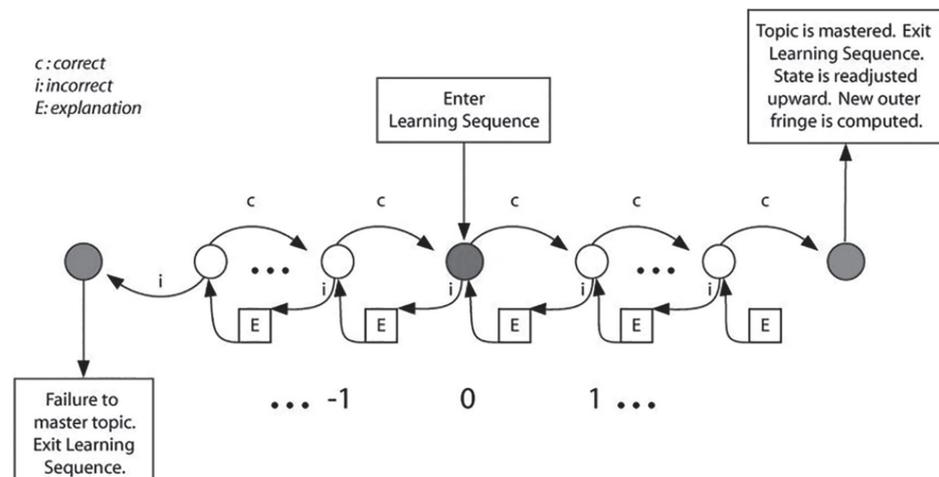


Abb. 8: Schematische Darstellung einer Lernsequenz (Quelle: ALEKS CORPORATION 2012)

### 2.6.2 Area9 Lyceum

Area9 Lyceum positioniert sich in Abgrenzung zu Anbietern wie z. B. ALEKS und betont zum einen die Orientierung an einem »biologischen Modell«, zum anderen die Ausrichtung auf das Feld »Betriebliches Lernen«. Das zugrunde liegende »biologische Modell« beinhaltet zwei zentrale Annahmen:

- Es macht keinen Sinn, von »hart verdrahteten« Beziehungen zwischen Lernzielen/Lerninhalten (Voraussetzungen etc.) auszugehen. Vielmehr gibt es viele, zum Teil auch unvorhersehbare Wege zum Lernziel.
- Bei der Bestimmung des aktuellen Wissens-/Lernstands gibt es immer Ungenauigkeiten (»Rauschen«), weil bereits gelerntes Wissen wieder verloren geht oder neues Wissen undokumentiert hinzukommt (z. B. über informelle Lernaktivitäten und Erfahrungen außerhalb der Plattform).

Bei der Bestimmung des Wissensstands eines Lernenden wird daher, neben dem Grad der Korrektheit von Antworten wie bei anderen adaptiven Lernumgebungen auch, zusätzlich berücksichtigt wie sicher sich ein/e Lernende/r bei der Antwort ist. Über diese Selbsteinschätzung werden Punkte vergeben. Die daraus resultierenden numerischen Bewertungen sind die Grundlage für Vorhersagen bzw. Erwartungen zu nächsten Lernaktivitäten.

»Biologisches Modell« & Fokus auf betriebliches Lernen

Grundannahmen eines biologischen Modells

Objektive UND subjektive Bewertung

The image below is a visual representation of the \_\_\_\_\_.



Click the answer you think is right.

Project Manager's Triad  
Project Pyramid  
Project Constraint  
Project Manager's Triangle

Do you know the answer?

I KNOW IT   THINK SO   UNSURE   NO IDEA

Abb. 9: Beispiel für eine Aufgabe mit gleichzeitiger Abfrage dazu, wie sicher sich ein Lerner bezüglich der Antwort fühlt (Quelle: AREA9LEARNING 2017, S. 5)

Die Modellierung des Wissens eines Lerners erfolgt über Algorithmen, in die die folgenden Werte einfließen:

- Zuweisung eines numerischen Werts für die Bedeutsamkeit des Inhalts
- Punktwert für die Antwort
- Punktwert für Selbsteinschätzung
- Punktwerte für Zeitpunkt sowie Zeitdauer der Bearbeitung, z. B.
  - Zeitdauer für das Lesen und Beantworten der Frage,
  - Zeitdauer für das Ausfüllen der Selbsteinschätzung,
  - Zeitdauer für das Lesen des Feedbacks, nachdem die Antwort bewertet wurde

Elemente der Modellierung des Wissensstands

Dabei werden die der Berechnung zugrunde liegenden Modelle und Algorithmen immer wieder überprüft und neu kalibriert. Hierzu kann der Anbieter auf viele Millionen verfügbare Datenpunkte zurückgreifen, die bereits aus der Vergangenheit vorliegen, aber auch permanent neu hinzukommen.

- Konfligierende Ziele:** Um einen effektiven und effizienten Lernprozess zu gewährleisten, müssen allerdings zwei potenziell konfligierende Ziele ausbalanciert werden:
- Zuverlässigkeit vs. Zeitaufwand**
- Zum einen soll die Zuverlässigkeit, mit der die Diagnose von Wissen/Kompetenz erfolgt, möglichst hoch sein bzw. bleiben; hierzu können zusätzliche Fragen/Aufgaben zum gleichen Thema eingesetzt werden.
  - Gleichzeitig soll aber der Zeitaufwand für das Training möglichst gering gehalten werden – das Ideal ist für jede/n Lernende/n der schnellste Weg zum (Kompetenz-)Ziel; hierzu kann der Verzicht auf zusätzliche Fragen beitragen.

- Kriterien für die Bestimmung eines nächsten Lerninhalts**
- Eine adaptive Lernplattform wie Area9 Rhapsode™ bestimmt dabei den nächsten Lerninhalt bzw. die nächste Lernaufgabe, indem verschiedene Anforderungen ausbalanciert werden (HOWE 2017, S. 25):
- das Komplettieren/vollständige Bearbeiten eines bereits begonnenen Themas;
  - ein (möglichst hoher) Zuwachs an Wissen;
  - das Wiederholen von bereits Gelerntem, um neues Wissen langfristig zu verankern;
  - die Förderung der Genauigkeit der Selbsteinschätzung von Lernenden bzw. die Stärkung von deren Zutrauen in die eigene Selbsteinschätzung zu ihren Kompetenzen;
  - die laufende Verbesserung der Modelle, um Rauschen/Ungenauigkeiten zu reduzieren;
  - den Zeiteinsatz und Motivation der Lernenden.

## 2.7 Wirksamkeit von adaptiven Lernumgebungen

- Zahlreiche Studien und mehrere Metastudien**
- Adaptive und intelligente Lernsysteme sind in der Vergangenheit Gegenstand zahlreicher Studien und Untersuchungen gewesen. Hier sind insbesondere die Metastudien von VanLehn aus dem Jahr 2011 (VANLEHN 2011) und von Kulik und Fletcher aus dem Jahr 2016 (KULIK/FLETCHER 2016) zu nennen.

- Gründe, warum menschliche Tutoren leistungsfähiger sein sollen**
- Ein zentrales Ergebnis der Studie von VANLEHN besteht darin, dass die Erwartung, die Unterstützung von Lernenden durch menschliche Tutoren führe zu deutlich besseren Ergebnissen als die Unterstützung durch verschiedene Arten von technischen Lösungen, so nicht haltbar ist. Diese Erwartung beruht auf der Annahme, dass menschliche Tutoren leistungsfähiger sind, weil sie u.a.
- den Wissens-/Leistungsstand von Lernenden besser einschätzen können,
  - Aufgabenstellungen besser auf einzelne Lernende zuschneiden können,
  - über leistungsfähigere Lehrstrategien verfügen (z. B. Bewertung zurückhalten und nach Begründungen fragen),
  - Dialoge ermöglichen (z. B. Gegenfragen stellen),
  - über ein breiteres und tieferes Domänenwissen verfügen,

- punktgenau Feedback zu (irrigen) Argumentationen oder Ergebnissen liefern können (Quelle: VANLEHN 2011, S 198–200).

Die von VANLEHN ausgewerteten Studien zeigen demgegenüber eine andere Verteilung der Effektgrößen verschiedener Typen tutorieller Unterstützung. Unterschieden werden dabei tutorielle Systeme, die nicht nur pauschale Feedbacks ausgeben (»fast richtig«, »versuch es nochmal« – »Answer-based«), sondern Feedback auf der Ebene typischer Schritte bei der Lösung einer Aufgabe (»Step-based«) oder sogar noch granularer (»Substep-based«). Die Ergebnisse der von VANLEHN ausgewerteten Studien zeigen, dass tutorielle Systeme mit sehr granularer Unterstützung bzw. sehr fein gegliedertem Feedback (vgl. den inner loop in Abbildung 3) für die Lernenden zu Effektgrößen führen, die annähernd denen der Lernunterstützung durch menschliche Tutoren entsprechen (vgl. Abbildung 10).

**Studienergebnisse widersprechen Erwartungen**

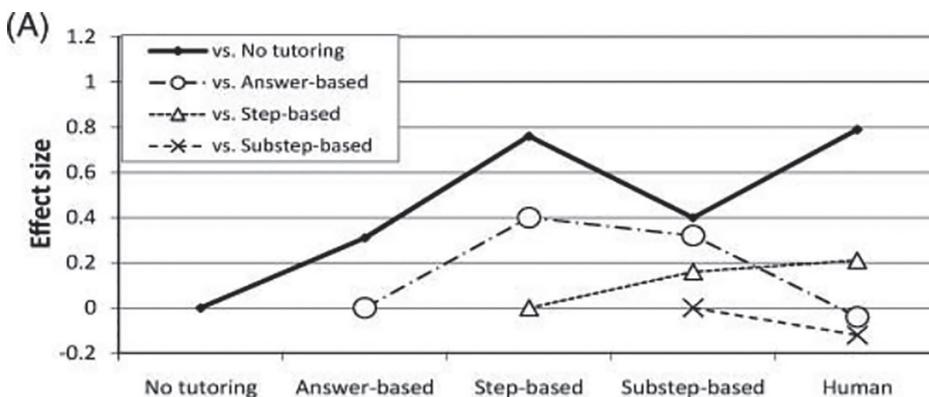


Abb. 10: Effektgrößen verschiedener Typen tutorieller Unterstützung beim Lernen (Quelle: VANLEHN 2011, S. 209)

Eine weitere, neuere Metastudie, bei der 50 Einzelstudien ausgewertet wurden (KULIK/FLETCHER 2016), bestätigt die Ergebnisse von VANLEHN. Allerdings ist bei der Bewertung dieser Studienergebnisse zu berücksichtigen, welche adaptiven bzw. intelligenten tutoriellen Systeme in den jeweiligen Studien eingesetzt wurden. Leider finden sich dazu in den beiden hier angeführten Metastudien keine detaillierten Aussagen. Aus dem Beitrag von VANLEHN lässt sich herauslesen, dass dabei vor allem spezielle tutorielle Lösungen für Mathematik und naturwissenschaftliche Fächer überprüft wurden, zum Teil aber auch tutorielle Systeme für die Ausbildung an militärischen Geräten. Damit bleibt eine Unsicherheit, inwiefern die hier angeführten Ergebnisse auch für kommerziell verfügbare Lösungen gelten, wie sie in den Kapiteln 2.5 und 2.6 vorgestellt wurden.

**Unklar: Welche Systeme wurden in diesen Studien überprüft?**

In einem Bericht für die Hochschul-IT-Zeitschrift EDUCAUSEreview berichtet JOHNSON (2016) über die Einführung der adaptiven Lernplattform *Intellipath* an der Technischen Hochschule Colorado. Der Prozess der Einführung dieser Plattform begann im Jahr 2012. Bis zum Jahr 2015 wurden etwa 800 Lehrpersonen (ca. 80 Prozent aller Lehrpersonen) für die Nutzung des Systems geschult und die Plattform für 107 Kurse mit mehr als 30.000 Studierenden eingesetzt. Dabei wurden deutliche Verbesserungen bei einzelnen Lehrveranstaltungen beobachtet (JOHNSON 2016).

**Fallbeispiel Technische Hochschule Colorado**

### 3 HANDELN: So gehen Sie vor!

In Kapitel 2.5 wurde aufgezeigt, dass es eine ganze Reihe von verschiedenen Typen von Lernumgebungen gibt, die auf der Basis von Algorithmen bzw. künstlicher Intelligenz personalisierte Lernpfade und Lernerfahrungen ermöglichen. Das Vorgehen bei der Planung und Einführung dieser verschiedenen Lösungen unterscheidet sich dementsprechend. Die folgende Darstellung fokussiert die Planung und Einführung eines adaptiven bzw. intelligenten tutoriellen Systems.

#### 3.1 Planung des Einsatzes von Plattformen bzw. Systemen

Bei der Planung des Einsatzes von adaptiven, intelligenten tutoriellen Systemen sind folgende Schritte erforderlich:

SCHRITT 1: Klärung der Zielsetzungen

SCHRITT 2: Einschätzung der Zielgruppe

SCHRITT 3: Lernarchitektur planen bzw. anpassen

##### Schritt 1 Klärung der Zielsetzungen

Welche Zielsetzungen sollen über den Einsatz des adaptiven, intelligenten tutoriellen Systems erreicht werden? Soll durch individualisierte Lernpfade primär die für das Erreichen der Lernziele (Mastery) erforderliche Lernzeit reduziert werden? Soll die Motivation der Lernenden gestärkt werden, indem die Lernumgebung den individuellen Wissensstand berücksichtigt und das Behandeln bzw. Abprüfen von Inhalten, die schon bekannt sind, vermeidet? Soll die Fähigkeit der Lernenden, sich selbst im Hinblick auf ihre eigene Kompetenz einzuschätzen, gefördert werden?

##### Schritt 2 Einschätzung der Zielgruppe

Wie steht die Zielgruppe zur Beobachtung und Unterstützung durch ein technisches System? Adaptive bzw. intelligente tutorielle Systeme basieren darauf, dass diese große Mengen an Daten zu den Interaktionen der Lernenden mit den Lernmaterialien erzeugen und auswerten. Dies muss den Nutzern/Lernenden transparent gemacht werden und die damit möglicherweise verbundenen Sorgen (z. B. Was für Daten werden da erzeugt? Wer sieht meine Daten bzw. Ergebnisse? Was passiert mit meinen Daten?) müssen behandelt werden. Vor allem aber müssen die Nutzer/Lernenden das Potenzial einer adaptiven Lernumgebung (z. B. Fokussierung auf Inhalte, die man noch nicht beherrscht; keine Langeweile beim Durcharbeiten von Inhalten; reduzierte Lernzeit) bejahen.

##### Schritt 3 Lernarchitektur (Plattformen und Autorenwerkzeuge) planen bzw. anpassen

Die Nutzung adaptiver Lernumgebungen erfordert spezifische Plattformen und Autorenwerkzeuge. Bildungsinstitutionen wie Schulen und Hochschulen ebenso wie Bildungsorganisationen in Unternehmen haben häufig bereits Lernplattformen und zum Teil auch Autorenwerkzeuge für das Erstellen von Inhalten im Einsatz. Hier gilt es zu klären, ob für die Umsetzung von adaptiven Lernumgebungen neue oder zusätzliche technische Systeme

erforderlich werden oder ob diese mit den bereits im Einsatz befindlichen Systemen umgesetzt werden können.

### 3.2 Entwicklung von Lerneinheiten

Die Umsetzung von adaptiven Lernumgebungen erfordert ein anderes Vorgehen bei der Entwicklung von Lernmaterialien. So müssen nicht nur die Lernziele genauer und detaillierter formuliert werden, als dies bei »traditionellen« WBT-Produktionen erforderlich ist. Zudem steht die Entwicklung von Test-Items eher im Zentrum der Autorentätigkeit als die Entwicklung von Inhalte-Materialien, die in diesem Kontext eher einen ergänzenden Charakter haben.

Unterschiede zu  
»traditionellen«  
WBT-Produktionen

Die folgende Tabelle 1 basiert auf den Ausführungen von Howe (2017) und führt zentrale Unterschiede bei der Umsetzung von »traditionellem« E-Learning versus »adaptivem« E-Learning zusammen:

	»Traditionelles« E-Learning	»Adaptives« E-Learning
Größe der Zielgruppe	Eher groß (Erreichen des »break even« im Vergleich zu Präsenztraining)	Sehr groß (Kalibrieren der Datenmodelle)
Detaillierungsgrad der Lern-/Leistungsziele	Je detaillierter, desto besser; hoher Detaillierungsgrad nicht zwangsläufig erforderlich	Hochgradige (»atomare«) Detaillierung unverzichtbar
Vorgehen bei der Entwicklung	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Übersetzung der Qualifikationsanfordernisse in didaktisches Konzept</li> <li>2. Drehbuch/Story</li> <li>3. Materialentwicklung (ggf. integrierte Tests/ Lernerfolgskontrollen)</li> <li>4. Umsetzung</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Übersetzung der Qualifikationsanfordernisse in überprüfbare Leistungsziele</li> <li>2. Entwicklung von Test-Items pro Entwicklungsziel</li> <li>3. Entwicklung von ergänzenden Trainingsmaterialien (kurze Texte, Videos etc.)</li> <li>4. Umsetzung</li> </ol>
Lerner-Erlebnis	Storyline (mehr oder weniger elaboriert) und Bearbeitung von Inhalten im Vordergrund	Bearbeitung von Test-Items im Vordergrund
Funktion von Tests/ Test-Items	Summative Lernerfolgskontrolle	Formative Steuerung des Lernprozesses UND Bestätigung des Beherrschens von Teilzielen

Tab. 1: Unterschiede zwischen »traditionellem« und »adaptivem« E-Learning (Quelle: SCIL in Anlehnung an HOWE 2017)

Um eine erfolgreiche Umsetzung von adaptiven Lernumgebungen zu gewährleisten, können folgende drei Tipps helfen:

UMSETZUNGSTIPP 1: Detaillierung von Lern- bzw. Leistungszielen

UMSETZUNGSTIPP 2: Mehrere Test-Items für jedes Feinziel erarbeiten

UMSETZUNGSTIPP 3: Monotonie im Lernprozess vermeiden

### Umsetzungstipp 1 **Detaillierung von Lern- bzw. Leistungszielen**

#### Mehr Genauigkeit beim Detaillieren von Lernzielen

Für die Produktion »herkömmlicher« Web Based Trainings kann es ausreichen, bei einer Lernzeit von ca. 45 Minuten von acht bis zehn (recht grob) formulierten Lernzielen auszugehen. Für die Produktion einer adaptiven Lernumgebung müssen diese um den Faktor fünf bis zehn verfeinert werden (HOWE 2017). Das heißt, es müssen ca. 50 bis 120 Feinziele oder Leistungsziele definiert werden. Erst diese Granularität erlaubt die Feinsteuerung des Lernprozesses auf Grundlage der Interaktion zwischen Lernenden und Test-Items.

Grobziel	Feinziele
<ul style="list-style-type: none"> <li>■ »Die Lernenden beschreiben die Komponenten des Immunsystems und deren Funktionen.«</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ »Die Lernenden identifizieren die verschiedenen Typen von Komponenten im Immunsystem.«</li> <li>■ »Die Lernenden unterscheiden die charakteristischen Merkmale aller Strukturen im Immunsystem.«</li> <li>■ »Die Lernenden erinnern zwei Strukturen, in denen weiße Blutzellen reifen.«</li> <li>■ »Die Lernenden erinnern zwei Wege, über die das Immunsystem auf eine Infektion reagieren kann.«</li> <li>■ »Die Lernenden zählen die angeborenen Immunantworten auf.«</li> <li>■ »Die Lernenden zählen die adaptiven Immunantworten auf.«</li> </ul>

Tab. 2: Beispiel für ein Grobziel und mögliche daraus resultierende Feinziele (nach HOWE 2017)

### Umsetzungstipp 2 **Mehrere Test-Items für jedes Feinziel erarbeiten**

#### Pro Feinziel ein oder mehrere Test-Items

Für jedes Feinziel müssen sodann mehrere Test-Items erstellt werden. Ein einzelnes Test-Item reicht deshalb nicht aus, da es durchaus vorkommen kann, dass Lernende ein bestimmtes Teilziel wiederholt nicht erreichen. Steht nur ein Test-Item für dieses spezifische Ziel zur Verfügung, so kennen die Lernenden dieses und die korrekte Antwort bald auswendig. Erstrebenswert ist es daher, für jedes Teilziel mindestens zwei, besser jedoch mehr Test-Items zur Verfügung zu haben.

Basismodul Lernziele - Warum sie wichtig sind und wie man sie formuliert		CORE	READ	
<b>Lernziele</b>				
Wissen, was ein Lernziel ist		CORE		
Wissen, was die wichtigsten Funktionen von Lernzielen sind		CORE		
Die drei Ebenen, auf denen Lernziele formuliert werden, wiedergeben		CORE	MCQ	MCQ
Beschreiben, was ein Richtziel ist		CORE	GAT	MATCH
Beschreiben, was ein Grobziel ist		CORE	GAT	MATCH
Beschreiben, was ein Feinziel ist		CORE	GAT	MATCH
Die Ebene von Lernzielen erkennen		CORE	GAT	MATCH
Die drei wichtigsten Grundlagen zur Formulierung von Lernzielen benennen		CORE	MCQ	INTERACTIVE
Die drei Komponenten zur Lernzielformulierung wiedergeben		CORE	MCQ	INTERACTIVE
Beschreiben, was eine Inhaltskomponente ist		CORE	FILL	MCQ
Beschreiben, was eine Handlungskomponente ist		CORE	FILL	MCQ
Beschreiben, was eine Situationskomponente ist		CORE	FILL	MCQ
<b>Taxonomie von Lernzielen</b>				
Wissen, was eine Taxonomie von Lernzielen ist		CORE		
Beschreiben, warum eine Taxonomie von Lernzielen hilfreich ist		CORE	FILL	MCQ
Das bekannteste Modell einer Lernzieltaxonomie benennen		CORE	MCQ	FILL
Wissen, was die hierarchische Darstellung der Verben im Modell der Taxonomiestufen nach Bloom/Anderson et al. bedeutet		CORE	MCQ	GAT
Die zwei Dimensionen der Taxonomie nach Bloom/Anderson et al. wiedergeben		CORE	MCQ	INTERACTIVE
Die sechs kognitiven Prozesse in der Lernzieltaxonomie von Bloom/Anderson et al. benennen		CORE	MCQ	GAT
Die Hierarchie der sechs kognitiven Prozesse in der Lernzieltaxonomie von Bloom/Anderson et al. wiedergeben		CORE	RANK	INTERACTIVE
Die vier Typen von Wissen in der Lernzieltaxonomie von Bloom/Anderson et al. benennen		CORE	MCQ	GAT
Die Hierarchie der vier Typen von Wissen in der Lernzieltaxonomie von Bloom/Anderson et al. wiedergeben		CORE	RANK	INTERACTIVE
Die Taxonomie von Bloom/Anderson et al. anwenden		CORE	MATCH	MATCH
		CORE	MATCH	MATCH
		CORE	MATCH	MATCH
		CORE	MATCH	READ
Lernzielformulierungen auf vorhandene Qualitätsmerkmale prüfen		CORE	MCQ	MCQ
Die Qualität von Lernzielformulierungen bewerten		CORE	RANK	RANK

Abb. 11: Beispiel für eine adaptive Lerneinheit mit Lernzielen (links) und zugehörigen Test-Items (rechts) (Bildquelle: scil/TRIPLE A)

**Monotonie im Lernprozess vermeiden**

**Umsetzungstipp 3**

Auch wenn adaptive bzw. intelligente tutorielle Systeme darauf ausgerichtet sind, die Lernenden immer optimal zu fordern, so kann ein auf einer Abfolge von vielen kurzen Zyklen bestehender Lernprozess (Bearbeitung eines Test-Items und – bei falscher Antwort – nachfolgende Bearbeitung einer kleinen, auf das Test-Item bezogenen Lernressource) für die Lernenden monoton wirken. Dem Eindruck von Monotonie kann über zwei Wege entgegengewirkt werden:

### a) Bandbreite verfügbarer Aufgabe- bzw. Fragetypen ausschöpfen

#### Verschiedene Aufgabentypen

Je nach Plattform und Autorensystem stehen unterschiedliche Typen von automatisch auswertbaren Fragen zur Verfügung. Mögliche Aufgabentypen sind unter anderem:

- Einfachauswahl
- Mehrfachauswahl
- Lückentext (mit vorgegebenen Auswahloptionen)
- Anordnung/Rangierung
- Zuordnung
- Kategorisierung
- Identifikation von Elementen in einer Grafik

Bei der Ausarbeitung der Test-Items ist darauf zu achten, dass Prinzipien guter Praxis berücksichtigt werden, um eine möglichst hohe Aussagekraft zu erreichen. Für Auswahlaufgaben heißt dies u.a. Wahl des passenden Typs von Aufgabe (z. B. A(pos), A(neg) oder K(prim)), ausführlicher Stamm und kurze Antworten, ausreichende Anzahl von Distraktoren und Vermeiden von ungewollten Lösungshinweisen (vgl. z. B. MAYER et al. 2009; KREBS 2002).

### b) Mikro-Inhalte abwechslungsreich gestalten

#### Variation der Gestaltung der Mikro-Lerninhalte

Neben der Variation der Aufgabentypen spielt auch eine gute Variation in der Gestaltung der Mikro-Lerninhalte eine wichtige Rolle für das Vermeiden von Monotonie bei der Bearbeitung. Diese Mikro-Lerninhalte können beispielsweise textuell umgesetzt sein (vgl. das Beispiel unten), über Grafiken oder über kurze Audio- bzw. Videoclips.

**Lernziel 17: Identifizieren der Situationskomponente**

**Die Situationskomponente einer Lernzielformulierung**



Die Situationskomponente bezeichnet die spezifischen Bedingungen der Lern- und Anwendungssituation



„Die Teilnehmenden berechnen die Nullstellen **ohne Taschenrechner**“

- „Die Teilnehmenden benennen die Teile einer Pflanze **anhand einer Zeichnung**“
- „Die Lernenden schreiben eine SQL Datenabfrage **innerhalb von 15 Min**“
- „Die Lernenden analysieren das Gedicht auf stilistische Mittel, **die in der Checkliste aufgeführt sind**“



**Spezifikationen**

Abb. 12: Beispiel für einen Mikro-Lerninhalt, der auf ein spezifisches Detailziel bezogen ist. (Bildquelle: scil)

### 3.3 Vorbereitung der Lernenden auf eine andere Lernerfahrung

Die Arbeit mit adaptiven bzw. intelligenten tutoriellen Systemen führt zu einem deutlich anderen Lernerlebnis für die Lernenden. Der Lernprozess wird kontinuierlich durch die Bearbeitung von kleinen Test-Items aufseiten der Lernenden angetrieben. Die Lernenden müssen darauf vorbereitet werden bzw. ihre Erwartungen müssen diesbezüglich angepasst werden.

Erwartungen der Lernenden anpassen

Was adaptive Lernumgebungen eher nicht bieten – und worauf die Nutzer bzw. Lernenden ebenfalls eingestellt werden müssen – ist eine bekannte und etablierte Dramaturgie, wie etwa eine Themenübersicht zu Beginn, eine vorhersehbare Bewegung von Grundlagen zu Vertiefungen, vom Einfachen zum Schwierigen, eine Gesamtübersicht am Ende des Lernprozesses sowie gegebenenfalls eine anspruchsvolle Aufgabenstellung, die zahlreiche Einzelaspekte der Lerneinheit integriert.

Keine klassische Dramaturgie

Im Sinne eines zielführenden Erwartungsmanagements sind zwei Aspekte wichtig. Zum einen sollte gegenüber den Nutzern bzw. Lernenden herausgestellt werden, dass adaptive Lernumgebungen bzw. intelligente tutorielle Systeme für jede/n Lernende/n den jeweils schnellsten zum Ziel führenden Lernpfad bereitstellen. Das heißt, den Lernpfad, der für jede und jeden am schnellsten zum nachgewiesenen Beherrschen des erforderlichen Wissens bzw. der erforderlichen Fertigkeiten führt. Damit verbunden ist eine in der Regel deutliche Reduktion der erforderlichen Arbeits- bzw. Lernzeit. Ein Whitepaper des Anbieters Area9 Lyceum spricht davon, dass eine Reduktion der Lernzeiten um 50 Prozent nicht ungewöhnlich ist (AREA9LEARNING 2017).

Schnellster Weg zum Ziel – reduzierte Lernzeit

Zum anderen stehen den Lernenden in der Regel verschiedene Auswertungen zur Verfügung, die ihnen ihren jeweils eigenen Standort im Hinblick auf das zu erreichende Ziel anzeigen (vgl. Abbildung 13 für ein Beispiel, insbesondere die Informationen auf der rechten Seite). Die Nutzer/Lernenden sollten in der Lage sein, diese Auswertungen bzw. Hinweise zu interpretieren und bei der Steuerung ihres eigenen Lernprozesses zu berücksichtigen.

Unterstützung von Metakognition bzw. von Wahrnehmungen zum eigenen Lernprozess

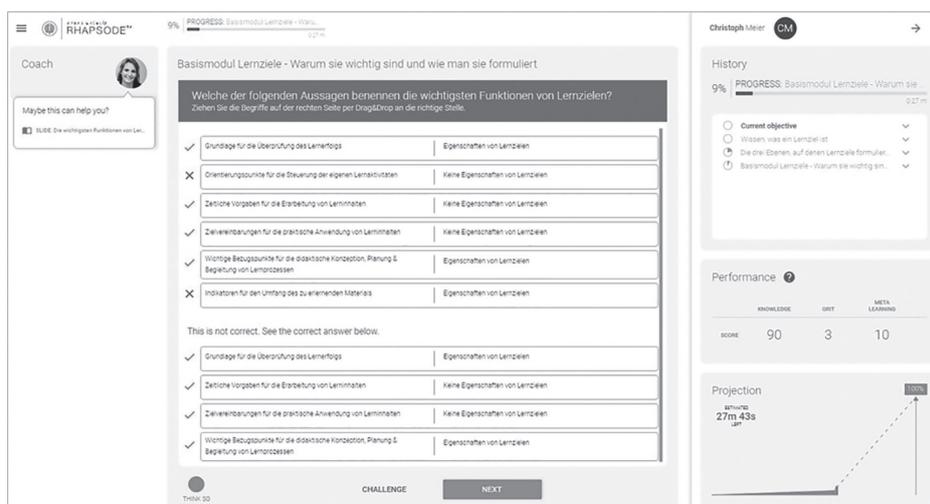


Abb. 13: Beispiel für die Benutzeroberfläche aus Sicht der Lernenden in einer adaptiven Lernplattform (Bildquelle: scil/TRIPLE A/Area9 Lyceum)

## Literaturhinweise

- ALEKS CORPORATION (2012): What makes ALEKS unique. ALEKS Corporation. URL: [https://www.aleks.com/about\\_aleks/overview](https://www.aleks.com/about_aleks/overview) (01.06.2018).
- AREA9LEARNING (2017): adaptive learning. Eliminating corporate e-learning fatigue. area9learning. area9learning.com. URL: <https://offers.area9learning.com/adaptive-learning-whitepaper> (01.06.2018).
- BAGHERI, MEHRI MOHAMMAD (2015): Intelligent and adaptive tutoring systems. How to integrate learners. *International Journal of Education* 7 (2).
- BLOOM, BENJAMIN S. (1984): The 2 Sigma Problem. The search for methods of group instruction as effective as one-to-one tutoring. *Educational Researcher* 13 (6), S. 4–16.
- DOIGNON, JEAN-PAUL/FALMAGNE, JEAN-CLAUDE (1999): Knowledge Spaces. Berlin, Heidelberg. URL: <http://dx.doi.org/10.1007/978-3-642-58625-5>.
- EDCAST (2016): How to solve the content discovery problem in corporate learning. edcast.com. URL: <https://drive.google.com/file/d/0B3Y0XMA3dF1PNFJ6WEMxOXJc1E/view> (01.06.2018).
- HOWE, NICK (2017): Adaptive learning insights. A practical guide to the future of corporate training. area9learning. Chestnut Hill, MA.
- JOHNSON, CONSTANCE (2016): Adaptive Learning Platforms: Creating a Path for Success. *Educause Review*. URL: <https://er.educause.edu/articles/2016/3/adaptive-learning-platforms-creating-a-path-for-success> (19.06.2018).
- KOEDINGER, KENNETH R./BRUNSKILL, EMMA/JOAZEIRO DE BAKER, RYAN SHAUN/MCLOUGHLIN, ELIZABETH A./STAMPER, JOHN (2013): New Potentials for Data-Driven Intelligent Tutoring System Development and Optimization. *AI Magazine* 34 (3), S. 27–41.
- KREBS, RENÉ (2002): Anleitung zur Herstellung von MC-Fragen und MC-Prüfungen. Universität Bern, Medizinische Fakultät, Institut für Aus-, Weiter- und Fortbildung.
- KULIK, JAMES A./FLETCHER, J. D. (2016): Effectiveness of Intelligent Tutoring Systems. *Review of Educational Research* 86 (1), S. 42–78.
- MAYER, HORST O./HERTNAGEL, JOHANNES/WEBER, HEIDI (2009): Lernzielüberprüfung im E-Learning. München.
- NEWMAN, ADAM/BRYANT, GATES/FLEMING, BRIAN/SARKISIAN, LAURA (2016): Learning to adapt 2.0. The evolution of adaptive learning in Higher Education. Tyton Partners. Mountain View, CA. URL: <http://tytonpartners.com/tyton-wp/wp-content/uploads/2016/04/tyton-Partners-Learning-to-Adapt-2.0-FINAL.pdf> (04.08.2018).
- OREMUS, WILL (2015): No more pencils, no more books. Artificially intelligent software is replacing the textbook – and reshaping American education. slate.com. slate.com (25.10.2015). URL: [www.slate.com/articles/technology/technology/2015/10/adaptive\\_learning\\_software\\_is\\_replacing\\_textbooks\\_and\\_upending\\_american.html?via=recirc\\_recent](http://www.slate.com/articles/technology/technology/2015/10/adaptive_learning_software_is_replacing_textbooks_and_upending_american.html?via=recirc_recent), (31.05.2018).

- RAATZ, SASKIA/BRAHM, TAIGA (2015): Personalisiertes Lerndesign. Seminar-skript, September 2015. Universität St.Gallen, Institut für Wirtschaftspädagogik, swiss centre for innovations in learning (scil).
- SOTTILARE, ROBERT A. (2015): Fundamentals of Adaptive Intelligent Tutoring Systems for Self-Regulated Learning. US Army Research Laboratory. URL: <https://gifttutoring.org/attachments/download/1416/ADA614161.pdf>.
- SOTTILARE, ROBERT A./GRAESSER, ARTHUR C./XIANGEN, HU/BRAWNER, KEITH W. (2015): Introduction. In: SOTTILARE, ROBERT A./ GRAESSER, ARTHUR C./ XIANGEN, HU/BRAWNER, KEITH W. (Hrsg.): Design recommendations for intelligent tutoring systems. Volume 3: Authoring tools & expert modeling techniques. Adaptive Tutoring Series. Orlando, Florida, S. i–ix.
- SOTTILARE, ROBERT A./GRAESSER, ARTHUR C./XIANGEN, HU/HOLDEN, HEATHER (2013): Preface. In: SOTTILARE, ROBERT A. / GRAESSER, ARTHUR C./ XIANGEN, HU/HOLDEN, HEATHER (Hrsg.): Design recommendations for intelligent tutoring systems. Volume 1: Learner modeling. Adaptive Tutoring Series. Orlando, Florida, S. i–xiii.
- ULLRICH, CARSTEN (2018): Künstliche Intelligenz und maschinelles Lernen in Lernumgebungen. Kursunterlage zum Modul »KI-basierte, adaptive Lernumgebungen«, swiss competence centre for innovations in learning. St.Gallen.
- VANLEHN, KURT (2006): The Behavior of Tutoring Systems. *International Journal of Artificial Intelligence in Education* 16 (3), S. 227–265.
- VANLEHN, KURT (2011): The Relative Effectiveness of Human Tutoring, Intelligent Tutoring Systems, and Other Tutoring Systems. *Educational Psychologist* 46 (4), S. 197–221. DOI: 10.1080/00461520.2011.611369.
- WEBER, GERHARD (2012): Adaptive Learning Environments. In: SEEL, NORBERT M. (Hrsg.): *Encyclopedia of the Sciences of Learning*. Boston, MA, S. 113–115.