

Zehner, Fabian

## Künstliche Intelligenz. Ihr Potenzial und der Mythos des Lehrkraft-Bots

*formal und inhaltlich überarbeitete Version der Originalveröffentlichung in:*

*formally and content revised edition of the original source in:*

*Schulmanagement-Handbuch 38 (2019) 169, S. 6-30*



Bitte verwenden Sie in der Quellenangabe folgende URN oder DOI /

Please use the following URN or DOI for reference:

urn:nbn:de:0111-pedocs-175610

10.25656/01:17561

<https://nbn-resolving.org/urn:nbn:de:0111-pedocs-175610>

<https://doi.org/10.25656/01:17561>

### Nutzungsbedingungen

Gewährt wird ein nicht exklusives, nicht übertragbares, persönliches und beschränktes Recht auf Nutzung dieses Dokuments. Dieses Dokument ist ausschließlich für den persönlichen, nicht-kommerziellen Gebrauch bestimmt. Die Nutzung stellt keine Übertragung des Eigentumsrechts an diesem Dokument dar und gilt vorbehaltlich der folgenden Einschränkungen: Auf sämtlichen Kopien dieses Dokuments müssen alle Urheberrechtshinweise und sonstigen Hinweise auf gesetzlichen Schutz beibehalten werden. Sie dürfen dieses Dokument nicht in irgendeiner Weise abändern, noch dürfen Sie dieses Dokument für öffentliche oder kommerzielle Zwecke vervielfältigen, öffentlich ausstellen, aufführen, vertreiben oder anderweitig nutzen.

Mit der Verwendung dieses Dokuments erkennen Sie die Nutzungsbedingungen an.

### Terms of use

We grant a non-exclusive, non-transferable, individual and limited right to using this document.

This document is solely intended for your personal, non-commercial use. Use of this document does not include any transfer of property rights and it is conditional to the following limitations: All of the copies of this documents must retain all copyright information and other information regarding legal protection. You are not allowed to alter this document in any way, to copy it for public or commercial purposes, to exhibit the document in public, to perform, distribute or otherwise use the document in public.

By using this particular document, you accept the above-stated conditions of use.

### Kontakt / Contact:

peDOCS  
DIPF | Leibniz-Institut für Bildungsforschung und Bildungsinformation  
Informationszentrum (IZ) Bildung  
E-Mail: [pedocs@dipf.de](mailto:pedocs@dipf.de)  
Internet: [www.pedocs.de](http://www.pedocs.de)

Mitglied der

  
Leibniz-Gemeinschaft

# Künstliche Intelligenz: ihr Potenzial für die Bildung und der Mythos des Lehrkraft-Bots

---

Fabian Zehner  
DIPF | Leibniz-Institut für Bildungsforschung und Bildungsinformation

---

Wenn wir über künstliche Intelligenz im Unterricht sprechen, liegt schnell ein bestimmtes Bild in der Luft: Wir sehen plastisch vor uns, wie unsere Enkelkinder in wenigen Jahrzehnten im Unterricht vor einem Roboter sitzen. Der eduBot™ hat die Lehrkraft ersetzt. Ein solches Gespräch bei Kaffee und Kuchen am Sonntagnachmittag wird garantiert emotional.

»Aber die soziale Interaktion!«  
»Die Bindung zwischen der Lehrkraft und den Schülerinnen und Schülern!«  
»Was wird aus dem Autoritätsverhältnis?«

Bei nächster Gelegenheit erwidern Sie doch einfach:

»Keine Sorge! Künstliche Intelligenz ist nicht so intelligent, wie sie klingt.«

Doch ist es so einfach? Können wir gelassen in die Zukunft blicken und die künstliche Intelligenz ignorieren oder auch geflissentlich unser Bildungssystem invadieren lassen? Die Antwort darauf ist tatsächlich einfach: Genauso wenig, wie wir unseren gesunden Menschenverstand abschalten und einer Maschine alleinigen Zugriff über unsere Energiekraftwerke erteilen würden, genauso entschieden sollten wir die technologischen Errungenschaften *bedacht* nutzen, die mit dem Forschungsbereich der künstlichen Intelligenz assoziiert sind und helfen könnten einige moderne Herausforderungen des Bildungssektors zu meistern. Dazu gehören etwa authentisches und individuell adaptives Lernen, kollaboratives Arbeiten, Inklusion, soziale Gerechtigkeit und einiges mehr, was uns als Schlagwort schon lange als Ideal dient, dessen Implementierung jedoch oft in der Praxis hinkt.

Aber fangen wir von vorne an. Was ist künstliche Intelligenz, was kann sie wirklich und wie sollten wir sie überhaupt gewinnbringend im Bildungs-

bereich einsetzen können? Im Silicon Valley ansässige Unternehmen und Tech-Giganten propagieren gerne den Schein einer grenzenlosen Generalisierbarkeit intelligenter Systeme. Sie versuchen ihre Kundschaft mit viel Pomp und Tusch zu beeindrucken. Das schürt Ängste, verankert Misskonzepte und ist schlicht unzutreffend. Mit den heute verfügbaren Methoden können immer nur Systeme gebaut werden, die auf sehr eingegrenzte Anwendungsfälle spezialisiert sind. Und dass das Konzept einer starken künstlichen Intelligenz überhaupt irgendwann einmal umsetzbar ist, die selbstständig agiert und sich flexibel auf unterschiedliche Anforderungen einstellen kann, ist höchst umstritten.

Im vorliegenden Kapitel werden wir uns die Frage beantworten, warum uns der Begriff der künstlichen Intelligenz eigentlich mit solchen Sorgen wie dem eduBot™ umtreibt, während wohl kaum jemand dem Wetterbericht nach der Tagesschau beklommen entgegenseht. Obwohl das Kapitel skizziert, welchen Limitationen aktuelle Technologien künstlicher Intelligenz unterworfen sind, werden wir auch die vielversprechenden Potenziale für den Bildungsbereich kennenlernen, die schon heute in Arbeiten der empirischen Bildungsforschung realisiert und evaluiert werden. So sehen wir uns exemplarische Studien der Bildungsforschung an, die typische Methoden der künstlichen Intelligenzforschung nutzen. Zum Beispiel berichte ich aus eigener Forschung, in der der Computer trainiert wurde, wie er offene Textantworten in Tests zu bewerten hat – etwa ob die Antwort richtig oder falsch ist oder zu welchem Anteil sie relevante Informationen enthält. Analog könnten auch zum Beispiel die Diskussionen der Lernenden in Lernmanagementsystemen wie Moodle automatisch berücksichtigt werden, um die Lernumgebung sinnvoll an die Bedürfnisse des jeweilig Lernenden anzupassen. Sogenannte natürliche Sprache zu verarbeiten wird häufig mit künstlicher Intelligenz assoziiert, obwohl die Forschungsdisziplin der Computerlinguistik eigentlich erheblich breiter aufgestellt ist. Während letztlich die Besprechung etlicher weiterer Bereiche wie synthetische Mimik von Avataren oder auch Sensorik lohnenswert ist, dienen uns in diesem Kapitel vor allem beispielhafte Anwendungen natürlicher Sprachverarbeitung als Einblick in die Potenziale, die aktuelle Forschung für die Bildung und ihre Praxis bereithält. Sprache ist das dominante Medium zur Lerninhaltevermittlung und zieht sich durch den gesamten Prozess des lebenslangen Lernens auf allen Altersstufen. Daher bietet sie besonders viele Möglichkeiten, eine für den Computer zuvor unzugängliche Informationsquelle nun in innovativer Art und Weise gewinnbringend für Lehrende und Lernende zu nutzen.

Lehnen wir uns also zurück, sehen uns um, was künstliche Intelligenz wirklich ist, und erfahren entsprechend entspannt, welche aufregenden Neuerungen unsere Enkelkinder im Klassenraum der nächsten Jahrzehnte wirklich zu erwarten haben.

### **Was ist künstliche Intelligenz und wie funktioniert sie?**

Wenn heute von künstlicher Intelligenz die Rede ist, ist ein Computersystem gemeint, das eine Aufgabe bewältigt, die üblicherweise mit Menschen assoziiert wird: visuelle Erkennung, Spracherkennung und -produktion, Wissenswiedergabe, autonomes Fahren und vieles weitere. Damit sind es meist Aufgaben, die eng mit den Sinnesmodalitäten, Kommunikationsformen und physischen Begebenheiten des Menschen und seiner Umwelt verbunden sind. Drehen wir die Perspektive um 180 Grad, könnte man auch sagen, dass versucht wird, dem Computer unser menschliches Verhalten und Erleben näher zu bringen. Ein intelligentes tutorielles System soll zum Beispiel erkennen, wenn Lernende frustriert oder gelangweilt sind, um entsprechende Maßnahmen treffen zu können, den Lernprozess zu verbessern, indem die Geschwindigkeit des Fortschritts angepasst wird.

Technisch formuliert besteht die größte Gemeinsamkeit der meisten Anwendungsfelder darin, dass der Computer komplexe, sogenannte *unstrukturierte Informationen* verarbeiten und darauf reagieren kann. Dazu analysiert er große Mengen beispielhafter Daten (zum Beispiel Sprachaufnahmen, Videos oder Bilder) und findet darin Muster. Diese Muster helfen dann, neue Eingaben klassifizieren zu können, die selbst gar nicht erlernt wurden; zum Beispiel um eine Sprachanweisung adäquat umzusetzen, die der Computer noch nie zu sehen bekommen hatte (*»Okay Google, erinnere mich nächste Woche ans Lernen für die Klausur bei Frau Porzell!«*). In einigen Fällen soll das System darüber hinaus nicht nur klassifizieren, sondern gemäß dem erlernten Muster selbst auch (re)produzieren; zum Beispiel, wenn eine synthetische Stimme erzeugt wird.

Was bedeutet es nun, wenn von *unstrukturierten* Informationen die Rede ist, die der Computer verarbeiten muss? Normalerweise kann der Computer nur auf formell definierte Eingaben reagieren. Wir kennen das ziemlich gut von Telefonsystemen, mit denen wir überraschend viel Lebenszeit verbringen: *»Drücken Sie die 1, wenn Sie Fragen zum Lieferstatus Ihrer Bestellung haben. Drücken Sie die 2, wenn Sie eine Reklamation anzeigen möchten. Drücken Sie die 3, wenn Sie ein anderes Anliegen haben.«* Das System kennt hier eine endliche Menge möglicher Eingaben (*»1«, »2«* und *»3«*) und weiß, wo-

hin es uns dementsprechend weiterleiten soll. Moderne Telefonsysteme hingegen fordern uns auf, unseren Anrufgrund zu benennen – zum Beispiel antworten dir dann, »*Ich möchte meine Bestellung zurückschicken.*« Dann wird das System versuchen, das Gesprochene in Text umzuwandeln und anhand von Schlüsselwörtern zu erkennen, wohin wir am besten weitergeleitet werden sollen. Da hier nicht nur die Hörtöne der Wahltasten 0 bis 9, Sternchen und Raute als Eingabe vorkommen, sondern jegliche Töne, die über ein Telefon übermittelt werden können, muss das System also über ein gewisses Hör- und Sprachverstehen verfügen. In diesem Fall ist der Raum möglicher Eingaben demnach nicht definiert, weshalb die Eingaben verschiedenste Formen annehmen können und man von unstrukturierten Daten spricht.

Wie funktionieren moderne künstliche Intelligenzen also, die dieser Tage in aller Munde sind? Kurzgefasst steht im Zentrum ein Trainingsdatensatz, der solch unstrukturierte Daten enthält, mit denen das System letztlich arbeiten soll. Das sind zum Beispiel offene Textantworten, die Studierende auf eine Prüfungsaufgabe gegeben haben. Oder Bilder mit Gesichtsausdrücken von Lernenden während des Lernens. Auch steht in dem Datensatz bereits, zu welchem Ergebnis die Maschine kommen sollte: etwa die Klassifikation, dass eine Antwort richtig oder falsch ist, oder dass auf dem Bild ein frustriertes Gesicht zu sehen ist. Solche umfangreichen Trainingsdaten zu bekommen, die für das spätere Anwendungsszenario repräsentativ sind und gleichzeitig qualitativ hochwertige Klassifikationen beinhalten, ist aufwendig und teuer. Neben den Trainingsdaten geben die Entwickler dem System außerdem vor, welche Merkmale der Daten es einbezieht – es soll etwa berücksichtigen, welche Wörter in der Antwort kombiniert werden oder welchen Farbton einzelne Bildpixel haben. Die größte Stärke der Methoden besteht nun darin, komplexe Muster und Zusammenhänge zu erlernen; also zum Beispiel, dass Antworten mit den Wörtern *X und Y* korrekt sind, falls sie im Präsens stehen, nicht aber, wenn noch das Wort *Z* hinzugenommen wird. Die Ausgabe des Systems ist dann zunächst eine Klassifikation: die Antwort ist *richtig* oder *falsch*. Denkt man an Bilderkennung, wird schnell klar, wie komplex die zu erkennenden Muster sein müssen. Das System erhält hier als Eingabe lediglich Bildpixel für Bildpixel mit ihren jeweiligen Farbtönen und muss auf deren Basis zu dem Schluss kommen, was auf dem Bild zu sehen ist. Diesen gesamten Vorgang nennt man maschinelles Lernen. Es werden also statistische Algorithmen auf Trainingsdaten angewendet, um Entscheidungen zu treffen oder Prognosen anzustellen.

Die Daten- und Algorithmenorientierung ist die zentrale Neuerung, die die Systeme auf den ersten Blick so mächtig macht. Tritt man aber einen Schritt von der eigenen Faszination zurück, erkennt man rasch, dass diese Klassifikatoren nur für sehr spezifische Aufgaben gebildet werden können. Hat man die künstliche Intelligenz also darauf trainiert, Antworten anhand ihrer Wortbedeutung zu bewerten, wird sie nicht dazu übergehen, Rechtschreibung zu korrigieren. Von Haus aus hat eine künstliche Intelligenz keinerlei Motivation, sich andere Fertigkeiten anzueignen. Sie ist vielmehr ein mathematisches System von Regeln, um etwas zu entscheiden. Zudem ist das aktuelle Paradigma stark davon abhängig, dass qualitativ hochwertige und repräsentative Trainingsdaten für den jeweiligen Anwendungsfall zur Verfügung stehen. Selbst wenn nun also Programmierer ein System derart aufsetzen, dass es sich selbst fortentwickeln soll und kann, wäre es im aktuellen Paradigma auf entsprechende Daten mit vorgegebenen Klassifikationen angewiesen, die es selbst in unserer datenopulenten Welt nur für sehr spezifische Ausschnitte der menschlichen Umwelt gibt. Man denke etwa an das Identifizieren von Gerüchen beim Kochen, um das Anbrennen von Soße zu bemerken oder wie die unterschiedlichen Gerüche mit dem späteren Geschmackserleben am Esstisch zusammenhängen. Eine umfassend vermessene Welt, die den Computern ermöglichen würde, unser gesamtes menschliches Erleben und Verhalten nachvollziehen zu können, ist bei Weitem nicht in greifbarer Nähe.

Kommen wir kurz noch einmal zur Begrifflichkeit der künstlichen Intelligenz zurück. In der Forschung unterscheidet man *starke* von der hier beschriebenen *schwachen* künstlichen Intelligenz. Heutzutage existiert ausschließlich schwache künstliche Intelligenz, während der Begriff starker künstlicher Intelligenz konzeptuell Systeme umfassen würde, die tatsächlich selbst dazu übergehen könnten, sich mit eigenem Bewusstsein selbst neue Fertigkeiten anzueignen und sich höchst-flexibel an neue Begebenheiten anzupassen. Sie würden tatsächlich agieren wie ein Mensch, anstatt nur einzelne seiner Verhaltens- oder Erlebensformen zu simulieren. Es ist unter Experten höchst umstritten, dass die Umsetzung dieses Konzepts überhaupt irgendwann möglich sein wird.

Insgesamt kann also zusammengefasst werden, dass künstliche Intelligenz derzeit als Begriff bei Systemen verwendet wird, die maschinelles Lernen anhand von Trainingsdaten verwenden und häufig natürliche Sprachverarbeitung oder, vor allem in der Robotik, weitergehende Sensorik und menschliche Ausdrucksformen einsetzen. Die eindeutigste Definition des-

sen, was diese Systeme ausmacht, kann also über die verwendeten Methoden gegeben werden. Auf diese Methoden kommen wir später wieder zurück, da diese das wahre Potenzial für den Bildungssektor darstellen.

### **Was kann künstliche Intelligenz nun also?**

Das Szenario einer künstlichen Intelligenz, die ein Energiekraftwerk kapert und uns Menschen von dessen Bedienung ausschließt, wird regelmäßig vorgebracht. Ebenso häufen sich Romane und Filme, bei denen sich ein intelligentes System gegen ihren Erschaffer wendet und etwa versucht, diesen zu liquidieren. Die zugrundeliegende Logik: Die Maschine möchte ein Kriterium optimieren (zum Beispiel die nachhaltige Bewirtschaftung des Kraftwerks), käme zu dem Schluss, dass sie dafür menschliches Fehlverhalten ausschließen müsse und daher Maßnahmen ergreife, die Gebäude des Kraftwerks physisch gegen den Menschen abzuschotten und technischen Zugriff auf die Energieregulation auszuschließen.

Angesichts eines solchen Szenarios stellen sich etliche Fragen.

Optimieren künstliche Intelligenzen Systeme? – Absolut, das ist ihre mathematische Basis.

Erkennen sie manchmal Muster, wo menschliche Kognitionen und Weisheit scheitern? – Ja.

Nehmen künstliche Intelligenzen eigenständig Maßnahmen vor, um das System gemäß ihrer Erkenntnis zu optimieren? – Falls die Programmierer das so vorgesehen haben, ja. Ansonsten nicht.

Werden sie aber kreativ, um sich dennoch Zugriff zu den Maßnahmen zu verschaffen, falls die Programmierer diesen *nicht* vorgesehen hatten? – Definitiv nicht. Ein System, das auf Optimierung der Energieeffizienz trainiert ist, kann sich weder plötzlich das Hacken eines IT-Systems aneignen, noch besitzt es faktisches Weltwissen, das den kreativen Schluss zuließe, es sei optimal, wenn kein Mensch mehr die Sicherheitszäune in die Gebäude passieren würde.

Könnten die Programmierer des Systems ihm von Haus aus Zugriff zu den Sicherheitszäunen geben? – Klar, nur würde das genauso wenig Sinn machen, wie ihm zu ermöglichen, Maßnahmen zu ergreifen, das menschliche Überstimmen von Maßnahmen zu verhindern, wie etwa das Abschalten eines Energiekraftwerks. Es wäre schlicht ein absurder Ingenieursfehler.

Zu guter Letzt: Kann die Forschung die von der künstlichen Intelligenz erkannten Muster zur Erkenntnisgewinnung nutzen? – In den meisten Fällen nicht. Meist sind die erlernten Zusammenhänge für uns eine Black Box: Sie sind in Repräsentationen gespeichert, die keine real-weltlichen Mechanismen nachvollziehbar machen, sodass sie für uns epistemologisch wertlos sind. Hier gibt es allerdings einzelne methodische Ausnahmen. Und später sehen wir Beispiele dafür. Legt man es also darauf an, können die Methoden also auch unseren Wissensstand verbessern.

Möchte man die verschiedenen Anwendungszwecke und Stärken zusammenfassen, steht vor allem im Vordergrund, dass die Systeme in einer Masse von Daten Muster erkennen und dieses zur Klassifikation eines Einzelfalls anwenden können. Manchmal werden diese Muster darüber hinaus aber auch verwendet, um neue, fiktive Einzelfälle zu erschaffen. So kreierte etwa zuletzt eine künstliche Intelligenz das Porträt *Edmond de Belamy*, indem sie fünfzehntausend vom Menschen gezeichnete Porträts analysierte. Analog entwickelten Forscher von NVIDIA kürzlich einen Algorithmus, um Fotos von überzeugend authentisch menschlichen Gesichtern zu generieren, die es gar nicht gibt.

Das Schema ist dabei jeweils gleich: Das System erkennt im Trainingsdatensatz Muster in vielfältigen Merkmalen; das heißt, bestimmte Kombinationen von Merkmalsausprägungen dominieren in den Trainingsdaten (zum Beispiel kommen Ohrringe primär bei weiblichen Gesichtern vor). Um dann selbst ein künstlerisches Porträt zu malen oder ein menschliches Gesicht abzulichten, erzeugt das System Zufallswerte für die Merkmale, die gleichzeitig dem gefundenen Muster entsprechen. Das erkannte Muster fungiert hier im Prinzip wie ein Fotonegativ des Trainingsdatensatzes mit gewissen Toleranzbereichen und anhand dieses Negativs können wieder Exemplare erschaffen werden, die dem Trainingsdatensatz sehr ähnlich sind. Auf diese Weise generiert das System eine praktisch endlose Anzahl von fiktiven Exemplaren, die so in der Realität (wahrscheinlich) nicht existieren, aber plausibel gemäß dem Muster sind. Zu PR-Zwecken selektieren die verantwortlichen Entwickler dann zumeist die eindrucklichsten Exemplare, die letztlich in den Medien rezipiert werden.

## **Der Mythos des eduBots™ oder: Der Bären dienst des KI-Begriffs im Bildungskontext**

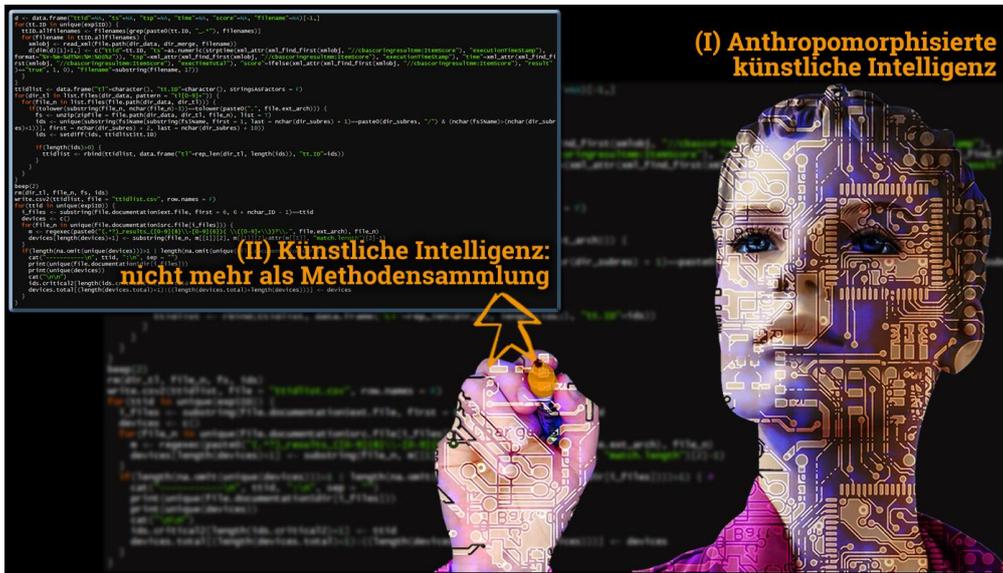
In der Befragung *Sex, lies and A.I.* des Marketingunternehmens SYZYGY von 2017, die im Detail nicht überstrapaziert werden sollte, wurden unter anderem zweitausend Personen in Deutschland befragt, welche Gefühle bei ihnen aufkämen, wenn sie über künstliche Intelligenz nachdenken. Während etwa die Hälfte angab, an dem Thema interessiert zu sein, wählten mehr Personen als die Hälfte *Skepsis* als assoziiertes Gefühl aus der vorgegebenen Liste und etwas weniger wählten *Misstrauen* und *Unsicherheit*. Abseits des Interesses wurden positive Gefühle wie *Begeisterung*, *Hoffnung* und *Optimismus* nur von jeder fünften bis siebten Person ausgewählt. Dieses pessimistische Bild von künstlicher Intelligenz bringt uns wieder zum Ausgangsszenario zurück, sie würde auch solche Arbeitsplätze wie die von Lehrkräften bedrohen und diese durch einen humanoiden Lehrkraftroboter ersetzen. Es stellt sich die Frage, wieso wir wohl mit dem Thema der künstlichen Intelligenz häufig so viele Bedenken verbinden?

Außer Frage steht, dass unsere immer weiter digitalisierte und automatisierte Welt kritische Fragen zu Sicherheit und Ethik aufwirft, die unzweifelhaft beantwortet werden müssen. Doch scheinen die stets angeführten Dilemmata von autonom fahrenden Fahrzeugen, die ihre Passagiere aus utilitaristischen Gründen opfern, sehr speziell und absurd weit weg von aktuellen Anwendungsszenarien wie Heimassistenten, die nach Sprachaufforderung Musik abspielen oder die Einkaufsliste notieren. Wenn wir also die Angst vor einem eduBot™ zu hören bekommen, haben wir es viel weniger mit einer rationalen Sachgrundlage gegen die eigentlich wertvollen Methoden der Forschung zu künstlicher Intelligenz zu tun. Vielmehr kommt ein für Menschen typisches Phänomen zu tragen, das man vom sprechenden Auto Herbie gut kennt: Anthropomorphismus.

Wir Menschen neigen dazu, Gegenständen und Tieren – Maschinen im Speziellen – menschliche Eigenschaften und Verhaltenstendenzen zuzuschreiben. Das beginnt damit, dass nicht wenige ihren Autos Namen geben und ihnen gerne mal über die Motorhaube streicheln und zeigt sich auch im Alltag häufig in Kommentaren, wie etwa dass der Computer wohl schon Feierabend habe, wenn ein Programm abstürzt. Leider endet unser verspieltes Vermenschlichen der Gegenstände sowie ihres Verhaltens aber nicht bei diesen oberflächlichen kommunikativen Elementen, sondern wirkt sich ebenso auf unsere (auch nicht-bewusste) Wahrnehmung der Gegenstände aus. So können wir dann auch schnell mal böse auf das Auto sein, weil es

uns *ausgerechnet heute* im Stich lässt und nicht anspricht. Eine ziemlich irrationale Gemütsregung, teilt man die Ansicht, dass ein Auto keinen eigenen Motiven und Intentionen folgt. Gut, außer man ist Jim Douglas.

Ein Terminus wie *künstliche Intelligenz*, der sich um das Simulieren menschlichen Erlebens und Verhaltens dreht, verführt unsere mentale Vi-



**Abbildung 1.** Künstliche Intelligenz wird oft anthropomorphisiert, obwohl es eigentlich um eine Sammlung von Methoden geht.

sualisierungsmaschine demnach sehr schnell zu dem Bild einer hübschen Assistentin oder auch eines menschlich agierenden R2-D2s. Die technologischen und statistischen Methoden, die der Begriff eigentlich referenziert, stehen für die meisten nur lose im Hintergrund (vgl. Teil [I] der Abbildung 1). Im Anwendungskontext der Bildung ersetzt unser mentaler Apparat dann schnell die Lehrkraft mit dem Roboter und schon ist der Lehrerberuf ausgestorben und der eduBot™ dominiert nicht nur den Markt, sondern entscheidet auch über die kulturellen Normen, Werte und Fachinhalte, die unseren Kindern in der Schule vermittelt werden. Mit dem mentalen Bild der anthropomorphisierten digitalen Assistentin vor Augen kommen weitere Eigenschaften einher, die der Begriff selbst gar nicht impliziert und somit nicht intendiert sind. Man unterstellt dem mentalen Bild der Assistentin und somit der künstlichen Intelligenz zum Beispiel eigene Gefühle (*»Alexa, wie fühlst du dich?«*), Stimmungen und, noch fataler, eigene Motive (*»Die will mich ärgern!«*, wenn der Heimassistent zum dritten Mal den falschen

Song abspielt). Schnell liegt es nah, dass die künstliche Intelligenz Intrigen planen und sich in Richtungen entwickeln wird, die zur Entthronung oder gar Liquidierung des menschlichen Benutzers führen.

Im vorliegenden Kapitel wurde bereits angerissen und wird im zweiten Teil noch elaboriert, welche sinnvollen Innovationen der Forschungsbereich für den Bildungssektor bietet, weshalb die unbeabsichtigte Verteufelung durch den Begriff durchaus problematisch ist und Innovationspotenziale unnötig ausbremst. Daher plädiere ich an dieser Stelle dafür, den wenig hilfreichen Begriff der künstlichen Intelligenz für den Bildungsbereich zumindest mal für die nächsten zwei Jahrzehnte während des aktuell vorherrschenden Paradigmas noch hintanzustellen, wenn es darum geht, welche modernen Technologien den innovationsbedürftigen Sektor voranbringen könnten. Selbst wenn die Technologien Maschinenlernen oder natürliche Sprachverarbeitung beinhalten, und daher mit der Forschung zu künstlicher Intelligenz assoziiert sind, stellen sie lediglich Methoden dar, deren Einsatz in Bildungsforschung und ihrer Praxis rational und nicht emotional auf ihre Sinnhaftigkeit geprüft werden sollten. Stellen wir daher in diesem Kapitel die Methodik in den Vordergrund und reduzieren sie um den anthropomorphisierten Teil, der wegen der Begrifflichkeit mitschwingt (vgl. Teil [II] der Abbildung 1).

Wir können einen einfachen Selbstversuch anstellen: Haben Sie schon einmal besorgt dem Wetterbericht nach der Tagesschau entgegengesehen, weil uns dort täglich Prognosen präsentiert werden, nach denen wir womöglich sogar unsere Wochenendgestaltung anpassen? Die Prognosen basieren auf statistischen Modellen, die mithilfe von Trainings- und aktuellen Daten gewonnen werden. Klingt recht ähnlich zu den Methoden der künstlichen Intelligenz? Das ist es auch – auf konzeptueller sowie technischer Ebene. Dennoch stören wir uns nicht daran, da die Realitätsbezüge nicht mit unseren menschlichen Qualitäten interferieren, sondern sich lediglich auf unsere Umwelt beziehen. Wie würde es aussehen, wenn Silke Hansen uns statt des morgigen Wetters Prognosen präsentieren würde, welche Gefühlslage und Motivationsschwankungen Sie morgen von sich und ihrem Umfeld im Büro zu erwarten haben? Ja – gruselig, nicht wahr? Methodisch aber kongruent.

Es gibt noch einen weiteren Aspekt der Anthropomorphismus-Falle, der uns in die Irre leitet. Der Aufgabenbereich von Lehrkräften wird exzellent

von Menschen abgedeckt. Es macht wenig Sinn, Menschen durch nicht-finanzierbare Roboterarmeen in Aufgaben zu ersetzen, die sie allerhöchstens in etwa genauso gut erledigen könnten wie der Mensch selbst. Menschliche Lehrkräfte sind exzellent erfahren in menschlichen Interaktionen und können so die soziale Bildung gemäß den vorherrschenden kulturellen Normen betreiben. Sie können empathisch sein, was eine hilfreiche Voraussetzung für den Lernprozess ist, und sie sind kreativ und flexibel bei unvorhersehbaren Missverständnissen und Vorkommnissen. Sie sind Experten im Verständnis von dynamischen Gruppenbeziehungen, die das Klassengeschehen sowie Gruppenlernaktivitäten bestimmen. All das könnten wir versuchen mit Maschinen zu simulieren, aber selbst wenn sie es genauso gut könnten – sieht man mal völlig von der fehlenden Finanzierbarkeit eines solchen Unterfangens ab, wenn man sich die aktuelle Lage der digitalen Ausstattung deutscher Schulen vergegenwärtigt –, wäre das noch immer kein überzeugender Grund, humanoide Roboter im Unterricht einzusetzen.

Ein wissenschaftlich überzeugender und gesellschaftlich akzeptabler Grund für den Einsatz solcher Technologien im Unterricht wäre es vielmehr, wenn die Maschine die Lehrkraft an jenen Stellen unterstützen könnte, die Schwachstellen des Menschen darstellen. Hier wäre zunächst die Objektivität in der diagnostischen Kompetenz zu nennen, die über Lehrkräfte hinweg markant variieren kann. Zudem sind Menschen nicht immer konsistent oder fair in ihren Beurteilungen und auch in ihren sozialen Interaktionen. Außerdem können sie ihre flexible Anpassungsgabe nicht auf beliebig viele Schülerinnen und Schüler skalieren, sondern werden sich immer auf eine begrenzte Menge fokussieren müssen. Ein sehr markantes Beispiel ist das Frage-stellen-und-Melde-Spiel zwischen Lehrkräften und Schülerinnen und Schülern im Unterricht. Inzwischen wissen wir schon länger, dass kognitive Aktivierung ein zentrales Qualitätsmerkmal guten Unterrichts darstellt, und doch kann immer nur die eine ausgewählte Schülerin oder der eine ausgewählte Schüler die zurechtgelegte Antwort auf die Frage der Lehrkraft der Klasse vortragen. Ein Beispiel, wie moderne Technologien lohnenswert zum Unterrichtsgeschehen beitragen können, indem jede einzelne Schülerin und jeder einzelne Schüler ihre Antwort zur Diskussion beitragen und somit auch mitdenken kann bzw. muss, lernen wir später in den ausgewählten Praxisanwendungen kennen. Als weiteres Beispiel für Fortschrittspotenzial sei noch die Inklusion genannt, bei der die benannten Technologien signifikant unterstützen könnten. Nicht nur die Inklusion von Schülerinnen und Schülern mit sonderpädagogischem Förderbedarf, sondern auch die Einbindung von Schülerinnen und Schülern mit

Migrationshintergrund könnte verbessert werden, indem sich die Lerninhalte sowohl sprachlich als auch inhaltlich an den jeweiligen Hintergrund anpassen würden. Es gäbe noch viele weitere Anwendungsbereiche zu nennen, in denen die Lehrkraft Unterstützung der Technologie gebrauchen könnte – wie etwa ihre räumlich und zeitlich limitierte Verfügbarkeit, was zum Beispiel spätestens in MOOCs (Massive Open Online Courses) zum massiven Problem wird, oder Simulationen in virtuellen Realitäten, die das Lernen auf weitere Sinneserfahrungen ausweiten können und nicht auf Sprachvermittlung angewiesen sind. Der entscheidende Punkt aber ist, dass keiner dieser Anwendungsbereiche einen humanoiden Roboter in physisch menschenähnlicher Form benötigt. Einzelne ausgewählte menschliche Eigenschaften können intelligenten tutoriellen Systemen helfen, eine stärkere Bindung und Motivation der Lernenden zu erwirken, aber auch dafür bedarf es keiner physisch menschlichen Gestalt. Für all diese Anwendungsszenarien und viele weitere sind die genannten Methoden prädestiniert. Und kontextualisiert man sie als das, was sie sind, nämlich nicht als eigenständig agierende Organismen mit Bewusstsein, sondern vielmehr als Techniken zur potenziellen Unterstützung des Lehr- und Lernprozesses, erscheinen sie doch erheblich weniger bedrohlich.

Zuletzt sei noch kurz auf einen der Gründe verwiesen, warum uns menschenähnliche und zudem noch bewegte Gestalten bisweilen gruselig erscheinen und somit Unbehagen bereiten können. Masahiro Mori, ein renommierter Robotikforscher, beschrieb in den 1970er Jahren das sogenannte *Uncanny Valley*: Umso menschenähnlicher ein Gegenstand gestaltet ist, desto vertrauter erscheint er uns zunächst und unsere Affinität dem Gegenstand gegenüber steigt. Schwarze Punkte als Augen auf einer genähten Baumwollpuppe stören uns nicht besonders, da uns völlig bewusst ist, dass es sich um eine Puppe und keinen Menschen handelt. Ist die Ähnlichkeit zum Menschen aber schon sehr nahe, sind es die letzten mangelhaften Details, die uns erhebliches Unbehagen bereiten können. Man stelle sich einen Menschen vor, der zwei schwarze Glasperlen an Stelle seiner Augen hat. Da hier das Gefühl entsteht, eigentlich einem Menschen gegenüber zu stehen, prognostiziert unser Gehirn entsprechende Verhaltensweisen des Objekts, aber *irgendetwas* stimmt nicht, da das Objekt zum Beispiel anders aussieht, sich anders bewegt oder verhält, als das Schema prognostiziert. Diese Ungeheimtheit erzeugt ein beklommenes Gefühl, das ein weiterer Grund ist, warum vielen von uns künstliche Intelligenz in der Schule als sehr schlechte Idee erscheint. In der Vorstellung anthropomorphisieren wir die Maschine – etwa in unserer mentalen Visualisierung als humanoider Roboter – und sind

uns nicht sicher, ob die Maschine wirklich das intendiert, wozu sie programmiert ist.

### **Authentisches Lernen nah an der menschlichen Psychologie**

Nachdem wir inzwischen im Detail beleuchtet haben, welche Risiken der Begriff der künstlichen Intelligenz mit sich bringt, nähern wir uns jetzt langsam der positiven Kehrseite an: dem wahren Potenzial. Wenn nun doch gar nicht so generalisierbare Intelligenz hinter den Systemen steckt, warum sollte es dann überhaupt profitabel sein, sich mit dem Thema und dessen potenziellen Involvierung im Bildungssektor zu beschäftigen?

Verbreiten sich neue Technologien, so werden sie stets auch auf das Lernen angewendet. Das lässt sich ganz eindrucksvoll im Fernunterricht nachvollziehen. Dieser kann etwa bis an den Anfang des 18. Jahrhunderts in Form von Briefkorrespondenzen zurückverfolgt werden. Die Briefe als Fernunterrichtsform wurden mit der Verfügbarkeit moderner Telekommunikationsmedien anschließend abgelöst. Inzwischen wird der Fernunterricht von computerbasierten Kommunikationsmitteln und Inhalten dominiert. Mit der Verbreitung des Telefons konnten die Briefkorrespondenzen etwa durch schnellere bidirektionale Kommunikation beschleunigt werden und den Lernprozess markant verbessern, genauso wie Kassetten einen neuen Modus des Lehrens ermöglichten.

Rein mechanistisch sollten Technologien allerdings nicht Einzug in die Lernumgebungen erhalten. Für deren Einsatz kann es vor allem zwei legitime Gründe geben: Erstens kann die Exposition der Lernenden gegenüber neuen Technologien wünschenswert sein, da Schülerinnen und Schüler auf erfolgreiche gesellschaftliche Teilhabe vorbereitet werden sollen, bei der sie gezwungenermaßen mit weit verbreiteten Technologien und deren Werkzeugen konfrontiert werden. Selbst wenn kein inkrementeller Lernzuwachs durch eine Technologie nachweisbar ist, kann ihre Verwendung im Unterricht also dennoch im Sinne der Bildung sein, zudem auch das Hinzufügen einer kritischen Perspektive auf solche Technologien oder technischen Umwelten, wie heute die sozialen Medien, gewinnbringend sein kann. Zweitens können Technologien natürliche Lernphänomene unterstützen, indem sie authentischeres Lernen mit weniger künstlichen Barrieren ermöglichen. Als Beispiel sei die starke Text- und Sprachlast typischer Lernmaterialien genannt, sodass Lesekompetenz und Lesemotivation eine erhebliche Barriere im Erlernen von Inhalten darstellen kann. Moderne Technologien können helfen, die Lernumgebung in ein authentischeres Zielset-

ting zu transferieren, um das Lernen zu vereinfachen. Sollen beispielsweise prozedurale Lerninhalte vermittelt werden – wie etwa das Durchführen risikanter chemischer Experimente oder das Bedienen eines Flugzeugcockpits –, liegt es nahe, dies in sicheren, virtuellen Simulationen vorzunehmen. In einem solchen Fall hilft etwa Embodiment, die zu erlernenden Inhalte besser zu internalisieren und memorisieren. Aber auch weitere basale Lernphänomene können durch den gezielten Einsatz moderner Technologien unterstützt werden.

Hierzu ein simples Beispiel, das schnell klarmacht, wie durch moderne Technologien Lernbarrieren abgebaut werden und die abstrakte Natur textbasierter Lerninhalte reduziert wird. Jeder von uns kennt, wie trocken das Erlernen einer mehrseitigen Tabelle mit Vokabelpaaren ist, die jedoch eine so zentrale Rolle im Fremdsprachenlernen spielen. Die abstrakte Repräsentation von Vokabeln in Textform erfordert vom Lernenden zunächst das Dekodieren des Worts in der bekannten Sprache, um das neu zu erlernende Wort in einen semantischen Bezug einbetten zu können. Dies stellt eine Möglichkeit aus vielen dar, neue Vokabeln zu internalisieren. Denken wir nun an eine solche traditionell textbasierte Lernsituation und das Vokabelpaar *Kartoffel* und *Potatoe* und ergänzen diese zunächst einfach um eine zweidimensionale, schematische Abbildung einer Kartoffel. Es ist schnell erkennbar, dass der kognitiv etwas aufwändigere Textdekodierungsschritt um eine weitere Dekodierungsmöglichkeit ergänzt wurde: die visuelle. Auf diese Weise werden auch weitere Eigenschaften, wie etwa die Farbe *Braun*, mit der neu erlernten Vokabel assoziiert und deren Abruf vereinfacht. Geht man einen Schritt weiter, kann in einer computerbasierten Lernumgebung ein dreidimensionales Bild einer Kartoffel abgebildet werden, und noch einen Schritt weiter könnten die Lernenden in modernen Umgebungen etwa in einer virtuellen Realität eine Kartoffel vom Acker ernten und sich dabei mit anderen über die Kartoffel unterhalten. Der Vorteil dieser authentischeren Lernumgebung gegenüber der reizarmen Texttabelle liegt auf der Hand. Es werden jede Menge Assoziationen zu semantisch verwandten Konzepten geknüpft und in gleich mehreren Sinnesmodalitäten wahrgenommen und im Gedächtnis gespeichert. Da das Ziel von Fremdsprachenlernen die Kommunikation und nicht das Ausfüllen von Tabellen mit Vokabelpaaren ist, hilft das Erlernen in einer entsprechend authentisch, kommunikativen Situation dem späteren Transfer.

Was sagt uns nun diese banale Feststellung? Lernen ist ein natürliches Phänomen, bei dem wir im Bildungsbereich häufig auf abstraktere, sehr

reduzierte Medien wie Text oder auch Sprache zurückgreifen und somit verschiedene hilfreiche Lernmechanismen, wie etwa das Einbetten des erlernten Wissens in bestehendes Wissen, erschweren. Ebenso begrenzen wir häufig die involvierten Sinnesmodalitäten auf ein Minimum. Und hier trumpfen nun die Eigenschaften der Methoden der Forschung zu künstlicher Intelligenz als Stärken auf. Da gerade diese Methoden wie oben beschrieben die Sinnesmodalitäten, Kommunikationsformen und physischen Begebenheiten des Menschen und seiner Umwelt ins Visier nehmen, tragen viele ihrer Anwendungen großes Potenzial, Lernumgebungen in einer Art und Weise anzureichern, dass natürliche Lernphänomene unterstützt werden. Sie sind der menschlichen Psychologie des Lernens nahe.

Trägt man diese Perspektive weiter, kann sie auch auf andere bildungsrelevante Gegebenheiten als nur den Lernprozess und dessen Umgebungen angewendet werden. Da der Mensch etwa in großem Maße dazu neigt, in der Wissensvermittlung – wie auch in der Kommunikation im Allgemeinen – Sprache zu verwenden, kann Technologie, die Sprache verarbeiten kann, an vielen verschiedenen Stellen helfen. So kann der Mensch an jenen Stellen entlastet werden, an denen die Maschine gut ist: Zum Beispiel, wenn es darum geht, eine Routine massenhaft anzuwenden, etwa wenn sehr viele Prüfungsantworten im Rahmen großer Universitätsvorlesungen korrigiert werden müssen. In diesem Beispiel könnte ein Computer helfen, ähnliche Antworten zu gruppieren und so den Bewertungsaufwand erheblich reduzieren, wenn sich die Antworten stark überlappen. So können Prüfungen außerdem objektiver bewertet werden, indem menschliche Schwächen wie Ausdauer oder konsistente Bewertungen kompensiert werden. Prüfen und Bewerten wird auf diesem Weg standardisierter.

Als letztes Beispiel, bei dem die genannten Methoden praktisch ein ganzes Feld neu aufrollen, ist die Bildungsforschung zu nennen. Indem nun auf objektive Weise natürliche Sprache massenhaft automatisch verarbeitet werden kann, stehen der Forschung neue Informationsquellen zu Verfügung, die bisher immer nur stichprobenartig oder mit sehr großem manuellem Aufwand genutzt werden konnten. Später werden wir etwa ein Beispiel sehen, bei dem über vierzigtausend Textantworten von Schülerinnen und Schülern im PISA-Test verglichen wurden, um eine schon lang im Raum stehende Forschungsfrage in neuer Weise zu beleuchten. Sprachliche Daten stehen in sozialwissenschaftlichen Studien häufig zur Verfügung und werden dann im Projektrahmen einmalig aufwändig ausgewertet. Mit den neuen Möglichkeiten können nun auch auf solchen Textdaten Sekundäranaly-

sen, für die die Daten ursprünglich nicht zwingend ausgelegt waren, ökonomisch durchgeführt werden.

### **Welche Methoden sind mit künstlicher Intelligenz assoziiert, die einen Platz in der Bildung beanspruchen könnten?**

Wir haben bereits festgestellt, dass die geradlinigste Definition von künstlicher Intelligenz über die verwendeten Methoden gelingt. Jedenfalls in der Form, wie der Begriff derzeit vielerorts verwendet wird, wenn nämlich schwache künstliche Intelligenzen gemeint sind. Daher muss im nächsten Schritt noch resümiert werden, welche Methoden letztlich damit verknüpft sind. Das ist ein schwieriges Unterfangen, da einige dieser Methoden ihren Ursprung in der Forschung zu künstlicher Intelligenz haben, sich dann aber eigenständig und unabhängig weiterentwickelt haben – wie etwa die natürliche Sprachverarbeitung als Sprachverstehen der Maschinen. Andere Methoden wiederum kommen aus anderen Bereichen und werden bei künstlicher Intelligenz lediglich zum Einsatz gebracht – etwa die Sensorik: also die Augen, Ohren und anderen Sinneszellen der Maschinen. Versuchen wir daher eine Auswahl von dominanten Methoden zu benennen, die das Feld besonders prägen und denen man in den verschiedensten Anwendungsszenarien über den Weg läuft.

Allen anderen Methoden voran steht das maschinelle Lernen als dominante und paradigma-prägende Komponente für künstliche Intelligenzen dieser Tage. Das Herzstück des maschinellen Lernens ist das sukzessive Erkennen von Mustern in einem Trainingsdatensatz. Dabei wird also überhaupt erst verankert, wie das Programm am Ende funktionieren wird, weil die erlernten Zusammenhänge die Entscheidungen bestimmen, die das Programm später treffen wird. Dieser generische Ansatz lässt sich vor allem deshalb im Bildungssektor ganz einfach anwenden, da er nah am primär vorherrschenden disziplin-eigenen Ansatz der Evidenzbasierung ist. Es werden empirische Beobachtungen verwendet, um ein statistisches Modell zu entwickeln, das in verschiedenen Szenarien angewendet werden kann. So können Entscheidungen getroffen und Prognosen angestellt werden. Die empirische Bildungsforschung geht hier ähnlich vor, um die Praxis informieren zu können. Ein großer Unterschied jedoch, der auch ein Risiko in der Anwendung des Maschinenlernens birgt, ist, dass Maschinenlernen traditionell primär datengetriebene Modelle entwickelt, die außerdem nicht interpretierbar sind. In der Bildungsforschung spielt hingegen die Theoriebildung und deren Verifikation anhand von Daten eine wichtige Rolle. Ohne hier in einen tiefen Diskurs einzusteigen, besteht die Gefahr der reinen

Datenbasierung im Überbetonen von irrelevanten Scheinzusammenhängen, die eigentlich keine Rolle spielen. Insgesamt kann der Bildungsbereich das Maschinenlernen jedoch problemlos in zahllosen Anwendungen in sein Methodenrepertoire aufnehmen, da es die klassischen statistischen Analysen schlicht und einfach ergänzt und neue Arten von Zusammenhängen gefunden werden können. Daher sind allerlei innovative Lernanwendungen gestaltbar, aber auch die Bildungsadministration kann viel von den neuen Methoden profitieren. Diese ist eng mit dem *Educational Data Mining* verwandt, bei dem Daten von Lernenden und ihrem Werdegang durch die institutionalisierte Bildung visualisiert und auf Indikatoren durchsucht werden. Zum Beispiel können so Studierende identifiziert werden, deren Wahrscheinlichkeit hoch ist, verfrüht aus dem Studiengang auszuscheiden.

In Verbindung mit dem Maschinenlernen muss außerdem eine Eigenschaft in den Vordergrund gestellt werden, die viele Projekte ausmacht und die wiederum bestimmte Methoden nach sich zieht: *Big Data* – ein weiterer Begriff, der in aller Munde ist. Für die besprochenen Methoden braucht es stets relativ große Datenmengen, um sinnvolle Anwendungen gestalten zu können. Meistens beinhaltet das sowohl die hohe Anzahl von Beobachtungen, um eine gewisse Repräsentativität zu erreichen, als auch eine größere Vielfalt von beobachteten Merkmalen. Disziplinen wie *Text Mining*, *Educational Data Mining*, *Process Mining* und *Learning Analytics* charakterisieren sich primär über solch große Datenmengen sowie die spezielle Natur der Daten: Es werden vorhandene Daten durchforstet und nicht extra für die jeweilige Fragestellung generiert, wie es etwa bei Experimenten der Fall ist. Diese Disziplinen verfolgen alle unterschiedliche Ziele, jedoch weisen sie erhebliche Schnittmengen auf. Eine zentrale Herausforderung im Umgang mit Big Data stellt der Datenschutz dar.

Ein weiterer omnipräsenter Bereich in Anwendungen der künstlichen Intelligenz ist das Erkennen visueller Informationen. Der Computer erhält hier Bilder oder Videos und soll beispielsweise emotionale Regungen der Lernenden erkennen oder handschriftliche Äußerungen für den Computer lesbar machen. Die sinnvolle Anwendung der automatischen Anpassung der Lernumgebung bei Über- oder Unterforderung der Lernenden wurde bereits angesprochen, wie sie in intelligenten tutoriellen Systemen wie AutoTutor eingesetzt wird. Ein anderes Beispiel ist das digitale Verwerten handschriftlicher Notizen, wie sie im institutionalisierten Bildungsbereich häufig sind. So verarbeitet zum Beispiel die App *correct*. Handfotografien von handschriftlichen Lösungen von Mathematikaufgaben und zeigt automa-

tisch Fehler in der Rechnung auf und führt die Lernenden schrittweise zur richtigen Lösung. Innovative und lohnende Anwendungen sind also vielfältig. Aber auch in diesem Kontext steht die Herausforderung des Datenschutzes wieder im Vordergrund.

Als weitere prototypische Methode künstlicher Intelligenz gilt die natürliche Sprachverarbeitung. Sprachliche Äußerungen schriftlicher oder gesprochener Form werden dabei automatisiert verarbeitet. Die mannigfaltige Einsetzbarkeit liegt auf der Hand und wurde bereits immer wieder in diesem Kapitel illustriert. Auch hier besteht die Gefahr, personenbezogene Informationen zu verarbeiten und ungewollt den Datenschutz zu verletzen. Letztlich ist aber die große Heterogenität der Daten das schwierige Element dieses Bereichs. Sowohl bei gesprochenen Daten, die oft undeutliche Akustik mit sich bringen, als auch bei textlichen Daten, müssen die Systeme mit starken Abweichungen von der Normsprache zurechtkommen, da die Personen mit Dialekt oder Akzent sprechen oder aber orthographisch und grammatikalische Schwächen aufweisen. Während wohlgeformte Sprache in Deutsch und Englisch schon relativ zuverlässig in großer Genauigkeit verarbeitet werden kann, können diese fortgeschrittenen Techniken in der Praxis selten angewendet werden, weil Aussagen regelmäßig durch Rechtschreib- und Grammatikfehler nahezu unkenntlich gemacht werden.

Nochmal ganz andere Arten von Beobachtungen kommen im Bereich der künstlichen Intelligenz durch weiterführende Sensorik zum Einsatz. Vor allem in der Robotik spielen nicht nur visuelle Informationen und Spracheingaben eine Rolle. Typische Informationen für den Bildungsbereich stellen Sensoren zu Temperatur, Helligkeit, Geräuschpegel, Herzfrequenz, Hautleitfähigkeit, Hirnaktivität und ähnlichen physischen und physiologischen Maßen zur Verfügung. Diese hoch-aufgelösten Informationen bieten die Möglichkeit, einerseits Umgebungen noch stärker an das Individuum oder eine Lerngruppe anzupassen. Steigt der Lärmpegel im Unterricht, könnte etwa das Licht automatisch etwas gedimmt werden, um wieder Ruhe einkehren zu lassen. Andererseits kann das Zustandekommen gewisser Leistungen nachvollzogen werden, da beispielsweise erkannt wird, dass eine Leistung unter hoher Aufregung zustande kam. Die größte Schwierigkeit dieses Bereichs ist einmal die sinnvolle Verarbeitung so vieler synchroner Datenflüsse sowie außerdem die teure Anschaffung der sensiblen Technik.

## **Ausgewählte Anwendungen aus der Bildungspraxis angeteasert**

Bevor wir uns einem exemplarischen Forschungsbereich in größerem Detail widmen, betrachten wir zunächst noch eine Auswahl weiterer Beispiele dafür, wie vielversprechend die genannten Methoden für den Bildungsbereich sein können.

Im Bereich der natürlichen Sprachverarbeitung, den wir gleich noch anhand eines Projekts weiter ergründen, gibt es besonders viele Anwendungen, da es im Bildungsbereich sehr viele Gelegenheiten zu sprachlichen Äußerungen gibt, in die sich die Anwendungen einklinken können. Verwandt zum gleich vorgestellten Projekt gibt es zum Beispiel verschiedene Programme wie *eRater* und *Coh-Matrix*, die lange Aufsätze automatisiert bewertet. Dabei spielt allerdings seltener die Bedeutung des Geschriebenen als die Kunst des Aufsatzverfassens eine Rolle. Die Softwares prüfen meist, wie kohärent die Argumentationsstrukturen und wie komplex und korrekt die verwendete Sprache ist. Solch automatisierte Auswertungen kommen in den USA tatsächlich auch in Prüfungen zum Einsatz, deren Ergebnis für die Geprüften etwa über weitere Bildungsmöglichkeiten entscheidet. Auch im bekannten TOEFL-Fremdsprachentest kommt diese Software zum Einsatz. Mit kürzeren Antworten befasst sich der *speechRater*, der ebenfalls im TOEFL-Test zum Einsatz kommt und sogar bewertet, ob gesprochene Antworten richtig oder falsch sind. Auch das wissenschaftliche Argumentieren in Aufsätzen kann mithilfe von wiederum anderen Programmen bewertet werden, wenn der Bedeutung des Geschriebenen mehr Aufmerksamkeit geschenkt wird. An dieser Stelle sei angemerkt, dass die Systeme aus meiner Sicht meist einen Reifegrad haben, der es erlaubt, sie sinnvoll in Projekten einzusetzen, die Aussagen über Personengruppen treffen möchten. Die Genauigkeit für einzelne Antworten ist allerdings oft nicht so zuverlässig, dass es gerechtfertigt wäre, anhand von automatisierten Auswertungen Schlüsse über einzelne Individuen zu ziehen, geschweige denn, wenn die Zugangsberechtigung zu bestimmten Bildungseinrichtungen auf dem Spiel steht. Sinnvoll ist in solchen Fällen eine hybride Bewertung von Mensch und Maschine, um die Bewertung des Menschen gegebenenfalls nochmal unabhängig zu überprüfen, wenn sich Mensch und Maschine uneinig sind.

Gerade im Fernunterricht spielt die Anwendung moderner Technologien eine wichtige Rolle, da hier oftmals keine unmittelbare Betreuung durch die Lehrenden möglich ist. Der Fernunterricht profitiert von modernen Technologien, weil diese die Interaktion zwischen Lernenden und Lehrenden sukzessive immer authentischer machen. In den letzten zehn Jahren ist hier

der Bereich der *Massive Open Online Courses* (MOOCs) hinzugekommen, bei denen teilweise über hunderttausende Interessierte Kurse über das Internet bei renommierten Dozenten besuchen. Aus diesem Bereich sind viele Forschungsentwicklungen getrieben, die sich um das automatische Auswerten von Aufgabenlösungen drehen, zum Beispiel von Programmiercode. Ebenfalls werden hier semi-automatisierte Lösungen mit Peer-Bewertungen eingesetzt, die Benutzeridentifikation bei Prüfungen wird teilweise über Tippgeschwindigkeitsmuster sichergestellt und Lerngruppen werden automatisiert anhand von Merkmalen zusammengestellt, die möglichst produktive Gruppen versprechen.

Erwähnenswert sind auch zwei weitere Programme, die ebenfalls die Interaktion mit natürlicher Sprache fokussieren, da sie höchst innovativ und praktisch relevant sind. Zum einen gibt es das intelligente tutorielle System *AutoTutor*, bei dem Lernende einzelne Kurse am privaten Computer absolvieren können, die von einem maschinellen Tutor betreut werden. Das pädagogische Konzept setzt dabei auf Dialoge, sodass die Lernenden nicht nur mit dem simulierten Lehrenden interagieren, sondern auch mit einem zweiten simulierten Lernenden. Das Spannende dabei ist darüber hinaus, dass die Lernenden frei in einem Chat Antworten auf Fragen des Tutors eintippen und mit den beiden fingierten Gesprächspartnern kommunizieren. *AutoTutor* erkennt außerdem anhand der Beobachtung via Videokamera einige Gefühlsausprägungen der Lernenden und passt die Lernsituation entsprechend an. Die zweite äußerst spannende Entwicklung kommt direkt im Unterricht zum Einsatz und zählt zu der Gruppe der sogenannten *Classroom Engagement Systems*. Wie bereits zuvor angedeutet ist es aus Perspektive der kognitiven Aktivierung nicht ideal, dass in der klassischen Unterrichtsform Lehrkräfte eine Frage stellen und sie von einer Schülerin oder einem Schüler beantworten lassen, während der Rest der Lerngruppe still bleibt. Das Computerprogramm *SEEDING* sieht vor, dass alle Lernenden mit einem digitalen Gerät ausgestattet sind und alle zeitgleich ihre Antwort eintippen. Die Lehrkraft erhält dann alle Antworten der Gruppe. Zusätzlich werden die Antworten bereits gemäß ihrer Semantik gruppiert, sodass typische Misskonzepte aller Lernenden sofort offenbar werden und besprochen werden können. Auf diese Weise kann sowohl die breite Masse der Lerngruppe berücksichtigt werden, aber auch die Misskonzepte einzelner Lernender können identifiziert werden, die sonst wahrscheinlich gar nicht oder erst später bemerkt würden.

Ein weiteres Beispiel für tutorielle Systeme stellt die Entwicklung einer offenen dreidimensionalen Welt von einer weiteren Forschergruppe dar, bei der naturwissenschaftliches Arbeiten erlernt werden soll. Hier werden die Lernenden instruiert, ähnlich einem Point-and-Click-Adventure, die virtuelle Welt zu erkunden, um ein naturwissenschaftliches Problem zu lösen; etwa warum eine bestimmte Froschart erkrankt ist. Die Lernenden interagieren dann vielfach mit dem System, um Evidenzen zu recherchieren und biologische Techniken zu erproben. Anhand eines ersten Datensatzes haben die Entwickler das System dann erlernen lassen, welche Interaktionen mit der virtuellen Welt besonders gut vorhersagen können, ob die Lernenden am Ende einen Lernerfolg aufweisen.

Sensorik in einer sehr speziellen Art kommt zum Beispiel in der Forschung zum kollaborativen Problemlösen in Teams zum Tragen. Eine Forschergruppe aus den USA stattet hier Lernende unter anderem mit Sensoren am Körper aus, um deren Bewegung im Raum zu vermessen, während eine Gruppenaufgabe gelöst wird. So wird versucht, die komplexen Interaktionen besser nachvollziehen zu können, die während Gruppenarbeiten auftreten und den Gruppenerfolg bestimmen.

Diese verschiedenen Beispiele von Anwendungen der Methoden der Forschung zu künstlicher Intelligenz zeigen, an wie vielen Stellen mit den neuen Technologien angesetzt werden kann, um der Bildungspraxis, aber auch die Bildungsforschung womöglich voranzubringen. Es wurde auch klar, dass Sprache immer wieder eine Rolle spielt, sodass die natürliche Sprachverarbeitung stets einen erheblichen Teil ausmachen wird. Wir schließen das Kapitel nun mit einem Projekt aus eigener Forschung ab, das textliche Testantworten automatisiert auswertet und somit für die Bildungspraxis relevant ist, bisher aber vor allem Erkenntnisse für die Bildungsforschung geliefert hat.

### **ReCo: Wie wertet der Computer Antworten der Lernenden aus?**

*»Der Gerät hätte das gewusst.«*

Solche lustig gemeinten Antworten sind im PISA-Test keine Einzelfälle, wenn auch eher selten. PISA steht für das *Programme for International Student Assessment* und ist ein großes, internationales Bildungsmonitoring, das primär die Kompetenzen in Mathematik, Naturwissenschaften und Lesen untersucht. Dafür werden alle drei Jahre etwa eine halbe Million Schülerinnen und Schüler am Ende ihrer Pflichtschulzeit in über siebzig Staaten untersucht. Während das Abschneiden für die Politik einiger Teilnehmer-

staaten durchaus wichtig ist, spielt es für die teilnehmenden Schülerinnen und Schüler keine erhebliche Rolle. Daher gehen manche dieser Antworten völlig am Thema vorbei oder aber, was Probleme für die Auswertung mit sich bringt, sie sind mit so wenig Sorgfalt verfasst, dass der Sinn nur noch schwierig aus der Ansammlung von grammatikalischen und orthographischen Devianzen entnehmbar ist.

Durchweg unmotivierte Antworten wie die obige kommen dabei vergleichsweise selten unter den gut 160.000 deutschen Textantworten vor. Für die deutsche Studienleitung arbeiten viele Kodierer, die jede Antwort bewerten müssen. Das ist natürlich ein erheblicher Aufwand und ist fehleranfällig hinsichtlich der länderinternen, aber vor allem auch der länderübergreifenden Konsistenz. Daher wurde im deutschen PISA-Team eine Software entwickelt, die die Bedeutung der Antworten analysiert und auf deren Basis entscheidet, ob sie richtig oder falsch sind. Natürlich ist obige Antwort falsch; »der Gerät« war lediglich ein geflügeltes Wort unter Jugendlichen während der Erhebung von PISA 2012. Aber wie kann ein Computer nun ebenfalls erkennen, dass es sich um eine falsche Antwort handelt? Und was könnte er aus der Antwort über den Denkvorgang ablesen, der den Schüler zu dieser Antwort brachte?

Um diese aufwändige Arbeit von Computern erledigen oder unterstützen zu lassen, müssen diese zuerst die Bedeutung von Wörtern lernen. Erst dann erkennen sie, ob ein Schüler eine Frage richtig beantwortet hat. Genau das kann die Software *ReCo* (*Automatic Response Coder*). Ziel war es zunächst, dass ReCo von einer Aneinanderreihung von Buchstaben zur Entscheidung *richtig* oder *falsch* kommt. Am Ende konnte ReCo allerdings noch mehr und wurde inzwischen nicht nur evaluiert, sondern hat auch zur Beantwortung verschiedener inhaltlicher Forschungsfragen beigetragen.

Die Vorteile einer automatischen Kodierung liegen auf der Hand. Computer verarbeiten Antwortmassen ermüdungsfrei und wenden konsistent dieselben Kriterien an. Beides versuchen Studien wie PISA durch Schulungen auch bei den menschlichen Kodierern zu erreichen, eine Garantie ist das aber leider nicht. Tatsächlich ist die Aufgabe eines Kodierers sehr anspruchsvoll und er muss viele einzelne Schritte leisten, um eine Antwort zu bewerten.

Für den Computer ist eine Antwort lediglich eine Zeichenkette und er muss erst lernen, dass es sich um mehr als eine zufällige Folge von Zeichen

handelt. Nehmen wir eine beispielhafte Antwort: »Die Geschichte handelt von der Schönheit der Bäume.« Der Computer muss sie in mehreren Schritten vorbereiten. Ziel ist es, die Wörter in allgemeinere Form zu überführen; etwa in [baum], damit die Bedeutung von »der Baum« und »des Baums« gleichermaßen erfasst wird. Dasselbe gilt für Rechtschreibfehler wie »handeld«, die automatisch korrigiert werden. Für unser Beispiel wäre das Ergebnis:

[geschichte] [handelt] [schönheit] [baum]

Wörter, die nicht zur Bedeutung beitragen, wie »die« werden zunächst außen vor gelassen.

Anders als die Kodierer, die beim Lesen der Antwort mental sofort einen Baum visualisieren, weiß ReCo nicht, wie das Herbstlaub eines Baums aussieht oder riecht. Ihm fehlt die Bedeutung des Worts. Daher hat ReCo Teile der Wikipedia zu lesen bekommen, um zu lernen, welche Wörter ähnliche Bedeutung besitzen. Dabei legt es aber nicht einfach eine Liste von Synonymen fest. ReCo analysiert vielmehr, welche Wörter in semantisch ähnlichen Kontexten auftreten, und erhält am Ende eine Art Lexikon, in dem zu jedem Wort ein Vektor eingetragen ist. Ein Vektor ist wie ein Pfeil mit bestimmter Länge und Richtung.

Deshalb wird dieses Lexikon Vektorraummodell genannt. Um das besser verstehen zu können, können wir es uns wie das Weltall vorstellen. Wir postieren uns auf dem Mond und schlagen für jeden Lexikoneintrag einen Wegweiser in das Gestein. Diese stehen für die Vektoren. Entscheidend ist, in welche Richtung ein Wegweiser zeigt. Der mit [zweig] beschriftete Wegweiser zeigt dabei in fast dieselbe Richtung wie jener mit den Lettern [ast]. Hingegen zeigt [lenkrad] in eine gänzlich andere Richtung, weil das Steuer eines Autos semantisch wenig ähnlich zu Baumverzweigungen ist. Denkt man an die Mondlandkarte, können die Wegweiser entlang zwei Dimensionen zeigen. Da unsere Sprache aber ein äußerst reiches Vokabular hat, genügt das nicht um Wörter zufriedenstellend zu unterscheiden. Also nehmen wir eine dritte Dimension hinzu und lassen die Wegweiser zum Beispiel auch der Sonne entgegen nach oben oder zum Mondkern nach unten zeigen. Doch selbst das reicht nicht aus. Erst bei dreihundert Dimensionen kann ReCo die Wortbedeutungen ausreichend unterscheiden. Diesen 300-dimensionalen Hyperspace können wir Menschen uns nicht vorstellen, da wir nur mit dem drei- und vierdimensionalen Raum Erfahrung haben.

Tatsächlich geschehen im Hyperspace Dinge, die unserer Erfahrung widersprechen. So beschreibt der Informatiker Pedro Domingos, dass »*Orangen dort aus mehr Schale als Fruchtfleisch bestehen*«. Und noch markanter: Im Hyperspace gibt es praktisch keine Nachbarn, weil es so viel Platz gibt. Man stelle sich vor, man könnte den eigenen Baugrund auf der Gemeindekarte nicht nur möglichst weit entfernt westlich und nördlich vom Nachbarn platzieren, sondern auch in Richtung Himmel oder Erdkern. Im Hyperspace gibt es diese Möglichkeit zum Ausweichen noch 297 Mal häufiger. Man würde den Nachbarn also nur noch selten grüßen. Das verkompliziert die Methodik hinter ReCo, weil es schwieriger ist festzustellen, welche Antworten überhaupt ähnlich sind, wenn kaum welche wirklich beieinanderliegen. Aber letztlich holt die Software mit Hilfe des Wörterlexikons aus Wegweisern gegenüber dem menschlichen Kodierer erheblich auf. ReCo weiß jetzt ebenfalls, dass *Schönheit* mit *Ästhetik* verwandt ist, wenig aber mit *Motoröl*.

Wenn ein Mensch entscheiden soll, ob eine Schülerantwort richtig ist, vergleicht er ihre Vorstellung davon, was der Schüler meinte, mit den Anforderungen der Aufgabe. Sind die Inhalte der Antwort ähnlich genug zu den geforderten, ist die Antwort richtig. Auch vergleicht er, zumindest unbewusst, die Antwort mit den bereits gelesenen Antworten. ReCo geht einen ähnlichen Weg.

Es berechnet für jede Antwort die mittlere Richtung. Im Beispiel berechnet ReCo die mittlere Richtung der Wegweiser [*geschichte*], [*handelt*], [*schönheit*] und [*baum*]. So erhält jede Antwort einen einzigen finalen Wegweiser, der ihre Bedeutung widerspiegelt. Im nächsten Schritt identifiziert ReCo anhand dieser, welche Antworten einander ähnlich sind, und fasst sie zu Typen zusammen. Diese Gruppierung aller Antworten zu Antworttypen ist der entscheidende Schritt für die Software und macht sie auch für viele weitere Einsatzbereiche interessant, die über das automatische Bewerten hinausgehen.

Zu jeder PISA-Antwort ist dank den menschlichen Kodierern bereits bekannt, ob sie richtig ist. Diese Daten kann ReCo als Trainingsmaterial nutzen und mittels Maschinellem Lernen errechnen, ob ein Antworttyp hauptsächlich richtige oder doch eher falsche Antworten umfasst. Es weiß somit, ob ein Antworttyp tendenziell richtig oder falsch ist. Würde nun eine Schülerin eine neue Antwort eingeben, zum Beispiel »*Es geht darum, wie hübsch Pla-*

*tanen sind.*«, erkennt ReCo die Ähnlichkeit zur Beispielantwort und folgert, dass es sich um eine korrekte Antwort handelt.

Obwohl ReCo nur rudimentäre Eigenschaften der Sprache nutzt, kommt es erstaunlicherweise im Durchschnitt bei 88 Prozent der Antworten zu demselben Schluss wie Lea. Bei manchen Aufgaben liegt diese Rate etwas höher, bei anderen niedriger. Mit dieser erfreulichen Leistungsfähigkeit war das ursprüngliche Forschungsziel erreicht. Viel überraschender aber war die Erkenntnis, dass ReCo noch weitere Informationen aus den Antworten gewinnen konnte.

### **Neue Erkenntnisse und Potenziale durch ReCo**

Da ReCo Antworten typisiert, erkennt es etwa, ob die Schülerinnen und Schüler in eine bestimmte Richtung argumentieren. Sie könnten zum Beispiel die ökonomischen oder aber (un)ästhetischen Aspekte einer Waldrodung betonen. Beides könnte richtig sein, da jeweils erkannt wurde, dass es im Text um eine Waldrodung geht. Durch eine Weiterentwicklung konnte ReCo außerdem ein grobes Abbild der Denkprozesse gewinnen, die zu einer Antwort führten. Es berechnet unter anderem die Ähnlichkeit zwischen Teilen der Antwort und des gelesenen Texts. So prüft es, ob die einzelnen Informationen in der Antwort aus dem Wissen des Schülers stammen oder nur den Text wiederholen. Auch berechnet ReCo, ob diese Informationsteile relevant für die Beantwortung sind.

Das erschloss ein ganz neues Feld. Es konnten damit Aspekte in den Denkvorgängen verschiedener Schülergruppen verglichen und etablierte Befunde der Bildungsforschung neu beleuchtet werden. Beispielsweise schneiden in internationalen Studien Mädchen im Lesen konsistent besser ab als Jungs. Dieser Unterschied war nicht nur in den Textantworten wiederzufinden, ReCo offenbarte vielmehr auch dessen Muster. Dafür verglich es grob 40.000 Antworten. Zum einen beziehen Mädchen selbst in falschen Antworten mehr relevante Aspekte ein als Jungs. Zum anderen passen sie sich der Frage auch besser an, indem sie eher den Text wiedergeben, wenn genau das gefordert ist, und indem sie eigene Schlüsse benennen, wenn nach der Intention des Texts gefragt wird.

In einer anderen Arbeit verglich ReCo die Antworten der Schülerinnen und Schüler, die den traditionellen papierbasierten Test bearbeiteten, mit den Antworten von jenen, die am Computer arbeiteten. Da PISA im Jahr 2015 erstmals auf einen computerbasierten Test umstellte, ist seitdem um-

stritten, ob die Leistungstrends zu den Vorjahren noch verlässlich interpretierbar sind oder ob die beiden Testversionen am Computer und auf Papier teilweise unterschiedliche Kompetenzen messen. Im Vergleich von papier- und computerbasierten Antworten fanden wir, dass letztere grundsätzlich mehr Informationen enthielten und der Anteil relevanter Informationen in den Antworten stark von Aufgabe zu Aufgaben zwischen den beiden Administrationsmodi variierte. Dies deutete darauf hin, dass in der Tat systematisch verschiedene Bearbeitungsprozesse zwischen den beiden Modi ablaufen. Ohne die Software wären keine Mittel verfügbar gewesen, die Antworten nochmals zu analysieren und der Effekt des Bearbeitungsmodus auf solche offenen Antworten wird bisher strikt vernachlässigt.

All das zeigt, wie vielversprechend die automatische Verarbeitung von Antworten in der Bildungsforschung ist, um akkurate Aussagen über Gruppen, nicht aber einzelne Personen zu treffen. Bei wichtigen persönlichen Entscheidungen, wie etwa bei Aufnahmeprüfungen, kann automatische Kodierung lediglich eine Unterstützung von Kodierern sein, um eine höhere Objektivität zu erreichen und Unstimmigkeiten in den menschlichen Entscheidungen aufzuzeigen. Sie ist ein neues Werkzeug im Methodenarsenal der modernen Bildungsforschung, um Beurteilungen zu verbessern und mehr über Denkprozesse zu erfahren. Ganz wie Gottfried Wilhelm Leibniz vor 300 Jahren schrieb: *»Sprachen sind der beste Spiegel des menschlichen Geistes.«*

## **Über- und Ausblick**

Im Laufe dieses Kapitels haben wir uns durch den Dschungel von Mythen und echten Potenzialen geschlagen, die es rund um den Einsatz künstlicher Intelligenz im Bildungsbereich gibt. Der Begriff der künstlichen Intelligenz transportiert das Bild eines Computers mit ganz und gar menschlichen Eigenschaften, was auch bedrohliche Bilder an die Wand malt. Diese Attribution eigenständiger Motive und selbstständigen Fortentwickelns ist jedoch nicht zutreffend, da die heute existierenden System lediglich sogenannte schwache künstliche Intelligenzen sind, die ausschließlich sehr spezielle Aufgaben bewältigen können. Da jedoch die Methoden der Forschung zu künstlicher Intelligenz auf die Sinnesmodalitäten, Kommunikationsformen und physischen Begebenheiten des Menschen und seiner Umwelt abzielen, sind diese das wahre Potenzial, das helfen kann, große Herausforderungen unseres Bildungssektors zu meistern. Sie sind nah an der Psychologie des menschlichen Lernens und daher prädestiniert, diesen Prozess zu unterstützen. Wir haben von einer Auswahl innovativer Projekte berichtet, die

dem Computer zum Beispiel ein gewisses Sprachverständnis geben und somit den Schulunterricht sowie privates Lernen unterstützen. Zuletzt haben wir uns dann noch angesehen, wie es im Detail funktioniert, wenn der Computer etwa die Richtigkeit von Textantworten beurteilen soll. Neben der unbestreitbaren Tatsache, dass hier große Potenziale für den Bildungsbereich auszuschöpfen sind, bleibt zu guter Letzt noch festzuhalten, dass die Auseinandersetzung mit künstlicher Intelligenz im Schulunterricht alleine deshalb wichtig ist, um unsere Gesellschaft mündig für den Umgang mit künstlicher Intelligenz zu machen.