

Ruhr-Universität Bochum | Prof. Dr. T. Glasmachers | 44780 Bochum

An den
Ausschuss für Schule und Bildung
Landtag Nordrhein-Westfalen
Platz des Landtags 1
40221 Düsseldorf
Stichwort “A15 — KI-Algorithmen — 12.09.2023”

FAKULTÄT FÜR INFORMATIK

Institut für Neuroinformatik
Raum NB 3/27
Universitätsstraße 150, 44801 Bochum

Prof. Dr. Tobias Glasmachers

Fon +49(0)234 32 - 25558
Fax +49(0)234 32 - 14210
tobias.glasachers@ini.rub.de
https://www.ini.rub.de/the_institute/people/tobias-glasachers/

04. September 2023

**Stellungnahme zum Bericht der Landesregierung vom 17.05.2023 zum Thema
“KI-Algorithmen im Informatikunterricht” (Vorlage 18/1254)**

Sehr geehrte Damen und Herren,

Ich schreibe diese Stellungnahme in dreierlei Funktion. Als Studiendekan der Fakultät für Informatik der Ruhr-Universität Bochum bin ich für die inhaltliche Entwicklung von informatiknahen Studiengängen verantwortlich. Als Dozent der Anfängervorlesung “Informatik 1 – Programmierung” komme ich in direkten Kontakt mit großen Kohorten von Abiturienten, die ein Studium der Informatik oder eines eng verwandten Fachs aufnehmen. Schließlich beschäftige ich mich in meiner Forschung und in der fortgeschrittenen universitären Lehre mit maschinellem Lernen, einem wichtigen Teilgebiet der künstlichen Intelligenz (KI).

Kernthesen im Überblick

1. KI kann und soll in der Schule thematisiert werden.
2. Bei der Einführung von KI-Themen in den Informatikunterricht dürfen die Kernkompetenzen *Programmierung* und “*computational thinking*” nicht vernachlässigt werden. Stattdessen müssen diese umgehend gestärkt werden.
3. KIs (etwa Textgeneratoren wie ChatGPT) wirken in viele Bereiche hinein. Die technische Betrachtung ist Aufgabe des Informatikunterrichts, während ich die Betrachtung gesamtgesellschaftlicher Auswirkungen als Querschnittsaufgabe ansehe.
4. Es reicht als Landesregierung nicht aus, in ihrem Bericht den status quo zu betrachten. Informatik als Pflichtfach und auch das Thema KI werden nur dann gelingen, wenn die Ausbildung von Lehrkräften im Fach Informatik langfristig gestärkt wird.

Diskussion der inneren Logik der Fragestellung

Die Anfrage der FDP-Fraktion nach der Behandlung des Themas KI im Informatikunterricht ist an sich wichtig und richtig, denn KI ist eine Zukunftstechnologie. Aufgrund der voranschreitenden Digitalisierung und Automatisierung in allem Bereichen der Wirtschaft und des öffentlichen Lebens ist Informatik selbst ein wichtiges Feld geworden, das in praktisch alle anderen Bereiche ausstrahlt. Innerhalb der Informatik hat die KI in den letzten gut 10 Jahren ein gewaltiges Wachstum erfahren. Im Vergleich zur Digitalisierung hat die Wirkung der KI auf unsere Lebenswelt gerade erst begonnen. Die Annahme, dass die Technologie in Zukunft weiter an Bedeutung gewinnen wird, ist also naheliegend. Um KI als Technologie zukünftig erfolgreich zu nutzen und weiter zu entwickeln, müssen Schüler:innen bestimmte Fähigkeiten erwerben. Deren Vermittlung ist Aufgabe der Schule, denn es ist hinlänglich bekannt, dass die Generation der “Digital Natives” auf diese Zukunft keineswegs besser vorbereitet ist als andere Gruppen [1].

Das bedeutet aber nicht automatisch, dass es zielführend ist, Schüler:innen ab Jahrgangsstufe 5 mit Lehrereinheiten zur KI zu bombardieren. Um junge Menschen auf eine digitalisierte Welt vorzubereiten, ist es wichtig zu verstehen, welche Lernziele und daraus resultierende Kompetenzen in der Schule realistisch vermittelt werden können, welche Voraussetzungen und Querbezüge es gibt, und was eigentlich in der Informatik transferierbares und zukunftsfähiges Wissen ist. Ist ein tiefes Verständnis von KI-Technologie zielführend? Ist es erreichbar, etwa in der Unterstufe, oder zumindest in der Oberstufe? Für welche Ziele genügt eine oberflächliche Betrachtung? Wie früh soll mit dem Thema KI begonnen werden, und wie können altersgerechte Unterrichtseinheiten gestaltet werden? Wie werden Lehrkräfte für das Thema KI fit gemacht? Sowohl die Anfrage der FDP-Fraktion wie auch der vorliegende Bericht der Landesregierung [2] behandeln das Thema KI in der Schule unter einer Prämisse, der diese und ähnliche Fragen zugrunde liegen.

Statt diese Fragen zu beantworten, schlage ich vor, dass wir zunächst einen großen Schritt zurück wagen und das große Ganze in den Blick nehmen. Eine Einführung von KI in die Informatik-Lehrpläne ist eine Veränderung, und wenn man eine Änderung durchführt, sollte man nach Sinnhaftigkeit, Zielen und Zielerreichung fragen: Welche Kompetenzen werden aktuell im Informatikunterricht vermittelt? Ist die Vermittlung erfolgreich? Passen die Kompetenzen auf die Bedarfe der Berufswelt und der weiteren Ausbildung an den Hochschulen? Das sind Rahmen und Maßstab, an denen sich Themen und Ziele des Unterrichts messen müssen. Das gilt auch für das Thema KI. Meine Antworten auf diese Fragen werde ich im Folgenden entwickeln.

An dieser Stelle möchte ich anmerken, dass die Integration von KI-Inhalten in den Informatikunterricht aus Sicht der universitären Informatikausbildung wenig relevant ist. Als Voraussetzung für ein Studium ist sie, im Vergleich zu Programmiererfahrung, kein relevanter Gewinn. Wenn also das Thema KI in den Schulunterricht eingeführt wird, dann sollten beim Design der Lehrpläne andere Gründe als die Anschlussfähigkeit an ein Informatikstudium eine dominante Rolle spielen. Wichtige Ziele sind meiner Meinung nach das Wecken von Interesse an Technologie und die Erziehung zu digitaler Souveränität.

[1] <https://www.nature.com/articles/547380a>

[2] <https://www.landtag.nrw.de/portal/WWW/dokumentenarchiv/Dokument/MMV18-1254.pdf>

Lernziele im Fach Informatik

Nur ein kleiner Teil der Studienanfänger im Fach Informatik gibt an, gute Programmierkenntnisse aus der Schule mitzubringen. Meist resultieren solide Programmierkenntnisse aus einer intensiven privaten Beschäftigung mit dem Thema. Etwa ein Drittel der angehenden Studierenden bezeichnet sich beim Thema Programmierung als blutige Anfänger. Diese Zahlen basieren auf meinen eigenen (informellen) Umfragen unter 350 bis 500 Studienanfänger:innen pro Jahr über einen Zeitraum von fünf Jahren. Ich muss somit feststellen, dass der aktuelle Informatikunterricht in einem absolut zentralen Aspekt versagt, indem er das Lernziel vernachlässigt, das ich für das wichtigste von allen erachte: Die Vermittlung von Programmierkenntnissen. Damit halte ich den **Informatikunterricht in seiner aktuellen Form in einer kompetenzorientierten Betrachtung für praktisch wirkungslos**, und zwar unabhängig von weiteren Themen, die über reine Programmierung hinaus gehen.

Ich bin der Meinung, dass sich der Informatikunterricht in allen Jahrgangsstufen zu einem signifikanten Teil der Vermittlung von Programmierkompetenzen widmen sollte. **Programmieren ist eine in der deutschen Wirtschaft extrem stark nachgefragte Schlüsselfertigkeit**. Natürlich geht Informatik als Fach weit über reines Programmieren hinaus. Ich sehe die Fähigkeit, Computer selbstständig zu programmieren, als eine Art Handwerk an, auf der die Wissenschaft der Informatik aufbaut. Das Handwerk zu beherrschen ist eine wesentliche Voraussetzung einerseits für das Verständnis weitergehender Fragestellungen und deren Einbettung in den Kontext der Informatik, und andererseits für die Möglichkeit, algorithmische Fragen selbst kreativ und spielerisch-explorativ zu erleben und zu erforschen. Das gilt für alle Teilbereiche, auch für KI-Systeme. Damit der Informatikunterricht eine echte Wirkung entfaltet, gibt es also viel grundsätzlichere Probleme zu lösen als die Integration von KI in die Lehrpläne.

Dabei ist es wichtig zu verstehen, dass die Informatik als junge Disziplin ständig im Fluss ist. Während sich die der Schulausbildung zugrunde liegende Mathematik nicht mehr verändert, sieht Informatikunterricht heute anders aus als vor 30 Jahren. Beispielsweise haben sich Programmiersprachen verändert, Verschlüsselung spielte kaum eine Rolle, und KI war als Schulthema noch weit hinter dem Horizont. Schulische Curricula haben ihre Schwierigkeiten, mit dieser Entwicklung Schritt zu halten. **Worauf es jenseits aller Veränderung in der Informatik ankommt sind zwei eng verwobene Fähigkeiten: 1. solid Programmierfähigkeiten und 2. die grundsätzliche Denkweise des “computational” oder “algorithmic thinking”**. Diese Denkweise wird am besten gleichzeitig mit dem Programmieren erlernt, allerdings unter Einbeziehung abstrakter formulierter Probleme und Algorithmen. Diese beiden Kompetenzen zu erlangen ist für die Informatik absolut essenziell. Aufgrund des handwerklichen Charakters der Programmierung erfordert das viel Übung. Diese Grundkompetenzen sind eine Konstante in der Informatik. Während sich Informatiker:innen im Laufe ihrer Karriere immer wieder in neue Themen, Programmiersprachen und Werkzeuge aller Art einarbeiten müssen, sind die unterliegenden Prinzipien sowohl der Informationsverarbeitung wie auch der Programmierung über viele Jahrzehnte nahezu unverändert geblieben. Deshalb müssen diese Prinzipien, nicht ihre konkreten Ausprägungen, die leitenden Lernziele des Informatikunterrichts sein.

Die aktuelle Debatte um KI im Schulunterricht birgt die Gefahr, beim Aufspringen auf einen Trend nicht-essenzielle Aspekte in den Vordergrund zu stellen. Gerade die Trägheit schulischer Change-Prozesse macht es so wichtig, dabei die Grundprinzipien der Informatik im Auge zu behalten. Das bedeutet nicht, dass Auswirkungen der Informatik auf Wirtschaft und Gesellschaft nicht thematisiert werden sollen, aber ich möchte

mich hier klar von der Ansicht abgrenzen, dass Computer, ihre Funktionsweise und ihre Programmierung im Vergleich zu den Auswirkungen von KI und Digitalisierung unwichtig würden. Deshalb plädiere ich dafür, primär Programmierung und algorithmische Denkweise als Kernziele des Informatikunterrichts zu verfolgen. KI wird weder als Technologie noch als gesellschaftlich wirkendes Phänomen eine Eintagsfliege sein, die wir im Curriculum getrost ignorieren können. Folglich werden wir KI in der einen oder anderen Form an diese Kernziele andocken müssen. Gerade deshalb lohnt sich die Frage nach allgemeingültigen, transferierbaren und somit zukunftssicheren Lernzielen.

KI-spezifische Lernziele

Schauen wir jetzt spezifisch auf den Bereich der KI. Wenn von KI im Informatikunterricht die Rede ist, dann sind meist maschinelles Lernen und insbesondere neuronale Netze gemeint. Neuronale Netze sind extrem komplexe Modelle. Sie werden trainiert, also datengetrieben erstellt. Abermillionen Parameter werden dabei solange variiert, bis die Vorhersagen auf den verfügbaren Daten gut genug zu den Sollwerten passen. Selbst Experten verstehen die resultierenden Modelle nicht gut genug, um scheinbar simple Fragen zu ihrer Funktionsweise beantworten zu können. Beispiel: “Wie kommt ChatGPT auf diese Antwort?” Auf der anderen Seite sind generative KI-Systeme in der Breite verfügbar, sie sind im schulischen Kontext hochgradig relevant, und sie können für viele Aufgaben einen massiven Mehrwert bieten. Damit stellt sich die Frage, wie das Thema in der Schule aufgearbeitet wird und welche Ziele dabei im Vordergrund stehen sollen.

Der Bericht der Landesregierung sagt dazu direkt in seiner Einleitung folgendes:

“Alle Schülerinnen und Schüler sollen bestmöglich auf die Anforderungen einer zunehmend von Informatiksystemen geprägten Lebens- und Arbeitswelt vorbereitet werden. Hierzu ist neben der Vermittlung von Medienkompetenzen und Fähigkeiten zum Anwenden und Bedienen digitaler Systeme gemäß Medienkompetenzrahmen NRW besonders das Verständnis der zugrundeliegenden informatischen Konzepte und Prozesse von großer Bedeutung, um den Nutzen sowie die Wirkungsweise solcher Systeme bewerten zu können.”

Ich stimme nur bedingt zu. Es ist in der Tat relevant, dass Schüler:innen den Nutzen und die Wirkungsweise von KI-Systemen zumindest grundsätzlich und qualitativ verstehen. Es ist allerdings basierend auf dem Niveau der Mathematikausbildung im Abitur nicht möglich, die unterliegenden informatischen (und mathematischen) Prozesse zu verstehen. Dazu bedarf es linearer Algebra, mehrdimensionaler Analysis und Stochastik weit jenseits des Schulniveaus, wie sie in den ersten Semestern mathematischer, technischer und naturwissenschaftlicher Studiengänge gelehrt werden. Jeder Versuch, die Lernprozesse auf Schulniveau herunter zu brechen, ist zu hochgradiger Unvollständigkeit verdammt.

Das ist aber nicht notwendigerweise ein Problem für die Behandlung von KI-Themen in der Schule. Ich bin der Meinung, dass ein tiefgehendes technisches Verständnis für das Erreichen vieler interessanter Lernziele keine zwingende Voraussetzung ist. Aus meiner Sicht ergeben sich aus den folgenden Fragen auf Schulniveau sinnvolle Lernziele:

- Was sind Daten? Wie werden sie in Dateien und im Speicher des Rechners repräsentiert? Wie werden (etwa kategoriellen) Daten in neuronalen Netzen kodiert?
- Wie ist ein neuronales Netz aufgebaut?
- Was ist ein Modell, was eine Vorhersage?

- Wie funktioniert grundsätzlich (ohne Mathematik) das Training eines Modells mit Daten?
- Visualisierung von Daten und zugehörigen Vorhersagen
- Qualitative Eigenschaften statistischen Lernens
 - Modellierung, aber fehlendes Verständnis
 - kritisches Hinterfragen der Ergebnisse: Überanpassung, “Halluzination” generativer Modelle, unintuitive Fehler tiefer Netze
- Anwendungen und deren gesellschaftliche Auswirkungen
 - Einsatz zur Automatisierung von Entscheidungsprozessen
 - Generative KI, insbesondere Texte und (Fake-)Bilder
 - Nutzermodellierung und Datenschutz
 - Bias, Fairness, Neutralität von KI-Systemen

Es ist nicht der Anspruch dieser Auflistung, ein zukünftiges Curriculum zu definieren, sondern beispielhaft Möglichkeiten zu verdeutlichen. Natürlich sind bei der Auswahl der Lernziele Nebenbedingungen zu berücksichtigen, insbesondere die für eine Lerneinheit zur Verfügung stehende Zeit.

Zum Teil sind die obigen Lernziele eng an die konkrete Modellklasse der neuronalen Netze gekoppelt. Sie könnten in ähnlicher Form für andere Modelle oder in größerer Allgemeinheit formuliert werden.

Gerade im Kern der KI gibt es eine Reihe von für die Schule viel zu weitgehenden Lernzielen, insbesondere was das technisch-mathematische Verständnis von neuronalen Netzen angeht:

- Mathematisierung (neuronaler) Modelle als hochdimensionale Funktionsscharen
- Mathematisierung des Trainingsprozesses, also Minimierung einer Fehlerfunktion mit Optimierungsverfahren, Backpropagation und stochastischem Gradientenabstieg
- Statistische Lerntheorie: Zusammenhang zwischen Modellkomplexität, Generalisierungsfähigkeit und Überanpassung

Das sollte niemanden davon abhalten, KI als Thema im Informatikunterricht einen festen Platz zu geben. Dafür gibt es Gründe, die von der aktuell hohen Bedeutung des Themas unabhängig sind. So spielt die Arbeit mit Daten in vielen Bereichen von Wissenschaft, Technik, Wirtschaft und Verwaltung eine wichtige Rolle. Sie kann ganz hervorragend am Beispiel von maschinellen Lernverfahren geübt werden. Weiterhin gibt es Querbezüge zur Statistik-Ausbildung im Rahmen des Mathematikunterrichts. Solche Lerninhalte gehören meiner Einschätzung nach primär in die Oberstufe.

Möglichkeiten zur Behandlung von KI im Informatikunterricht

Während einige auf den ersten Blick zentrale Lernziele unerreichbar bleiben, sind der praktischen Arbeit mit neuronalen Netzen im Unterricht kaum Grenzen gesetzt. Das liegt nicht zuletzt daran, dass entsprechende Standardsoftware sehr niedrigschwellig nutzbar ist, und dass im Internet eine große Menge fertig trainierter Modelle für alle möglichen Anwendungsbereiche frei zum Download zur Verfügung steht. Es ist ohne weiteres möglich, im Informatikunterricht eigene neuronale Netze zu trainieren und anzuwenden. In einfachen Fällen bedarf es dazu nur weniger Zeilen Python-Code. Diese Möglichkeiten sollten genutzt werden. So werden neuronale Netze praktisch erlebbar und damit zu einem gewissen Grad intuitiv begreifbar.

Auch konzeptionelle Eigenschaften maschineller Lernsysteme (wie das Problem der Überanpassung) lassen

sich im Unterricht zumindest empirisch erarbeiten. Die Fähigkeit, KI in eigenen Programmen zu nutzen, darf aber nicht mit einem technischen Verständnis der unterliegenden informatischen Prozesse verwechselt werden. Dieses ist wie gesagt auf Schulniveau nicht erreichbar.

Durch die Entkopplung der Lernziele von mathematischen Grundlagen wird es im Prinzip möglich, das Thema KI bereits in frühen Jahrgangsstufen zu behandeln. Es ist jedoch die Warnung abgebracht, dass diese Behandlung als Black-Box einer informatischen Betrachtung nicht gerecht wird. Damit drängt sich die Frage auf, ob die Behandlung überhaupt primär im Rahmen des Informatikunterrichts stattfinden sollte. Teile der Lernziele sollten vielmehr als soziologische Ausbildung verstanden werden, eine Querschnittsaufgabe, die zum Teil in anderen Fächern besser aufgehoben ist.

Schulunterricht zum Thema KI jenseits der Informatik

KI gehört in den Schulunterricht, aber nicht nur in den Informatikunterricht. Der aktuelle Handlungsleitfaden des Ministeriums für Schule und Bildung zum Thema “Umgang mit textgenerierenden KI-Systemen” [3] macht das bereits hervorragend deutlich. Es ist sinnvoll möglich, die Funktionsweise von KI auf einem geeigneten Abstraktionsniveau in der Schule zu thematisieren. Mindestens genauso wichtig ist es, die gesellschaftlichen Auswirkungen von KI zu beleuchten, wie etwa (für Schüler:innen relevant) die Nutzung von ChatGPT für Hausaufgaben. Offensichtlich ist das kein technisches Thema. Dasselbe gilt für die Auswirkungen von Nutzermodellierung, die Notwendigkeit von Datenschutz und eine gesunde Medienkompetenz. Bei der Integration von KI in das Curriculum sollte darauf geachtet werden, solche Aspekte jeweils in geeigneten Fächern zu behandeln. Das entspricht der wissenschaftlichen Herangehensweise an diese Phänomene, die mittlerweile in vielen Disziplinen außerhalb der Informatik und in interdisziplinären Verbänden erforscht werden.

Strukturelle Voraussetzungen des Informatikunterrichts

Informatik ist in NRW zu einem Pflichtfach geworden. Verständlicherweise hat dieser an sich sehr positive Schritt den bereits zuvor bestehenden massiven Lehrkräftemangel in der Informatik noch einmal verschärft. Um dem Mangel kurzfristig zu begegnen wird offenbar auf Quereinsteiger:innen und Weiterbildungen durch Zertifikatskurse gesetzt, auch im Bereich KI. Das ist ein logischer Schritt, und wohl die einzige realistische Möglichkeit, eine schnelle Wirkung zu erzielen.

Gleichzeitig muss als langfristige Strategie die Ausbildung der Lehrkräfte an den Universitäten gestärkt werden. Ein solcher Schritt ist für mich aktuell nicht erkennbar. Es gibt an deutschen Hochschulen kaum Professuren im Bereich “Didaktik der Informatik”, etwa im zahlenmäßigen Vergleich zur Didaktik der Mathematik, einem klassischen Pflichtfach. Das Problem besteht bundesweit. Solche Professuren sind neben ihrer Forschung aus Schulperspektive aus mehreren Gesichtspunkten von direkter Relevanz, nämlich für die Ausbildung von Lehrern, für die Bereitstellung von Fachbüchern und von fertig aufbereitetem Referenz-Unterrichtsmaterial. Die Erhebung von Informatik zum Pflichtfach macht diese strukturelle Schwäche sichtbar als je zuvor.

Der Lehrkräftemangel gefährdet die Qualität des Informatikunterrichts im Allgemeinen. Diese Schwäche ist nicht spezifisch für das Thema KI. Dennoch sollte es im diesem Rahmen mitgedacht werden, denn

[3] https://www.schulministerium.nrw/system/files/media/document/file/handlungsleitfaden_ki_msb_nrw_230223.pdf

ein Umbau des Curriculums allein bringt möglicherweise nicht den gewünschten Benefit, solange es an qualifiziertem Bodenpersonal fehlt.

Fazit

Es ist an sich gut und richtig, das Thema KI zukünftig in den Informatikunterricht zu integrieren. **Dabei ist aber entscheidend, dass die eigentlich zentralen Lernziele der Programmierung und einer algorithmischen Denkweise nicht verdrängt, sondern vielmehr gestärkt werden.** Informatikunterricht muss so gestaltet sein, dass Programmierfertigkeiten immer genutzt, gefördert und eingefordert werden. Erst wenn diese hinreichend entwickelt sind, sollten die vielen weiteren Themenfelder der Informatik behandelt werden. Dazu gehören neben etablierten Themen wie Sortierung und zur Verschlüsselung auch neuere Themen wie KI und maschinelles Lernen.

KI berührt mehr als die meisten anderen Teilgebiete der Informatik viele nicht-technische Aspekte. Deshalb sollte die Aufgabe der Behandlung der Auswirkungen von KI als Querschnittsaufgabe betrachtet und nicht allein auf den Informatikunterricht beschränkt werden.

Schließlich möchte ich dafür plädieren, **mehr in die Ausbildung von Informatik-Lehrkräften zu investieren**, um dem eklatanten Lehrkräftemangel in diesem Bereich zu begegnen.

Mit freundlichen Grüßen,
Tobias Glasmachers