



KÜNSTLICHE INTELLIGENZ: ZWISCHEN WUNDERGLAUBE UND WISSENSCHAFT – „DER DIGITALE MATHEMATIKER“

Fellowbericht

Robert Scheichl

DOI: 10.11588/fmk.2022.2.92719

**MARSILIUS-
KOLLEG**

2021 / 2022



KÜNSTLICHE INTELLIGENZ: ZWISCHEN WUNDERGLAU- BE UND WISSENSCHAFT

"Der digitale Mathematiker"

Was ist Intelligenz? Was ist Lernen? Zentrale Fragestellungen in vielen akademischen Disziplinen von den Geisteswissenschaften, über die Medizin hin zu Natur- und Ingenieurwissenschaften. Ein wunderbares Thema für interdisziplinäre Zusammenarbeit und Austausch – und ein ideales Thema für ein Projekt am Marsilius-Kolleg. Diese Fragestellungen und die unterschiedlichen Meinungen dazu zu diskutieren, hatten Andreas Dreuw (Theoretischer Chemiker), Jan Schuhr (Jurist) und ich (Angewandter Mathematiker) uns als Ziel gesetzt. In unserem Marsilius-Projekt ging es dabei vornehmlich um zwei verwandte, aber sehr viel aktuellere Fragen: Was ist Künstliche Intelligenz (KI) und was ist Maschinelles Lernen (ML)? Für die Einen stehen diese beiden Begriffe stellvertretend für die gesamte Zukunft in allen Bereichen des Lebens und der Wissenschaft. Für die Anderen sind sie Ausdruck eines Wunderglaubens, eines Hypes unter vielen.

DAS ZIEL DES PROJEKTS

Aus unseren eigenen Fachrichtungen kommend, hatten wir uns exemplarisch die provokante Frage nach der Sinnhaftigkeit der Entwicklung eines „digitalen Richters, Mathematikers oder Chemikers“ gestellt. Ist ein Richter-Automat, der ohne menschliches Zutun Urteile fällt, wünschenswert, in absehbarer Zukunft realisierbar oder überhaupt sinnvoll? Kann eine Maschine helfen, das (faktisch) unendliche *Chemische Universum* nach neuen, nützlichen Verbindungen abzusuchen und welche neuen, wissenschaftlichen Einsichten gewinnt man dadurch? Theoretisch ist das Problem seit fast 100 Jahren gelöst: mithilfe der *Schrödinger Gleichung* lassen sich

die elektronische Struktur und Dynamik beliebiger chemischer Verbindungen analysieren. Aber aufgrund der hohen Dimension der Gleichung ist dies in der Praxis nur in Spezialfällen oder nur näherungsweise realisierbar. Tiefere Erkenntnisse und Zusammenhänge – z. B. über Phototoxizität – gewinnt man dadurch keine.

In der Angewandten Mathematik und im Wissenschaftlichen Rechnen ist es ähnlich: Naturgesetze, physikalische Prozesse, Ingenieurssysteme oder komplexe Materialien lassen sich durch sogenannte Differenzialgleichungen genau beschreiben, deren Lösung jedoch oft sehr komplex, aufwendig und nur unter vereinfachenden Annahmen möglich ist. Auch hier stellt sich die Frage: Ist es denkbar, Maschinen zu „trainieren“, solche Gleichungen selbstständig und effizient zu lösen – ja, vielleicht sogar, dass Maschinen selbstständig neue Gesetzmäßigkeiten oder Gleichungen finden, um theoretisch unerforschte, physikalische Prozesse zu beschreiben? Erschwerend kommt noch hinzu, dass in den beschreibenden Gleichungen die Parameter oder Anfangsbedingungen oft nur teilweise bekannt sind. Sie müssen aus einigen wenigen Messdaten identifiziert oder geschätzt werden. Diese sogenannten *inversen Probleme* – beschreibende Gleichungen nicht zu lösen, sondern zu rekonstruieren aus partiellen Messdaten der Lösung oder abgeleiteter Größen – stellen einen Hauptaufgabenbereich der angewandten Mathematik dar. Sie sind in vielen Bereichen der Naturwissenschaften, aber auch der Industrie und Wirtschaft von größter Bedeutung. Sie spielten auch eine zentrale Rolle in anderen Marsilius-Projekten. Durch besser werdende Sensoren stehen umfassendere und genauere Daten zur Verfügung. Auf der anderen Seite bieten effizientere Algorithmen und statistische Verfahren – sowie leistungsstärkere Computer – die Möglichkeit, realistische inverse Probleme in Anwendungsgebieten zu lösen. Auch hier werden verstärkt Rufe laut, die in KI und ML eine Alternative, ja die Zukunft sehen, und sich davon bahnbrechende Durchbrüche erwarten.

Dieses Potenzial auszuloten und die Erwartungen in den drei Disziplinen realistischer einzuschätzen – was ist Wissenschaft und was nur Wunderglaube – war das Ziel unseres Marsilius-Projekts. Dazu mussten aber zuerst einmal die Begrifflichkeiten geklärt werden. Am kritischsten wurde der Begriff der Künstlichen Intelligenz gesehen: Als Buzzword von McCarthy 1955 in einem Forschungsantrag eingeführt, hat erst die ‚*dritte Forscherwelle*‘ in der letzten Dekade eine stärkere Erwartungshaltung und auch Ängste in Bezug auf KI ausgelöst: nämlich, dass es tatsächlich möglich sein könnte, bei nicht-humanoiden Maschinen Intelligenz zu entwickeln. Ohne

tiefer auf ethische oder soziologische Fragen einzugehen, ging es uns darum, inwieweit so etwas technisch möglich wäre und ab welchem Zeitpunkt man tatsächlich von Intelligenz sprechen könnte. Diese Teilfragen waren ideal zum Einbeziehen der anderen Marsilius-Fellows geeignet, weswegen wir sie in Gruppenarbeiten zur Diskussion stellten – ein Novum bei Marsilius-Seminaren, welches auch von anderen Projekten aufgegriffen wurde. Während die meisten Fellows eine selbstdenkende, kreative (sogenannte ‚starke‘) KI eher der Kategorie Wunderglaube zuordneten, wurde das wissenschaftliche Potential des Maschinellen Lernens eindeutig positiver gesehen, v.a. die Erfolge *Tiefer Neuronaler Netze*.

POTENZIALE UND GRENZEN VON ML

Die Erfolge des ML sind beeindruckend – v. a. in der Bild-, Sprach- und Texterkennung sowie in der Genetik – und werden auch zukünftig weitere Durchbrüche ermöglichen. Allerdings handelt es sich hierbei großteils um Bereiche mit reichhaltigen, gut interpretierbaren Daten. In Bereichen wie der Justiz, Theoretischen Chemie oder Angewandten Mathematik ist die Situation oft anders. Daten zu einem einzelnen Rechtsfall bzw. einer einzelnen chemischen Verbindung können reichhaltig sein. Um ein Neuronales Netz (NN) darauf zu trainieren, Urteile zu fällen bzw. chemische Zusammenhänge zu untersuchen, bedarf es aber einer viel größeren Menge an unabhängigen, möglichst breit und gleichmäßig gestreuten Daten zu verschiedenen Fällen bzw. Verbindungen. Dabei ist v. a. wichtig, ob Daten zu allen Parameterbereichen zur Verfügung stehen, ob es Bias oder Abhängigkeiten in den Daten gibt oder wie die Daten und Fragestellungen überhaupt in mathematischen Zusammenhang gebracht werden sollen. Da der letzte Punkt in der Mathematik und der Chemie üblicherweise klar ist und eine große Anzahl an Forscher:innen weltweit sich ähnliche Fragen stellen, haben wir uns in unserem Marsilius-Projekt ausführlicher mit dem Potenzial für ML und KI in der Rechtsprechung befasst. Die mathematische Codierung, die Umsetzung von ML, sowie der Mangel an Daten und die sogenannte Stichprobenverzerrung durch den inhärenten Bias in den verfügbaren Daten stellen große Barrieren für einen Durchbruch des ML in der Justiz dar. Ein Grundlagenpapier der Präsident:innen der Oberlandesgerichte zum „*Einsatz von KI und algorithmischen Systemen in der Justiz*“ vom Mai 2022 (vorgestellt von Jan Schuhr) kam zu einem ähnlichen Schluss. Unsere Projektgruppe plant allerdings, im Rahmen eines „*Ladenburger Diskurses*“ (Daimler & Benz Stiftung), dem Thema noch weiter nachzugehen.

Auch im Bereich der Angewandten Mathematik und v. a. bei der Lösung inverser Probleme stehen die potenziellen Möglichkeiten und viele Vorzüge von ML außer Frage: NN bieten eine extrem universell einsetzbare Familie nichtlinearer Approximationsverfahren mit bewiesenermaßen besseren theoretischen Approximationseigenschaften, die in vielen Anwendungen auch praktisch bereits unter Beweis gestellt wurden. Vor allem für hochdimensionale Probleme (typisch für inverse Probleme aus den Naturwissenschaften) werden ausgezeichnete Ergebnisse demonstriert. Sie bieten auch einen reichhaltigen Boden für interessante mathematische Grundlagenforschung. Auf der anderen Seite gibt es aber auch viele offene und ungeklärte Fragen, die im Rahmen des Projekts angesprochen und diskutiert wurden. Einer der wichtigsten Punkte ist der Mangel an Garantien und Erklärbarkeit in der Praxis. Während bei klassischen Verfahren der Approximationsfehler oft geschätzt oder beschränkt werden kann, sind v.a. der Trainingsfehler und der Regularisierungsfehler bei neuronalen Netzen meist nicht quantifizierbar bzw. noch nicht. Hier gingen die Meinungen am Kolleg auseinander, was zu angeregten Diskussionen führte. Es fehlt auch die Garantie dafür, dass die Optimierung der Millionen Netzwerkparameter eine Lösung nahe dem globalen Minimum findet, was es erschwert, das Resultat zu erklären oder verbleibende Unsicherheiten zu schätzen. Außerdem tun sich rein datengetriebene ML Verfahren schwer, Lösungen in Parameterbereichen zu finden, wo keine Trainingsdaten zur Verfügung stehen (*Extrapolation* bzw. *Generalisierung*). Die zielführendsten Ansätze für ML im Wissenschaftlichen Rechnen sind deshalb jene, die Naturgesetze mitberücksichtigen und, z.B., in der NN ‚Architektur‘ einbauen. Es ist wichtig, dass dies auch bei zukünftigen Entscheidungen zur Bestellung der vielen neuen Professuren im Bereich KI oder bei Fördereinrichtungen und in der Industrie mitbedacht wird und man nicht nur ‚blind‘ einem Hype hinterherläuft. Sonst sehen wir die Gefahr, die Forschung und Entwicklung auf lange Zeit stark zu verzerren, weg von klassischen Verfahren zu datengetriebenen – ohne Gewissheit, dass diese zu großen Teilen noch unerprobten Technologien im Wissenschaftlichen Rechnen wirklich funktionieren. Das betrifft auch Studiengänge und Curricula: künftige Generationen von Naturwissenschaftler:innen sollen weiterhin wissen, was eine Differentialgleichung ist und wie man sie numerisch löst.

PERSÖNLICHES FAZIT

Das Fazit zu unserem Marsilius-Projekt ist für mich, dass es für die Wissenschaft und vor allem für die Mathematik wichtig ist, weiterhin verstärkt am Verständnis

von KI und ML und ihrer Anwendung zu forschen, um das Potenzial und die Grenzen zwischen Wunderglaube und Wissenschaft noch klarer auszuloten. Für mich persönlich ist eine starke, selbstdenkende und kreative KI weiterhin ein Wunderglaube, wobei es aber auf die genaue Definition des Begriffs ankommt. In Bezug auf ML in meinem Fachbereich sehe ich es wie die Mehrheit meiner Kollegen: ML-Verfahren (wie z. B. NN) bieten nur in Verbindung mit klassischen Verfahren einen Mehrwert und die Möglichkeiten für rein datengetriebene Verfahren sind begrenzt. Deshalb ist es wichtig, an Universitäten weiterhin ein ausgewogenes Curriculum anzubieten, das sowohl klassische numerische Verfahren als auch ML vermittelt. Das Fazit zu meiner Marsilius-Fellowship gesamt ist ein rundum positives. Es war ein echt erfrischendes Erlebnis für mich: stimulierend, herausfordernd, informativ und eine wunderbare Gelegenheit, sich zentraler in der Universität zu integrieren und interessante Verknüpfungen für die Zukunft zu bilden. Wie sich herausstellte, hatten auch andere Marsilius-Fellows verwandte Themen gewählt, was zu interessanten Diskussionen in den wöchentlichen Seminaren führte. Der interdisziplinäre Austausch war eine echte Bereicherung und ich würde es sofort noch einmal machen. Meine Kollegen und ich sehen in diesem Abschlussbericht auch noch nicht das Ende unseres Projektes, sondern planen in den folgenden Monaten noch interessante, weiterführende Aktivitäten.

