

## Von GPS zu GPT? Zur Verschränkung von KI und Problemlöseforschung

### Ausgangslage

Die neu etablierte Relevanz von Künstlicher Intelligenz (KI) sowohl in der Gesellschaft als auch in der Forschung (z. B. UNESCO, 2023; Neumann et al., 2024) verlangt eine adäquate Erschließung des Konzepts aus den verschiedenen Anwendungsdisziplinen. Für die naturwissenschaftsdidaktische Forschung kann dazu der Zugang über das Gebiet der Problemlöse- bzw. Expertiseforschung genutzt werden, die bereits einen etablierten Forschungsbereich darstellt (z. B. Friege, 2001; Brandenburger, 2017; Woitkowski, 2021; Plicht, 2024; Tschisgale, 2024) und gleichzeitig durch ihre historische Entwicklung eine natürliche Verschränkung zum Bereich der KI-Forschung beinhaltet (Feltovich, Prietula, & Ericsson, 2018). So können gemeinsame Konzepte genutzt werden, um eine Verortung im Rahmen bekannter Terminologien zu ermöglichen.

### Problembegriff

Zur weiteren Beschreibung des Problemlöseprozesses werden an dieser Stelle der Problem- und Suchraum nach Dörner (1987) und der Begriff des Problem- und Suchraums von Newell und Simon (1972) zugrunde gelegt. Ein Problem kennzeichnet sich danach durch einen unerwünschten Anfangszustand, einen erwünschten Endzustand und einer Barriere zwischen diesen Zuständen, die es zu überwinden gilt (Dörner, 1987). Newell und Simon (1972) verwenden hingegen den Begriff des Problemraums, welcher stets die subjektive Repräsentation eines Problems im Sinne eines mentalen Modells beinhaltet und somit stärker auf eine Beschreibung des Verstehensprozesses beim Lösen des Problems ausgerichtet ist. Der Begriff des Suchraums beschreibt dabei den Bereich zwischen Anfangs- und Endzustand des Problems sowie verschiedener Zwischenzustände und der Operatoren, die eine Überführung zwischen diesen Zuständen ermöglichen und umfasst somit gleichzeitig mögliche Lösungswege des Problems (s. Abb. 1).

Die Bezugnahme auf den Suchraum eines Problems eignet sich daher, um eine nähere Problemmklassifikation vorzunehmen. So lassen sich gut- vs. schlecht-strukturierte, statische vs. dynamische und einfache vs. komplexe Probleme unterscheiden (Jonassen, 2012).

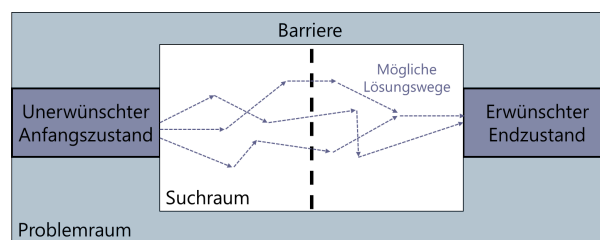


Abb. 1 Zusammengeführte Veranschaulichung des Problembegriffs nach Dörner (1987) und des Problem- und Suchraumbegriffs nach Newell und Simon (1972)

### Problemlöseverfahren

Aufgrund des gewählten Fokus der Problemlöse- und KI-Forschung, bietet sich die Betrachtung der Einteilung in algorithmisches und heuristisches Problemlösen nach Funke und Zumbach (2006) an. Dabei wird unter algorithmischen Problemlösen solches verstanden, bei dem spezifische Regeln befolgt werden können, die zwingend zu einer Lösung des

Problems führen. Ein derartiges Vorgehen ist somit stark auf das jeweilige Problem zugeschnitten, kaum übertragbar und mit einem Kochrezept vergleichbar, sodass es sich vor allem für gut-strukturierte, statische Probleme eignet. Demgegenüber werden beim heuristischen Problemlösen abstrahierte Regeln genutzt, die besser transferfähig und sogar domänenunabhängig sein können (z. B. Mittel-Ziel-Analyse). Dieses Vorgehen eignet sich ebenfalls für dynamische, schlecht-strukturierte und komplexe Probleme, kann jedoch keine Lösung des Problems garantieren.

### Meilensteine der KI-Forschung

Nachfolgend werden Meilensteine der KI-Forschung skizziert, die von Bedeutung für die Problemlöseforschung sind und Potentiale und Grenzen verschiedener KI-Strömungen zeigen.

#### *Beginn moderner KI-Forschung (1950er)*

Zu Beginn der KI-Forschung stand die Idee der Modellierung menschlicher, kognitiver Prozesse im Fokus, sodass die Entwicklung verschiedener Programme folgte, die diese Prozesse nachahmten (Feltovich, Prietula, & Ericsson, 2018). Zu den zentralen Ergebnissen zählen unter anderem der Logic Theorist (LT, Newell & Simon 1956) und der General Problem Solver (GPS, Ernst & Newell, 1969), die sich algorithmischer und heuristischer Verfahren bedienten. Diese Entwicklungen befassten sich vor allem mit gut-strukturierten Problemen wie Schach oder mathematischen Beweisen (Feltovich, Prietula & Ericsson, 2018) sowie mit der Formalisierung von Problemlösewissen (Görz, Braun & Schmid, 2021).

#### *AI Winter (ab 1980er)*

Die bisher zentralen wissensbasierten Systeme stießen in den folgenden Jahren an Grenzen, sodass Weiterentwicklungen sich verlangsamen und eine Neuorientierung zu anderen Methoden, wie den neuronalen Netzen, stattfand (Görz, Braun & Schmid, 2021). Diese Phasen von Enttäuschung und einem Rückgang von Fördermitteln nach einem vorherigen Aufschwung und Optimismus werden als *AI Winter* bezeichnet (Amaratunga, 2023).

#### *Etablierung Machine Learning (ab 2000er)*

Nachfolgend etablierten sich Methoden des Maschinellen Lernens, welche darauf abzielten, Systeme zu entwickeln, die selbständig intelligentes Verhalten lernen, ohne auf expliziten Regeln zu basieren (Amaratunga, 2023). Im Gegensatz zu algorithmischen und heuristischen Verfahren, die eine mehr oder weniger abstrakte Form von Regeln zum Problemlösen verwenden, sind Verfahren des Maschinellen Lernens grundlegend beispielbasiert (vgl. ebd.). Diese Verfahren erwiesen sich als sehr erfolgreich und waren in der Lage auch komplexere Probleme mit großen Datenmengen zu bearbeiten (vgl. ebd.). Gleichzeitig wird der Lösungsweg zu einer Black-Box, sodass keine Erklärbarkeit bzw. Interpretierbarkeit der Modelle mehr möglich ist (Bauckhage, Fürnkranz, & Paaß, 2021).

#### *Veröffentlichung von ChatGPT und gesellschaftliche Verbreitung von KI-Tools (ab 2022)*

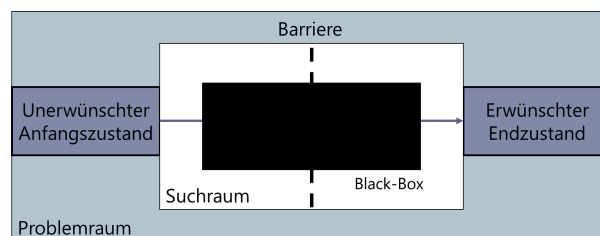


Abb. 2 Zusammengeführte Veranschaulichung des Problembegriffs nach Dörner (1987), des Problem- und Suchraumbegriffs nach Newell & Simon (1972) und eines unbekannten Lösungswegs im Sinne einer Black-Box

Mit der Veröffentlichung von ChatGPT (OpenAI, 2022) hat sich neben der technisch-methodischen Weiterentwicklung im Bereich von KI vor allem die Verbreitung und Nutzung entsprechender Systeme verändert. Insbesondere Large Language Models (LLMs) haben sich seither in der breiten Gesellschaft etabliert (UNESCO, 2023) und werden nicht mehr nur im Bereich der Informatik verwendet. Diese Veränderung im Hinblick auf die Anwender:innen verlangt somit nach einer Aufklärung im Sinne einer AI-Literacy (z. B. Ng et al., 2021), die eine sinnvolle Nutzung dieser Systeme überhaupt erst ermöglicht. Nur so können Fehlvorstellungen (z. B. Bewersdorff et al., 2021) adressiert und im Rahmen weiterer Forschungsfelder das Einhalten guter wissenschaftlicher Praxis ermöglicht werden.

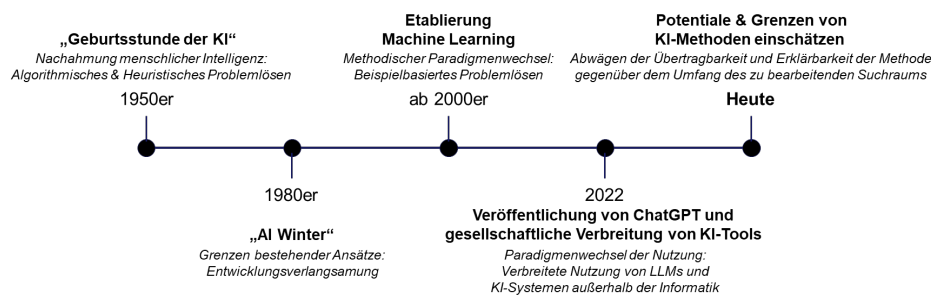


Abb. 3 Meilensteine der KI-Forschung aus Perspektive der Problemlöseforschung

### Zusammenfassung

Für die Betrachtung von Verfahren aus dem Bereich der Künstlichen Intelligenz im Kontext naturwissenschaftsdidaktischer Forschung können anhand des Beitrags drei wesentliche Konsequenzen gezogen werden.

Während klassische KI-Methoden im Sinne algorithmischen und heuristischen Problemlösens eine Analogie zu menschlichen kognitiven Prozessen und deren Wissensorganisation erlauben und eine hohe Transparenz der Lösungsverfahren ermöglichen, eignen sie sich primär zur Lösung gut-strukturierter Probleme mit kleinem Suchraum. Demgegenüber ermöglichen z. B. Verfahren des Maschinellen Lernens die Bearbeitung komplexer Probleme mit größeren Suchräumen. Diese Modelle sind jedoch stark problemspezifisch und erlauben somit kaum Transfer auf weitere Daten.

Die Betrachtung der algorithmischen und heuristischen Problemlöseverfahren im Vergleich zu beispielbasierten Verfahren zeigt bereits exemplarisch, dass einige KI-Methoden die Zugänglichkeit zur Erklärbarkeit oder Interpretierbarkeit auf einer grundsätzlichen Ebene verhindern (vgl. Bauckhage, Fürnkranz, & Paaß, 2021) und zwingend eine Limitation der Transparenz im Sinne einer Black-Box zu berücksichtigen ist.

Für eine angemessene Bewertung von Methoden, Ergebnissen und Interpretationen, die auf der Nutzung von KI-Systemen beruhen, ist zunächst zwingend notwendig zu identifizieren, welche Art von KI-Verfahren zugrunde gelegt wurden und mit welchem Ziel sie eingesetzt wurden. Dabei können ebenfalls Kombinationen der aufgeführten Methoden oder auch vollkommen andere Verfahren denkbar sein.

Insgesamt muss für jeden Anwendungsfall genau geprüft werden, i) welche Verfahren das Problem am besten lösen können, ii) wie transferfähig und transparent das gewählte Modell und die generierte Lösung aufgrund des gewählten Verfahrens sind und iii) welche Interpretation im Kontext des betrachteten Forschungsanliegens anhand der gewählten Methode zulässig ist.

## Literatur

- Amaratunga, T. (2023) *Understanding large language models. Learning their underlying concepts and technologies*. Apress.
- Bauckhage, C., Fürnkranz, J. & Paaß, G. (2021). Vertrauenswürdige, transparente und robuste maschinelle Lernen. In G. Görz, U. Schmid, & T. Braun (Hrsg.), *Handbuch der Künstlichen Intelligenz* (6. Aufl., S. 429–508). Walter de Gruyter. <https://doi.org/10.1515/9783110659948-013>
- Bewersdorff, A., Zhai, X., Roberts, J. & Nerdel, C. (2023). Myths, mis- and preconceptions of artificial intelligence: A review of the literature. *Computers and Education: Artificial Intelligence*, 4, 100143.
- Brandenburger, M. (2017). *Was beeinflusst den Erfolg beim Problemlösen in der Physik? Eine Untersuchung mit Studierenden*. Logos Verlag Berlin. <https://doi.org/10.5281/zenodo.437756>
- Dörner, D. (1987). *Problemlösen als Informationsverarbeitung* (3. Aufl.). Kohlhammer Verlag.
- Ernst, G. W. & Newell, A. (1969). *GPS: A case study in generality and problem solving*. Academic Press.
- Feltovich, P. J., Prietula, M. J. & Ericsson, K. A. (2018). Studies of expertise from psychological perspectives: Historical foundations and recurrent themes. In K. A. Ericsson, R. R. Hoffman, A. Kozbelt & A. M. Williams (Hrsg.), *The Cambridge Handbook of Expertise and Expert Performance* (2. Aufl., S. 59–83). Cambridge
- Frige, G. (2001). *Wissen und Problemlösen: Eine empirische Untersuchung des wissenszentrierten Problemlösens im Gebiet der Elektrizitätslehre auf der Grundlage des Experten-Novizen-Vergleichs*. Logos Verlag Berlin.
- Funke, J. & Zumbach, J. (2006). Problemlösen. In H. Mandl & H. F. Friedrich (Hrsg.), *Handbuch Lernstrategien* (S. 206–220). Hogrefe Verlag GmbH & Company KG.
- Görz, G., Braun, T. & Schmid, U. (2021). Einleitung. In G. Görz, U. Schmid, & T. Braun (Hrsg.), *Handbuch der Künstlichen Intelligenz* (6. Aufl., S. 429–508). Walter de Gruyter. <https://doi.org/10.1515/9783110659948-001>
- Jonassen, D. H. (2012). Problem typology. In N. M. Seel (Hrsg.), *Encyclopedia of the Sciences of Learning* (S. 2683–2686). Springer. [https://doi.org/10.1007/978-1-4419-1428-6\\_209](https://doi.org/10.1007/978-1-4419-1428-6_209)
- Neumann, K., Kuhn, J. & Drachsler, H. (2024). Generative Künstliche Intelligenz in Unterricht und Unterrichtsforschung—Chancen und Herausforderungen. *Unterrichtswissenschaft*, 52(2), 227–237.
- Newell, A. & Simon, H. A. (1956). The logic theory machine: A complex information processing system. *IRE Transactions on Information Theory*, IT-2, No. 3, 61–79.
- Newell, A. & Simon, H. A. (1972). *Human Problem Solving*. Prentice-Hall.
- Ng, D. T. K., Leung, J. K. L., Chu, S. K. W. & Qiao, M. S. (2021). Conceptualizing AI literacy: An exploratory review. *Computers and Education: Artificial Intelligence*, 2, 100041. <https://doi.org/10.1016/j.caeai.2021.100041>
- OpenAI. (2022, November 30). *ChatGPT: Optimizing language models for dialogue* [Blog post]. OpenAI. <https://openai.com/blog/chatgpt/>
- Plicht, K. (2024). *Ein Physikübungskonzept zur Förderung der Problemlösekompetenz: Entwicklung und empirische Evaluation eines Strategietrainings auf der Basis von Expertisemerkmalen*. Logos Verlag Berlin. <https://doi.org/10.30819/5875>
- Tschisgale, P. (2024). *Towards better cultivating tomorrow's STEM workforce: An investigation into participants' needs, predictors of success, and physics problem-solving abilities in the physics olympiad*. <https://nbn-resolving.org/urn:nbn:de:gbv:8:3-2024-01174-8>
- UNESCO. (2023). *Guidance for generative AI in education and research*. United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization. <https://doi.org/10.54675/EWZM9535>
- Woitkowski, D. (2021). Fachwissen und Problemlösen im Physikstudium. *PhyDid B – Didaktik der Physik – Beiträge zur DPG-Frühjahrstagung*, 1. <https://ojs.dpg-physik.de/index.php/phydid-b/article/view/1187>