

Bodo Krause

Bedingungen und Formen kognitiven Lernens

1. Ausgangssituation

Lernen ist der grundlegende Prozess, der die Fähigkeit der Adaptation an Umweltbedingungen ausmacht und der in der Evolution den entscheidenden Vorsprung intelligenten Verhaltens zu begründen gestattet (vgl. dazu Klix, 1980; Klix und Lanius, 1999). Schon Aristoteles zitiert in seinem Band 13 „Über die Seele“ Empedokles mit dem Satz: „Nämlich auf Grund des Gegebenen erwächst in den Menschen die Einsicht“ und schlussfolgert, dass es notwendig sei zu untersuchen, wie dieses Denken stattfindet. Diese Wege der Erkenntnis zu untersuchen, liefert also eine wesentliche Quelle für das Verständnis intelligenter Systeme. Dabei verstehen wir unter intelligenten Systemen allgemein lernfähige Systeme, unabhängig davon ob dies natürliche Systeme (Menschen, Tiere, Pflanzen oder vielleicht Marsbewohner) oder künstliche Systeme (lernende Computerprogramme, neuronale Netzwerke oder Agentensysteme) sind. Indem wir der Eigenschaft der Lernfähigkeit nachgehen, werden wir unterschiedliche Lernformen differenzieren und speziell die Bedeutung der Formen kognitiven Lernens für die Entwicklung der Kognitionstechnologien diskutieren.

Für den Lernbegriff gibt es (u.a. mit Bezug auf die unterschiedlichen Anwendungsbereiche) vielfältige Kennzeichnungen, die in der Literatur vielfach diskutiert sind. Für unser Anliegen schränken wir uns auf eine Begriffsbestimmung ein, die Friedhart Klix (1971) im Rahmen des organismischen Informationsverarbeitungsansatzes im Standardlehrbuch „der naturwissenschaftlichen Grundlagen der Allgemeinen Psychologie“ gegeben hat: „Mit Lernen bezeichnen wir danach jede umgebungsbezogene Verhaltensveränderung, die als Folge einer individuellen (systemeigenen) Informationsverarbeitung eintritt.“ (S. 347)

Klix betont dabei drei wesentliche Eigenschaften dieses Lernbegriffs:

- die *Abgrenzung von artspezifischen phylogenetisch vorgeformten Verarbeitungsleistungen*,
- den *notwendigen Umgebungsbezug* und
- die aus der Informationsverarbeitung *resultierende Verhaltensänderung*.

Mit Bezug auf die notwendig nachzuweisende Behaltensleistung formuliert Klix (1971, S. 348): „Lernen besteht in der Ausbildung oder Korrektur von individuellem Gedächtnisbesitz.“

Dieser Lernbegriff kann als Verallgemeinerung vieler vorangehender Interpretationen und Definitionsansätze des Lernens verstanden werden, und es wird sich im Weiteren zeigen, dass dieser Lernbegriff sowohl weit genug als auch hinreichend präzise ist, um natürliche und künstliche Lernformen unter dem Aspekt der Kognitionstechnologien zu unterscheiden und zu diskutieren.

2. Zur Spezifik des kognitiven Lernens

Im Rahmen unserer Thematik ergibt sich die Frage, was das Spezifische am kognitiven Lernen ist. Der Begriff Kognition entstammt dem lateinischen Wort „cognoscere“ (erkennen, erfahren) und wird in der Literatur in vielfältigem, oft schillerndem Zusammenhang verwendet. Daher wollen wir den Begriff des kognitiven Lernens in Anlehnung an die obige Definition des Lernens und seine Diskussionen zu höheren Intelligenzleistungen dadurch kennzeichnen, dass „The result of a cognitive learning step is a generalized knowledge structure that includes elements which are not confirmed by behavioural feedback and which are of relevance for future behaviour.“ (Krause 1993, S. 231). In diesem Sinn erzeugt jeder kognitive Lernschritt „a potential advantage for the behaviour“.

Wichtig ist in diesem Zusammenhang, dass dieser potentielle Verhaltensvorteil als neuer Gedächtnisbesitz in dem Sinne hypothetisch ist, dass er gegenüber der Umwelt in seinem Wahrheitsgehalt nicht überprüft ist. Damit wird auch die Möglichkeit einbezogen, dass durch nachfolgendes Handlungsgeschehen (Realverhalten) Modifikationen der Gedächtnis- (Behaltens-) einträge entstehen können (feedback effect).

Dies präzisieren wir (Klix, Krause u.a. 1989) mit der folgenden Kennzeichnung: „We define *cognitive learning as a feedback-free change of knowledge organisation, due to internal information processing. Cognitive learning can change large amounts of well-arranged old knowledge bodies through local information extraction.*“ (S. 26)

Allgemeiner begründet Klix (1989), dass es drei unterschiedliche Wurzeln („roots“) des menschlichen Wissens gibt:

- die persönliche (individuelle) Erfahrung,
- Instruktionen und die sprachliche Kommunikation,
- „knowledge due to man’s own thought i.e. due to inference or reasoning, and the recognition of relations or contradictions between memory units“ (S. 321).

Die Eigenschaften kognitiven Lernens werden hier wie folgt charakterisiert: “The latter is called cognitive learning, (1) since *learning forms or corrects memory contents* through information processing, and (2) it is due to *inference that does not require reinforcement.*“ (S. 321-322)

Zwei einfache Beispiele sollen diese Spezifik des kognitiven Lernens verdeutlichen und voneinander abgrenzen:

- Jagdhunde werden u.a. dahingehend ausgebildet, dass sie bei einem bestimmten Ton aus einer Hundepfeife zum Jäger zurückkehren. Dies wird als bedingter Reflex ausgebildet (konditioniert) und kann durch die Manifestationshäufigkeit als assoziatives Lernergebnis beschrieben werden. Auf Pfeiftöne für andere Hunde, die sich in der Regel unterscheiden, reagiert der Hund nicht. Die Verhaltensänderung beschränkt sich also ausschließlich auf den erworbenen bedingten Reflex. Dies enthält demnach keinen kognitiven Lernenschritt.
- Anders ist das in den Untersuchungen, die Wolfgang Köhler (1918) in der Versuchsstation auf Teneriffa an Haushühnern durchgeführt hat. Sein Paradigma betraf eine Diskriminationsanforderung, wobei zwischen einem helleren und einem dunkleren Reiz zu unterscheiden war und das Haushuhn natürlich den belohnten Targetreiz (z.B. den helleren Reiz) erlernte. Bis hierher ist das ebenfalls durch Assoziieren (vergleichbar dem Hundebeispiel) zu erklären. Entscheidend nun Köhlers weiterführender Gedanke dem Huhn neben dem Targetreiz einen

neuen Reiz anzubieten, der die Helligkeit des Targetreizes übertraf. Die beiden Entscheidungsalternativen sind nun klar:

- Wählt das Huhn weiterhin den Targetreiz, dann bestätigt es das Lernen durch Assoziieren der Reizkonfiguration.
- Wählt das Huhn den nunmehr helleren (neuen) Alternativreiz, dann hat es eine Relation zwischen den Reizen als entscheidungsrelevantes Kriterium verwendet, das vorherige relationale Lernergebnis also auf die potentiell neue Situation übertragen.

Genau letzteres trat auf und belegt, dass hier ein Lernergebnis entstanden ist, das nicht an die Manifestationshäufigkeit des Targetreizes gebunden ist sondern eine potentiellen Übertragungsleistung enthält, die im obigen Sinn also ein einfacher kognitiver Lernschritt ist (vgl. Krause, 2009).

3. Formen kognitiven Lernens

Die obige Charakteristik des kognitiven Lernens hebt zwei Grundmerkmale hervor:

- Kognitives Lernen entsteht als Resultat interner Informationsverarbeitungsprozesse und bewirkt Modifikationen des Gedächtnisbesitzes.
- Kognitive Lernschritte, genauer die Modifikationen des Gedächtnisbesitzes, erfolgen im Wesentlichen rückmeldungsfrei und begründen einen potentiellen Verhaltensvorteil.

Formen des kognitiven Lernens werden in der Literatur unter verschiedenen Bezeichnungen diskutiert und häufig durch den übergreifenden Begriff des einsichtigen Lernens beschrieben, der aus der Gestaltpsychologie abgeleitet wurde. Präziser und mit Bezug zu den von Klix (1989) aufgeführten Wurzeln kognitiven Lernens unterscheiden wir folgende Grundformen:

- *Lernen durch Inferenzen oder Reasoning*, also das Erkennen und Nutzen von induktiven oder deduktiven Lernschritten, von rekursiven Zusammenhängen, von seriellen Zusammenhängen (z.B. von Wiederholungen/Rhythmen oder Symmetrien im Zeitablauf), analoges und fall-basiertes Schließen.
- *Lernen durch Abstraktion oder Generalisierung*, also Formen der Generalisierung von Merkmalen, Begriffen oder Beispielen, wie die Generalisierung auf Merkmalsdimensionen, die Generalisierung auf Merkmals- oder Begriffsstrukturen, insbesondere auf hierarchische Strukturierungen mit Oberbegriffen. Deren Bedeutung kennzeichnete schon Einstein (1921) mit den Worten: „Begriffe und Begriffssysteme erhalten die Berechtigung nur dadurch, dass sie zum Überschauen von Erlebniskomplexen dienen; eine andere Legimitation gibt es für sie nicht“ (S. 2). Dörner (2012) betont in diesem Kontext besonders die Flexibilität bei der Nutzung der Umgangssprache, die bis hin zu Bedeutungswechseln reicht.
- *Lernen aus Fehlern und/oder Widersprüchen*, also die interne Verarbeitung von Misserfolgen in der Handlungsregulation (Zielerreichung), die zu modifiziertem Gedächtnisbesitz führt.
- *Lernen durch Vergessen*, das als kognitiver Lernschritt ebenfalls Veränderungen am Gedächtnisbesitz bewirken kann und damit verhaltensrelevant wird.

4. Kognitives Lernen im Rahmen von Kognitionstechnologien

Einleitend sei festgestellt, dass die von Lutz Fleischer (2011) zu Beginn der 12. Leibniz-Konferenz „Kognitionstechnologien 2011“ des LIFIS ausgeführten begrifflichen Klärungen mit der Betonung des menschlichen Faktors völlig in Übereinstimmung mit den begrifflichen Präzisierungen des kognitiven Lernens stehen und damit letzteres als einen essentiellen Prozess von Kognitionstechnologien ausweisen. Fleischer betont diesen menschlichen Faktor, weil er „psychische, kognitive und soziale Eigenschaften des Menschen ... als Einflussfaktoren in die sozio-technische Konstruktion einbringt“. Für mich ist es auch bemerkenswert, dass der Begriff „künstliche Intelligenz“ bei dieser Kennzeichnung von Kognitionstechnologien nicht auftritt.

Ich will daher thesehaft auf die Rolle von menschlicher und künstlicher Informationsverarbeitung im Rahmen von Kognitionstechnologien eingehen und führe dazu folgende Aspekte an.

- Information wird in unterschiedlichen Zusammenhängen diskutiert. Klix (1971) hat die Bedeutung dieses Begriffs im Zusammenhang mit dem menschlichen Verhalten dargestellt und die Bedeutung von Information für die menschliche Verhaltensregulation umfassend begründet. Es verbleibt hier folgende Besonderheiten festzuhalten:
 - Information existiert nicht objektiv, sondern ist immer an einen Träger gebunden, der die Bedeutungszuordnung herstellt, d.h. erst durch den Träger und seinen Wissensbestand entsteht der Informationscharakter.
 - Information (der Begriff wurde laut Wikipidea durch den Mathematiker John W. Tukey vermutlich 1946 oder bereits 1943 vorgeschlagen) wird theoretisch vorwiegend nach dem Ansatz von Shannon (1948) durch binäre Kodierungen und dann in der Maßeinheit BIT gekennzeichnet (dies gilt auch für den Entropiebegriff). Diese binäre Kennzeichnung orientiert auf die Veränderung (oder Unterschied) eines Zustands, die eintreten kann oder nicht (0/1). Für natürliche Informationsverarbeitungsprozesse ist dies jedoch eine Einschränkung, die für Lebensprozesse insofern problematisch ist, als menschliche Informationen auch/häufig im Sinne der mehrwertigen Logik auftritt. Bredenkamp (1986) kennzeichnet insgesamt, dass Formen der dreiwertigen Logik für psychologische Informationsverarbeitungsprozesse bedeutsam sind. Dies ist eine Aufweichung des Konzeptes des „Tertium non datur“, d.h. der Annahme, dass Menschen die Kategorienzugehörigkeit mit absoluter Sicherheit entscheiden. Für diesen Typ von Anforderung hat Bredenkamp (1986) gezeigt, dass er der Ausbildung unscharfer Begriffe entspricht und auf dem Regellernen basiert. Damit wäre die Ausbildung unscharfer Begriffe als kognitive Lernform im obigen Sinne ausgewiesen. Solche Lernprozesse sind mit dem Ansatz der „fuzzy sets“ (Zadeh, 1965) modellierbar.
In eigenen Untersuchungen haben wir (Krause, Gauger 1999; Krause, Beyer 2006, Krause 2009) nachweisen können, dass der Erwerb solcher unscharfen Begriffe sowohl im Rahmen der natürlichen als auch durch Modelle der künstlichen Intelligenz erfolgen kann, aber keine einfache Erweiterung der Prädikatenlogik ist.
- In Bezug auf künstliche Intelligenz erscheinen folgende Besonderheiten für die natürliche Intelligenz bedeutsam:
 - die Erzeugung effektiver Lösungen unter den Bedingungen beschränkter Ressourcen (Speicherkapazität, Verarbeitungsgeschwindigkeit),
 - die Adaptivität an sich verändernde Umwelten,
 - die Rolle von Motiven und Emotionen als „Katalysatoren des Handelns“ (Klix, 1971),
 - die Wirkung sozialer Herausforderungen (Klix, 1995, S.26). Diese sind prototypisch von

- Dörner und Mitarbeitern (1983) mit der Simulationsstudie der Stadt Lohhausen belegt worden, die das Entscheidungsverhalten der Probanden eindeutig in Abhängigkeit von politischen Überzeugungen kennzeichnet.
- letztendlich auch die Rückwirkung von Erfolg/Misserfolg auf Motive und Emotionen. Auch hierzu finden wir eine Vielzahl von Beispielen und Erklärungsansätzen in „Die Logik des Misslingens“ bei Dörner (1989),
 - die Wirkung von Vergessensprozessen.

In diesem Kontext ist die aktuelle Differenzierung von natürlicher und künstlicher Intelligenz interessant. Dörner (2012) hat durch eine übergreifende, allgemeine Definition des Begriffs Intelligenz dazu einen tragfähigen Zugang eröffnet. Nach Dörner ist (und dies ist eine innovative Generalisierung vieler bisheriger Erklärungsversuche des Intelligenzbegriffs) das Wesen von Intelligenz daran gebunden, dass ein System in der Lage ist, Methoden zu Lösung von Problemen (Anforderungen) zu generieren. Dies erscheint im ersten Moment simpel, hat aber fundamentale Konsequenzen für das Verständnis von Intelligenz, insbesondere auch für die Differenzierung von natürlicher und künstlicher Intelligenz.

Wesentlich werden im Rahmen der künstlichen Intelligenz unterschiedliche Lernformen genutzt. So werden in neuronalen Netzen bevorzugt Strategien wie das „error-back propagation“ und das „simulierte annealing“ verwendet. Beiden Formen ist gemeinsam, dass sie Lernserien (Trainingsmengen) voraussetzen und anhand dieser Lernbeispiele die innere Struktur im Sinne der Fehlervermeidung oder der Selbstorganisation durch das „Abkühlen“ zu einem Entropieminimum korrigieren. Dies sind nach unserem Verständnis keine Formen, die dem kognitiven Lernen entsprechen. Letzteres kann aber u.a. in Produktionssysteme eingebracht (also programmiert) werden, wobei dann die if-then-Regeln beispielsweise bzgl. gleicher Konklusionen in den Prämissen generalisiert werden können und damit potentielle Verhaltensvorteile erzeugen. Letzteres gilt auch für Formen des fallbasierten Schließens, die dem analogen Schließen entsprechen können. Entscheidend dabei ist, dass auch hier die Methoden der Generalisierung implementiert und nicht vom System erzeugt sind. Somit verbleibt, dass es bisher keine künstlichen Systeme gibt, die eigenständig Methoden zur Anforderungsbewältigung erzeugen können, also im obigen Sinne nach Dörner intelligent sind.

An dieser Stelle sei nochmals darauf hingewiesen, dass auch Systeme der künstlichen Intelligenz lernfähig sein können, wobei ein Begriff wie kognitives Lernen in diesem Kontext nicht gebräuchlich ist. Im Sinne unserer früheren Charakteristik ist es auch sehr vernünftig, hier abgrenzend vom maschinellen Lernen zu sprechen. Weiterführend bedeutet dies auch, dass Systeme der künstlichen Intelligenz wohl informationsverarbeitende Systeme mit Informationsaufnahme, -speicherung und -verarbeitung sind, aber keine Modelle des menschlichen Informationsverarbeitungsprozesses. Was Systeme der künstlichen Intelligenz leisten, kann in Leistungsparametern ausgedrückt werden und ist häufig der Leistung natürlicher Systeme überlegen, insbesondere dann, wenn es darum geht, große Problemräume zu durchsuchen und daraus Verhaltensentscheidungen abzuleiten. Diese Systeme sind jedoch keine Modelle menschlicher Informationsverarbeitung sondern Systeme, die vergleichbare Leistungen zu erbringen suchen. Ersteres wird auch nicht behauptet und der Turing-Test selbst ist das Paradebeispiel dafür, menschliches und künstliches Verhalten miteinander zu vergleichen. Man könnte auch sagen, dass das Ergebnis des Turing-Tests ein Maß dafür ist, wie gut künstliche Verhaltensleistungen mit natürlichen Verhaltensleistungen übereinstimmen, im methodischen Sinne ist dies ein Test für die Anpassungsgüte.

- Die angesprochene Überlegenheit der natürlichen Intelligenz bezieht sich auf folgende Aspekte:
 - die Selektivität der Informationsaufnahme. So konnte schon de Groot (1966) zeigen, dass Schachmeister real entstandene Spielstellungen viel besser memorieren als Laien. Dieser Vorteil hebt sich jedoch auf, wenn die Schachfiguren zufällig auf dem Schachbrett angeordnet sind.
 - die Rationalität der Informationsverarbeitung einschließlich des Vergessens,
 - die kognitive Leistungsfähigkeit zur Strukturbildung und Abstraktion,
 - die Ausbildung zielführender Heuristiken,
 - die Katalysatorenwirkung von Motiven und Emotionen auf die Prozesse der Informationsverarbeitung,
 - die Nutzung der Sprache als Kommunikations- und effektives Speichermedium von Wissen.

Ich will nochmals erinnern, dass es in diesem Beitrag nicht um den Vergleich von natürlicher und künstlicher Intelligenz geht. Dies wäre ein so umfassendes Thema, das bis hin zur Frage führt, ob künstliche Intelligenz Bewusstsein haben kann. Letzteres wird vom kognitiven Lernen explizit gefordert. Mir geht es hier ausschließlich um die Bedeutung kognitiven Lernens im Rahmen von Kognitionstechnologien. Und in diesem Kontext ist entscheidend, dass Kognitionstechnologien in aller Regel die Schnittstelle von Mensch und Technik betreffen und dabei die Rolle und Funktion des Menschen zu beachten und dadurch das Gesamtsystem zu optimieren ist. Dabei spielen Prozesse des kognitiven Lernens eine fundamentale Rolle, da sie es sind, die menschlichen Fähigkeiten steigern, entwickeln und zielorientiert auszubilden gestatten (vgl. Krause, 2012).

5. Fazit

Für kognitives Lernen lassen sich damit im Rahmen von Kognitionstechnologien folgende Aspekte ableiten.

- Kognitives Lernen ist elementarer und essentieller Baustein des „menschlichen Faktors“ bei der Gestaltung von Mensch-Technik-Systemen mit dem von Fleischer (2012) einleitend charakterisierten „... hohem und wachsendem Stellenwert, weil er typische psychische, kognitive und soziale Eigenschaften des Menschen ... in die sozio-technischen Konstrukte einbringt“.
- Die große Variabilität kognitiver Lernformen macht deutlich, dass kognitives Lernen im Rahmen des gesamten diskutierten Bedingungsgefüges der Mensch-Technik-Interaktion auftritt und rückmeldungsfrei Gedächtnisbesitz hervorruft, der dann im Sinne von Wissen in Kognitionstechnologien wirksam wird. Daran sind ausschließlich Prozesse der internen Informationsverarbeitung beteiligt. Es wäre ein großer Gewinn, wenn es gelänge, diese Prozesse im Sinne effizienter Interaktionslösungen, also einer effizienten Rolle der Nutzer, zu triggern und durch Nutzung der potentiellen Einflüsse zu optimieren.
- Wichtig erscheint es auch im Sinne klassischer Entscheidungstheorien zwischen einem theoretischen und einem psychologischen Informationsbegriff zu unterscheiden. Für menschliches Entscheidungsverhalten bleibt eine Begrenzung auf die zweiwertige Aussagenlogik zu restriktiv. Dies gilt dann wohl auch für das kognitive Lernen, dessen potentielle Lernergebnisse eben nicht nur „wahr“ oder „falsch“ sein können, sondern vielleicht auch nur „möglich“ erscheinen. Eine Berücksichtigung dieser Unbestimmtheit würde dem Einfluss des mensch-

lichen Faktors in Kognitionstechnologien wahrscheinlich angemessen sein und auch manche Katastrophe, die man als menschliches Versagen kennzeichnet, in ihrer Entstehung nachzeichnen lassen. (vgl. dazu auch Dörner, 1989)

Prototypisch können dafür die Aspekte des kognitiven Lernens in Kognitionstechnologien die Entwicklungen von Assistenzsystemen gelten, die das Ziel haben, die Mensch-Technik-Interaktion unter den Bedingungen der menschlichen Fähigkeitsrestriktionen und ihrer potentiellen Möglichkeiten und Lernfähigkeiten zu optimieren. Dieses interdisziplinäre Forschungsfeld haben wir (Krause 2012) im Kontext der Wechselwirkung von akademischer und außerakademischer Forschung diskutiert und u.a. am Beispiel der Entwicklung von Assistenzsystemen erläutert.

Literatur

- Aristoteles (1986). Werke in deutscher Übersetzung. Band 13: Über die Seele. Akademie Verlag: Berlin
- Brendenkamp, J. (1986). Die Unterscheidung verschiedener Begriffsarten unter besonderer Berücksichtigung einer dreiwertigen Logik. *Sprache & Kognition* 3, 155-162
- de Groot, A. C. (1966). Perception and memory versus thought. Some old ideas and recent findings. In: Kleinmuntz, B. (Hrsg.). *Problem solving*. 19-50. Wiley: New York
- Dörner, D.; Kreuzig, H. W.; Reither, F. und Stäudel, Th. (1983). *Lohhausen: Vom Umgang mit Unbestimmtheit und Komplexität*. Huber: Bern
- Dörner, D. (1989). *Die Logik des Misslingens*. Rowohlt: Reinbek
- Dörner, D. (2012). *Denken und Intelligenz: Eine notwendige Begriffsklärung*. LIFIS ONLINE (in Vorbereitung)
- Einstein, A. (1921). *Geometrie und Erfahrung*. Springer: Berlin
- Fleischer, L. (2011). *Kognitionstechnologien als emerging technologies – Ein Interpretationsversuch*. Einführungsvortrag auf der 12. Leibniz-Konferenz „Kognitionstechnologien 2011“ des LIFIS, Berlin, 07.12.2011. Abstract siehe unter http://www.leibniz-institut.de/usr_files/55_kognitionstechnologien2011_abstracts.pdf
- Klix, F. (1971). *Information und Verhalten*. Deutscher Verlag der Wissenschaften: Berlin
- Klix, F. (1980). *Erwachendes Denken. Eine Entwicklungsgeschichte der menschlichen Intelligenz*. Deutscher Verlag der Wissenschaften: Berlin
- Klix, F. (1989). Concepts, Interference and cognitive learning: Towards a computer model of human active memory. In: Klix, F.; Streitz, N. A.; Waern, Y. und Wandke, H. (Eds). *Man-computer interaction research, MACINTER-II*, 321-336. Elsevier Science Publishers: North-Holland
- Klix, F.; Krause, B.; Hagendorf, H.; Schindler, R. und Wandke, H. (1989). Psychological problems concerning the lay-out of human-computer interaction: A challenge to research in cognitive psychology. In: Klix, F.; Streitz, N. A.; Waern, Y. und Wandke, H. (Eds). *Man-computer interaction research, MACINTER-II*, 3-29. Elsevier Science Publishers: North-Holland
- Klix, F. (1995). Stabilität und Wandlungen in geistigen Dispositionen des Menschen. *Sitzungsberichte der Leibniz-Sozietät* 2, 5-40
- Klix, F. und Lanius, K. (1999). *Wege und Irrwege der Menschenartigen*. Kohlhammer: Stuttgart, Berlin, Köln

- Köhler, W. (1918). Nachweis einfacher Strukturfunktionen beim Schimpansen und beim Haushuhn. Über eine neue Methode zur Untersuchung des bunten Farbensystems. Abhandlungen der Königlich Preussischen Akademie der Wissenschaften, Physikalisch-Mathematische Klasse
- Krause, B. (1986). Levels and modes of cognitive learning. In: Klix, F. und Hagendorf, H. (Eds). Human memory and cognitive capabilities, 963-975. Elsevier Science Publishers: North-Holland
- Krause, B. (1991). Components of cognitive learning. Z. Psychol. 199, 35-44
- Krause, B. (1992). Kognitives Lernen – Ansätze und experimentelle Befunde. Z. Psychol. 200, 199-223
- Krause, B. (1993). Cognitive Learning. An experiment-based approach. In: Steyer, R.; Wender, K. F. und Widamann, K. F. (Eds). Psychometric Methodology. Proceedings of the 7th European Meeting of the Psychometric Society in Trier (231-236). Gustav Fischer Verlag: Stuttgart, New York
- Krause, B. (1994). Modeling cognitive learning steps. In: Brzezinski, J. (ed.) Probability in theory-building. Rodopi: Amsterdam, Atlanta, GA
- Krause B. und Gauger, U. (1996). Learning and use of invariances: Experiments and network simulation. In: J. Brzezinski, B. Krause, T. Maruszewski (Hrsg.) Idealization in Psychology. Rodopi: Amsterdam, Atlanta, GA
- Krause, B. und Gauger, U. (1999). Erkennen logischer Regeln durch Mensch und Rechner. Vortrag bei den Neupoldsmühlern Gesprächen, durchgeführt vom Lehrstuhl Allgemeine Psychologie der Universität Jena
- Krause, B. und Beyer, L. (2006). New approaches in modelling cognitive processes. In: Witruk, E. und Lander, H.J. (Hrsg.). Kognitionspsychologische Analysen von Gedächtnisprozessen. Shaker Verlag: Aachen
- Krause, B. (2009). Mathematik in der Psychologie: Von der Strukturbeschreibung zur Modellierung psychischer Prozesse des Erlebens und Verhaltens. In: Banse, G.; Küttler, W. und März, R. (Hrsg.). Die Mathematik im System der Wissenschaften. Abhandlungen der Leibniz-Sozietät der Wissenschaften, Band 24. Trafo Wissenschaftsverlag: Berlin
- Krause, B. (2012). Entwicklung der Wechselwirkung von akademischer und außerakademischer Forschung aus Sicht der experimentellen Psychologie in Berlin. In: Bernhardt, K.H. und Laitko, H. (Hrsg.). Akademische und außerakademische Forschung in Deutschland. Tendenzen und Zäsuren eines Jahrhunderts. Abhandlungen der Leibniz-Sozietät der Wissenschaften (in Vorbereitung). Trafo Wissenschaftsverlag: Berlin
- Shannon, C. (1948). A mathematical theory of communication. Bell System Technical Journal, 27, 379-423
- Zadeh, Lotfi A. (1965). Fuzzy sets. Information and Control. 8, 338-353

[15.03.12]

Anschrift des Autors:

Prof. Dr. Bodo Krause
Waldemarstr. 15
D – 13156 Berlin
krause.bodo@web.de