

Bildungsdatenwissenschaft: ein Paradigmenwechsel für die Methodologie der Erziehungswissenschaft?

Dirk Ifenthaler

Abstract

Educational Data Science: A Paradigm Shift for the Methodology of Educational Science?

This article analyzes educational research approaches in the context of educational data science. Based on traditional research paradigms, it examines the extent to which educational data science implies a potential paradigm shift in educational science. The increasing digitalization and the resulting availability of large amounts of data open up new possibilities for gaining insights into educational processes. Educational data science is defined as the application of methods from computer science, statistics, and related disciplines to pedagogical phenomena. Central constructs such as big data, machine learning, data mining and data analytics are explained, with their interdisciplinary basis emphasized. The article also highlights the diversification of educational data science into research strands such as educational data mining and learning analytics. Despite the potential offered by the analysis of large data sets in the context of education, an analysis of educational science publications shows a low presence of data science methods. The article therefore argues for a stronger integration of educational data science into educational research by expanding curricula, continuing education programs, and promoting interdisciplinary cooperation in order to enhance the methodological diversity of educational science while addressing methodological and ethical challenges.

Einführung

Die erziehungswissenschaftliche Forschung konstituiert sich durch eine bemerkenswerte Diversität an Themenfeldern, die von aktuellen Fragen der Bildung bis hin zu philosophischen Reflexionen über Erziehung reichen (Tippelt/Schmidt-Hertha 2020). Damit verbunden ist eine enge Verknüpfung von Theorie und Praxis, die jedoch auch Spannungsfelder birgt. Einerseits besteht die Gefahr einer zu starken Praxisorientierung, die zu einer Vernachlässigung grundlagentheoretischer Fragestellungen führen könnte (Schmidt-Hertha/Tippelt 2024). Andererseits kann eine zu große Distanz zur Praxis dazu führen, dass Forschungsergebnisse wenig Relevanz für die konkreten Herausforderungen im Bildungsbereich haben (Holzer et al. 2024). Aus dieser Tradition zeich-

net sich die Erziehungswissenschaft als Disziplin durch eine Vielfalt an Forschungsansätzen aus, die sich an unterschiedlichen erkenntnistheoretischen und methodologischen Paradigmen orientieren.

Durch die zunehmende Digitalisierung in allen Bereichen der Gesellschaft haben sich nicht nur die Themenfelder für die Erziehungswissenschaft erweitert, sondern es hat sich auch das Spektrum der Forschungsmethodologien verändert und damit alternative Zugänge ermöglicht. Eine dieser erweiterten methodologischen Ausrichtung der erziehungswissenschaftlichen Forschung wird als Bildungsdatenwissenschaft (Educational Data Science) rezipiert (Peña-Ayala 2023).

Dieser Beitrag widmet sich der Analyse erziehungswissenschaftlicher Forschungszugänge im Kontext der Bildungsdatenwissenschaft. Ausgehend von einem kritischen Exkurs hinsichtlich des Wandels der erziehungswissenschaftlichen Forschung, wird die Frage erörtert, inwiefern die Bildungsdatenwissenschaft einen potenziellen Paradigmenwechsel innerhalb der Disziplin impliziert. Dabei werden sowohl die Chancen, die sich durch die Nutzung großer Datenmengen und algorithmischer Analysemethoden für die Generierung neuer Erkenntnisse über Bildungsprozesse ergeben, als auch die damit verbundenen Herausforderungen, insbesondere in Bezug auf methodologische Fragen sowie ethische Implikationen beleuchtet.

Wandel der erziehungswissenschaftlichen Forschung

Aus einer kritischen Analyse der erziehungswissenschaftlichen Forschung der letzten Dekaden ist schnell zu erkennen, dass die Disziplin ihre Rolle im traditionellen akademischen Feld stetig neu definiert und sich neuen Herausforderungen stellt, um ihren Stellenwert in der Wissenschaftslandschaft zu erhalten (Tenorth 2024). Vor diesem Hintergrund hat die erziehungswissenschaftliche Forschung in jüngster Zeit eine deutliche Hinwendung zur empirischen Bildungsforschung erfahren (Westphal/Zawacki-Richter 2017), was sich in einer erheblichen Zunahme von Ressourcen und Forschungstätigkeiten in diesem Bereich widerspiegelt (Köller 2014).

Trotz dieses Wandels stellt nach wie vor die Frage nach der Datengrundlage eine zentrale Herausforderung dar. Die zuverlässige Erhebung und Analyse von längsschnittlichen Daten über Generationen hinweg wirft in Bezug auf die Kontinuität der Datenerhebung und die Vergleichbarkeit von Daten über verschiedene Zeiträume methodologische Probleme auf (Oelkers 2014). Aber auch insbesondere im Hinblick auf limitierte und kontextspezifische Stichproben sowie Forschungszugängen werden diese Schwierigkeiten evident. So ist es aufgrund von begrenzten Ressourcen oder spezifischen Forschungsfragen nicht immer möglich, robuste Stichproben zu generieren, was nicht nur die externe Validität der Forschungsbefunde einschränkt.

Die Bildungsdatenwissenschaft bietet hier einen potenziellen Ausweg, indem sie durch die Analyse großer, digital verfügbarer Datensätze neue Möglichkeiten der Erkenntnisgewinnung eröffnet und traditionelle Stichprobenlogiken herausfordert. Folglich entstehen Gelegenheiten für die erziehungswissenschaftliche Forschung, Bildungsphänomene aus einer differenzierteren Breite und Tiefe zu untersuchen und so zu einem umfassenderen Verständnis von Bildungsprozessen beizutragen. Jedoch zeigt eine Suche nach gängigen Schlüsselwörtern im Zusammenhang mit Bildungsdatenwissenschaft in der Zeitschrift für Erziehungswissenschaft eine relativ geringe Anzahl an Treffern.¹ Die relativ geringe absolute Anzahl von Beiträgen mit diesen Schlüsselwörtern spiegelt wider, dass Ansätze in Verbindung mit Bildungsdatenwissenschaft noch eine geringe Wirkkraft innerhalb der Erziehungswissenschaft bilden. Anders: Das Verhältnis von Bildungsdatenwissenschaft zur Erziehungswissenschaft ist aktuell komplex und vielschichtig. Es lässt sich nicht als einfache Ablösung oder Konkurrenz darstellen, sondern eher als eine sich entwickelnde Ergänzung und Erweiterung des Forschungsbereichs. Diese Beobachtung unterstreicht die Notwendigkeit, die Integration der Bildungsdatenwissenschaft in die Erziehungswissenschaft weiter voranzutreiben und somit den Wandel in der erziehungswissenschaftlichen Forschung weiter zu gestalten.

Bildungsdatenwissenschaft

Im engeren Sinne kann Bildungsdatenwissenschaft als die Anwendung von Werkzeugen und Perspektiven aus der Statistik und Informatik auf pädagogische Phänomene und Probleme verstanden werden. McFarland et al. (2021) legen für Educational Data Science eine noch umfassendere Definition vor, wobei Bildungsdatenwissenschaft als Oberbegriff für eine Reihe oft unkonventioneller quantitativer Methoden (wie Maschinelles Lernen, Netzwerkanalysen und Verarbeitung natürlicher Sprache) dient, die auf den Bildungskontext angewendet werden und oft umfassende Daten verwenden. Folglich umfasst die Bildungsdatenwissenschaft die Entwicklung, Erforschung und Anwendung computergestützter Methoden zur Erkennung von Mustern in großen Sammlungen von Bildungsdaten, die ansonsten aufgrund des enormen dynamischen Datenvolumens, in dem sie existieren, schwer oder unmöglich mit herkömmlichen statistischen Verfahren zu analysieren wären. Im Folgenden werden die interdisziplinäre Ausgangsbasis der Bildungsdatenwissenschaft beleuchtet sowie erweiterte Begrifflichkeiten aus Sicht einer Diversifizierung des Forschungsbereichs ausgeführt.

1 Anzahl der Treffer in Klammern: Machine Learning (8), Learning Analytics (5), Educational Data Mining 2, Natural Language Processing (3), Bayesian Network (1), Decision Tree (0), Support Vector Machine (0).

Interdisziplinäre Ausgangsbasis

Die Wurzeln der Bildungsdatenwissenschaft lassen sich auf ein interdisziplinäres Zusammenspiel zentraler Konstrukte aus Informatik, Mathematik, Informations- und Entscheidungswissenschaft, Statistik sowie Erziehungswissenschaft zurückführen (Piety et al. 2014): Big Data (große Datenmengen; Massendaten), Machine Learning (Maschinelles Lernen), Data Mining (Datenschürfen; Datenbankauswertung) und Data Analytics (Datenanalytik).

Big Data stehen in enger Verbindung mit wachsenden (digitalen) Datenmengen, wobei die „Datafizierung“, d. h. die Umwandlung analoger Phänomene in digitale, maschinenlesbare Formate, mit dem Ende des 20. Jahrhunderts maßgeblich zu dieser Entwicklung beitrug. Neben dem rapiden Wachstum der Datenmengen und der notwendigen Weiterentwicklung von Speicherkapazitäten entstehen durch die Multimodalität von Daten neue Herausforderungen für deren Verarbeitung und Analysen (Poitras et al. 2023). Big Data werden vor diesem Hintergrund mit sieben „V“ charakterisiert (Saggi/Jain 2018): Volume, Velocity, Variety, Valence, Veracity, Variability, Value.

Machine Learning bedeutet, Computer so zu programmieren, dass diese automatisch aus Erfahrungen lernen und sich verbessern (Samuel 1959). In der Anwendung bedeutet dies, dass Maschinelles Lernen aus spezifischen Trainingsdaten analytische Modelle erstellt, welche zur automatisieren Lösung von Forschungsproblemen herangezogen werden. Die analytischen Modelle werden wiederum in algorithmische Kategorien unterschieden (Sarker 2021): Supervised (eine Funktion, die durch Menschen beschriftete Datensätze zuordnet), Unsupervised (analysiert nicht beschriftete Datensätze ohne menschliche Hilfe), Semi-Supervised (Grundlage sind eine Kombination aus beschrifteten und nicht-beschrifteten Datensätzen), und Reinforcement Learning (automatische kontextbezogene Bewertung, um die algorithmische Effizienz zu verbessern).

Data Mining ist der Prozess der Entdeckung entscheidender Muster, Modelle und anderer Arten von Phänomenen in großen Datensätzen (Phung et al. 2020), wobei der Begriff ursprünglich in den 1990er Jahren in der Datenbank-Community entstand (Piatetsky-Shapiro 2012). Folglich wurden die anfänglichen Datenbankpraktiken durch mathematische Modelle und statistische Analysen ergänzt, welche als Data Analytics bekannt sind.

Data Analytics umfasst ein umfassendes Repertoire von statistischen Modellen und Algorithmen (Runkler 2025). In dessen Vordergrund stehen vier methodische Ansätze, von der beschreibenden Analyse (Descriptive Analytics) über die explorative Datenentdeckung (Discovery Analytics) bis hin zur Vorhersage (Predictive Analytics) und empfehlungsorientierten Analyse (Prescriptive Analytics) (Demirbaga et al. 2024).

Die Zusammenschau der zentralen Konstrukte der Bildungsdatenwissenschaft deuten auf ein erweitertes Anforderungsprofil von Forschenden in der erziehungswissenschaftlichen Forschung hin (Gibson/Ifenthaler 2017). Folglich müssen Forschende der Erziehungswissenschaft ein breites Spektrum an

Kompetenzen mitbringen, das sowohl fachliche Expertise in Erziehungswissenschaft als auch methodische Kenntnisse in Datenanalyse, Statistik und Informatik umfasst. Darüber hinaus ist ein ausgeprägtes Bewusstsein für ethische Fragen (Ifenthaler 2023) und die Fähigkeit zur interdisziplinären Zusammenarbeit unerlässlich (Blackmon/Moore 2020), um die Potenziale der Bildungsdatenwissenschaft voll auszuschöpfen.

Diversifizierung

Die Weiterentwicklung der interdisziplinären Konstrukte der Bildungsdatenwissenschaft hat zu einer Diversifizierung und begrifflichen Vielfalt beigetragen, wobei sogenannte Grenzobjekte zur Unterstützung der Kommunikation zwischen den verschiedenen beteiligten Interessengruppen entstanden sind. Im Vordergrund dieser Grenzobjekte sind die Forschungsströme um Educational Data Mining (Bildungsdatenbankauswertung) und Learning Analytics (Lernanalytik) zu nennen.

Educational Data Mining hat das Ziel, mit speziellen Analysemethoden relevante Muster, Typen und Profile zu bilden und so die Datenmenge (z. B. Logfiles aus Lernplattformen) zu interpretieren und Handlungsempfehlungen abzuleiten (Romero et al. 2011). Bemerkenswert ist der Wandel innerhalb der Forschungsbeiträge um Educational Data Mining von anfänglichen Datenextraktionsmethoden hin zur Untersuchung und Entwicklung von potenziellen Vorhersagemodellen im Bildungskontext (Baker/Siemens 2015).

Learning Analytics verwenden statische Daten von Lernenden und dynamische, in Lernumgebungen gesammelte Daten über Aktivitäten (und den Kontext) der Lernenden, um diese in nahezu Echtzeit zu analysieren und zu visualisieren, mit dem Ziel der Modellierung, Unterstützung und Optimierung von Lern-Lehrprozessen, Lernumgebungen und pädagogischen Entscheidungen (Ifenthaler 2015).

Zu den zentralen datenanalytischen Strategien im Kontext von Learning Analytics gehören die oben genannten Standards der Data Analytics sowie Variationen der Regressionsanalyse wie lineare Regressionsmodelle, logistische Regressionsmodelle und hierarchische lineare Modelle (da Silva et al. 2013). Zu den weiteren stochastischen Ansätzen gehören Bayessche Netze und neuronale Netze, die Anpassungen der angewandten Algorithmen auf der Grundlage früherer Ergebnisse ermöglichen (Bartholomew 1967). Aktuelle Forschungsfragen der Bildungsdatenwissenschaft beschäftigen sich jedoch mit komplexem Parameterbeziehungen in großen Datenbasen, wobei die oben genannten analytischen Strategien offensichtliche Einschränkungen aufweisen. Neben Random Forest (Breiman 2001) und Decision Tree (Quinlan 1986) sind Support Vector Machines (SVM) eine vielversprechende alternative Datenanalyse im Kontext von Learning Analytics (Ifenthaler 2022; Ifenthaler/Widanapathirana 2014). SVM ist eine binäre Klassifizierungstechnik, die auf überwachtem Maschinellem Lernen im weit gefassten Bereich der Künstlichen Intelligenz basiert (Dru-

cker et al. 1997). Zu den Hauptanwendungen gehören Mustererkennung, Klassifizierung und Regressionsmodellierung (Steinwart/Christmann 2008).

Ifenthaler und Greiff (2022) heben die fortschreitende Diversifizierung der Bildungsdatenwissenschaft hervor, wonach sich neben den beiden oben genannten Strömungen – Educational Data Mining und Learning Analytics – weitere bedeutende Forschungsfelder etabliert haben: Social Learning Analytics (Buckingham Shum/Ferguson 2012), Curriculum Analytics (Dawson/Hubball 2014), Teaching Analytics (Sergis/Sampson 2017), School Analytics (Sergis/Sampson 2016) sowie Assessment Analytics (Sahin/Ifenthaler 2024).

Die Diversifizierung der Bildungsdatenwissenschaft markiert eine erweiterte Verflechtung unterschiedlicher wissenschaftlicher Disziplinen der traditionell interdisziplinären erziehungswissenschaftlichen Forschung. Die Analyse umfassender Datenbasen mit erweiterten Methoden der Datenwissenschaft ermöglicht neue Einblicke in Lernprozesse, Unterrichtsgestaltung, institutionelle Rahmenbedingungen und soziale Interaktionen. Dadurch können sowohl die erziehungswissenschaftliche Forschung als auch die Erkenntnisse über die Wirksamkeit von Bildungsmaßnahmen, die Gestaltung von Lernumgebungen und die Unterstützung von Lern- und Lehrprozessen erweitert werden.

Fazit und Ausblick

Angesichts der zunehmenden Verfügbarkeit von Daten aus riesigen miteinander verbundenen und lose gekoppelten Bildungssystemen entwickelt sich die Herausforderung des Datenmanagements, der Datenanalyse, -visualisierung und -interpretation, die für grundlagenorientierte Forschungserkenntnisse und praktische Implikationen von entscheidender Bedeutung sein können.

Die Auseinandersetzung in diesem Beitrag unterstreicht die Notwendigkeit, die Integration der Bildungsdatenwissenschaft in die erziehungswissenschaftliche Forschung aktiv voranzutreiben. Konkret könnte dies bedeuten, dass erziehungswissenschaftliche Studiengänge um Curricula im Bereich Data Science, Statistik und informatischer Methoden erweitert werden. Dies würde zukünftige Forschendengenerationen mit den notwendigen Kompetenzen (Bildungsdatenkompetenzen, Educational Data Literacy) ausstatten, um die Potenziale großer Datensätze adäquat zu nutzen (Gibson/Ifenthaler 2017; Papamitsiou et al. 2021; Sampson et al. 2022). Darüber hinaus sind Fort- und Weiterbildungsangebote für Forschende unerlässlich, um den Wissenstransfer und die Anwendung dieser Methoden in der aktuellen Forschungspraxis zu fördern. Parallel dazu könnten erziehungswissenschaftliche Fachgesellschaften und Herausgebende von Fachzeitschriften die kritische Auseinandersetzung mit Ansätzen der Bildungsdatenwissenschaft aktiv unterstützen. Dies könnte durch die Etablierung von thematischen Schwerpunkten, die Organisation von Tagungen und Workshops geschehen, die datenwissenschaftliche Ansätze in

der Erziehungswissenschaft thematisieren. Eine offene und kritische Auseinandersetzung mit den methodologischen und ethischen Herausforderungen, die mit der Nutzung großer Datenmengen einhergehen, ist dabei von zentraler Bedeutung (Bond et al. 2024; Tzimas/Demetriadis 2021). Dadurch kann die Erziehungswissenschaft mittels gezielter Förderung der Kompetenzentwicklung und dem Aufbau von interdisziplinären Forschungs- und Praxis Kooperationen die Chancen der Bildungsdatenwissenschaft voll ausschöpfen und gleichzeitig ihre methodologische Vielfalt bewahren sowie den gesellschaftlichen Diskurs um Bildung stärken und weiter voranbringen.

Dirk Ifenthaler, Univ.-Prof. Dr Dr. h. c., ist Lehrstuhlinhaber für Wirtschaftspädagogik – Technologiebasiertes Instruktionsdesign an der Universität Mannheim und UNESCO Co-Chair on Data Science in Higher Education Learning and Teaching an der Curtin University, Perth, Australien.

Literatur

- Baker, Ryab/Siemens, George (2015): Educational Data Mining and Learning Analytics. In: Sawyer, R. Keith (Hrsg.): The Cambridge Handbook of the Learning Sciences. Zweite Auflage. Cambridge: University Press, S. 253-272. <https://doi.org/10.1017/CBO9781139519526.016>.
- Bartholomew, David J. (1967): Stochastic Models for Social Processes. London, New York, Sydney: John Wiley & Sons.
- Blackmon, Stephanie J./Moore, Robert L. (2020): A Framework to Support Interdisciplinary Engagement with Learning Analytics. In: Ifenthaler, Dirk/Gibson, David (Hrsg.): Adoption of Data Analytics in Higher Education Learning and Teaching. Cham: Springer International Publishing, S. 39-52.
- Bond, Melissa/Khosravi, Hassan/De Laat, Maarten/Bergdahl, Nina/Negrea, Violeta/Oxley, Emily/Pham, Phuong/Chong, Sin Wang/Siemens, George (2024): A Meta Systematic Review of Artificial Intelligence in Higher Education: A Call for Increased Ethics, Collaboration, and Rigour. In: International Journal of Educational Technology in Higher Education 21, 4. <https://doi.org/10.1186/s41239-023-00436-z>.
- Breiman, Leo (2001): Random Forests. In: Machine Learning 45, 1, S. 5-32. <https://doi.org/10.1023/A:1010933404324>.
- Buckingham Shum, Simon/Ferguson, Rebecca (2012): Social Learning Analytics. In: Educational Technology & Society 15, 3, S. 3-26.
- da Silva, João Lita/Caeiro, Frederico/Natário, Isabel/Braumann, Carlos A./Esquível, Manuel L./Mexia, João Tiago (2013): Advances in Regression, Survival Analysis, Extreme Values, Markov Processes and Other Statistical Applications. Heidelberg: Springer.

- Dawson, Shane/Hubball, Harry (2014): Curriculum Analytics: Application of Social Network Analysis for Improving Strategic Curriculum Decision-Making in a Research-Intensive University. In: *Teaching & Learning Inquiry* 2, 2, S. 59-74. <https://doi.org/10.20343/teachlearninqu.2.2.59>.
- Demirbaga, Ümit/Singh Aujla, Gagangeet/Jindal, Anish/Kalyon, Oğuzhan (2024): *Big Data Analytics*. Cham: Springer. <https://doi.org/10.1007/978-3-031-55639-5>.
- Drucker, Harris/Burges, Christopher J. C./Kaufman, Linda/Smola, Alex J./Vapnik, Vladimir (1997): Support Vector Regression Machines. In: Mozer, Michael C./Jordan, Michael I./Petsche, Thomas (Hrsg.): *Advances in neural information processing systems* 9. Cambridge: MIT Press, S. 155-161.
- Gibson, David C/Ifenthaler, Dirk (2017): Preparing the Next Generation of Education Researchers for Big Data in Higher Education. In: Daniel, Ben Kei (Hrsg.): *Big Data and Learning Analytics in Higher Education. Current Theory and Practice*. Cham: Springer, S. 29-42. https://doi.org/10.1007/978-3-319-06520-5_4.
- Holzer, Julia/Grützmacher, Luisa/Ludwig, Sina/Bacher, Johann/Dumont, Hanna/Kampa, Nele/Krainer, Konrad/Lüftenegger, Marko/Maaz, Kai/Pant, Hans Anand/Prenzel, Manfred/Spiel, Christiane/Schober, Barbara (2024): Bildung gemeinsam gestalten: Empfehlungen für Projekte in Kooperation zwischen Wissenschaft, Politik und Praxis. In: *Zeitschrift für Erziehungswissenschaft*. <https://doi.org/10.1007/s11618-024-01273-0>.
- Ifenthaler, Dirk (2015): Learning Analytics. In: Spector, J. Michael (Hrsg.): *The SAGE Encyclopedia of Educational Technology*. Los Angeles: Sage, S. 448-451. <https://doi.org/10.4135/9781483346397.n187>.
- Ifenthaler, Dirk (2022): Data Mining and Analytics in the Context of Workplace Learning: Benefits and Affordances. In: Goller, Micheal/Kyndt, Eva/Paloniemi, Susanna/Damsa, Crina (Hrsg.): *Methods for Researching Professional Learning and Development. Challenges, Applications, and Empirical Illustrations*. Cham: Springer, S. 313-327. https://doi.org/10.1007/978-3-031-08518-5_14.
- Ifenthaler, Dirk (2023): Ethische Perspektiven auf künstliche Intelligenz im Kontext der Hochschule. In: Schmohl, Tobias/Watanabe, Alice/Schelling, Kathrin (Hrsg.): *Künstliche Intelligenz in der Hochschulbildung. Chancen und Grenzen des KI-gestützten Lernens und Lehrens*. Bielefeld: transcript, S. 71-86. <https://doi.org/10.14361/9783839457696>.
- Ifenthaler, Dirk/Greiff, Samuel (2022): Learning Analytics: Analyse von Bildungsdaten in der Berufsbildung. In: *Berufsbildung in Wissenschaft und Praxis*, 51, 2, S. 13-17. <https://www.bwp-zeitschrift.de/de/bwp.php/de/bwp/show/17813> [Zugriff: 21. Februar 2025].

- Ifenthaler, Dirk/Widanapathirana, Chathuranga (2014): Development and Validation of a Learning Analytics Framework: Two Case Studies Using Support Vector Machines. In: *Technology, Knowledge and Learning* 19, 1-2, S. 221-240. <https://doi.org/10.1007/s10758-014-9226-4>.
- Köller, Olaf (2014): Entwicklung und Erträge der jüngeren empirischen Bildungsforschung. In: Fatke, Reinhard/Oelkers, Jürgen (Hrsg.): *Das Selbstverständnis der Erziehungswissenschaft: Geschichte und Gegenwart* (= *Zeitschrift für Pädagogik, Beiheft, Band 60*). Weinheim: Beltz Juventa, S. 102-122. <https://doi.org/10.25656/01:9083>.
- McFarland, Daniel A./Khanna, Saurabh/Domingue, Benjamin W./Pardos, Zachary A. (2021): Education Data Science: Past, Present, Future. In: *AERA Open* 7, 1, S. 1-12. <https://doi.org/10.1177/23328584211052055>.
- Oelkers, Jürgen (2014): Praxis und Wissenschaft. Überlegungen zur Forschungsstruktur der Erziehungswissenschaft. In: Fatke, Reinhard/Oelkers, Jürgen (Hrsg.): *Das Selbstverständnis der Erziehungswissenschaft: Geschichte und Gegenwart* (= *Zeitschrift für Pädagogik, Beiheft, Band 60*). Weinheim: Beltz Juventa, S. 85-101. <https://doi.org/10.25656/01:9088>.
- Papamitsiou, Zacharoula/Filippakis, Michail E./Poulou, Marilena/Sampson, Demetrios/Ifenthaler, Dirk/Giannakos, Michail (2021): Towards an Educational Data Literacy Framework: Enhancing the Profiles of Instructional Designers and E-tutors of Online and Blended Courses with New Competences. In: *Smart Learning Environments* 8, 18. <https://doi.org/10.1186/s40561-021-00163-w>.
- Peña-Ayala, Aeljandro (Hrsg.) (2023): *Educational Data Science: Essentials, Approaches, and Tendencies*. Singapur: Springer. <https://doi.org/10.1007/978-981-99-0026-8>.
- Phung, Dinh/Webb, Geoffrey I./Sammur, Claude (Hrsg.) (2020): *Encyclopedia of Machine Learning and Data Science*. New York: Springer. <https://doi.org/10.1007/978-1-4899-7502-7>.
- Piatetsky-Shapiro, Gregory (2012): The Journey of Knowledge Discovery. In: Gaber, Mohammed Medhat (Hrsg.): *Journeys to Data Mining*. Heidelberg: Springer, S. 173-196. https://doi.org/10.1007/978-3-642-28047-4_13.
- Piety, Philip J./Hickey, Daniel T./Bishop, M. J. (2014): Educational Data Sciences – Framing Emergent Practices for Analytics of Learning, Organizations, and Systems. In: *Proceedings of the Fourth International Conference on Learning Analytics And Knowledge*. New York: Association for Computing Machinery, S. 193-202. <https://doi.org/10.1145/2567574.2567582>.
- Poitras, Eric/Dempsey, David/Crane, Brent Glan Charles/Simpson, Shelly/Siegel, Angela A. (2023): The Applications of Learning Analytics to Enhance Learning and Engagement in Introductory Programming Instruction. In: Durak, Gürhan/Cankaya, Serkan (Hrsg.): *Perspectives on Learning Analytics for Maximizing Student Outcomes*. Hershey, PA: IGI Global, S. 89-108. <https://doi.org/10.4018/978-1-6684-9527-8.ch005>.

- Quinlan, J. R. (1986): Induction of Decision Trees. In: Machine Learning 1, 1, S. 81-106. <https://doi.org/10.1023/A:1022643204877>.
- Romero, Christobal/Ventura, Sebastian/Pechenizkiy, Mykola/Baker, Ryan S. (Hrsg.) (2011): Handbook of Educational Data Mining. Boca Raton, FL: CRC Press.
- Runkler, Thomas A. (2025): Data analytics. Models and Algorithms for Intelligent Data Analysis – A Comprehensive Introduction. Wiesbaden: Springer. <https://doi.org/10.1007/978-3-658-45951-2>.
- Saggi, Mandeep Kaur/Jain, Sushma (2018): A Survey Towards an Integration of Big Data Analytics to Big Insights for Value-Creation. In: Information Processing & Management 54, 5, S. 758-790. <https://doi.org/10.1016/j.ipm.2018.01.010>.
- Sahin, Muhittin/Ifenthaler, Dirk (Hrsg.) (2024): Assessment Analytics in Education. Designs, Methods and Solutions. Cham: Springer. <https://doi.org/10.1007/978-3-031-56365-2>.
- Sampson, Demetrios/Papamitsiou, Zacharoula/Ifenthaler, Dirk/Giannakos, Michail/Mougiakou, Sofia/Vinatsella, Dimitra (2022): Educational Data Literacy. Cham: Springer. <https://doi.org/10.1007/978-3-031-11705-3>.
- Samuel, A. L. (1959): Some Studies in Machine Learning Using the Game of Checkers. In: IBM Journal of Research and Development 3, 3, S. 210-229. <https://doi.org/10.1147/rd.33.0210>.
- Sarker, Iqbal H. (2021): Machine Learning: Algorithms, Real-World Applications and Research Directions. In: SN Computer Science 2, 160. <https://doi.org/10.1007/s42979-021-00592-x>.
- Schmidt-Hertha, Bernhard/Tippelt, Rudolf (2024): Zur Situation erziehungswissenschaftlicher Forschung an Hochschulen und außeruniversitären Forschungseinrichtungen. In: Zeitschrift für Erziehungswissenschaft 27, S. 1237-1257. <https://doi.org/10.1007/s11618-024-01265-0>.
- Sergis, Stylianos/Sampson, Demetrios G. (2016): School Analytics: A Framework for Supporting School Complexity Leadership. In: Spector, J. Michael/Ifenthaler, Dirk/Sampson, Demetrios G./Isaias, Pedro (Hrsg.): Competencies in Teaching, Learning and Educational Leadership in the Digital Age. Cham: Springer, S. 79-122. https://doi.org/10.1007/978-3-319-30295-9_6.
- Sergis, Stylianos/Sampson, Demetrios G. (2017): Teaching and Learning Analytics to Support Teacher Inquiry: A Systematic Literature Review. In: Peña-Ayala, Aeljandro (Hrsg.): Learning Analytics: Fundamentals, Applications, and Trends. Cham: Springer, S. 25-63. https://doi.org/10.1007/978-3-319-52977-6_2.
- Steinwart, Ingo/Christmann, Andreas (2008): Support Vector Machines. New York: Springer. <https://doi.org/10.1007/978-0-387-77242-4>.

- Tenorth, Heinz-Elmar (2024): Erziehungswissenschaft seit 1990: Reduktion, Segmentierung, Identitätsprobleme – Vom Bedeutungsverlust einer Disziplin. In: Zeitschrift für Erziehungswissenschaft 27, S. 1191-1215. <https://doi.org/10.1007/s11618-024-01268-x>.
- Tippelt, Rudolf/Schmidt-Hertha, Bernhard (Hrsg.) (2020): Handbuch Bildungsforschung. Wiesbaden: Springer VS. <https://doi.org/10.1007/978-3-531-20002-6>.
- Tzimas, Dimitrios/Demetriadis, Stavros (2021): Ethical Issues in Learning Analytics: A Review of the Field. In: Educational Technology Research and Development 69, 3, S. 1101-1133. <https://doi.org/10.1007/s11423-021-09977-4>.
- Westphal, Andrea/Zawacki-Richter, Olaf (2017): Von der Allgemeinen Erziehungswissenschaft zur Empirischen Bildungsforschung? In: Zeitschrift für Erziehungswissenschaft 24, S. 641-669. <https://doi.org/10.1007/s11618-021-01008-5>.