

Institut für Produktion und Industrielles Informationsmanagement

Universität Duisburg-Essen, Campus Essen
Fakultät für Wirtschaftswissenschaften
Universitätsstraße 9, 45141 Essen
Tel.: +49 (0) 201 18 34007

Arbeitsbericht Nr. 55

zugleich

KI-LiveS-Projektbericht Nr. 9

Case-based Reasoning als KI-Technik zur „intelligenten“, computergestützten Wiederverwendung von Erfahrungswissen im Projektmanagement

Zelewski, S. • Schagen, J. P.



Verbundprojekt KI-LiveS: KI-Labor für verteilte und eingebettete Systeme

Förderkennzeichen: 01IS19068

GEFÖRDERT VOM



Bundesministerium
für Bildung
und Forschung

E-Mail: stephan.zelewski@pim.uni-due.de

Internet: <https://www.pim.wiwi.uni-due.de/team/stephan-zelewski/>

ISSN 1614-0842

Essen 2022

Alle Rechte vorbehalten.

Zusammenfassung

Das BMBF-Forschungsprojekt „KI-LiveS“ (KI-Labor für verteilte und eingebettete Systeme) verfolgt primär das Transferziel („Third Mission“), Erkenntnisse aus der universitären Erforschung Künstlicher Intelligenz (KI) besser in der gewerblichen Wirtschaft zu verankern, um dort Entwicklungen von innovativen Produkten, insbesondere Dienstleistungen anzuregen, die den Wirtschaftsstandort Deutschland nachhaltig stärken. In diesem Kontext befasst sich der vorliegende Projektbericht Nr. 9 des KI-LiveS-Projekts mit der Herausforderung, wie sich überwiegend natürlichsprachiges Erfahrungswissen über alte, bereits durchgeführte Projekte wiederverwenden lässt. Die KI-Technik des Case-based Reasonings (CBR) ermöglicht es, in einer Projektwissensbank mit Erfahrungswissen für ein neues Projekt nach einem ähnlichsten alten Projekt zu suchen und das einschlägige Erfahrungswissen an das neue Projekt anzupassen. Diese CBR-Technik wird anhand des 4R-Zyklus anwendungsnah beschrieben. Außerdem wird auf die Herausforderung eingegangen, die Ähnlichkeit zwischen überwiegend natürlichsprachlichem Wissen über alte und neue Projekte exakt zu messen. Hierzu wird auf Ontologien zurückgegriffen. Sie gestatten es, die sprachlichen Ausdrucksmittel für projektbezogenes Wissen in einer computerverarbeitbaren Form systematisch zu strukturieren. Darauf aufbauend wird der Prototyp jCORA für ein KI-Tool vorgestellt, das auf der Grundlage von ontologiegestütztem Case-based Reasoning die Wiederverwendung von Erfahrungswissen im Projektmanagement konkret unterstützt. Im Vordergrund stehen die Beschreibung dieses KI-Tools aus der Perspektive potenzieller Benutzer sowie ein Beispiel für die Ähnlichkeitsermittlung zwischen alten und neuen Projekten, die jeder Wissenswiederverwendung im Projektmanagement zugrunde liegt. Ebenso werden Limitationen des KI-Tools diskutiert. Abschließend erfolgen ein zusammenfassender Rückblick auf den Grundlagenteil des Case-based Reasonings aus der Perspektive des KI-Tools jCORA sowie ein Ausblick auf offene Probleme.

Abstract

The BMBF research project ‘KI-LiveS’ (AI laboratory for distributed and embedded systems) pursues primarily the third-mission-based aim of a more effective implementation of the university research of Artificial Intelligence (AI) into trade and industry in order to stimulate the development of innovative products, especially services, which strengthen the business location Germany sustainably. In this context, this project report no. 9 of the project ‘KI-LiveS’ deals with the challenge of how to reuse mostly natural language experiential knowledge about old, already executed projects. The AI technique of Case-based Reasoning (CBR) makes it possible to search for a most similar old project in a project knowledge base of experience knowledge for a new project and to adapt the relevant experience knowledge to the new project. This CBR technique is described in an application-oriented manner using the 4R cycle. This project report also addresses the challenge of accurately measuring the similarity between predominantly natural language knowledge about old and new projects. For this purpose, ontologies are used. They allow to systematically structure the linguistic means of expression for project-related knowledge in a computer-processable form. Based on this, the prototype jCORA is presented for an AI tool that concretely supports the reuse of experience-based knowledge in project management on the basis of ontology-supported case-based reasoning. The focus is on the description of this AI tool from the perspective of potential users as well as an example of similarity detection between old and new projects, which underlies any knowledge reuse in project management. Limitations of the AI tool are also discussed. Finally, a summary review of the basics of case-based reasoning from the perspective of the AI tool jCORA as well as an outlook on open problems are given.

Danksagung

Dieser Projektbericht entstand durch die Kooperation verschiedener Personen, die am KI-LiveS-Projekt mitwirkten. Dazu zählen neben den Verfassern des Projektberichts vor allem studentische Mitarbeiter des Instituts für Produktion und Industrielles Informationsmanagement, die mit großartigem Engagement die Verfasser bei der Erstellung dieses Projektberichts unterstützt haben. Eine besondere Hervorhebung verdienen Frau Svenja Fink und Frau Leonie Weber, die mit unermüdlichem Einsatz zum Gelingen des Projektberichts beigetragen haben.

Darüber hinaus fühlen sich die Mitglieder des KI-LiveS-Projektkonsortiums („Universitätspartner“) dem BMBF als Förderer des Drittmittel-Verbundprojekts sowie dem Deutschen Zentrum für Luft- und Raumfahrt e. V. (DLR) als zuständigem Projektträger für die großzügige finanzielle Projektförderung bzw. für die professionelle Projektbegleitung zu großem Dank verbunden.

Inhaltsverzeichnis

	<u>Seite</u>
Abkürzungs- und Akronymverzeichnis	IV
Symbolverzeichnis.....	VII
Abbildungsverzeichnis	VIII
Tabellenverzeichnis	IX
1 Einführung in das Realproblem der Wiederverwendung von Erfahrungswissen im Projektmanagement	1
2 Überblick über den State of the Art.....	3
2.1 Wissensmanagement im konventionellen Projektmanagement	3
2.2 Kritik am Wissensmanagement im konventionellen Projektmanagement.....	4
2.3 Überblick über projektbezogenes Wissensmanagement mit KI-Techniken	5
3 Methodischer Rahmen	12
3.1 Überblick über den Forschungsansatz	12
3.2 Analogie-Methode des Case-based Reasonings.....	15
3.3 Ontologien für die Projektmanagement-Domäne	22
4 Implementierung eines KI-Tools für ontologiegestütztes Case-based-Reasoning zur Wiederverwendung von Erfahrungswissen im Projektmanagement	28
4.1 Das KI-Tool jCORA für ontologiegestütztes Case-based-Reasoning	28
4.1.1 Überblick über das KI-Tool jCORA.....	28
4.1.2 Beschreibung des KI-Tools jCORA aus der Benutzerperspektive	31
4.1.2.1 Spezifizierung einer Projektbeschreibung	31
4.1.2.2 Ermittlung ähnlichster Projekte	36
4.1.2.3 Wiederverwendung von projektbezogenem Erfahrungswissen.....	39
4.1.2.4 Überblick über die Projektwissensbasis von jCORA	43
4.1.3 Berechnung der Ähnlichkeit zwischen alten und neuen Projekten.....	46
4.2 Limitationen des KI-Tools jCORA	51
5 Rückblick auf Grundlagen des Case-based Reasonings	54
6 Ausblick	60
6.1 Offene Probleme hinsichtlich der projektbezogenen Wissensverarbeitung mittels eines KI-Tools wie jCORA	60
6.2 Offene Probleme hinsichtlich der betrieblichen Integration von CBR-Systemen wie jCORA.....	62
Literaturverzeichnis.....	65

Abkürzungs- und Akronymverzeichnis

AAAI	Association for the Advancement of Artificial Intelligence
ACM	Association for Computing Machinery
AG	Aktiengesellschaft
AI	Artificial Intelligence
AICOM	AI Communications
Aufl.	Auflage
BMBF	Bundesministerium für Bildung und Forschung
BPMN	Business Process Model and Notation
bzw.	beziehungsweise
CBR	Case-based Reasoning
CIRP ICME	Conference on Intelligent Computation in Manufacturing Engineering
CoReLo	Integrated Corporate Social Responsibility Management in Logistics Networks
CPM	Critical Path Method
CSCC	International Conference on Circuits, Systems, Communications and Computers
DEA	Data-Envelopment-Analysis
DLR	Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt
DFG	Deutsche Forschungsgemeinschaft
DFKI	Deutsches Forschungszentrum für Künstliche Intelligenz
DIN	Deutsches Institut für Normung
d. h.	das heißt
ECCBR	European Conference on Case-Based Reasoning
ECKM	European Conference on Knowledge Management
EDV	Elektronische Datenverarbeitung
EI	Der Eisenbahningenieur
E-Learning	Electronic Learning
et al.	et alii
EU	Europäische Union
e. V.	eingetragener Verein
EWCBR	European Workshop on Case-Based Reasoning
FGN	Function Graded Material
FKZ	Förderkennzeichen
GPM	Gesellschaft für Projektmanagement
Hrsg.	Herausgeber
HS	Harmonisiertes System
IAIS	

ICCBR	International Conference on Case-Based Reasoning
ICE	International Conference on Engineering, Technology and Innovation
ICETA	International Conference on Emerging eLearning Technologies and Applications
ICITST	International Conference for Internet Technology and Secured Transactions
ID	Identification
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers
IFAC	International Federation of Accountants
IFIP	International Federation for Information Processing
IS	Information System
ISSN	International Standard Serial Number
IT	Informationstechnik
ITMC	International Technology Management Conference
IW	Institut der deutschen Wirtschaft
jColibri	java Cases and Ontology Libraries Integration for Building Reasoning Infrastructure
jCORA	java based Case- and Ontology-based Reasoning Application
Jg.	Jahrgang
JISBD	Jornadas de Ingeniería del Software y Bases de Datos
KDAD	Knowledge Discovery from Advanced Databases
KES	Knowledge-Based and Intelligent Information & Engineering Systems
KI	Künstliche Intelligenz
KI-LiveS	KI-Labor für verteilte und eingebettete Systeme
KOWIEN	Kooperatives Wissensmanagement in Engineering-Netzwerken
KSCE	Korean Society of Civil Engineers
m	Meter
MAKE	Machine Learning and Knowledge Engineering
MS	Microsoft
myCBR	my Case-based Reasoning
NLP	Natural Language Processing
No.	Number
Nos.	Numbers
Nr.	Nummer
NTT	Nippon Telegraph and Telephone Corporation
o. a.	oben angeführt
o. Ä.	oder Ähnliches
o. J.	ohne Jahresangabe
o. O.	ohne Ortsangabe

OrGoLo	Organisatorische Innovationen mit Good-Governance in Logistik-Netzwerken
ORPMS	Ontology-based Real-time Project Monitoring System in the Cloud
ORSCE	Operational Research in Sustainable Development and Civil Engineering
o. S.	ohne Seitenangabe
OTM	On the Move to Meaningful Internet Systems
o. V.	ohne Verfasser
OWL	Web Ontology Language
PAKDD	Proceedings of the Pacific Asia Conference on Knowledge Discovery and Data Mining
PM	Project Management
RDF	Resource Description Framework
S.	Seite
SECI	Socialization, Externalization, Combination, Internalization
SGAI	The Specialist Group on Artificial Intelligence
SIAM	Service Integration and Management
SIMPDA	International Symposium on Data-Driven Process Discovery and Analysis
Tel.	Telefon
TEU	Twenty-Foot Equivalent Unit
tdw	tons deadweight
u.	und
u. a.	unter anderem
UK	United Kingdom
usw.	und so weiter
URL	Uniform Resource Locator
UWL	University of West London
v. a.	vor allem
vgl.	vergleiche
WM	Wissensmanagement
WSEAS	World Scientific and Engineering Academy and Society
W3C	World Wide Web Consortium
XAI	Explainable Artificial Intelligence
XML	Extensible Markup Language
z. B.	zum Beispiel

Symbolverzeichnis

€	Euro (Währungsangabe)
%	Prozent
&	und
+	plus
*	mal
=	gleich
/	Bruch
{ }	Menge

Abbildungsverzeichnis

	<u>Seite</u>
Abbildung 1: CBR-Zyklus für die Wissenswiederverwendung im betrieblichen Projektmanagement	18
Abbildung 2: Ausschnitt aus einer Ontologie für internationale Logistik-Projekte	25
Abbildung 3: Start der Projektbeschreibung in jCORA	32
Abbildung 4: Relation hinzufügen in jCORA	33
Abbildung 5: neue Instanz erstellen.....	34
Abbildung 6: Erweiterung des Fallgraphens in jCORA	35
Abbildung 7: Attribut hinzufügen in jCORA	35
Abbildung 8: Erweiterung des Fallgraphs um ein Attribut.....	36
Abbildung 9: Einstellen von Gewichten in jCORA.....	37
Abbildung 10: Grafische Ergebnispräsentation in jCORA.....	38
Abbildung 11: Tabellarische Ergebnispräsentation in jCORA.....	38
Abbildung 12: Einstellen der Mindestähnlichkeit in jCORA	39
Abbildung 13: Anpassung der Lösungen alter Projekte an die Beschreibung eines neuen Projekts in jCORA	40
Abbildung 14: Anwendung der Anpassungsregel „Kopiere Lösung“ in jCORA.....	42
Abbildung 15: Wissensstrukturierung in jCORA anhand von Projektbeschreibung, Projektlösung und Projektbewertung.....	43
Abbildung 16: Ausschnitt aus einem mit jCORA erstellten Fallgraphen für ein IT-Projekt.....	44
Abbildung 17: Ausschnitt aus einer mit Protégé erstellten Projekt-Ontologie mit Fokus auf Projektkompetenzen	45

Tabellenverzeichnis

Seite

Tabelle 1: Transportmerkmale für das neue und ein ähnliches altes Logistik-Projekt47

1 Einführung in das Realproblem der Wiederverwendung von Erfahrungswissen im Projektmanagement

Projektmanagement stellt eine in der betrieblichen Praxis weit verbreitete – hier jedoch nicht näher betrachtete – Organisationsform und Managementmethode dar, die sich für alle Branchen jenseits der Massen- und Großserienproduktion (Lagerfertigung), insbesondere für die sogenannte Auftragsproduktion (Einzel- oder Kleinserienfertigung), grundsätzlich eignet. Dies betrifft nicht nur industriell geprägte Branchen, wie z. B. den Spezialmaschinen- und den Schiffbau, sondern vor allem auch die Dienstleistungsbranchen, wie z. B. im Bereich der Softwareproduktion und des Consultings.

Das Management von Projekten zeichnet sich aus betriebswirtschaftlicher Perspektive vor allem durch die Eigenart aus, im Wesentlichen von schwer formalisierbarem Erfahrungswissen über ältere, bereits durchgeführte Projekte abzuhängen.¹ Dieses Erfahrungswissen liegt nicht nur, jedoch überwiegend in natürlichsprachlicher Form vor. Es wird daher oftmals auch als „qualitatives“ Wissen bezeichnet. Die Berücksichtigung dieses qualitativen Erfahrungswissens stößt jedoch in der betrieblichen Realität auf eine gravierende Herausforderung („Realproblem“), die auf zwei gegenläufigen Tendenzen beruht.

Einerseits liegt es aus betriebswirtschaftlicher Perspektive nahe, das qualitative Erfahrungswissen wiederzuverwenden („knowledge reuse“)², um neue Projekte zu planen, durchzuführen, zu steuern (Anpassungsplanungen während der Projektdurchführung) und mittels Controllings zu begleiten (Projektfortschrittskontrolle und Aufbereitung von Führungsinformationen über z. B. projektbezogene Erfolgs- und Misserfolgskriterien für das „strategische“ Projektmanagement). Für diese Wissenswiederverwendung sprechen vor allem drei Gründe. Erstens wäre es im ökonomischen Sinne ineffizient, die Ressourcen, die für den erstmaligen Wissenserwerb bei einem alten Projekt eingesetzt wurden, im Falle der Unterlassung einer möglichen Wissenswiederverwendung zur Bearbeitung

1) Vgl. zur Bedeutung von Erfahrungswissen (oder kurz Erfahrungen) für das Projektmanagement DE TONI/PESSOT (2021), S. 541-542, 544, 546-547, 550-551 u. 553; NORTH (2021), S. 281-285 u. 312; RUIZ/TORRES/CRESPO (2021), S. 54-56 u. 61; MESÁROŠ/MANDIČÁK/BEHÚN et al. (2018), S. 367; DE NADAE/DE CARVALHO (2017), S. 353; MARTIN/EMMENEGGER/HINKELMANN et al. (2017), S. 551-552; MEDINA/MEDINA (2017), S. 521; PEREIRA/GONÇALVES (2017), S. 21; TODOROVIĆ/PETROVIĆ/MIHIĆ et al. (2015), S. 772; VON KOCEMBA/BELZ (2015), S. 32-33; ZELEWSKI/KOWALSKI/BERGENRODT (2015a), S. 229-232 u. 237-238; ZELEWSKI/KOWALSKI/BERGENRODT (2015b), S. 290-291; KOWALSKI/KLÜPFEL/ZELEWSKI et al. (2012), S. 81 u. 82; ZELEWSKI/BRUNS/KOWALSKI (2012), S. 171; DRÖBER (2011), passim, insbesondere S. 10-11, 20, 24-26 u. 56-58; GÖRÖG (2011), S. 17-18; ARORA/OWENS/KHAZANCHI (2010), S. 61-62; LINDNER (2010), S. 68, 70-77, 83, 123, 126, 130-131, 139, 148-150, 154, 157-158, 166, 172, 176, 182, 212, 238-239, 261, 297 u. 311-313; SAGE/DAINTY/BROOKES (2010), S. 629-630; VON WASIELEWSKI (2010), S. 4-5; FONG/KWOK (2009), S. 1348-1349; INGASON/JÓNASSON (2009), S. 59-60; SENARATNE/SEXTON (2008), S. 1303-1304; ȘTEFĂNESCU/ȘTEFĂNESCU (2008), S. 51-53; CRAWFORD/POLLACK (2007), S. 87-90; MINOR (2006), S. 25-34 (mit starker Betonung des Managements von Erfahrungswissen, aber nur sporadischem Projektbezug, wie z. B. auf S. 32 u. 33); PRETORIUS/STEYN (2005), S. 43-44; KOSKINEN (2004), S. 13; SNIDER/NISSEN (2003), S. 4-11, insbesondere S. 8-10; FRIEDRICH/IGLEZAKIS/KLEIN et al. (2002), S. 139-141 u. 149; KAMARA/AUGENBROE/ANUMBA et al. (2002), S. 61; FRANK/SCHÖNERT (2001), S. 25 u. 32-33 (mittelbar, da hier nur von Wissen die Rede ist); SCHINDLER/GASSMANN (2000b), S. 40 u. 42. Da Erfahrungswissen – zumindest im Rahmen des Projektmanagements – den Hauptbestandteil des projektrelevanten Wissens darstellt, könnten in großzügiger Begriffsauslegung auch alle Quellen angeführt werden, die sich mit der Bedeutung von Wissen für das Projektmanagement oder mit Projektmanagement als Wissensmanagement auseinandersetzen. Dies würde aber die Belege in dieser Fußnote unnötig „aufblähen“. Vgl. stattdessen die späteren Fußnoten 4 bis 6 zum Projektmanagement als wissensintensive Managementaufgabe und verwandte, wissenbezogene Projektmanagementauffassungen.

2) Vgl. zur Empfehlung der Wissenswiederverwendung beispielsweise MESKI/BELKADI/LAROCHE et al. (2021), S. 6659-6663; NORTH (2021), S. 43 u. 281; Lin/Zhang/Öou et al. (2011), S. 343-344, 346, 349 u. 357; PETTER/RANDOLPH (2009), S. 45-55; TAN/CARRILLO/ANUMBA et al. (2007), S. 18-25 (mit besonderem Bezug auf die Wissenswiederverwendung im Projektmanagement); WATSON/HEWETT (2006), S. 141-171; MAJCHRZAK/COOPER/NEECE (2004), S. 174-176 u. 184-187; MARKUS (2001), S. 58-78.

neuer Projekte erneut aufwenden zu müssen. Zweitens können in einem solchen Unterlassungsfall Lernkurveneffekte, die sich durch die wiederholte Anwendung gleichartiger Wissenskomponenten im wissensbasierten Projektmanagement erzielen lassen, nicht ausgeschöpft werden. Drittens lässt sich die „empirische Evidenz“ anführen, dass es sich in der betrieblichen Praxis für das Management von nicht-trivialen, realistischen Projekten zumeist als Erfolg versprechendster Managementansatz herausgestellt hat, ein neues Projekt nicht jedes Mal von Grund auf neu zu planen („planning from scratch“), sondern dasjenige Erfahrungswissen „intelligent“ wiederzuverwenden, das über alte, bereits durchgeführte – und möglichst ähnliche – Projekte in einem Unternehmen bereits vorliegt.³

Andererseits lässt sich die angestrebte Wiederverwendung von qualitativem Erfahrungswissen – im Gegensatz zum Operations Management von standardisierten Produktionsprozessen – kaum mit formalisierten, vor allem mathematisch-quantitativen Modellen und Methoden zufriedenstellend bewältigen. Vor allem mangelt es im betriebswirtschaftlichen Umfeld an einer wirksamen („effektiven“) Computerunterstützung für die Wiederverwendung von qualitativem Erfahrungswissen im Projektmanagement.

Aus den vorgenannten Gründen besteht ein „Umsetzungsdefekt“ zwischen dem wohlbegründeten Ziel, qualitatives Erfahrungswissen im Projektmanagement intensiv wiederzuverwenden, und den Möglichkeiten für die – vor allem computergestützte – Wissenswiederverwendung in der betrieblichen Praxis.

3) Vgl. ZELEWSKI/BRUNS/KOWALSKI (2012), S. 171; ARORA/OWENS/KHAZANCHI (2010), S. 61-62.

2 Überblick über den State of the Art

2.1 Wissensmanagement im konventionellen Projektmanagement

Wissensmanagement spielt seit geraumer Zeit in der betriebswirtschaftlichen Fachliteratur eine herausragende Rolle. Es fällt jedoch auf, dass in dieser allgemeinen Fachliteratur der spezielle Aspekt, (Erfahrungs-)Wissen im Projektmanagement (wieder) zu verwenden, kaum gewürdigt wird. Vor allem in der populären Wissensmanagementliteratur findet das betriebswirtschaftlich so bedeutsame Projektmanagement kaum explizite Beachtung.

Immerhin wird in der Fachliteratur zum Projektmanagement bereits des Öfteren gewürdigt, dass sich das Projektmanagement in der betrieblichen Praxis als eine besonders *wissensintensive* Managementaufgabe erweist.⁴ In diesem Zusammenhang wird zuweilen direkt von einem „Projektwissensmanagement“⁵ oder „project knowledge management“⁶ gesprochen.

Generell befasst sich das *Projektwissensmanagement* mit der Aufgabe, umfangreiches und oftmals wenig oder gar nicht strukturiertes – infolgedessen als „komplex“ charakterisiertes – Wissen aus unterschiedlichen, zumeist heterogenen Quellen so miteinander zu kombinieren oder – mit anderen Worten – zu integrieren, dass die angestrebten Projektziele unter Berücksichtigung der projektrelevanten Einflussgrößen („Determinanten“) im Falle von Optimierungszielen bestmöglich oder im Hinblick auf Satisfizierungsziele zumindest in zufriedenstellender Weise erfüllt werden. Zu den typischen Projektzielen gehören beispielsweise die Einhaltung von Terminen („Deadlines“) für die vereinbarte Projektfertigstellung, die Sicherung der vereinbarten Projektqualität einschließlich der

4) Vgl. DE TONI/PESSOT (2021), S. 542; NORTH (2021), S. 188, 199 u. 280-281; REN/YAN/WANG et al. (2020), S. 844 (indirekt, aber prägnant: „A lot of knowledge is generated during the period of project implementation.“); MESÁROŠ/MANDIČÁK/BEHÚN et al. (2018), S. 367; PAREDES/RIBEIRO (2018), S. 637; DE NADAE/DE CARVALHO (2017), S. 351 u. 357-359; MARTIN/EMMENEGGER/HINKELMANN et al. (2017), S. 551; MEDINA/MEDINA (2017), S. 506 u. 523; LENFLE/LE MASSON/WEIL (2016), S. 379-392; SHONGWE (2015), S. 151-155; ZELEWSKI/KOWALSKI/BERGENRODT (2015a), S. 229; KOWALSKI/KLÜPFEL/ZELEWSKI et al. (2012), S. 81; LINDNER (2010), S. VI, 42, 68, 81-82, 141 u. 295; KOSKINEN (2004), S. 16-17; ENGELBACH (2003), S. 357; GENTNER/VON MEVIUS (2003), S. 363-364 u. 368 (mit explizitem Projektbezug auf S. 367); SCHINDLER/GASSMANN (2000a), S. 8.

Vgl. auch die Ausführungen zur Bedeutung des Wissensaustauschs für den Erfolg von Projekten von RAZIQ (2020), S. 1-18, einschließlich einer entsprechenden empirischen Studie auf S. 12-16, zur Bedeutung des Wissenstransfers zwischen Projekten von REN/YAN/WANG et al. (2020), S. 844-859, die Untersuchungen zur Bedeutung des Wissenstransfers im Projektmanagement von PEREIRA/GONÇALVES (2017), S. 21-28, die empirische Studie zur Bedeutung des Wissensaustauschs zwischen Projektmanagern in MÜLLER/GLÜCKLER/AUBRY et al. (2013), S. 4-15, die Untersuchungen zur Bedeutung des Wissenstransfers zwischen Einzelprojekten im Rahmen des Multi-Projekt-Managements von GÖRÖG (2011), S. 17-20, 25-26 u. 28-29, sowie die Hervorhebung der Bedeutung von „Knowledge and Skills“ für Projektmanager in INGASON/JÓNASSON (2009), S. 59-60. Vgl. auch am Rande die häufigen Erwähnungen des engen Zusammenhangs von Projektmanagement und Wissensmanagement, wie z. B. in DE NADAE/DE CARVALHO (2017), S. 351-354 u. 360; FOSTER (1988), S. 21-22.

5) So vor allem bei LINDNER (2010) bereits Titel seines Werks sowie passim, beispielsweise S. VI-VII, 2, 68, 73, 76, 79, 84, 93-95, 121 [usw.] u. 238; vgl. auch die dort enthaltenen umfangreichen Ausführungen, insbesondere auf S. 68-94 und 121-144. Vgl. ebenso ZELEWSKI/KOWALSKI/BERGENRODT (2015a), S. 229; ZELEWSKI/KOWALSKI/BERGENRODT (2015b), S.290.

Vgl. darüber hinaus die Ausführungen von DE TONI/PESSOT (2021), S. 541-553, TODORVIĆ/PETROVIĆ/MIHIĆ et al. (2015), S. 772-774, und von KOCEMBA/BELZ (2015), S. 32-34 (jeweils zur Bedeutung des Wissensmanagements für das Projektmanagement); DRÖBER (2011), S. 24-31 (zum wissensorientierten Projektmanagement); SCHINDLER/GASSMANN (2000b), S. 39 u. 45. Vgl. auch FRANK/SCHÖNERT (2001), passim, insbesondere mit komplementären Formulierungen wie „Wissensmanagement in Projekten“ (S. 25), „Verwendung von Ansätzen des Wissensmanagements für das Projektmanagement“ (S. 27) sowie „Integration von Wissensmanagement und Projektmanagement“ (S. 31).

6) Vgl. TODORVIĆ/PETROVIĆ/MIHIĆ et al. (2015), S. 773; ZELEWSKI/KOWALSKI/BERGENRODT (2015b), S. 291; GASIK (2011), S. 23; FREY/LINDNER/MÜLLER et al. (2009), S. 1, 3 u. 6-9; BROOKES/MORTON/DAINTY et al. (2006), S. 474-475 (u. a. Beitragstitel), 478 u. 480-482.

vereinbarten Projektleistung (wie in Pflichten- und Lastenheften festgeschrieben) sowie die Erzielung eines „akzeptablen“ Projekterfolgs, wie z. B. hinsichtlich möglichst geringer Projektkosten oder möglichst hoher Projektgewinne, Projektdeckungsbeiträge oder Projektrenditen.

Für das Projektwissensmanagement existieren sowohl in der Betriebswirtschaftslehre als auch in der betrieblichen Praxis vor allem zwei Managementansätze.

- Einerseits existieren zahlreiche Methoden, Modelle und computergestützte Werkzeuge („Tools“)⁷, die dafür ausgelegt sind, Projektplanungs-, -durchführungs-, -steuerungs- und -controllingaufgaben auf mathematisch-quantitativer Grundlage zu erfüllen. Dazu gehört nicht nur, aber vor allem die Netzplantechnik. Sie liegt – zumindest konzeptionell – den meisten Projektmanagement-Softwares zugrunde. Dies gilt beispielsweise auch für „moderne“ Projektmanagementtechniken wie das Earned Value Management.
- Andererseits sind im Projektmanagement Software-Produkte verbreitet, die in erster Linie keine direkte (modell- und methodenbasierte) Planungs-, Steuerungs- oder Controllingunterstützung bieten, sondern primär der strukturierten Kommunikation zwischen den Mitgliedern eines Projektteams dienen. Dazu gehören vor allem Projektmanagement-Softwares im Umfeld des „modernen“ Agilen Projektmanagements, wie z. B. zur Unterstützung der Projektmanagementmethode („Frameworks“) Scrum.

Beide Managementansätze weisen keinen Lösungsbeitrag hinsichtlich des Realproblems auf, qualitatives Erfahrungswissen im Projektmanagement „intelligent“ wiederzuverwenden. Darauf wird im folgenden Kapitel anhand von fünf wesentlichen Herausforderungen an das projektbezogene Wissensmanagement näher eingegangen.

2.2 Kritik am Wissensmanagement im konventionellen Projektmanagement

Die Wiederverwendung von – vor allem qualitativem – Erfahrungswissen für die Planung, die Durchführung, die Steuerung und das Controlling von Projekten leidet in der betrieblichen Praxis unter fünf wesentlichen Herausforderungen (Problemen).⁸

- *Wissensakquisitionsproblem*: Das projektrelevante, vor allem qualitative Erfahrungswissen ;yl aus alten Projekten ist als „implizites“ oder „tazites“ Wissen⁹ „in den Köpfen“ von Projektmanagern¹⁰ mit großer Berufserfahrung „eingeschlossen“. Daher erweist es sich der Wiederverwendung durch Dritte als nur schwer zugänglich. Als Dritte kommen sowohl Mitglieder von Projektteams als auch Computer, die für die Wissensarchivierung und -wiederverwendung eingesetzt werden, in Betracht.

7) Diese drei Kategorien werden im Folgenden unter den Oberbegriff „Techniken“ subsumiert.

8) Vgl. ZELEWSKI/KOWALSKI/BERGENRODT (2015b), S. 291-293.

Die nachfolgend angeführten Probleme lassen sich nicht immer trennscharf voneinander abgrenzen, sondern hängen teilweise auch voneinander ab. Dies betrifft beispielsweise den Zusammenhang zwischen dem Wissensform- und dem Wissensmengenproblem.

9) Vgl. zu tazitem (oder implizitem) Wissen SANZOGNI/GUZMAN/BUSCH (2017), S. 38-44 u. 48-52; LEHNER (2012), S. 30, 46-48, 58, 89-90, 102 u. 183; GOFFIN/KONERS (2011), S. 300-304 u. 312-316; PHILIPOOM/STEELE (2011), S. 655-660 u. 683-685; NONAKA/VON KROGH (2009), S. 635-649; PERRATON/TARRANT (2007), S. 353-366; LEONARD/INSCH (2005), S. 495-503 u. 508-511; ZELEWSKI (2005a), S. 40-42 (und die dort zitierten Quellen), STYHRE (2004), S. 177-181 u. 183-186; AMBROSINI/BOWMAN (2001), S. 811-826; POLANYI (1985), S. 14-31 u. 49-50.

10) In diesem Beitrag wird im Interesse der kommunikativen Vereinfachung das Duden-konforme „generische Maskulinum“ verwendet. Es schließt stets ebenso sowohl weibliche Personen als auch Personen mit nicht-binärer Geschlechtswahrnehmung („divers“) ein.

- *Wissensdispersionsproblem*: Das Erfahrungswissen kann zwar als „organisationales“ oder „kollektives“ Wissen in einem Unternehmen „prinzipiell“ zur Verfügung stehen, ist aber über zahlreiche personelle (Projektmanagement, Projektmitarbeiter) und maschinelle (Computer, Software) Akteure des Unternehmens verstreut, sodass weitgehend Unklarheit darüber besteht, wo sich dieses Erfahrungswissen im Unternehmen konkret lokalisieren und wie sich darauf konkret zugreifen lässt.
- *Wissenserossionsproblem*: Projektrelevantes Erfahrungswissen geht einem Unternehmen oftmals dadurch verloren, dass Projektmanager mit großer Berufserfahrung ein Unternehmen verlassen (z. B. infolge Verrentung) oder zumindest den Weg in die „innere Emigration“ wählen (z. B. aufgrund beruflicher Enttäuschungen), ohne ihr Erfahrungswissen mit dem Unternehmen in expliziter Form zu teilen.
- *Wissensformproblem*: Projektrelevantes Erfahrungswissen lässt sich selbst dann, wenn es in einem Unternehmen in explizit dokumentierter, allgemein zugänglicher Form vorliegt, aufgrund seiner bereits erwähnten „qualitativen“, überwiegend natürlichsprachlichen Wissensform im Allgemeinen nicht computergestützt auswerten, vor allem nicht zur Bearbeitung neuer Projekte zielgerichtet wiederverwenden.
- *Wissensmengenproblem*: Eine Computerunterstützung, wie im Wissensformproblem angesprochen, erweist sich für die betriebliche Praxis des Projektmanagements als unverzichtbar, um die oftmals sehr großen Wissensarchive mit Erfahrungen über bereits durchgeführte Projekte für die Bearbeitung neuer Projekte effektiv (z. B. im Hinblick auf eine größere Projektdurchführungsqualität) und effizient (z. B. in Bezug auf geringere Projektplanungsdauern) nutzen zu können.

Konventionelle betriebswirtschaftliche Projektmanagementmethoden und auch informationstechnisch geprägte Projektmanagementmethoden sind derzeit nicht in der Lage, die zuvor skizzierten fünf wesentlichen Herausforderungen der Wiederverwendung von projektbezogenem, überwiegend qualitativem Erfahrungswissen umfassend zu bewältigen. Dazu gehören, wie bereits in Kapitel 2.1 erwähnt, z. B. die „altehrwürdige“ Netzplantechnik, das weit verbreitete Earned Value Management und selbst so „moderne“ agile Projektmanagementmethoden wie Scrum.

2.3 Überblick über projektbezogenes Wissensmanagement mit KI-Techniken

Der Einsatz von Techniken aus der Erforschung Künstlicher Intelligenz (KI) – oder Artificial Intelligence (AI) – zur Unterstützung des betrieblichen Projektmanagements erweist sich derzeit noch als ein wenig erforschtes Gebiet. Zwar existieren einige wenige Ansätze, die schon vor geraumer Zeit anregten, beispielsweise die bereits erwähnte Netzplantechnik mit Erkenntnissen aus der KI-Forschung – damals vor allem unter der Bezeichnung „Expertensysteme“ – zu bereichern.¹¹ Aber „moderne“ Beiträge der einschlägigen Fachliteratur zum Themengebiet, das sich als Schnittmenge von

11) Vgl. ZELEWSKI (1988), S. 1113-1129. Vgl. auch FOSTER (1988), S. 21-24 (dort wird allerdings nur einmal auf S. 22 die Critical Path Method [CPM] als Netzplantechnik explizit angesprochen).

„Künstlicher Intelligenz“, „Projektmanagement“ und „Wissensmanagement“¹² charakterisieren lässt, sind nur dünn gesät.¹³

Prima facie scheint es nahezuliegen, die derzeit vorherrschenden, nicht immer klar voneinander abzugrenzenden (Mode-)Strömungen der Deep Learning Networks und des Machine Learnings zur Unterstützung des betrieblichen Projektmanagements einzusetzen. Aber einschlägige, inhaltlich fruchtbare Beiträge lassen sich in dieser Hinsicht nicht identifizieren. Dies überrascht bei einer näheren inhaltlichen Analyse aber auch nicht, wie im Folgenden kurz erläutert wird.

-
- 12) In den Ausführungen dieses Kapitels wird nur von „Wissen“ in allgemeiner Weise gesprochen, weil der spezielle Fokus auf Erfahrungswissen in der ausgewerteten Fachliteratur zumeist fehlt. Der Einfachheit halber können hier die Begriffe „Wissen“ und „Erfahrungswissen“ in synonyme Weise behandelt werden. Dafür spricht, dass Wissen, das sich auf alte, bereits durchgeführte Projekte erstreckt, stets Erfahrungen mit diesen alten Projekten widerspiegelt und daher ohne Bedenken unter Erfahrungswissen subsumiert werden kann.
- 13) Vgl. z. B. AUTH/JÖHNK/WIECHA (2021), S. 149-169 (zwar ohne expliziten Bezug auf „Wissensmanagement“, aber mit zahlreichen Bezugnahmen auf „Wissen“, „Wissensgebiete“ und Ähnliches im Projektmanagement), vor allem S. 155-156 mit einem Überblick über KI-Tools mit Projektmanagementrelevanz (die jedoch aus Sicht der Verfasser des hier vorgelegten Beitrags weit hinter den Erkenntnissen der KI-Forschung, die in diesem Beitrag näher vorgestellt werden, zurückbleiben; dies wird von den zitierten Autoren auf S. 156 selbst eingeräumt: „Damit sind die bestehenden Tools vorrangig als KI-gestützte Lösungen zu klassifizieren, welche in den Kernaktivitäten des PM [„Projektmanagements“; Anmerkung der Verfasser] aber weder die bestehenden Lösungsansätze noch das volle Potenzial der vorgestellten KI-Funktionen vollends ausschöpfen.“); MACKARE/JANSONE (2021), S. 379-384 u. 389 (allerdings ohne expliziten Projektbezug); OBERMAYER/TÓTH (2021), S. 585-586 u. 590 (mit einem expliziten Projektbezug allerdings nur auf S. 585); RUIZ/TORRES/CRESPO (2021), S. 55-61 (mit einseitiger Fokussierung auf Techniken des Machine Learnings); JALLOW/RENUKAPPA/SURESH (2020), S. 363-368; ONG/UDDIN (2020), S. 1-7 (jedoch mit nur einem rudimentären Bezug zum projektbezogenen Wissensmanagement auf S. 6); SHEHAB/ABUALIGAH/JARRAH et al. (2020), S. 1129 u. 1132-1140 (überwiegend nur in Bezug auf KI-Techniken für Softwareprojekte, aber mit einer expliziten Erwähnung von Projektmanagement auf S. 1140); MUNIR (2019), S. 29-34 (mit einem Überblick über angebliche KI-Tools zur Unterstützung des Projektmanagements auf S. 31-32 u. 34, die jedoch abermals hinter den Erkenntnissen der KI-Forschung, die in diesem Beitrag näher vorgestellt werden, zurückbleiben); PRASAD/SARADHI (2019), S. 1374-1377 (dort werden KI-Techniken auf das Spezialgebiet von Machine Learning reduziert); PAREDES/RIBEIRO (2018), S. 642 (nur eine kurze Erwähnung von KI-Techniken und Projektmanagement und einem expliziten Hinweis auf die Bedeutung von Wissen für Aufgaben des Projektmanagements auf S. 637); SANZOGNI/GUZMAN/BUSCH (2017), S. 37-52 (auf einem sehr abstrakten Reflexionsniveau; ein Projektbezug wird nur einmal auf S. 47 explizit hergestellt); SWANSON (2017), S. 62-67; FOSTER (1988), S. 21-24 (ohne expliziten Wissensmanagementbezug); LEVITT/KARTAM/KUNZ (1988), S. 329- (mit expliziten Wissensbezug auf S. 337-340: z. B. „knowledge-intensive [...] planning“ auf S. 337, „knowledge engineering“ auf S. 337 sowie „knowledge-based approach to planning“ auf S. 339).

Von den Verfassern wurde u. a. eine Literaturrecherche vor allem mit der Stichwortkombination („artificial intelligence“ or „AI“) and „project management“ and „knowledge management“ in einer international führenden Literaturdatenbank (Ebsco Host) durchgeführt. Bei dieser Recherche ergaben sich 0 Treffer bezüglich „Abstract“ oder „Title“ sowie eingeschränkt auf „Full Text“ und „Peer Reviewed“, dagegen 463 Treffer bezüglich „All Text“ sowie eingeschränkt auf „Full Text“ und „Peer Reviewed“. Die Recherche mittels der alternativen Literaturdatenbank Google Scholar wurde wegen Ineffektivität eingestellt, weil sie die voranstehende Stichwortkombination mittels logischer (Boolescher) Operatoren wie „and“ und „or“ nicht gestattet. Außerdem war eine Einschränkung der Suche auf „Abstract“ oder „Title“ sowie auf „Full Text“ und „Peer Reviewed“ nicht möglich. Stattdessen war als einzige Einschränkung die Option „in the title of the article“ möglich. Dies reicht jedoch bei Weitem nicht aus, um die o. a. Verknüpfungen mit einem logischen „und“ zu erfassen (die Verknüpfung mit einem logischen „oder“ könnte immerhin durch zwei separate Abfragen ersetzt werden). Die Einschränkung der Suche auf „Full Text“ und „Peer Reviewed“ ist ebenso nicht möglich. Daher lässt sich mit Google Scholar keine zu Ebsco Host gleichwertige Recherche durchführen, sodass auf die Nutzung von Google Scholar zu Recherchezwecken schließlich verzichtet wurde. Die Recherche in Ebsco Host führte, wie bereits erwähnt, je nach Such-Termen zu gar keinen Treffern (für die o. a. Suche in „Abstract“ oder „Title“) oder zu 463 Treffern (für die o. a. Suche in „All Text“). Eine inhaltliche Prüfung der Publikationen, die im zweiten Fall ausgewiesen wurden, zeigte jedoch, dass nur sehr wenige Publikationen die Stichwortkombination („artificial intelligence“ or „AI“) and „project management“ and „knowledge management“) in zufriedenstellender Weise – d. h. mit inhaltlich überzeugender Relevanz – abdeckten. Diese wenigen Quellen sind in den hier vorgelegten Projektbericht eingeflossen, insbesondere auch in den ersten Teil dieser Fußnote.

Deep Learning Networks und Machine Learning gehören zu einem Zweig der KI-Forschung, der sich darauf fokussiert, in sehr großen Datensätzen („Big Data“) *allgemeine Muster* oder *Regularitäten* zu erkennen („Data Analytics“), die *möglichst vielen* realen Entitäten (Objekten, Phänomen usw.) gemeinsam zukommen. So geht es beispielsweise darum, die allgemeinen Persönlichkeits- und Situationsmerkmale zu erkennen, durch die sich Schuldner mit hoher Bonität auszeichnen, Geräuschmuster zu identifizieren, anhand deren sich im Allgemeinen Maschinenschäden ankündigen, oder auch Bildsignale zu bestimmen, die im Allgemeinen eine zuverlässige Karzinomdiagnose gestatten. Aber die KI-Forschung von Deep Learning Networks und Machine Learning, die sich an allgemeiner Mustererkennung orientiert, trifft nicht den Kern des Projektmanagements aus betriebswirtschaftlicher Sicht. Denn Projekte zeichnen sich – nicht unbedingt hinsichtlich aller ihrer Teile (Aktivitäten, Arbeitspakete, Teilprojekte), aber doch in ihrer Gesamtheit – durch ihre tendenzielle Einmaligkeit (auftragsindividuelle Produktion) und oftmals auch durch ihren innovativen Charakter aus. Daher kommt es bei ihrer Planung, ihrer Durchführung, ihrer Steuerung und ihrem Controlling nicht auf eine Anlehnung an „allgemeine Muster“ an, die sich vielleicht aus Daten über die Gesamtheit aller in einem Unternehmen oder einer Branche abgewickelten Projekte gewinnen lassen. Vielmehr geht es um ein einzelfallbezogenes, „ideosynkratisches“ Projektmanagement, das sich an den *Besonderheiten* eines aktuell vorliegenden, neuen Projekts orientiert. Wenn also überhaupt (Erfahrungs-)Wissen aus bereits durchgeführten, alten Projekten wiederverwenden lässt, dann ist nicht „allgemeines“ oder „durchschnittliches“ Wissen von Interesse, das sich mittels Deep Learning Networks und Machine Learnings gewinnen lässt. Stattdessen ist für ein neues Projekt vor allem Wissen relevant, das über (mindestens) *ein* altes, mit dem neuen Projekt aufgrund seiner „Einmaligkeit“ zwar nicht identisches, aber *möglichst ähnliches* altes Projekt vorliegt. Im Projektmanagement geht es also *nicht* um *allgemeine*, projektbezogene Muster oder Regularitäten, sondern um die „intelligente“ Wiederverwendung von Wissen über *einzelne, möglichst ähnliche* alte Projekte. Diese Orientierung an möglichst ähnlichen Einzelfällen wird auch als „analoges Denken“ (analogical reasoning) bezeichnet, das dem generalisierenden, mustererkennenden Denken von Deep Learning Networks und Machine Learning vollkommen fremd ist.

Darüber hinaus ist eine zweite auffällige Diskrepanz zwischen der Mainstream-KI-Forschung von Deep Learning Networks und Machine Learning einerseits sowie „intelligenter“ Wissenswiederverwendung im Projektmanagement andererseits festzustellen. Deep Learning Networks und Machine Learning zählen zur sogenannten „Black-Box AI“. ¹⁴ Sie lässt sich dadurch charakterisieren, dass sie sich zwar in einzelnen, speziellen Anwendungsbereichen (Domänen) als überaus leistungsfähig erweist, aber von ihren Benutzern kaum nachvollzogen werden kann, wie diese KI-Tools zu ihren Entscheidungs- oder Handlungsempfehlungen gelangen. Daher werden diese KI-Tools – trotz einiger „Gegenwehr“ ihrer Protagonisten – oftmals als „Black Boxes“ stigmatisiert, die „irgendwie“ – sogar sehr gut – „funktionieren“, aber kaum jemand versteht, wie und warum sie funktionieren. Dies mag keine Rolle spielen, sofern „man“ auf Empfehlungen eines KI-Tools vertraut, überzeugt jedoch nicht, wenn man dessen Empfehlungen kritisch nachvollziehen oder anhand exogener Güte-

14) Vgl. AMIN (2021), S. 69-70 u. 114; BARTON (2021), S. 94; BÖHM/LINNYK/JÄGER et al. (2021), S. 197-198; BUXMANN/SCHMIDT (2021), S. 219, 221 u. 225; DIETRICH/BÜCHEL/DEMERY (2021), S. 49; KOPPE/SCHATZ/HORNUNG (2021), S. 71; TÖPFER/LEFFLER/BRABÄNDER et al. (2021), S. 280 u. 289; VOLLHARDT/SCHMIDT/KASK et al. (2021), S. 122; WEIBER/MORGEN (2021), S. 100-103 u. 105; RAI (2020), S. 137-138; CREMERS/ENGLANDER/GABRIEL et al. (2019), S. 11 u. 17-18; FREITAS (2019), S. 48-49 u. 51-52; HOLM (2019), S. 26-27; KREUTZER/SIRRENBERG (2019), S. 11-12; RUDIN (2019), S. 206-210; ELFAKI/ALATAWI/ABUSHANDI (2014), S. 6.

kriterien überprüfen möchte. Daher hat sich seit wenigen Jahren die Forschungsrichtung der „Explainable AI“ (XAI)¹⁵ etabliert, die sich anschickt, für Empfehlungen von Deep Learning Networks und Machine Learning nachvollziehbare Erklärungen zu liefern. Aber diese Erklärungen bleiben unbefriedigend, weil sie mittels statistischer Techniken letztlich nur nachträglich analysieren, welche Inputdatenmuster mit welchen Outputdatenmustern hoch korrelieren. Aber es ist weithin bekannt, dass statistische Korrelationen nicht die Qualität kausaler Erklärungen besitzen, die Wirkungsbeziehungen zwischen Inputdaten als (Repräsentanten von) ursächlichen Sachverhalten und Outputdaten als (Repräsentanten von) bewirkten Sachverhalten herstellen. Daher stellt die „Explainable AI“ leider keine „eigentlich“ intendierten kausalen Erklärungen für die Empfehlungen von Deep Learning Networks und Machine Learning zur Verfügung, sondern lediglich Erklärungssurrogate in der Gestalt statistischer Input-Output-Korrelationen.¹⁶

Aus betriebswirtschaftlicher Sicht erweist es sich jedoch als essenziell, Planungs-, Durchführungs-, Steuerungs- oder Controllingempfehlungen im Projektmanagement nicht nur mittels Computerunterstützung „irgendwie“ zu generieren, sondern für betroffene menschliche Akteure auch plausibel erklären zu können. Nicht nur für die Motivation dieser Akteure, sondern auch für eventuell drohende juristische Auseinandersetzungen zwischen Projektauftragnehmern und -auftraggebern erweist es sich als unverzichtbar, solche Entscheidungs- oder Handlungsempfehlungen im Bedarfsfall mit plausiblen Argumenten rechtfertigen zu können. Daher bedarf es beim Einsatz von Künstlicher Intelligenz im Projektmanagement einer „White-Box AI“, deren computergestützt generierten Entscheidungs- oder Handlungsempfehlungen im Bedarfsfall überprüft werden können, indem sich ihr Zustandekommen „im Computer“ anhand entsprechender Verarbeitungsprotokolle oder – noch besser, da benutzerfreundlicher – auch mittels spezieller „Erklärungskomponenten“ von fachkundigen Projektmanagern nachvollziehen lässt.

Diese „White-Box AI“ besitzt in der KI-Forschung eine lange Tradition von mehr als einem halben Jahrhundert. Sie wird heute – nicht deckungsgleich, aber weitgehend überlappend – auch mit „Good Old Fashioned Artificial Intelligence“ (GOF AI) bezeichnet. Sie umfasst vor allem die sogenannte „symbolische“ KI-Forschung. Dieser Zweig der KI-Forschung erstreckt sich darauf, Wissensverarbeitung im Allgemeinen und somit auch Projektwissenmanagement im Besonderen auf einer expliziten, symbolischen Repräsentation von Wissen zu fundieren und wissensbasierte Entscheidungs- oder Handlungsempfehlungen mittels expliziter, (zumindest prinzipiell) im Detail nachvollziehbarer Schlussfolgerungsweisen (Inferenzregeln) herzuleiten. Zu diesem Zweig der „White-Box AI“ gehören z. B. die „altertümlichen“ Expertensysteme sowie Wissensbasierte (und regelbasierte) Systeme, aber auch „moderne“ Ansätze wie Multi-Agenten-Systeme und die nachfolgend angesprochenen Case-based-Reasoning-Systeme.

15) Vgl. AMIN (2021), S. 32-37 u. 114-117 (in Bezug auf das eng verwandte Konzept der „Explainability“); BÖHM/LINNYK/JÄGER et al. (2021), S. 198; BUXMANN/SCHMIDT (2021), S. 219; KOPPE/SCHATZ/HORNUNG (2021), S. 71; LUNDBERG/ERION/CHEN et al. (2020), S. 56-66; RAI (2020), S. 137-141; ROSCHER/BOHN/DUARTE et al. (2020), S. 42200–42213; HONG/LEE/LEE et al. (2020), S. 8-17; KREUTZER/SIRRENBURG (2019), S. 12; RUDIN (2019), S. 206-208; MILLER/HOWE/SONENBERG (2017), S. 1-5. Vgl. auch die zahlreichen Beiträge in der Multigrafie SAMEK/MONTAVON/VEDALDI et al. (2019);

16) FREITAS (2019), S. 51, spricht in diesem Zusammenhang auch präziser von *Interpretationen* (anstelle von Erklärungen), mit denen das Input-Output-Verhalten von z. B. Künstlichen Neuronalen Netzen nachträglich erläutert werden kann („Note that it is possible to extract interpretable knowledge from a black box model“). Vgl. auch die ebenso pointierte wie präzise Kritik an der „Explainable AI“ durch RUDIN (2019), S. 206-214. Dort werden einige tiefgreifende Missverständnisse herausgearbeitet, die durch die Bezeichnung „Explainable AI“ hinsichtlich der tatsächlich nicht vorhandenen Erklärungsfähigkeit im engeren Sinne von kausalen Erklärungen hervorgerufen werden können und zu erheblichen Beurteilungsfehlern führen können, wenn KI-Systeme aus der „Explainable AI“ zu Entscheidungszwecken eingesetzt werden. Vgl. ebenso die sehr kritische Kommentierung von „Explainable AI“ in MILLER/HOWE/SONENBERG (2017), S. 4-5.

Vor dem Hintergrund der beiden zuvor skizzierten Argumente – erstens der Erforderlichkeit analogen Denkens auf der Grundlage einzelner, möglichst ähnlicher Projekte und zweitens des Wunsches nach erklärbaren Entscheidungs- oder Handlungsempfehlungen im Projektmanagement – sollte sich eine Recherche des Unterstützungspotenzials von KI-Techniken für Aufgaben des Projektmanagements nicht auf den „Main Stream“ von Deep Learning Networks und Machine Learning fokussieren, sondern auf den alternativen, aktuell weniger beachteten, aber dennoch hochinteressanten Zweig der „White-Box AI“. Dazu dient auch der vorliegende Beitrag.

Im State of the Art der „White-Box AI“ lassen sich vor allem zwei aktuelle Forschungsströmungen identifizieren, die für das Projektmanagement aus betriebswirtschaftlicher Perspektive von besonderem Interesse sein könnten.

Erstens sind einige wenige Beiträge in der einschlägigen Fachliteratur zu erwähnen, die sich damit befassen, wie sich die „White-Box AI“ – nicht nur¹⁷, aber vor allem in der Gestalt von KI-Tools auf der Basis des Case-based Reasonings (CBR) – im Projektmanagement Erfolg versprechend einsetzen lässt.¹⁸ Für die inhaltliche Nähe von „White-Box AI“ in der Gestalt von CBR-Systemen¹⁹ spricht, dass sich die „Cases“ in „natürlicher“ Weise als „Projekte“ interpretieren lassen. Daher können im Prinzip alle Erkenntnisse, die für CBR-Systeme im Allgemeinen gewonnen wurden, auf den Einsatz von KI-Techniken für das betriebliche Projektmanagement im Speziellen übertragen werden. Auf diesen Denkansatz, Projekte als spezielle Ausprägungen von „Cases“ oder „Fällen“ handzuhaben, wird in diesem Beitrag intensiv zurückgegriffen werden.

Allerdings leiden die bislang vorliegenden Beiträge zur Anwendung von CBR-Systemen auf das betriebliche Projektmanagement unter mehreren Mängeln. Zunächst werden *betriebswirtschaftliche Spezifika* des Projektmanagements – wie z. B. Lasten- und Pflichtenhefte sowie projektbezogene Mitarbeiterkompetenzen – zumeist nicht oder nur in rudimentärer Weise berücksichtigt. Darüber hinaus fokussieren sich CBR-Systeme im Bereich des Projektmanagements oftmals auf „einfach“ – d. h. vor allem quantitativ – zu generierende Entscheidungs- oder Handlungsempfehlungen, wie z. B.

17) Dabei wird von den bereits oben angeführten, jedoch eher „historischen“ Beispielen abgesehen, die beispielsweise darauf abzielten, die Netzplantechnik mit Erkenntnissen aus der KI-Forschung – damals vor allem unter der Bezeichnung „Expertensysteme“ – zu bereichern.

18) Vgl. zu Beiträgen, die den Einsatz von Case-based Reasoning im (sehr weit ausgelegten) Bereich des Projektmanagements erörtern (mit Ausnahme sowohl des nachfolgend angesprochenen speziellen Aspekts der Projektkostenschätzung als auch der später erfolgenden Ausführungen zum KI-Tool und CBR-System jCORA), MARTIN/EMMENEGGER/HINKELMANN et al. (2017), S. 551-552, 560-564 (insbesondere mit S. 562) u. 567-569; BEIBEL (2011), S. 9-12 u. 133-213; CHOU (2009), S. 2951-2956 u. 2958-2959.

Auch einer der Verfasser des vorliegenden Beitrags (Erstautor) war in der Vergangenheit an Studien zum Einsatz von Case-based Reasoning für den Bereich des Projektmanagements beteiligt; vgl. KOWALSKI/BERGENRODT/ZELEWSKI (2015), S. 422-471; KOWALSKI/ZELEWSKI (2015a), S. 371-411 (vor allem mit Projektmanagementbezug auf S. 372); KOWALSKI/KLÜPFEL/ZELEWSKI et al. (2012), S. 81-87; ZELEWSKI/BRUNS/KOWALSKI (2012), S. 171-175. Die nachstehenden Vorbehalte gegenüber der Anwendung von CBR-Systemen auf das betriebliche Projektmanagement treffen grundsätzlich – wenn auch in tendenziell abgeschwächter Form – ebenso auf diese vorgenannten Beiträge mit Beteiligung eines der Verfasser zu. Daher erfolgte auf der Grundlage dieser vormaligen Studien eine inhaltliche und informationstechnische Fortentwicklung dieser „frühen“ CBR-Systeme im Hinblick auf das Projektmanagement vor allem in der Gestalt des Prototyps jCORA für ein ontologiegestütztes CBR-System, auf das in diesem Beitrag später noch ausführlicher eingegangen wird.

Vgl. darüber hinaus die Quellen, die in Kürze (vgl. Fußnote 20) zu dem speziellen Aspekt angeführt werden, CBR-Systeme im Bereich des Projektmanagements für Schätzungen der mutmaßlich zu erwartenden Projektkosten einzusetzen.

19) Als CBR-Systeme werden hier Softwaresysteme betrachtet, welche die KI-Technik des Case-based Reasonings in einer jeweils speziellen Weise computergestützt implementieren. Da in diesem Beitrag das Case-based Reasoning als einzige KI-Technik näher betrachtet wird, werden CBR-Systeme oftmals der Einfachheit halber auch als KI-Tools bezeichnet, wenn ihr KI-Charakter akzentuiert werden soll. Dessen ungeachtet ist im Allgemeinen der Begriff des KI-Tools umfassender als der Begriff des CBR-Systems, weil KI-Tools auch andere KI-Techniken als das Case-based Reasoning computergestützt implementieren können.

auf Schätzungen der mutmaßlich zu erwartenden Projektkosten²⁰. Solche CBR-Systeme für *quantitative* Projektkostenschätzungen sind aus betriebswirtschaftlicher Sicht keineswegs zu unterschätzen. Aber sie schöpfen bei Weitem nicht das Potenzial aus, das im Hinblick auf die Wiederverwendung von Erfahrungswissen im Projektmanagement vor allem im Hinblick auf *qualitative* Projektergebnisse (vertragsgemäße Leistungserfüllung, Projektqualität hinsichtlich vielfältiger Dimensionen des betrieblichen Qualitätsmanagements, Kompetenzentwicklung der Projektmitarbeiter usw.) besteht.

Aus den vorgenannten Gründen überrascht es nicht, dass die wenigen bislang bekannt gewordenen Ansätze, Case-based Reasoning für Zwecke des Projektmanagements einzusetzen, sich bislang als nicht erfolgreich herausgestellt haben, sondern weithin ein „Nischen-“ oder „Spezialisten-Dasein“ fristen. Dies gilt zumindest dann, wenn nicht nur „Sandkastenbeispiele“ aus der akademischen Forschung, sondern Anforderungen der betrieblichen Praxis an computergestützte Projektmanagementsysteme berücksichtigt werden.

Zweitens existieren mehrere Ansätze, den Einsatz von KI-Tools im Projektmanagement dadurch zu unterstützen, dass die projektbezogenen „Begrifflichkeiten“ der betrieblichen Praxis in eine „computerverständliche“ Form überführt werden. Das wesentliche Instrument der KI-Forschung für solche Transformationen von überwiegend natürlichsprachlichen Begriffen in eine computergestützt verarbeitbare Form sind sogenannte Ontologien²¹.

20) Vgl. zum Einsatz von Case-based Reasoning zur Schätzung von Projektkosten GARCÍA DE SOTO/ADEY (2016), S. 238-242; RADZIEJOWSKA/ZIMA (2015), S. 100-111; ZIMA (2015), S. 58-64; ELFAKI/ALATAWI/ABUSHANDI (2014), S. 4 u. 7; KIM/SHIM (2014), S. 66-72; JI/PARK/LEE (2012), S. 43-51; KIM/LEE/WOO et al. (2012), S. 284-291; KOCAGUNELI/MENZIES/BENER et al. (2012), S. 425-436 (eher als „Hintergrundbeitrag“ mit unklarem direkten Case-based-Reasoning-Bezug, da vornehmlich von „analogy-based effort estimation (S. 425)“ gesprochen wird, am ehesten noch auf S. 427 in Bezug auf die Formulierung „case-based repository“); JI/PARK/LEE (2011), S. 570-580; JI/PARK/LEE et al. (2011), S. 218-230; KOWALSKI/ZELEWSKI/GÜNES et al. (2011), S. 49-54; ZELEWSKI/KOWALSKI/KÜHN (2011), S. 490-500, insbesondere S. 494-500; KIM/KIM (2010), S. 499-505; KÜHN (2010), S. 1-2, u. 16-60; CHOU (2009), S. 2947-2948 u. 2954-2959; LI/XIE/GOH (2009), S. 242-251; DOGAN/ARDITI/ASCE et al. (2006), S. 1092-1098; IDRI/ABRAN/KHOSHGOFTAAR (2004), S. 65-67 u. 73-93. Vgl. auch den sehr frühen, jedoch mit vielfältigen Anregungen inspirierenden Beitrag von KURBEL/DORNHOFF (1993), S. 1051-1063, der jedoch keine (monetäre) Kostenschätzung direkt adressierte, sondern eine (mengenbezogene) Aufwandsschätzung für Softwareprojekte; vgl. am Rande auch DORNHOFF (1992), S. 14-18.

21) Vgl. zu Überblicken über Ontologien beispielsweise GETULI (2020), S. 27-39, 53-60, 65-73 u. 75-119; SAWSAA/LU (2017), S. 443-480; IMRAN/YOUNG (2016), S. 5383-5385; STUART (2016), S. 1-22, 53-78, 97-136 u. 155-164; BERGENRODT/KOWALSKI (2015), S. 7-11; BERGENRODT/KOWALSKI/ZELEWSKI (2015), S. 480-490; ZELEWSKI (2015), S. 81-183; DENGEL/BERNARDI/VAN ELST (2012), S. 64-72; ZELEWSKI/BRUNS/KOWALSKI (2012), S. 158-171; BEIBEL (2011), S. 22-32 u. 139-158; GRIMM/ABECKER/VÖLKER et al. (2011), S. 509-520; LIM/LIU/LEE (2011), S. 6-19, 43-46, 49-51, 59-70 u. 99-119; LIN/ZHANG/ÖOU et al. (2011), S. 343-346; STUCKENSCHMIDT (2011), S. V-IX, 3-5, 8, 22-24, 29-51 (Grundlagen), 53-65, 77-90, 95-154 (Ontologiesprachen), 155-205 (Ontologiekonstruktion) u. 259-267; LACASTA/NOGUERAS-ISO/ZARAZAGA-SORIA (2010), S. 1-17; AKERKAR (2009), S. 74-100; GUARINO/OBERLE/STAAB (2009), S. 1-16; ZHANG/YU/LIN et al. (2009), S. 1146-1152; ABDOULLAEV (2008), S. 6-23, 28-54, 75-106 u. 108-123; SCHUHBAUER/FUHR/WITTMANN (2008), S. 99-105; FONSECA/MARTIN (2007), S. 130-131; SUGUMARAN/STOREY (2006), S. 1066-1068; ALAN/ZELEWSKI (2005), S. 229-273; ZELEWSKI (2005b), S. 133-228; FENSEL (2004), S. 3-10, 47-88 u. 89-121; MAEDCHE/STAAB/STUDER (2001), S. 393-395; GUARINO (1997), S. 293-310; GRUBER (1995), S. 908-910.

Ontologien für Zwecke des Projektmanagements existieren bereits.²² Hierzu lassen sich auch Ontologien zählen, die sich zwar nicht ausdrücklich auf die Domäne des Projektmanagements beziehen, aber inhaltliche benachbarte Domänen, wie z. B. das Produkt- oder Produktionsmanagement²³ und das Logistikmanagement oder Supply Chain Management²⁴, betreffen. Aber diese Ontologien für betriebswirtschaftlich relevante Anwendungsbereiche („Domänen“) leiden derzeit noch unter zwei wesentlichen Defiziten.

Erstens wurden diese Ontologien überwiegend von Autoren entwickelt, die aus den Computer- oder Ingenieurwissenschaften stammen. Ihre Ontologien lassen unschwer erkennen, dass wenig Verständnis für die betriebswirtschaftliche Fachsprache sowie für die subtilen sprachlichen Nuancierungen und Differenzierungen besteht, die in betriebswirtschaftlichen Diskussionen üblich sind. Dies betrifft beispielsweise die betriebswirtschaftlich gebotene fachsprachliche Differenzierung zwischen Kosten versus Auszahlungen versus Aufwendungen (und vieles anderes mehr). Diese Ontologien sind daher aus betriebswirtschaftlicher Perspektive inakzeptabel – vor allem vor dem Hintergrund, dass Ontologien für eine explizite formalsprachliche Spezifizierung der Ausdrucksmittel für einen ontologiespezifischen Anwendungsbereich (Domäne) dienen sollen.

Zweitens fehlt es den vorliegenden Ontologien an einer „tiefgründigen“ und „umfassenden“ Fundierung in den Begrifflichkeiten des betrieblichen Projektmanagements, wie z. B. im Hinblick auf Projektmanagementziele, typische Projektmanagementaufgaben und Rahmenbedingungen des Projektmanagements. Zu den typischen Projektmanagementaufgaben gehört beispielsweise das projektbezogene Risikomanagement, das aus betriebswirtschaftlicher Perspektive eine hohe Praxisrelevanz besitzt, aber in Ontologien bislang noch kaum berücksichtigt wurde.²⁵

Aufgrund der voranstehenden Erkenntnisse zum State of the Art stellt sich das *wissenschaftliche Problem*, Konzepte und Instrumente, insbesondere computergestützte Werkzeuge („Tools“), auszuarbeiten, die zeigen, wie sich Case-based Reasoning als KI-Technik mit „White-Box AI“-Charakter zur Unterstützung der „intelligenten“ Wiederverwendung von Erfahrungswissen im Projektmanagement grundsätzlich nutzen lässt (CBR-Postulat). Zugleich gehört zum wissenschaftlichen Problem die ergänzende Anforderung, das projektrelevante Erfahrungswissen mithilfe von Ontologien für die Begrifflichkeiten des Projektmanagements in computerverständlicher Form für CBR-Systeme aufzubereiten (Ontologie-Postulat).

-
- 22) Vgl. WEBER/HEEB/SETHUPATHY et al. (2021), S. 12-23 u. 50-75; MARTIN/EMMENEGGER/HINKELMANN et al. (2017), S. 562; BRUNO/ANTONELLI/VILLA (2015), S. 42-46 (mit expliziten Projektbezug auf S. 43-45); KOWALSKI/ZELEWSKI (2015a), S. 371-387 (mit expliziten Projektbezug auf S. 372); ZELEWSKI/KOWALSKI/BERGENRODT (2015a), S. 245-255; FITSILIS/GEROGIANNIS/ANTHOPOULOS (2014), S. 1099-1106 (mit einem Fokus auf Softwareprojekten ab S. 1103); LIN/HILAIRE/GAUD et al. (2012), S. 195-206 (speziell zum Projektmanagement mittels der agilen Projektmanagementmethode Scrum); SHEEBA/KRISHNAN/BERNARD (2012), S. 2-6; DONG/HUSSAIN/CHANG (2011), S. 1164-1169; RUIZ-BERTOL/RODRÍGUEZ/DOLADO (2011), S. 258-259; HUGHES (2010), S. 9-13; ARAMO-IMMONEN (2009), S. 49-55; FALBO/BERTOLLO (2009), S. 240-247 (in Bezug auf die dort thematisierten Projektprozesse der Softwareproduktion); SARANTIS/ASKOUNIS (2009), S. 2-5 u. 6-7; ABELS/AHLEMANN/HAHN et al. (2006), S. 817-819 u. 822.
- 23) Vgl. ALI/YANG/ZHANG et al. (2021), S. 5540-5555; GETULI (2020), S. 65-73, 75-113 u. 121-136; CHHIM/CHINNAM/SADAWI (2019), S. 907-914; IMRAN/YOUNG (2016), S. 5385-5400; BRUNO/ANTONELLI/VILLA (2015), S. 42-46 (mit Fokus auf dem Management eines Produktlebenszyklus); SANYA/SHEHAB (2015), S. 2384, 2387 u. 2391-2404; USMAN/YOUNG/CHUNGOORA et al. (2013), S. 6558-6570; LIN/HILAIRE/GAUD et al. (2012), S. 190-195.
- 24) Vgl. KOWALSKI/ZELEWSKI (2015a), S. 371-387; KOWALSKI/ZELEWSKI (2015b), S. 595-612; ANAND/YANG/VAN DUIN et al. (2012), S. 11946-11956; ARTHOFER/ENGELHARDT-NOWITZKI/FEICHTENSCHLAGER et al. (2012), S. 336-349; YE/YANG/JIANG et al. (2008), S. 1252-1260.
- 25) Ein erster Ansatz wurde hierfür im „Umfeld“ des BMBF-Verbundprojekts KI-LiveS entwickelt; vgl. WEBER/HEEB/SETHUPATHY et al. (2021), S. 15-23 u. 48-75.

3 Methodischer Rahmen

3.1 Überblick über den Forschungsansatz

In diesem Beitrag – vor allem im dritten und vierten Kapitel – wird erläutert, wie sich mithilfe von Erkenntnissen aus der Erforschung Künstlicher Intelligenz ein „intelligentes“ Projektmanagement durch die computergestützte Wiederverwendung von Erfahrungswissen in der betrieblichen Praxis realisieren lässt.

Das plakative Attribut „intelligent“ wird hier nicht nur als begriffliche Referenz auf die hier diskutierte Technik²⁶ Künstlicher *Intelligenz* – das Case-based Reasoning – verwendet. Vielmehr verweist dieses Attribut auf zwei Sachverhalte, die sich als beitragspezifische (also keineswegs generische) inhaltliche Konkretisierungen von (Künstlicher) „Intelligenz“ auffassen lassen. Erstens wird gezeigt, dass sich mittels Case-based Reasonings die fünf wesentlichen Herausforderungen (Probleme), die in Kapitel 2.2 aus der Perspektive des projektbezogenen Wissensmanagements skizziert wurden, zumindest „prinzipiell“ meistern lassen. Eine derart „problemlösende“ Fähigkeit rechtfertigt, zumindest bei wohlwollender Betrachtungsweise, die Zuschreibung des Attributs „intelligent“ für ein Projektmanagement, das auf einem CBR-System basiert. Zweitens wird das Attribut „intelligent“ hier in bewusster Abgrenzung von konventionellen Computersystemen verwendet, die sich schon seit vielen Jahrzehnten hinsichtlich der Verarbeitung rein syntaktisch definierter, insbesondere numerischer Probleme („number crunching“) als überaus leistungsfähig erwiesen haben. Im Gegensatz dazu geht es in diesem Beitrag um die Fähigkeit von Computern, vor allem auf der Basis von Ontologien ein inhaltliches Verständnis für die Bedeutungen – also der Semantik – der Komponenten von Erfahrungswissen im Projektmanagement zu entwickeln. Diese semantische Dimension der Wissensverarbeitung soll durch das Attribut „intelligent“ hervorgehoben werden.

26) Der Technikbegriff wird hier als Oberbegriff zu *Methoden, Modellen* und *computergestützten Werkzeugen* („Tools“) verwendet. Case-based Reasoning stellt in erster Linie eine Methode (des analogen Schließens) dar. Daher ist das dritte Kapitel mit „Methodischer Rahmen“ überschrieben. Dieser primäre Methodenbezug entspricht auch einer wissenschaftlichen Usance, die hier im Interesse der Anschlussfähigkeit übernommen wird, sodass im Folgenden oftmals von der CBR-Methode gesprochen wird. Allerdings zeigt sich bei näherer Betrachtung, dass Case-based Reasoning nicht ohne Modelle und computergestützte Werkzeuge auskommt. Modelle repräsentieren beispielsweise deklaratives Wissen über Projekte und prozedurales Wissen über typische Vorgehensweisen im Projektmanagement („Vorgehensmodelle“). Sie stellen das „Substrat“ dar, auf dem die Methode des Case-based Reasonings operiert. Ontologien als sprachliche Ausdrucksmittel für die Konstruktion solcher Modelle werden in Kapitel 3.3 vorgestellt. Zugleich erweist sich Case-based Reasoning als derart komplex hinsichtlich seiner Anwendung auf reale Probleme (wie z. B. Projekte), dass es sich ohne computergestützte Werkzeuge praktisch kaum einsetzen lässt. In Kapitel 4 wird auf ein solches Werkzeug in der Gestalt des KI-Tools jCORA in exemplarischer Weise näher eingegangen.

Der Forschungsansatz dieses Beitrags beruht darauf, die generische KI-Technik des Case-based Reasonings²⁷ auf das betriebliche Projektmanagement zu übertragen und an dessen spezielle Herausforderungen (vgl. Kapitel 2.2) anzupassen. Zu diesem Zweck wird das allgemeine KI-Konzept eines „Falls“ als das spezielle betriebswirtschaftliche Konzept eines „Projekts“ interpretiert. Dies ist ohne grundsätzliche Schwierigkeiten möglich, weil das KI-Konzept eines „Falls“ in der einschlägigen Fachliteratur auffällig vage und unbestimmt bleibt. Salopp gesprochen, lässt sich alles als ein „Fall“ bezeichnen, das eine in sich abgeschlossene Wissensseinheit mit nicht-trivialer Struktur (also „mehr“ als z. B. ein simpler Datensatz) darstellt und im betrachteten Realitätsausschnitt in vielfacher, in der Regel nicht-identischer, jedoch oftmals ähnlicher Weise auftreten kann.²⁸ Daher lässt sich ein „Fall“ aus betriebswirtschaftlicher Perspektive sowohl in generischer Hinsicht als ein „Problem“ eines jeweils näher zu bestimmenden Problemtyps als auch in spezieller Hinsicht als ein „Projekt“ eines jeweils näher zu bestimmenden Projekttyps²⁹ auffassen.³⁰ In diesem Beitrag wird wegen seines Bezugs zum Projektmanagement der Projektbegriff bevorzugt.

Darüber hinaus wird das (Erfahrungs-)Wissen³¹, das über ein Projekt vorliegt, in die drei Wissenskomponenten der Projektbeschreibung, der Projektlösung³² und der Projektbewertung³³ strukturiert.

-
- 27) Vgl. als Überblicke zum Case-based Reasoning beispielsweise AMIN (2021), S. 12-47; BEIERLE/KERN-ISBERNER (2019), S. 161-206; BERGMANN/MINOR/BUCH et al. (2021), S. 343-387; LÓPEZ (2013), S. 1-63; RICHTER/WEBER (2013), S. 17-40 u. 87-273; PRENTZAS/HATZILYGEROUDIS (2011), S. 2-32; VOSKOGLIOU (2011), S. 59-71; BICHINDARITZ (2009), S. 214-232; AVRAMENKO/KRASLAWSKI (2008), insbesondere S. 51-97; FREUDENTHALER (2008), insbesondere S. 5-74; DÍAZ-AGUDO/GONZÁLEZ-CALERO/RECIO-GARCÍA et al. (2007), S. 68-75; BODENDORF (2006), S. 148-153; PAL/SHIU (2004), insbesondere S. 1-160; PFUHL (2003), S. 3-26; RICHTER (2003), S. 180-190; MAIN/DILLON/SHIU (2001), S. 1-18; SCHAAF (1998), S. 5-67; DE MÁANTARAS/PLAZA (1997), S. 21-26; WATSON (1997), insbesondere S. 15-60 u. 215-283 (eine sehr umfangreiche Bibliographie zum Case-based Reasoning); KOLODNER (1996), S. 349-370; KOLODNER/LEAK (1996), S. 31-65; LEAKE (1996), S. 3-29; RIESBECK (1996), S. 371-388; WATSON (1995), S. 3-13; AAMODT/PLAZA (1994), S. 39-57; KOLODNER (1993), insbesondere S. 3-31, 73-97 u. 563-579; KOLODNER (1992), S. 4-32; RIESBECK/SCHANK (1989), insbesondere S. 1-24.
Vgl. auch als Kurzüberblicke ZELEWSKI (2021), S. 61-62, und BODENDORF/KAISER (2020), S. 1-2. Vgl. darüber hinaus die anwendungs-, insbesondere IT-bezogenen Ausführungen zum Case-based Reasoning in der Multigrafie ZELEWSKI/AKCA/KOWALSKI (2015) zum BMBF-Verbundprojekt OrGoLo, vor allem die Kapitel 2.3 und 3.5 bis 3.9.
- 28) Die Aspekte der Vielfachheit, Nicht-Identität und Ähnlichkeit stellen „epistemologische Voraussetzungen“ für die Anwendbarkeit des analogen Schließens dar, auch wenn sie in dieser Form nach Wissen der Verfasser dieses Beitrags in der einschlägigen Fachliteratur nicht explizit diskutiert werden.
- 29) Problem- bzw. Projekttyp müssen bei konkreten Anwednungen des Case-based Reasonings stets inhaltlich konkretisiert werden, weil der zentrale Ähnlichkeitsbegriff des analogen Schließens (hierauf wird zurückgekommen) voraussetzt, dass nur Probleme bzw. Projekte hinsichtlich ihrer Ähnlichkeit beurteilt werden, die hinsichtlich ihrer Struktur so weit übereinstimmen, dass ein „sinnvolles“ Ähnlichkeitsmaß spezifiziert werden kann. Es bleibt an dieser Stelle offen, was unter einer hinreichenden strukturellen Übereinstimmung und einem „sinnvollen“ Ähnlichkeitsmaß genau zu verstehen ist. Diese Konkretisierungsarbeit ist bei jeder Anwendung des Case-based Reasonings in seinem speziellen (beispielsweise) betrieblichen Einsatzumfeld zu leisten und entzieht sich daher den allgemein gehaltenen Ausführungen dieses Überblicksbeitrags.
- 30) Daher werden in diesem Beitrag – wie auch in zahlreichen anderen Werken mit betriebswirtschaftlichem Hintergrund – die Begriffe „Fall“, „Problem“ und „Projekt“ der Einfachheit halber als Synonyme behandelt, solange im jeweiligen Argumentationskontext von begrifflichen Nuancierungen abgesehen werden kann.
- 31) Im Vordergrund dieses Beitrags steht das projektbezogene Erfahrungswissen. Dieses Erfahrungswissen reicht im Projektmanagement jedoch nicht aus, sondern ist um weitere Wissensarten zu ergänzen. Dazu gehören z. B. definitorisches Wissen hinsichtlich der korrekten Verwendung einschlägiger betriebswirtschaftlicher und juristischer Fachbegriffe sowie sachlogisches Wissen, wie etwa hinsichtlich der Transitivität der Relation „ist besser als“. Daher wird in diesem Beitrag auch in allgemeiner Weise von Wissen (und Komposita wie Wissensmanagement und Wissensverarbeitung) gesprochen, solange nicht die besondere Bedeutung des Erfahrungswissens für das betriebliche Projektmanagement hervorgehoben werden soll.
- 32) Die Projektlösung wird des Öfteren auch als Projektergebnis bezeichnet. Die Bezeichnung „Projektlösung“ wird hier bevorzugt, weil sie darauf verweist, dass Projekte als spezielle Ausprägungen von Problemen (projektbezogenen Planungs-, Durchführungs-, Steuerungs- und Controllingproblemen) aufgefasst werden, die es zu „lösen“ gilt.
- 33) Die Projektbewertung wird häufig auch als Projektevaluierung bezeichnet.

Für diese „basale“ Wissensstrukturierung spricht, dass sich die betriebliche Praxis des Projektmanagements mit diesen drei Wissenskomponenten sehr gut rekonstruieren lässt. Natürlich lässt sich dieses Güteurteil in seiner Allgemeinheit nicht „beweisen“. Aber zumindest zwei Plausibilitätsargumente lassen sich zu seiner Unterstützung anführen. Erstens wurde in zwei vom BMBF geförderten Forschungs- und Transferprojekten³⁴ zum Einsatz von KI-Techniken im Bereich des Projektmanagements mit diesem Strukturierungsansatz gearbeitet, ohne dass es jemals zu grundsätzlichen Umsetzungsschwierigkeiten kam. Er hat sich insofern „praktisch bewährt“. Zweitens findet sich dieser Strukturierungsansatz auch in einigen anderen wissenschaftlichen Arbeiten zum Einsatz von KI-Techniken im Bereich des Projektmanagements,³⁵ sodass ihm die Anschlussfähigkeit an etablierte Fachliteratur attestiert werden kann.³⁶

Die *Projektbeschreibung* entspricht den Ergebnissen des Requirements Engineering, mit deren Hilfe die Anforderungen an ein Projekt –z. B. im Rahmen einer Projektausschreibung – spezifiziert werden. Vor allem Lasten- und Pflichtenhefte (jeweils aus der Auftraggeber- bzw. Auftragnehmerperspektive formuliert), die zu den wie verbreiteten Instrumenten des Projektmanagements gehören, lassen sich unmittelbar in die Struktur einer Projektbeschreibung überführen. In der Regel wird eine vollständige Projektbeschreibung weitaus mehr Details umfassen, als in Lasten- und Pflichtenheften üblich sind. Beispielsweise ist es nicht üblich, in den auftragnehmerbezogenen Pflichtenheften die betriebswirtschaftlichen Formalziele festzuhalten, die ein Unternehmen mit der Akquisition eines neuen Projekts verfolgt. Ebenso finden sich die Kompetenzen, die für die Erfolg versprechende Projektrealisierung erforderlich erscheinen, im Allgemeinen nicht in einem Pflichtenheft, sind aber für eine realistische Projektbeschreibung erforderlich. Bereits anhand dieser wenigen Beispiele zeigt sich, dass es in einem CBR-System mittels der Wissenskomponente „Projektbeschreibung“ möglich ist, projektrelevantes Wissen sehr umfangreich, auf hohem Detaillierungsniveau und realitätsnah zu repräsentieren.

Die *Projektlösung* gibt die Ergebnisse der Projektplanung (Soll-Ergebnisse) und der Projektdurchführung (Ist-Ergebnisse) wieder. Die Projektlösung kann zu Steuerungs- und Controllingzwecken auch in zahlreichen zeitpunktbezogenen Varianten (mit „Zeitstempel“) erstellt werden, die einen

34) Es handelt sich um die Verbundprojekte „Organisatorische Innovationen mit Good Governance in Logistik-Netzwerken“ (OrGoLo) und „KI-Labor für verteilte und eingebettete Systeme“ (KI-LiveS). Für das OrGoLo-Projekt liegt eine umfangreiche Abschlussdokumentation vor; vgl. ZELEWSKI/AKCA/KOWALSKI (2015). Für das KI-LiveS-Projekt existiert noch keine analoge Dokumentation, weil es noch nicht abgeschlossen ist. Ein Überblick hierüber findet sich auf einer Projekt-Website – vgl. o. V. (2022) – mit mehreren Projektberichten.

35) Die drei Wissenskomponenten der Projektbeschreibung, der Projektlösung und der Projektbewertung als Basisstruktur für CBR-Systeme wurde schon früh von KURBEL und seinen Mitarbeitern angeregt; vgl. beispielsweise KURBEL/DORNHOFF (1993), S. 1052. Dieser Strukturierungsansatz findet sich beispielsweise auch bei ZELEWSKI/KOWALSKI/BERGENRODT (2015a), S. 243; BERGENRODT/KOWALSKI/ZELEWSKI (2015), S. 491. Im Prinzip, wenn auch mit abweichender Begrifflichkeit, findet sich dieser Strukturierungsansatz auch bei BEIERLE/KERN-ISBERNER (2019), S. 173-177 (dort als Problem- oder Situationsbeschreibung, Lösung [eines Problems] und Resultat [Bewertung der Qualität der Lösung hinsichtlich seiner Anwendung, was mit der hier verwendeten Bezeichnung Projektbewertung inhaltlich übereinstimmt]); AMALEF/LU (2013), S. 81-82 (dort als „description“, „solution“ und „outcome“ bezeichnet). Eine ähnliche (ebenso drei Wissenskomponenten), aber inhaltlich abweichende Basisstruktur für CBR-Systeme findet sich z. B. in ASSALI/LENNE/DEBRAY (2010), S. 101-102 (immerhin werden dort auf S. 103 auch die zwei Wissenskomponenten „problem“ und „solution“ angeführt, die mit den hier betrachteten Wissenskomponenten der Projektbeschreibung bzw. der Projektlösung korrespondieren), und FRIEDRICH/IGLEZAKIS/KLEIN et al. (2002), S. 143 (immerhin finden sich dort auf S. 143 neben der Wissenskomponente „context“ auch die zwei Wissenskomponenten „problem“ und „solution“, die mit den hier betrachteten Wissenskomponenten der Projektbeschreibung bzw. der Projektlösung korrespondieren).

36) Vgl. zu einem grundsätzlich andersartigen Strukturierungsansatz für die „Fälle“ in einem CBR-System beispielsweise AMIN (2021), S. 37-39.

zeitpunktbezogenen Vergleich der jeweils aktuellen Soll- und Ist-Ergebnisse erlauben.³⁷ Eine solche zeitbezogene „Versionisierung“ der Projektlösung stellt zurzeit noch eine konzeptionelle Idee dar, die in der Fachliteratur zum Case-based Reasoning noch nicht berücksichtigt wird. Auch in diesem Überblicksbeitrag lässt sie sich nicht ausarbeiten. Aber sie sollte als eine Art „Merkposten“ aufgefasst werden, wie sich der hier vorgeschlagene Ansatz für die projektbezogene Wissensstrukturierung im Rahmen des Case-based Reasonings fortentwickeln lässt, um Case-based Reasoning und betriebliches Projektmanagement noch stärker aneinander anzunähern.

Die *Projektbewertung* dient dazu, Erfahrungswissen hinsichtlich der „Güte“ der Projektplanung und -durchführung zu sammeln. Dieses Bewertungswissen fällt vor allem in den Phasen der Projektsteuerung und des Projektabschlusses – als wesentlichem Bestandteil des Projektcontrollings – an. Das Bewertungswissen schlägt sich vor allem in typischen Projektdokumenten wie „Lessons Learned“, „Debriefings“ und „Project Reports“ nieder. Ebenso kann das Bewertungswissen aus einem systematischen Vergleich zwischen jeweils komplementären Soll- und Ist-Ergebnissen gewonnen werden, die im Rahmen der Projektlösung erhoben wurden. Solche Soll-Ist-Vergleiche und die Bewertung ihrer Relevanz aus Unternehmenssicht stellen eine der Hauptaufgaben des Projektcontrollings dar. Insbesondere können hieraus führungsrelevante Informationen für künftige Projekte gewonnen werden. Dazu gehören vor allem Erkenntnisse über kritische Erfolgs- und Misserfolgskfaktoren des Projektmanagements.

3.2 Analogie-Methode des Case-based Reasonings

Case-based Reasoning beruht grundsätzlich auf der Inferenzmethode des analogen Schließens. Daher wird Case-based Reasoning auch als eine Analogie-Methode der KI-Forschung bezeichnet. Sie unterscheidet sich grundsätzlich von heute vorherrschenden „Main Stream“-Ansätzen der KI-Forschung, wie insbesondere Deep Learning Networks und Machine Learning.

Mithilfe der Inferenzmethode des analogen Schließens wird ein komplexes Problem – hier die Planung, die Durchführung, die Steuerung und das Controlling eines Projekts – nicht auf konventionelle, analytische Art in einfacher zu handhabende Teilprobleme zerlegt, um aus den Lösungen für die Teilprobleme schließlich eine Lösung für das ursprüngliche, umfassende Problem zu synthetisieren. Stattdessen wird zur Lösung für ein neues Problem nach Erfahrungen mit alten, bereits gelösten und – vor allem – möglichst ähnlichen („analogen“), aber in der Regel ebenso komplexen Problemen gesucht. Dieses Erfahrungswissen über bereits bekannte Problemlösungen wird auf das neue, noch zu lösende Problem übertragen und erforderlichenfalls an die Besonderheiten des neuen Problems angepasst. Diese Inferenzmethode des analogen Schließens entspricht stark der Vorgehensweise menschlicher Akteure, die sich in ihrem Alltagshandeln an früheren Handlungen in ähnlichen Situationen orientieren. Dies trägt wesentlich zur „Erklärbarkeit“ und „intuitiven Nachvollziehbarkeit“ von Handlungsempfehlungen bei, die von CBR-Systemen generiert werden.

37) Es ist im Projektmanagement trivial, dass die Ist-Ergebnisse in Abhängigkeit vom jeweils betrachteten Zeitpunkt und dem hiermit verknüpften aktuellen Projektfortschritt variieren. Aber auch die Soll-Ergebnisse können im Zeitablauf variieren, weil die ursprüngliche Projektplanung nicht „statisch“ vorgegeben sein muss (wie von zahlreichen Kritikern konventioneller Projektmanagementmethoden aus der Perspektive „moderner“ agiler Projektmanagementmethoden oftmals behauptet wird). Vielmehr können im Rahmen der Projektsteuerung aufgrund von Erkenntnissen, die während der ursprünglichen Projektplanung noch nicht zur Verfügung standen, Anpassungsplanungen vorgenommen werden, die zu einer Revision von früher geplanten Soll-Ergebnissen führen. Dazu gehört beispielsweise eine Verschiebung des geplanten Projektfertigstellungszeitpunkts („Deadline“) in die Zukunft, wenn angesichts des aktuellen Projektfortschritts erkannt wird, dass sich der früher geplante Projektfertigstellungszeitpunkt auf keinen Fall einhalten lässt.

Die epistemische Rechtfertigung dieser Übertragung von lösungsbezogenem Wissen über alte Probleme auf neue Probleme beruht einerseits auf der Ähnlichkeit zwischen alten Problemen und neuem Problem sowie andererseits auf der epistemischen Grundüberzeugung, dass sich für ähnliche Probleme ähnliche Lösungen eignen (Analogieprinzip). Die reale Geltung dieses Analogieprinzips oder zumindest seine universelle Anwendbarkeit können durchaus bezweifelt werden. Beispielsweise begründen Einsichten aus der „Katastrophentheorie“³⁸ (auch bekannt als „deterministisches Chaos“) mit Diskontinuitäten trotz kontinuierlicher Problemvariationen erhebliche Zweifel daran, dass ähnliche Ursachen (Probleme) stets zu ähnlichen Wirkungen (Lösungen) führen.³⁹ Stattdessen können – wie etwa bei der sogenannten „Hornkatastrophe“⁴⁰ – bereits geringfügige, z. B. zufallsbedingte Schwankungen bei der Konstitution der Ursachen eines Phänomens zu sehr unterschiedlichen Manifestationen dieses Phänomens führen. Von Komplikationen dieser Art wird beim analogiebasierten Problemlösen jedoch grundsätzlich abgesehen.

In einem CBR-System für Zwecke des Projektmanagements wird die zuvor skizzierte, im Allgemeinen auf Probleme bezogene Inferenzmethode des analogen Schließens auf Projekte als spezielle Problemausprägung übertragen. Ein neues Projekt wird bearbeitet, indem in einer Projektwissensbasis⁴¹ mit möglichst umfangreichem Erfahrungswissen über bereits bearbeitete („durchgeführte“)⁴², alte

38) Vgl. ZELEWSKI (2000), S. 438 u. 441-442, und die dort zitierte vertiefende Literatur.

39) Vgl. vor allem ZELEWSKI (2000), S. 441, zum Phänomen der „Divergenz“ hinsichtlich der Verhaltensvariable trotz Ähnlichkeit der zugrunde liegenden Kontrollvariablen im Fall von Hornkatastrophen. Hieraus resultiert die Einsicht: „Ähnliche Ursachen brauchen keineswegs ähnliche Wirkungen hervorzubringen.“ (S. 441).

40) Vgl. ZELEWSKI (2000), S. 439-442.

41) In Anlehnung an das zugrundeliegende Case-based Reasoning und an begriffliche Usancen der konventionellen Daten- oder Informationsverarbeitung wird des Öfteren auch von einer „Falldatenbank“ oder einer „Fallbasis“ gesprochen.

42) In zahlreichen Beiträgen zum Projektmanagement wird von alten, bereits durchgeführten Projekten gesprochen (dies trifft auch auf Verfasser dieses Beitrags zu). Diese Redeweise ist zwar aus betriebswirtschaftlicher Sicht intuitiv vertraut. Sie greift jedoch zu kurz, weil sich die hier betrachtete Bearbeitung eines Projekts in „ganzheitlicher“ Weise nicht nur auf die Projektdurchführung, sondern auch auf die Projektplanung, die Projektsteuerung und das Projektcontrolling erstreckt.

Projekte nach (mindestens)⁴³ einem ähnlichsten alten Projekt gesucht, das Erfahrungswissen hinsichtlich der alten Projektbearbeitung(en) aufgerufen und erforderlichenfalls an das neue Projekt angepasst wird.

Die KI-Technik des Case-based Reasonings, Erfahrungswissen über Projekte zu sammeln und mithilfe der Inferenzmethode des analogen Schließens für die Bearbeitung neuer Projekte wiederzuverwenden, lässt sich anhand des „klassischen“, vielfach zitierten 4R-Zyklus⁴⁴ in Anlehnung an AAMODT und PLAZA⁴⁵ anwendungsnah und intuitiv eingänglich beschreiben. Die ursprüngliche Version dieses

- 43) Um die Diktion möglichst einfach zu halten, wird in überblicksartigen Beschreibungen des Case-based Reasonings meistens auf nur *ein* ähnlichstes altes Projekt (oder – hier synonym verwendet – Problem oder Fall) Bezug genommen. Dies ist jedoch keineswegs denknotwendig. Stattdessen können zur Bearbeitung eines neuen Projekts auch N (mit $N \geq 2$) ähnlichste alte Projekte herangezogen werden. Vgl. zu diesem seltenen, aber im Case-based Reasoning keineswegs unbekanntem Fall „multipler Ähnlichkeitssuche“ beispielsweise ZELEWSKI/KOWALSKI/KÜHN (2011), S. 496-498; KOWALSKI/ZELEWSKI/GÜNES et al. (2011), S. 52-53; KÜHN (2010), S. 23-25 u. 51-52. Darüber hinaus lässt sich ein übergeordnetes oder „vorgeschaltetes“ betriebswirtschaftliches Optimierungsproblem hinsichtlich der Ermittlung der „optimalen“ Anzahl N einzubeziehender ähnlichster Fälle betrachten. Vgl. dazu auf der Basis eines genetischen Algorithmus vor allem KÜHN (2010), S. 25-37 u. 48-51; vgl. daneben auch ZELEWSKI/KOWALSKI/KÜHN (2011), S. 496; KOWALSKI/ZELEWSKI/GÜNES et al. (2011), S. 52.

Als Optimierungskriterien kommen beispielsweise der Bearbeitungsaufwand für ein neues Projekt und die Erhöhung der Bearbeitungsgüte für ein neues Projekt (z. B. operationalisiert anhand der geplanten Projektkosten, der geplanten Projektausführungsdauer oder auch der ex post – nach Projektende – festgestellten Einhaltung von Kosten-, Zeit und Qualitätszielen) in Betracht. Während der Bearbeitungsaufwand für ein neues Projekt mit der Anzahl N streng monoton ansteigen dürfte, erscheint eine generelle Vermutung hinsichtlich des Einflusses der Anzahl N auf die Bearbeitungsgüte für ein neues Projekt nicht in Reichweite des heutigen Verständnisses für die Funktionsweise des Case-based Reasonings. In dieser Hinsicht müsste vermutlich mit explorativen Simulationsstudien begonnen werden, in denen die Anzahl N einzubeziehender ähnlichster Fälle von $N = 1$ aus startend sukzessiv erhöht wird und die Auswirkungen auf das Verhältnis von Bearbeitungsgüte und Bearbeitungsaufwand – aus betriebswirtschaftlicher Sicht handelt es sich um einen Effizienzindikator – beobachtet werden. Die Aussagkraft solcher Simulationsstudien bleibt jedoch auf den „Einzelfall“ des speziellen Simulationsdesigns beschränkt, sodass sich hieraus keine „allgemeingültigen“ Urteile hinsichtlich der Anzahl N einzubeziehender ähnlichster Fälle „folgern“ lassen. Es zeigt sich, dass nicht nur, aber u. a. in dieser Hinsicht noch erheblicher Forschungsbedarf in Bezug auf die KI-Technik „Case-based Reasoning“ auch aus betriebswirtschaftlicher Sicht besteht. Um von Komplikationen der zuvor skizzierten Art absehen zu können, wird in diesem Überblicksbeitrag (bis auf die Andeutung in der nachfolgenden Abbildung 1 mithilfe des Zusatzes „mindestens“ und die grafische Andeutung von mehreren „hintereinander“ liegenden ähnlichsten alten Fällen) vereinfachend davon ausgegangen, dass stets nur ein ähnlichstes altes Projekt ermittelt wird.

- 44) Die Bezeichnungskomponente „4R“ bezieht sich auf die Alliteration der vier prägenden Begriffe „Retrieve – Reuse – Revise – Retain“ für die vier wesentlichen Phasen des „CBR-Zyklus“, die im Folgenden kurz beschrieben werden. Die zyklische Vorgehensweise im Case-based Reasoning wird aus der nachfolgenden Abbildung 1 durch unmittelbare Anschauung deutlich.
- 45) Vgl. AAMODT/PLAZA (1994), S. 44-45 (insbesondere Abbildung 1 auf S. 45) sowie S. 49-53. Vgl. darüber hinaus AMIN (2021), S. 14-16; BERGMANN/MINOR/BUCH et al. (2021), S. 345-347; LEAKE/YE/CRANDALL (2021), S. 3; BODENDORF/KAISER (2020), S. 1; BEIERLE/KERN-ISBERNER (2019), S. 168-172 (insbesondere Abbildung 6.1 auf S. 169); BERGENRODT/KOWALSKI (2015), S. 20-23; KHAN/CHAUDHRY (2015), S. 337-338; RICHTER/WEBER (2013), S. 33-34; BEIBEL (2011), S. 33-35 (insbesondere Abbildung 3 auf S. 34); WANG/FERGUSON/PERRY et al. (2008), S. 152-153; BODENDORF (2006), S. 148-151 u. 151-152 (mit einem praxisorientierten Beispiel); CORDIER/FUCHS/MILLE (2006), S. 305-306 (jedoch erweitert; siehe unten); MINOR (2006), S. 37-39; ROTH-BERGHOFER (2003), S. 21-22; SCHAAP (1998), S. 5-8.

In Einzelfällen erfolgt zwar eine enge Anlehnung an den 4R-Zyklus von AAMODT und PLAZA. Der 4R-Zyklus wird aber entweder verkürzt oder erweitert. Vgl. zu einer Verkürzung BOUHANA/ZIDI/FEKIH et al. (2015), S. 3729 (aus dem 4R-Zyklus werden nur die Retrieve- („retrieval“) und die Retain-Phase übernommen, dafür aber um zwei neue Phasen für „representation“ und „indexing“ ergänzt); ASSALI/LENNE/DEBRAY (2009), S. 565-566 (die Reuse-Phase fehlt, dafür werden drei andere Phasen ergänzt). Vgl. zu einer Erweiterung ASSALI/LENNE/DEBRAY (2010), S. 99 (eine zusätzliche, fünfte Phase „Elaborate“); ASSALI/LENNE/DEBRAY (2009), S. 565-566 (mit „Elaborate“ und zwei weiteren, abweichenden Phasen); CORDIER/FUCHS/MILLE (2006), S. 305 (mit „Elaborate“).

Vgl. darüber hinaus zu stärker abweichenden Konzipierungen eines CBR-Zyklus KOLODNER (1992), S. 21-27, insbesondere die Abbildung 1 auf S. 22. Eine alternative Version, die vor allem aus informationstechnischer Sicht vorgekommen wurde, befindet sich in KHAN/CHAUDHRY (2015), S. 339, Abbildung 2.

4R-Zyklus hat jedoch einige Eigenarten des Case-based Reasonings noch nicht berücksichtigt. Daher wird dieser 4R-Zyklus nachfolgend anhand der Abbildung 1 in einer überarbeiteten, vor allem inhaltlich erweiterten Version⁴⁶ vorgestellt.

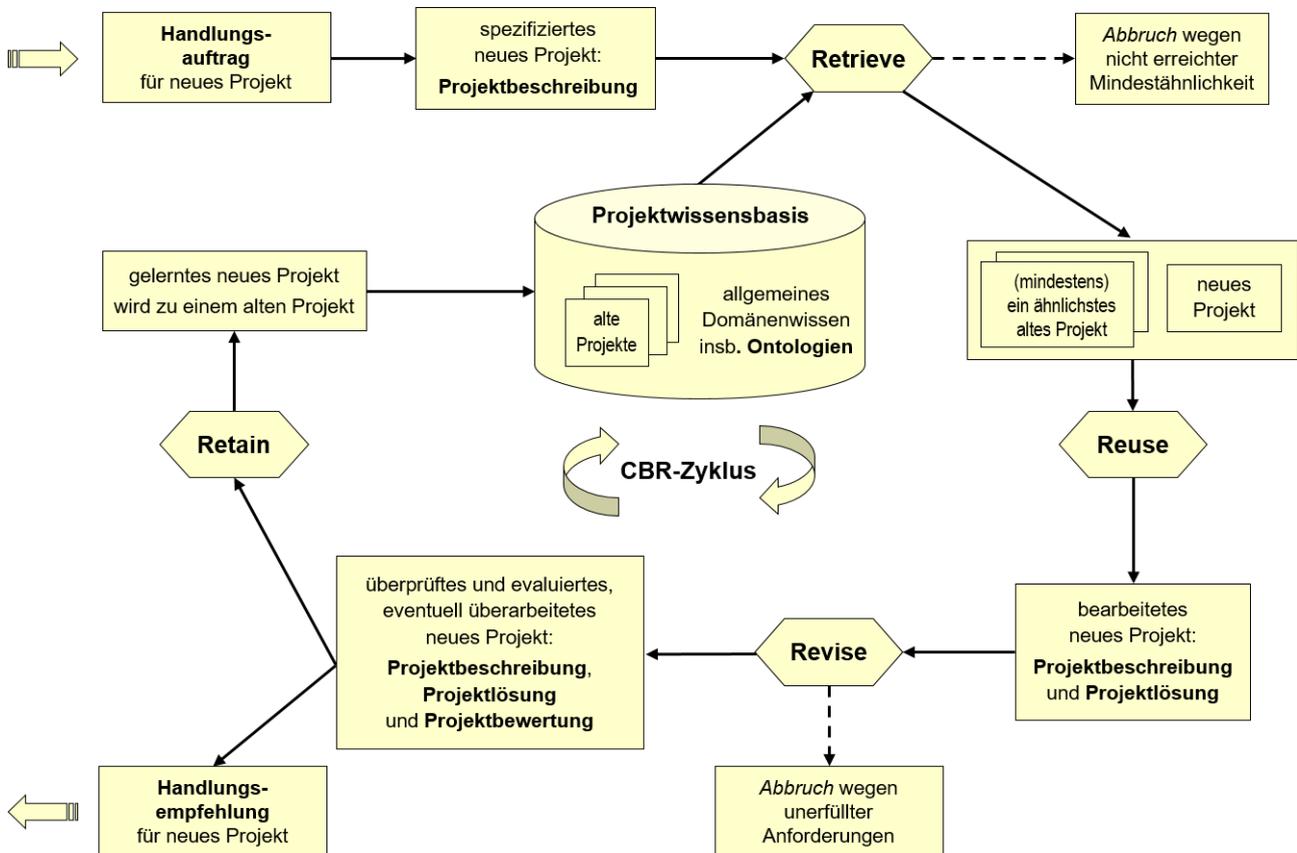


Abbildung 1: CBR-Zyklus für die Wissenswiederverwendung im betrieblichen Projektmanagement⁴⁷

Die Hauptkomponenten des CBR-Zyklus aus der voranstehenden Abbildung 1 werden im Folgenden kurz erläutert.

- Zunächst wird vom Projektmanagement ein neues Projekt in der Form einer überwiegend natürlichsprachlichen Projektbeschreibung als ein *Handlungsauftrag* (oder als ein zu lösendes Problem) spezifiziert. Der Handlungsauftrag erstreckt sich auf die bereits mehrfach angesprochenen Kernaufgaben des Projektmanagements: die Projektplanung, die Projektdurchführung, die Projektsteuerung und das Projektcontrolling.

46) Vgl. FINK/RÖHRIG/HEEB et al. (2021), S. 5-6; ZELEWSKI/KOWALSKI/BERGENRODT (2015a), S. 243-245; KOWALSKI/KLÜPFEL/ZELEWSKI et al. (2013b), S. 292-293; KOWALSKI/ZELEWSKI/GÜNES et al. (2011), S. 49-51; ZELEWSKI/KOWALSKI/KÜHN (2011), S. 492-494.

47) Es handelt sich um eine überarbeitete Version der Darstellungsweisen des CBR-Zyklus, die sich z. B. finden in: FINK/RÖHRIG/HEEB et al. (2021), S. 5; ZELEWSKI/KOWALSKI/BERGENRODT (2015a), S. 244; KOWALSKI/KLÜPFEL/ZELEWSKI et al. (2013a), S. 258; KOWALSKI/KLÜPFEL/ZELEWSKI et al. (2013b), S. 292; KOWALSKI/KLÜPFEL/ZELEWSKI et al. (2012), S. 83; KOWALSKI/ZELEWSKI/GÜNES et al. (2011), S. 50; ZELEWSKI/KOWALSKI/KÜHN (2011), S. 492.

- *Retrieve-Phase*: Anhand der Projektbeschreibung wird in der Projektwissensbasis nach (mindestens) einem ähnlichsten alten, bereits bearbeiteten Projekt gesucht. Wesentliche Instrumente sind hierbei Ontologien, welche die computergestützte Verarbeitung insbesondere natürlichsprachlichen Wissens ermöglichen und aufgrund ihrer Repräsentation in Ontologie-Graphen eine Ähnlichkeitsmessung zwischen begrifflichen Konzepten als Weglängen zwischen konzeptdarstellenden Knoten gestatten. Hierauf wird im nächsten Kapitel zurückgekommen.

Falls in der Retrieve-Phase kein altes Projekt gefunden wird, das eine benutzerseitig vorgegebene Mindestähnlichkeit⁴⁸ aufweist, wird die Anwendung der CBR-Methode ergebnislos abgebrochen. Daher führt die CBR-Methode nicht immer zu einem erfolgreichen Ergebnis der Wissenswiederverwendung. Hierdurch unterscheidet sie sich deutlich von konventionellen Algorithmen.⁴⁹

- *Reuse-Phase*: Es erfolgt eine Gap-Analyse hinsichtlich der Abweichungen zwischen dem (mindestens einen) ähnlichsten alten Projekt und dem vorgegebenen neuen Projekt. Anhand der identifizierten Abweichungen wird vor allem die Planung für das alte Projekt mithilfe von Anpassungsregeln an das neue Projekt angepasst. Das Anpassungsergebnis – die Projektlösung – ergänzt die eingangs vorgegebene Projektbeschreibung für das neue Projekt. Die Reuse-Phase erstreckt sich zurzeit bei Anwendungen des Case-based Reasonings auf das betriebliche Projektmanagement nur auf die Projektplanung. Einer Wissenswiederverwendung auf die Projektdurchführung, die Projektsteuerung und das Projektcontrolling stehen zwar keine grundsätzlichen Hindernisse im Wege. Aber diesbezüglich stehen noch keine Forschungsergebnisse zur Verfügung.

48) Die Festlegung einer solchen Mindestähnlichkeit stellt keineswegs eine triviale Aufgabe dar. In der Regel erfolgt sie „pragmatisch“, was letztlich einen Euphemismus für den Mangel an Erkenntnissen hinsichtlich einer „begründeten“ oder zumindest „begründbaren“ Festlegung darstellt. Abermals könnte ein betriebswirtschaftliches Optimierungsproblem hinsichtlich der Ermittlung einer solchen Mindestähnlichkeit formuliert werden. Den Verfassern dieses Beitrags sind keine Ansätze hierfür aus der einschlägigen Fachliteratur bekannt und sie sehen derzeit hierfür auch keinen vielversprechenden Ansatz. Aber es ist sicherlich nicht unangemessen, zukünftigen Forschungsbedarf hinsichtlich solcher Mindestähnlichkeiten zu konstatieren, um Case-based Reasoning auch aus betriebswirtschaftlicher Perspektive weiterzuentwickeln.

49) Konventionelle Algorithmen gestatten stets, ein Berechnungsergebnis zu ermitteln, sofern die (näher zu spezifizierenden) Anwendungsvoraussetzungen für die Algorithmen erfüllt sind und „pathologische“ Algorithmeigenschaften, wie insbesondere „Endlosschleifen“, ausgeschlossen sind (dies lässt sich durch ein sorgfältiges Algorithmen-design in der Regel verhindern). Case-based Reasoning als Methode zur Problemlösung mittels analogen Schließens kann jedoch wegen nicht erreichter Mindestähnlichkeit auch dann scheitern, wenn ihre Anwendungsvoraussetzungen erfüllt und „Pathologien“ ausgeschlossen werden. Daher stellt Case-based Reasoning zwar eine Methode zur wissensbasierten Problemlösung dar, kann aber nicht mit dem konventionellen Algorithmenbegriff, wie er beispielsweise im Operations Research verbreitet ist, gleichgesetzt werden.

- *Revise-Phase*: Die Projektlösung wird hinsichtlich ihrer Plausibilität überprüft („validiert“)⁵⁰ und hinsichtlich ihrer Eignung zur Wiederverwendung evaluiert.⁵¹ Dies kann sowohl „manuell“ durch erfahrene Projektmanager als auch computergestützt mittels Integritäts- bzw. Generalisierbarkeitsregeln geschehen. Um diese Überprüfungs- und Evaluierungsarbeiten zu unterstützen, müssen konkrete Lösungsanforderungen an „akzeptable“ Projektlösungen spezifiziert werden. Falls diese Lösungsanforderungen von der bisher erarbeiteten Projektlösung nicht vollständig erfüllt werden, müssen – entweder computergestützt oder seitens erfahrener Projektmanager – Korrekturen („Reparaturen“) der bislang vorliegenden Projektlösung vorgenommen werden, die darauf abzielen, diese vorläufige Projektlösung so zu überarbeiten, dass alle Lösungsanforderungen erfüllt werden.

Falls sich grundlegende Plausibilitäts- oder Wiederverwendbarkeitsanforderungen nicht erfüllen lassen, wird die Anwendung der CBR-Methode wegen „irreparabler“ Lösungsanforderungen abermals ergebnislos abgebrochen. Andernfalls fließen die Erkenntnisse der *Revise-Phase* in die Projektbewertung ein. Dies betrifft vor allem Erkenntnisse hinsichtlich der Eignung einer Projektlösung hinsichtlich ihrer Wiederverwendung für andere, neue Projekte, wie z. B. im Hinblick auf die Unterscheidung zwischen „typischen“ (zur Wissenswiederverwendung prädestinierten) und „idiosynkratischen“ (hinsichtlich ihrer Generalisierbarkeit höchst fragwürdigen) Projekten. Beispielsweise kann sich eine Projektlösung für ein einzelnes Projekt zwar als plausibel erweisen (vor allem dann, wenn die Projektanforderungen aus der Projektbeschreibung vollständig erfüllt werden), aber dennoch hinsichtlich der „generalisierenden“ Wissenswiederverwendung große Bedenken aufwerfen, weil sich das betroffene Projekt aufgrund der Gesamtheit seiner Projektmerkmale als „überaus einmalig“ erweist.
- In der *Retain-Phase* wird das Tripel aus der Projektbeschreibung, der Projektlösung und der Projektbewertung für das neue Projekt als Wissen über ein ursprünglich neues, jetzt „gelerntes“ neues Projekt und somit hinsichtlich des Lern- und Wissensverarbeitungsprozesses „altes“ Projekt in die Projektwissensbasis aufgenommen. Diese *Retain-Phase* erweist sich aus betriebswirtschaftlicher Perspektive als wenig interessant, insbesondere nicht als „problemgeladen“ wie die drei voranstehenden Phasen. Aber in informationstechnischer Hinsicht spielt die *Retain-Phase* vor allem im Hinblick auf den Prozess der projektbezogenen Wissensakkumulation dennoch eine wichtige Rolle.
- Schließlich werden parallel zur *Retain-Phase* die Projektlösung als eine *Handlungsempfehlung* für das neue Projekt an das Projektmanagement ausgegeben. Diese Handlungsempfehlung kann als „Hintergrundwissen“ auch die Projektbewertung umfassen. Aus betriebswirtschaftlicher Sicht ist diese „Lösungsanreicherung“ ausdrücklich zu empfehlen, weil sie es den Mitarbeitern und Entscheidungsträgern im Projektmanagement ermöglicht, die vom CBR-System generierte Projektlösung aus dem Blickwinkel der Projektbewertung zu interpretieren (erweiterte Handlungsempfehlung).

50) In der einschlägigen Fachliteratur überwiegt der Validierungsbegriff. Er erweist sich jedoch als „semantisch unsauber“, weil „Validierung“ stets die Assoziation weckt, dass etwas (das Untersuchungsobjekt) als „richtig“, „korrekt“ oder Ähnliches nachgewiesen wird. Dies ist in wissenschaftlichen Publikationen mit Ausführungen zur „Validierung“ auch oftmals der Fall. Um diesem (positiven!) Vorurteil zugunsten des eigenen Untersuchungsobjekts vorzubeugen, wird hier bewusst der ergebnisneutrale Begriff der „Überprüfung“ verwendet, der sowohl für ein positives als auch für ein negatives Überprüfungsergebnis offensteht.

51) Plausibilitätsüberprüfung („Validierung“) und Evaluierung der Wiederverwendungseignung meinen nicht dasselbe, weil eine Projektlösung sowohl plausibel als auch zur Wissenswiederverwendung kaum geeignet sein kann. Hierauf wird in Kürze zurückgekommen. Allerdings wird eingeräumt, dass die Plausibilität einer Projektlösung auch als eine Komponente der Evaluierung dieser Projektlösung betrachtet werden kann. Um eine solche inhaltliche Überschneidung zu vermeiden, wird in diesem Beitrag die Evaluierung einer Projektlösung bewusst eng ausgelegt und nur auf den Aspekt der Generalisierbarkeit dieser Problemlösung bezogen.

Zurzeit steht die KI-Technik des Case-based Reasonings – vor allem im Hinblick auf die zugrunde liegende Inferenzmethode des analogen Schließens – vor drei grundlegenden methodischen Herausforderungen („Problemen“) hinsichtlich ihrer Anwendung auf die Wiederverwendung von Erfahrungswissen im betrieblichen Projektmanagement:

- *Ähnlichkeitsmessungsproblem:* Für die Verarbeitung überwiegend natürlichsprachlichen Erfahrungswissens aus alten, bereits bearbeiteten und möglichst ähnlichen Projekten muss in der Retrieve-Phase eine möglichst „umfassende“ Ermittlung von Projektähnlichkeiten in die Algorithmen des Case-based Reasonings integriert werden. Dies stellt ein keineswegs triviales Problem dar, das sich in drei Subprobleme ausdifferenzieren lässt: Es lässt sich erheblich darüber streiten, erstens welche Merkmale aus Projektbeschreibungen in eine Ähnlichkeitsberechnung einbezogen werden (Problem der Merkmalsrelevanz), zweitens wie die quantitative Ähnlichkeitsmessung je Projektmerkmal konkret erfolgt (Problem des Ähnlichkeitsmaßstabs) und drittens wie die Ergebnisse der Ähnlichkeitsmessung je Projektmerkmal zu einem Gesamtmaß für die Ähnlichkeit zweier Projekte aggregiert werden (Aggregationsproblem).
- *Wissensanpassungsproblem:* Zweitens erweist es sich in der Reuse-Phase nach wie vor als besonders schwer, das Erfahrungswissen, das über die Bearbeitung (mindestens) eines alten, bereits bearbeiteten Projekts computergestützt zur Verfügung steht, an die „idiosynkratischen“ Besonderheiten eines neuen Projekts anzupassen. Entsprechende Anpassungsregeln werden zwar zuweilen am Rande erwähnt oder als wünschenswert hervorgehoben⁵². Aber konkrete Konzepte oder sogar computergestützte Werkzeuge für solche Anpassungsregeln liegen zurzeit nur für Spezialfälle⁵³ oder nur in sehr „abstrakter“, für das betriebliche Projektmanagement nicht anwendungstauglicher Form⁵⁴ vor.

-
- 52) Vgl. beispielsweise BEIERLE/KERN-ISBERNER (2019), S. 167 u. 171; ZELEWSKI/KOWALSKI/BERGENRODT (2015a), S. 255. Mitunter werden Anpassungsregeln oder der weiter gesteckte Bereich der „Fallanpassung“ aus den eigenen Betrachtungen des Case-based Reasonings sogar schlicht ausgeschlossen; vgl. beispielsweise AMIN (2021), S. 135; BEIBEL (2011), S. 12 u. 70. Vgl. darüber hinaus die sehr kritischen, wohlfundierten Ausführungen in SMYTH/KEANE (1998), S. 251-252, zu den erheblichen konzeptionellen Schwierigkeiten von Anpassungsregeln oder „Fallanpassung“ im Case-based Reasoning.
- 53) Vgl. vor allem im Bereich von Projektkosten- und Projektaufwandsschätzungen mithilfe des Case-based Reasonings JI/PARK/LEE et al. (2011), S. 222-225; KOWALSKI/ZELEWSKI/GÜNES et al. (2011), S. 53-54; ZELEWSKI/KOWALSKI/KÜHN (2011), S. 498-499; KIM/KIM (2010), S. 502; IDRI/ABRAN/KHOSHGOFTAAR (2004), S. 83-85; KURBEL/DORNHOFF (1993), S. 1060. Vgl. auch HANNEY/KEANE (1997), S. 360-366, mit Anpassungsregeln, die anscheinend nur auf Fälle (Projekte) angewendet werden können, deren Falllösungen sich nur hinsichtlich der Werte eines numerischen Attributs unterscheiden; vgl. das Beispiel zur Hauspreisanpassung für einen neuen Fall auf S. 361-362.
- 54) Vgl. zu solchen abstrakten, vor allem entweder nur natürlichsprachlich umschriebenen oder aber rein mathematisch, formallogisch oder informationstechnisch spezifizierten Konzepten für Anpassungsregeln im Case-based Reasoning BERGMANN/MINOR/BUCH et al. (2021), S. 368-370; LEAKE/YE/CRANDALL (2021), S. 3-6; AMIN (2021), S. 44-47, insbesondere S. 46; BEIERLE/KERN-ISBERNER (2019), S. 200-203 (nur natürlichsprachlich skizziert); BERGENRODT/KOWALSKI/ZELEWSKI (2015), S. 533-536, insbesondere die „generische“ Anpassungsregel auf S. 535; AMAILEF/LU (2013), S. 86-87 u. 89-91; ASSALI/LENNE/DEBRAY (2013), S. 1250041-3 - 1250041-10; RICHTER/WEBER (2013), S. 189-220; YANG (2013), S. 3359; JI/PARK/LEE (2012), S. 45-47 (nur natürlichsprachlich skizziert); MANSOURI/HAMDI-CHERIF (2011), S. 332; ASSALI/LENNE/DEBRAY (2010), S. 106 u. 108-110; COJAN/LIEBER (2010), S. 57-63; BADRA/CORDIER/LIEBER (2009), S. 62-65 u. 67-71; CHEN/CHEN/SU et al. (2009), S. 1073 u. 1075; AVRAMENKO/KRASLAWSKI (2008), S. 90-92; RECIO-GARCÍA (2008), S. 30-33; SÁNCHEZ-RUIZ/GÓMEZ-MARTÍN/DÍAZ-AGUDO et al. (2008), S. 504-507 u. 512-514; RECIO-GARCÍA/DÍAZ-AGUDO/GONZÁLEZ-CALERO et al. (2007), S. 155-156 u. 159-161; BODENDORF (2006), S. 149-150; CORDIER/FUCHS/MILLE (2006), S. 311-312; CRAW/WIRATUNGA/ROWE (2006), S. 1177-1181 u. 1183-1189; MITRA/BASAK (2005), S. 628-639 (ein breit angelegter Überblicksbeitrag), MAIN/DILLON/SIU (2001), S. 14-15; LIEBER/BRESSON (2000), S. 177-179; SMYTH/KEANE (1998), S. 254-274; NAPOLI/LIEBER/CURIEN (1996), S. 298-299 u. 302-305; AAMODT/PLAZA (1994), S. 51-52; SMYTH/CUNNINGHAM (1993), S. 4-12; KOLODNER (1992), S. 25.

- *Validierungs- und Evaluierungsproblem:* Für die Revise-Phase liegen noch kaum allgemein einsetzbare Konzepte vor, wie sich die Plausibilität einer Projektlösung überprüfen („validieren“) und hinsichtlich ihrer Eignung zur Wiederverwendung einstufen („evaluieren“) lässt.⁵⁵ Einzelne Vorschläge aus der einschlägigen Fachliteratur⁵⁶ zu diesen Aspekten bleiben zumeist sehr vage und oberflächlich (bis hin zu „nichtssagend“), allenfalls besitzen sie nur exemplarischen oder anekdotischen Charakter. Außerdem liegen keine substanziellen Erkenntnisse darüber vor, wie sich Projektlösungen für bearbeitete Projekte im Falle von Validitäts- oder Wiederverwendbarkeitsmängeln so überarbeiten („reparieren“) lassen,⁵⁷ dass sie vor ihrer Übernahme in die Projektwissensbasis die Lösungsanforderungen im Hinblick auf Validität und Generalisierbarkeit erfüllen.

Die voranstehenden Ausführungen zur Analogie-Methode des Case-based Reasonings verdeutlichen, dass es sich hierbei keineswegs um einen „einfachen Algorithmus“ oder eine weitgehend „beherrschte“ KI-Technik handelt. Vielmehr weist das Case-based Reasoning mehrere „methodische Untiefen“ auf, die seine Anwendung auf das betriebliche Projektmanagement zwar nicht grundsätzlich infrage stellen, aber dennoch einer sorgfältigen Beachtung und auch weiterer Forschungsanstrengungen bedürfen. Auf eine dieser Schwierigkeiten, das Ähnlichkeitsmessungsproblem, wird in den anschließenden Kapiteln 3.3 und 4.1.2 aus grundsätzlicher bzw. aus instrumenteller Sicht in exemplarischer Weise näher eingegangen.

3.3 Ontologien für die Projektmanagement-Domäne

In der Domäne⁵⁸ des Projektwissensmanagements gilt es, eine Fülle von projektbezogenem Wissen zu verarbeiten. Es handelt sich insbesondere um Erfahrungswissen über bereits bearbeitete, alte Projekte, das „im Prinzip“ für Planung, Durchführung, Steuerung und Controlling neuer Projekte wiederverwendet werden könnte, tatsächlich jedoch kaum benutzt wird. Dieses „an sich“ wiederverwendbare Wissen liegt vor allem in der Form einer großen Anzahl von Dokumenten mit schlecht strukturiertem, qualitativem und überwiegend natürlichsprachlich repräsentiertem Wissen über alte Projekte vor. Diese Dokumente sind in den betroffenen Unternehmen zumeist mit Textverarbeitungssoftware erstellt worden und stehen daher in der Regel auf computerbasierten Datenbanken oder Dokumenten-Servern zur Verfügung. Da die Dokumente, die auf diesen computerbasierten Systemen gespeichert sind, umfangreiches Erfahrungswissen über alte Projekte enthalten, werden die Systeme hier als Projektwissensbasen bezeichnet.

Zwar bestehen aufgrund der Existenz solcher Projektwissensbasen vielversprechende Voraussetzungen dafür, wissensintensive Geschäftsprozesse des Projektmanagements – vor allem Prozesse der Wiederverwendung von projektbezogenem Erfahrungswissen – computergestützt auszuführen. Je-

55) Vgl. ZELEWSKI/KOWALSKI/BERGENRODT (2015a), S. 255.

56) Vgl. zur Revise-Phase beispielsweise FINK/RÖHRIG/HEEB et al. (2021), S. 6; BEIERLE/KERN-ISBERNER (2019), S. 168; KHAN/CHAUDHRY (2015), S. 337; ZELEWSKI/KOWALSKI/BERGENRODT (2015a), S. 245; RECIO-GARCÍA/GONZÁLEZ-CALERO/DÍAZ-AGUDO (2014), S. 134 (hier werden „revision methods“ nur erwähnt, ohne sie inhaltlich zu konkretisieren); RICHTER/WEBER (2013), S. 224-226; KOWALSKI/ZELEWSKI/GÜNES et al. (2011), S. 51 (mit zumindest einer konkreten Validitätsanforderung an fallbasierte Kostenschätzungen); WANG/FERGUSON/PERRY et al. (2008), S. 153; BODENDORF (2006), S. 150; AAMODT/PLAZA (1994), S. 44 u. 52.

57) Vgl. zu den wenigen Vorschlägen für solche „Reparaturen“ von Projektlösungen (oder allgemein: Falllösungen) beispielsweise KOWALSKI/ZELEWSKI/GÜNES et al. (2011), S. 51; AAMODT/PLAZA (1994), S. 52 (allerdings auch nur rein natürlichsprachlich und sehr vage).

58) Unter einer „Domäne“ wird vor allem im Kontext von „IT und KI“ ein Realitätsausschnitt verstanden, der als *Anwendungsbereich* für eine Informationstechnik oder eine KI-Technik fokussiert wird.

doch sind aktuell verfügbare computergestützte Projektmanagementsysteme auf die Fähigkeit beschränkt, Dokumente mit dem Erfahrungswissen über alte Projekte in einer Projektwissensbasis zu vorgegebenen Beschreibungen neuer Projekte nur dann auffinden zu können, wenn sich die neuen Projektbeschreibungen und die alten Projektdokumente auf der rein syntaktischen Ebene von „Text-Sequenzen“ als ähnlich erweisen. Daher erfolgt die Suche in einer Projektwissensbasis nach Dokumenten über ähnliche alte Projekte nur mithilfe von Suchworten (oder deren Kombinationen) als ein simples „string matching“. Eine inhaltsadressierte und somit *semantische* Suche nach wiederverwendbarem Erfahrungswissen findet auf diese Weise nicht statt.

Aus den vorgenannten Gründen besteht eine große Herausforderung für das computergestützte Projektwissensmanagement darin, das Erfahrungswissen über alte, bereits bearbeitete Projekte, das großenteils⁵⁹ in der Gestalt von schlecht strukturierten⁶⁰, natürlichsprachlichen Dokumenten mit großen Anteilen qualitativen Projektwissens vorliegt, in einer für Computer leicht zugänglichen Weise aufzubereiten und im Hinblick auf neue Projekte wiederzuverwenden.⁶¹ Diese Herausforderung lässt sich – inhaltlich etwas verengt, dafür aber plakativ – als „Dilemma der Natürlichsprachlichkeit“ umschreiben:

- Einerseits ist die *Natürlichsprachlichkeit* der Wissensrepräsentation oftmals notwendig, um *qualitatives* Projektwissen in einer inhaltsreichen und den betrieblichen Mitarbeitern im Projektmanagement vertrauten Ausdrucksweise darzustellen.
- Andererseits erfordert der Einsatz von Computersystemen, um das o. a. Wissensmengenproblem zu beherrschen, eine *formalsprachliche* Wissensrepräsentation. Hinzu kommt, dass die Messung von Ähnlichkeiten zwischen Projektbeschreibungen *quantitative* Ähnlichkeitsmaßstäbe in Bezug auf die miteinander zu vergleichenden Projektmerkmale voraussetzt, sofern Ähnlichkeit als ein genuin quantitativer Sachverhalt konzeptualisiert wird.

Erschwerend kommt hinzu, dass die Dokumente, die den größten Teil des Erfahrungswissens über alte, bereits bearbeitete Projekte umfassen, nicht nur schlecht strukturiert und in natürlicher Sprache verfasst sind, sondern sich im betrieblichen Alltag auch noch als hochgradig heterogen hinsichtlich der jeweils präsupponierten Terminologien erweisen. Diese terminologische Heterogenität lässt sich in komplexen⁶², insbesondere internationalen Projekten mit einer Vielzahl von Akteuren (Personen, Unternehmen, hoheitlichen und regierungsfernen Organisationen sowie sogar Softwaresystemen), kaum vermeiden, weil die Akteure es gewohnt sind, ihre Gedanken in unterschiedlichen unternehmens-, organisations- oder softwarespezifischen „Dialekten“ sowie in unterschiedlichen National-sprachen auszudrücken.

Ontologien⁶³ bieten einen viel versprechenden Ansatz, die zuvor skizzierten Schwierigkeiten zu überwinden, natürlichsprachlich repräsentiertes, insbesondere qualitatives und terminologisch heterogenes Projektwissen computergestützt aufzubereiten und wiederzuverwenden. Insbesondere ist es mit der Hilfe von Ontologien möglich, die „semantischen Distanzen“ und somit auch die Ähnlichkeit

59) Vgl. GRIMES (2008), S. 1-4 mit Angaben in der Größenordnung zwischen 80 und 90 %. TAN schätzt den Anteil solcher Dokumente für das betriebliche Wissensmanagement insgesamt, also nicht speziell in Bezug auf das betriebliche Projektmanagement, auf ca. 80 %; vgl. TAN (1999), S. 65.

60) GRIMES (2008), S. 1-2 u. 4, und TAN (1999), S. 65 („dealing with text data that are inherently unstructured and fuzzy“), sprechen sogar von unstrukturierten Dokumenten.

61) Vgl. ZELEWSKI/BRUNS/KOWALSKI (2012), S. 172 u. 176.

62) Eine ausführliche Erörterung der intrinsischen Komplexität von Projekten findet sich beispielsweise bei DE TONI/PESSOT (2021), S. 541-545.

63) Auf Überblicke über Ontologien wurde bereits in Kapitel 2.3 (Fußnote 21) mit ausführlichen Quellenangaben hingewiesen.

zwischen natürlichsprachlichen Begriffen zu „vermessen“, mit denen vor allem das qualitative Wissen über unterschiedliche Projekte in den Dokumenten einer Projektwissensbasis repräsentiert wird.

In der hier gebotenen Kürze kann die wissenschaftliche Diskussion über ein „angemessenes“ Ontologieverständnis nicht referiert werden. Stattdessen wird ein Ontologieverständnis zugrunde gelegt, das zwar der vielfach zitierten Ontologiedefinition von GRUBER⁶⁴ folgt, aber einige Schwächen dieses Definitionsansatzes⁶⁵ zu vermeiden versucht.⁶⁶ Eine Ontologie ist eine explizite und formalsprachliche Spezifikation derjenigen sprachlichen Ausdrucksmittel, die nach Maßgabe einer von mehreren Akteuren gemeinsam verwendeten Konzeptualisierung von realen Phänomenen für die Konstruktion repräsentationaler Modelle als erforderlich erachtet werden. Die Konzeptualisierung erstreckt sich auf jene realen Phänomene, die in einem subjekt- und zweckabhängig eingegrenzten Realitätsausschnitt von den Akteuren als wahrnehmbar oder vorstellbar angesehen werden und für die Kommunikation zwischen den Akteuren benutzt oder benötigt werden.

Wichtig an dieser Ontologiedefinition ist, dass sie – im Gegensatz zur vielzitierten Ontologiedefinition von GRUBER – es *nicht* nahelegt, bei einer Ontologie würde es sich um eine formalsprachliche Spezifikation des Wissens über einen Realitätsausschnitt handeln (dies würde eher ein repräsentationales Modell des betroffenen Realitätsausschnitts darstellen). Vielmehr spezifiziert eine Ontologie „nur“ die (*formal-*)*sprachlichen Ausdrucksmittel*, mit deren Hilfe sich vor allem repräsentationale Modelle von Realitätsausschnitten konstruieren lassen. Diese „Beschränkung“ des Ontologiebegriffs auf sprachliche Ausdrucksmittel kommt in der einschlägigen Fachliteratur, aber auch in „populärwissenschaftlichen“ Beiträgen zum Ontologie-Thema oftmals viel zu kurz oder wird sogar vollständig ignoriert. Infolgedessen fällt es oftmals schwer, Ontologien (ohne ihre Beschränkung auf sprachliche Ausdrucksmittel) von formalsprachlichen Modellen für einen Realitätsausschnitt inhaltlich präzise abzugrenzen. Dies gilt insbesondere dann, wenn Ontologien bis auf die unterste Ebene der „Instanzen“ von Konzepten (Klassen)⁶⁷ und von Relationen heruntergebrochen werden, die jeweils reale Objekte bzw. Sachverhalte repräsentieren sollen.

In der hier gebotenen Kürze kann keine Ontologie präsentiert werden, die aus betriebswirtschaftlicher Perspektive für die Domäne des Projektmanagements realistisch und begrifflich präzise wäre. Eine solche Ontologie wäre viel zu umfangreich, um in einem „Textdokument“ wie diesem Beitrag dokumentiert werden zu können. Stattdessen wird in der nachfolgenden Abbildung 2 nur ein kleiner

64) Vgl. GRUBER (1995), S. 908.

65) Vgl. zur ausführlichen Diskussion der Ontologiedefinition(en) von GRUBER beispielsweise ZELEWSKI (2015), S. 112-114; ZELEWSKI (2005b), S. 143-146.

66) Vgl. zu den beiden nachfolgenden Sätzen für eine erweiterte und präzisierete Ontologiedefinition ZELEWSKI/KOWALSKI/BERGENRODT (2015a), S. 248; ZELEWSKI (2015), S. 122-126; ZELEWSKI/BRUNS/KOWALSKI (2012), S. 162-163; ZELEWSKI (2005b), S. 153-157; ZELEWSKI (2002), S. 66.

67) Im Rahmen von Ontologien werden die Begriffe „Konzept“ und „Klasse“ in der Regel als synonyme Bezeichnungen verwendet. Im vorliegenden Beitrag wird ebenso verfahren. Im Interesse der „Anschlussfähigkeit“ an die einschlägige Fachliteratur und eingesetzte KI-Tools wird die Maßgabe verwendet, entweder den Konzept- oder den Klassenbegriff jeweils dann zu bevorzugen, wenn er in den angeführten Quellen bzw. beim betrachteten KI-Tool vorherrscht. Beispielsweise wird im Kontext des KI-Tools jCORA von Konzepten gesprochen, weil an seiner Benutzeroberfläche stets von (Instanzen und) Konzepten die Rede ist. Vgl. dazu die Abbildungen mit Screenshots dieses KI-Tools, die später in Kapitel 4.1.1 ab Abbildung 3 angeführt werden. Dagegen wird in Kapitel 4.1.2 zur exemplarischen Ähnlichkeitsberechnung der Klassenbegriff bevorzugt, weil er in den zugrunde liegenden Quellen und auch in der zugehörigen Abbildung 18 verwendet wird.

Ausschnitt aus einer Projekt-Ontologie⁶⁸ für internationale Logistik-Projekte mit starkem Bezug auf internationale Zoll-Bestimmungen und Verpackungen im internationalen Güterverkehr präsentiert, um einen „intuitiven“ Zugang zu solchen Projekt-Ontologien zu vermitteln.

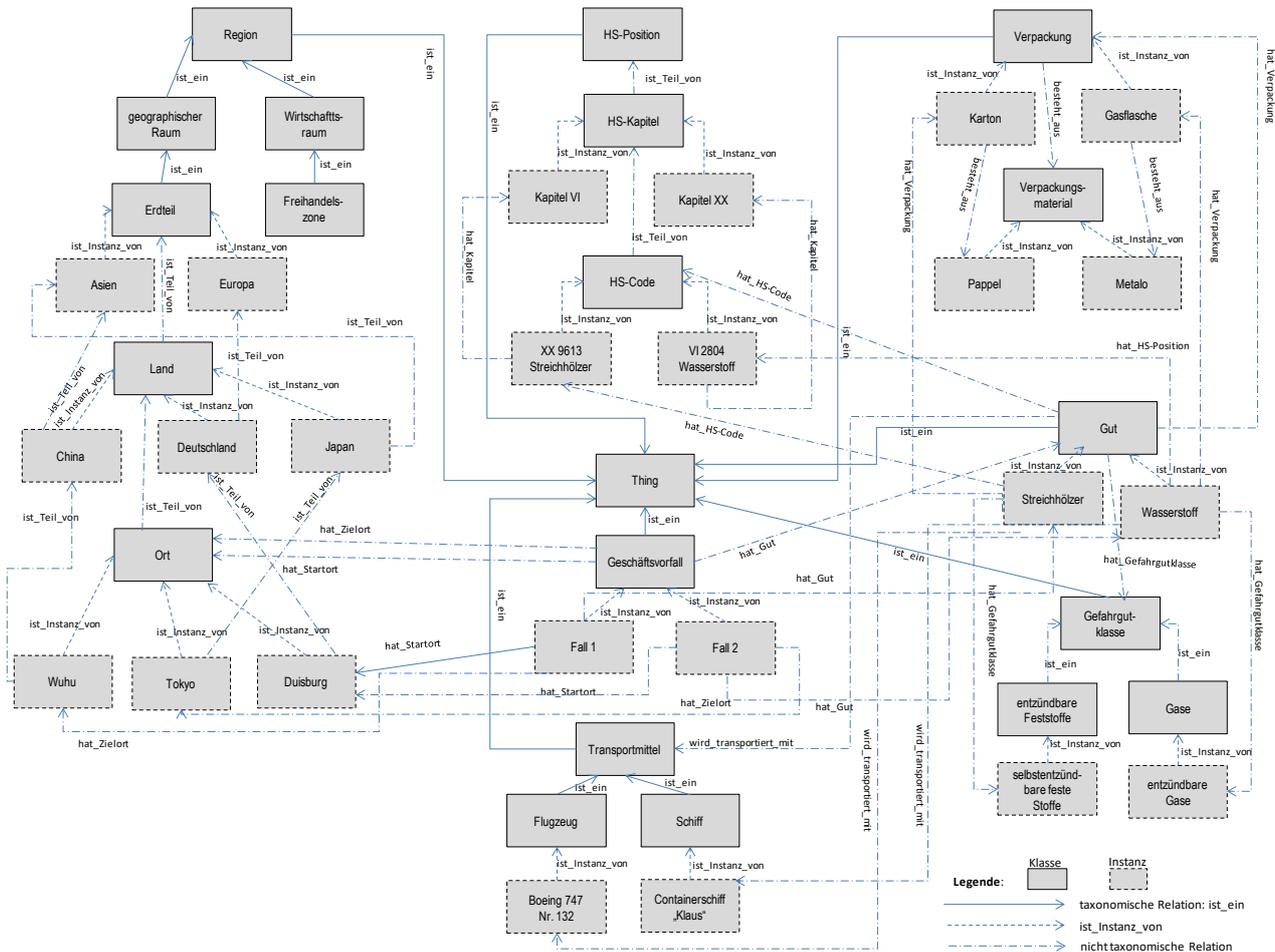


Abbildung 2: Ausschnitt aus einer Ontologie für internationale Logistik-Projekte⁶⁹

Ontologien⁷⁰ stellen einen ⁷¹ *zentralen Ansatzpunkt* dafür dar, um das bereits beschriebene *Ähnlichkeitsmessungsproblem* für das Case-based Reasoning zu lösen. Insbesondere bieten sich Ontologien

68) Vgl. ausführlich zu dieser Projekt-Ontologie, die sich streng genommen aus einem Ensemble von Teilontologien (Transportmittel-, Verpackungs- und Zoll(teil)ontologien) zusammensetzt, KOWALSKI/ZELEWSKI (2015b), S. 599-612; KOWALSKI/ZELEWSKI (2015c), S. 616-655; ZELEWSKI/KOWALSKI/BERGENRODT (2015a), S. 248-255; KOWALSKI/BAHSE (2013), S. 30-70; KOWALSKI/KLÜPFEL/ZELEWSKI et al. (2013a), S. 262-267; KOWALSKI/QUINK (2013), S. 26-38; KOWALSKI/KATER (2011), S. 29-58.

69) Quelle: ZELEWSKI/KOWALSKI/BERGENRODT (2015a), S. 249.

70) Ontologien wurden seitens der KI-Forschung zunächst vollkommen *unabhängig* vom Case-based Reasoning entwickelt. Sie bieten aber einen vielversprechenden Ansatz, um Case-based Reasoning hinsichtlich der Ähnlichkeitsmessung zwischen Projekten zu bereichern. Daher widmet sich dieser Beitrag vor allem der *Kombination* von Ontologien und Case-based Reasoning. Sie wird nachfolgend in der Gestalt von ontologiegestützten CBR-Systemen thematisiert werden.

71) Vgl. als Alternative zu Ontologien für die Ähnlichkeitsmessung zwischen Projekten, der in „konventioneller“ Weise unabhängig von Case-based Reasoning im Speziellen und KI-Techniken im Allgemeinen vorgeht, VON WASIELEWSKI (2010), insbesondere S. 35-52 u. 55-71. Es übersteigt das Erkenntnisinteresse dieses Beitrags, die Leistungsfähigkeit solcher Alternativen mit der Leistungsfähigkeit in Bezug auf die Ähnlichkeitsmessung zwischen Projekten zu beurteilen. Für einen solchen Leistungsfähigkeitsvergleich sind weitere, umsendere Studien erforderlich.

an, um die sprachlichen Ausdrucksmittel für Erfahrungswissen über Projekte zu strukturieren. Dies wird nachfolgend im Hinblick auf eine „Projekt-Ontologie“ ansatzweise verdeutlicht.

Die besondere Herausforderung – oder sogar „Kunsthfertigkeit“ – besteht für das Case-based Reasoning darin, mithilfe einer Projekt-Ontologie die Ähnlichkeit zwischen zwei Projekten – in der Regel zwischen einem neuen Projekt und jeweils einem alten, bereits bearbeiteten, in der Projektwissensbasis enthaltenen Projekt – anhand des Wissens über die beiden betroffenen Projekte quantitativ präzise zu beurteilen (zu „messen“).

Zum Zweck der Ähnlichkeitsmessung müssen projektspezifische Ausprägungen von Projektmerkmalen, die Mitarbeiter eines Unternehmens hinsichtlich des Projektmanagements für relevant erachten, miteinander verglichen werden. Diese Merkmalsausprägungen finden sich einerseits vor allem in den Beschreibungen alter, bereits bearbeiteter Projekte, zuweilen aber auch in den zugehörigen Projektbewertungen (z. B. im Hinblick auf kritische Erfolgs- und Misserfolgskriterien). Diese Projektbeschreibungen und Projektbewertungen alter Projekte sind in der Projektwissensbasis eines CBR-Systems abgelegt. Andererseits müssen Merkmalsausprägungen in der Beschreibung eines neuen, zukünftig zu bearbeitenden Projekts beachtet werden. Hinsichtlich dieser Projektmerkmale und ihren Ausprägungen besteht tendenziell ein „herausfordernder“ Konflikt:

- Einerseits gehören zu diesen Projektmerkmalen, die es miteinander zu vergleichen gilt, im Projektmanagement – wie bereits eingangs ausführlicher dargestellt wurde – vor allem *qualitative* Projektmerkmale, die nicht in numerischer Weise erfasst, sondern in der Regel natürlichsprachlich beschrieben werden. Dies betrifft insbesondere Erfahrungswissen über alte, bereits bearbeitete Projekte, das für neue Projekte wiederverwendet werden soll.
- Andererseits muss die Projektähnlichkeit auf einer kardinalen Ähnlichkeitsskala, die durch einen näher zu spezifizierenden *quantitativen* Ähnlichkeitsmaßstab definiert wird, gemessen werden. Denn Ähnlichkeitsurteile auf einer lediglich nominalen (Projekt A ist in Bezug auf Projekt B „ähnlich“ versus „unähnlich“) oder ordinalen (Projekte A und B „sind untereinander ähnlicher als“ Projekte C und D) Ähnlichkeitsskala erfüllen nicht die Erwartung der betrieblichen Praxis an präzise („numerische“) Ähnlichkeitsurteile, die in der Regel in „Prozent“ oder auf einer Intervallskala [0;1] angegeben werden.

Dieser scheinbare Widerspruch zwischen – zumindest teilweise – *qualitativen* Projektmerkmalen einerseits und quantitativ zu messender Projektähnlichkeit andererseits entspricht dem „Dilemma der Natürlichsprachlichkeit“ des Projektwissensmanagements, das an früherer Stelle skizziert wurde.

Ein Erfolg versprechendes Konzept⁷² zur Lösung dieses scheinbaren Widerspruchs steht auf der Basis des hier vorgestellten KI-Konzepts der Ontologien bereits zur Verfügung. Es beruht auf der Verknüpfung von zwei Gestaltungsprinzipien. Auf der einen Seite wird das für einen Vergleich zu berücksichtigende Wissen – hier also das Wissen über die Ausprägungen der Projektmerkmale der miteinander zu vergleichenden Projekte – mithilfe einer Ontologie strukturiert. Dies ermöglicht die Einbeziehung von *qualitativem*, vor allem natürlichsprachlich repräsentiertem (Erfahrungs-)Wissen. Auf der anderen Seite wird die Ähnlichkeit von Projekten durch die Vermessung von Distanzen („Weglängen“) entlang der Kanten zwischen den Knoten einer *graphentheoretischen* Repräsentation der Ontologie – einem Ontologie-Netz (siehe die o. a. Abbildung 2) – bestimmt. Mittels dieser Kanten (für taxonomische und nicht-taxonomische Relationen und deren Instanzen) und Knoten (für Konzepte und deren Instanzen) eines Ontologie-Netztes wird das Wissen über die projektbeschreibenden

72) Vgl. BEIBEL (2011), S. 159-173; ASSALI/LENNE/DEBRAY (2010), S. 107-113; ROTH-BERGHOFER/ADRIAN/DENGEL (2010), S. 454-462; ASSALI/LENNE/DEBRAY (2009), S. 567-569; ELLEUCH/JÉRIBI/TMAR et al. (2008), S. 27-30; MAEDCHE/STAAB (2002), S. 251-263.

Merkmalsausprägungen in einer mathematischen, formalsprachlich „verarbeitbaren“ Form verankert. Mithilfe der Vermessung von *Distanzen* in einem graphentheoretisch definierten Ontologie-Netz wird eine *quantitative* Skala für die Messung der Ähnlichkeit zwischen zwei Projekten konstituiert. Auf diese Weise gestatten es Ontologien, präzise – graphentheoretisch fundierte – Algorithmen für die Messung der Ähnlichkeit zwischen zwei Projekten zu entwickeln, die vor allem auch in der Lage sind, die „semantische“ (nicht nur rein numerisch fundierte) Ähnlichkeit zwischen alten und neuen Projekten exakt zu ermitteln.

Darüber hinaus gilt es, das zuvor skizzierte KI-Konzept für eine ontologiebasierte Messung der Ähnlichkeit zwischen jeweils zwei Projekten in die umfassendere KI-Technik des Case-based Reasonings zu integrieren, um die Wiederverwendung von Erfahrungswissen im Projektmanagement zu unterstützen, das großenteils als qualitatives, natürlichsprachlich repräsentiertes Wissen vorliegt. In dieser Hinsicht existieren bereits einige bemerkenswerte Forschungsansätze zu sogenannten ontologiegestützten CBR-Systemen⁷³, in denen Case-based Reasoning einerseits und Ontologien andererseits miteinander kombiniert werden. Diese ontologiegestützten CBR-Systeme stehen derzeit an der „vorderen Forschungsfront“ des Transfers von KI-Erkenntnissen aus der universitären Forschung in konkrete Anwendungen der betrieblichen Praxis – wie dem hier als Beispiel betrachteten Projektmanagement. Dieser Erkenntnistransfer entspricht dem Leitbild der universitären „Third Mission“, das im „modernen Hochschulmanagement“ (New Public Management) zunehmend Beachtung erfährt. Dieses Leitbild steht auch im Fokus des bereits erwähnten BMBF-Verbundprojekts KI-LiveS, aus dessen Projektarbeiten der hier vorgelegte Beitrag maßgeblich inspiriert wurde.

73) Vgl. zu solchen ontologiegestützten CBR-Systemen, die oftmals auch als „Knowledge-intensive Case-based Reasoning“ diskutiert werden, AVDEENKO/MAKAROVA (2018), S. 1219-1222; MARTIN/EMMENEGGER/HINKELMANN et al. (2017), S. 552, 557-558 u. 559-571; BERGENRODT/KOWALSKI (2015), S. 23-34; BERGENRODT/KOWALSKI/ZELEWSKI (2015), S. 478-480; BOUHANA/ZIDI/FEKIH et al. (2015), S. 3725 u. 3727-3737; ZELEWSKI/KOWALSKI/BERGENRODT (2015a), S. 250-255; ZELEWSKI/KOWALSKI/BERGENRODT (2015b), S. 294-302; RECIO-GARCÍA/GONZÁLEZ-CALERO/DÍAZ-AGUDO (2014), S. 137-138; ZIDI/BOUHANA/ABEDET et al. (2014), S. 214-215, 217-219 u. 221; AMAILEF/LU (2013), S. 81-91; RICHTER/WEBER (2013), S. 286-288 (sehr oberflächlich); YANG (2013), S. 3351 u. 3356-3366; GUO/HU/PENG (2012), S. 497-507; KOWALSKI/KLÜPFEL/ZELEWSKI et al. (2012), S. 80 (Überschrift) u. 82-87; MANZANO/ONTANON/PLAZA (2012), S. 226-232; ROTH-BERGHOFER/RECIO-GARCÍA/SAUER et al. (2012), S. 5-9 (dort wird zwar nur von einem „knowledge Model“ gesprochen, das jedoch inhaltlich Ontologien entspricht); BEIBEL (2011), S. 41-83 u. 139-215, insbesondere S. 174-215; DUFOUR-LUSSIER/LIEBER/NAUER et al. (2011), S. 62-75; SANI/WIRATUNGA/MASSIE et al. (2011), S. 304-311; ASSALI/LENNE/DEBRAY (2010), S. 98-114; DÍAZ-AGUDO/GONZÁLEZ-CALERO (2010), S. 37-48; ROTH-BERGHOFER/ADRIAN/DENGEL (2010), S. 452-463; ASSALI/LENNE/DEBRAY (2009), S. 565-570; BICHINDARITZ (2009), S. 215 u. 222; BAI/YANG/QUI (2008), S. 165-169; CHEN/CHEN/SU et al. (2009), S. 1041-1080; DEMIGUEL/PLAZA/DÍAZ-AGUDO (2008), S. 199-208; RECIO-GARCÍA (2008), S. 26-33; STAHL/ROTH-BERGHOFER (2008); S. 619, 622 u. 624 (nur indirekt mittels der Erwähnung von Konzepten [Klassen] und Attributen, die für Ontologien typisch sind, im Hinblick auf die Nutzung des Ontologie-Editors Protégé sowie in Bezug auf die eingesetzte Taxonomie als Begriffshierarchie); DÍAZ-AGUDO/GONZÁLEZ-CALERO/RECIO-GARCÍA et al. (2007), S. 72 u. 74; RECIO-GARCÍA/DÍAZ-AGUDO/GONZÁLEZ-CALERO et al. (2007), S. 149 u. 151-161; MINOR (2006), S. 71-77 u. 91-92; XIONG/FUNK (2006), S. 408-413; GU/AAMODT (2005), S. 300-309 (auch hier liegt der „knowledge-intensive CBR approach“ zugrunde, der in der nachfolgend angeführten Quelle AAMODT (2004) näher angesprochen wird); AAMODT (2004), S. 1-14 (in diesem Beitrag wird überwiegend von „knowledge-intensive case-based reasoning“ oder einem „knowledge-intensive CBR approach“ gesprochen [z. B. auf S. 1 bzw. S. 13], aber inhaltlich gemeint hinsichtlich „knowledge“ und vor allem „knowledge model“ stets Ontologien, die auf S. 6 u. 8 sogar explizit angesprochen werden); RECIO-GARCÍA/DÍAZ-AGUDO (2004), S. 5, 7-8 u. 43-46. Vgl. auch die Quellen in der nachfolgenden Fußnote zum KI-Tool jCORA, das eines der aktuellen Ausprägungen ontologiegestützter CBR-Systeme darstellt.

4 Implementierung eines KI-Tools für ontologiegestütztes Case-based-Reasoning zur Wiederverwendung von Erfahrungswissen im Projektmanagement

4.1 Das KI-Tool jCORA für ontologiegestütztes Case-based-Reasoning

4.1.1 Überblick über das KI-Tool jCORA

Das KI-Tool jCORA⁷⁴ – das Akronym jCORA steht für „java based Case- and Ontology-based Reasoning Application“ – stellt eine prototypische Software für ein ontologiegestütztes CBR-System dar. Es wurde am Institut für Produktion und Industrielles Produktionsmanagement der Universität Duisburg-Essen für die „intelligente“ Wiederverwendung von Erfahrungswissen im betrieblichen Projektmanagement im Rahmen des BMBF-Verbundprojekts OrGoLo entwickelt und im Rahmen des BMBF-Verbundprojekts KI-LiveS weiterentwickelt.

Das KI-Tool jCORA greift die projektbezogene Wissensstrukturierung auf, die – wie in Kapitel 3.1 erläutert – zwischen Projektbeschreibung, Projektlösung und Projektbewertung unterscheidet. In der Projektbeschreibung werden alle Informationen über ein Projekt angelegt, die als Anforderungen an ein Projekt, wie z. B. im Rahmen einer Projektausschreibung, bekannt sind. In der Projektlösung werden die Aktivitäten beschrieben, die für das betroffene Projekt geplant oder durchgeführt wurden. In der Projektbewertung wird am Projektende die Güte der Projektbearbeitung bewertet. Insbesondere werden die Ergebnisse einer Analyse kritischer Erfolgs- und Misserfolgskriterien festgehalten.

Außerdem orientiert sich die Funktionsweise des KI-Tools jCORA an dem weithin bekannten CBR-Zyklus, der in Kapitel 3.2 vorgestellt wurde. Darüber hinaus greift jCORA stets auf eine Projekt-Ontologie zurück, die mithilfe eines Ontologie-Editors, wie z. B. Protégé, erstellt wurde. Daher wird das KI-Tool hier und in anderen Beiträgen bewusst als ein *ontologiegestütztes* CBR-System bezeichnet. Als Standard-Austauschformat zwischen Ontologie-Editor und CBR-System jCORA werden Ontologien im OWL-Format⁷⁵ vorausgesetzt.

Die Abgrenzung zwischen einem Ontologie-Editor (wie z. B. Protégé) und einem CBR-System (wie hier jCORA) erweist sich als keineswegs trivial, obwohl dieses Demarkationsproblem in der einschlägigen Fachliteratur kaum diskutiert wird.

Auf den ersten Blick lässt sich eine klare Grenze zwischen einer Ontologie, wie z. B. einer Projekt-Ontologie, und einem CBR-System, wie z. B. jCORA im Bereich des betrieblichen Projektmanagements, ziehen. Aus diesem „groben“ Blickwinkel gehört eine Ontologie zur Konzept- oder Metaebene, auf der nur sprachliche Ausdrucksmittel (für z. B. die Modellierung von Projekten) mit der Hilfe von Konzepten, ihren Attributen sowie den Relationen zwischen den Konzepten (sowohl die taxonomische Relation „is a“ als auch die Vielfalt nicht-taxonomischer Relationen) spezifiziert werden. Für

74) Vgl. zu Beschreibungen des KI-Tools jCORA FINK/HAUKE/YE et al. (2021), S. 45-50; FINK/RÖHRIG/HEEB et al. (2021), S. 15-30; WEBER/HEEB/SETHUPATHY et al. (2021), S. 23-27; BERGENRODT (2015), S. 43-67, 71-125 u. 126-130 (als „Primärquelle“ zum KI-Tool jCORA); BERGENRODT/KOWALSKI (2015), S. 34-111; BERGENRODT/KOWALSKI/ZELEWSKI (2015), S. 480 u. 491-541.

75) Vgl. zu OWL (als Akronym für „Web Ontology Language“ mit einem bemerkenswerten „Buchstabenverdrehen“ bezüglich „W“ und „O“, dessen Interpretationen in der hier gebotenen Kürze nicht erläutert werden können) als „Ontologie-Standard“, der vom World Wide Web Consortiums (W3C) empfohlen wird, um Ontologien anhand einer formalen Beschreibungssprache erstellen, veröffentlichen und verteilen zu können, GETULI (2020), S. 66-69, 80-91, 97-105, 112, 116-118, 125-128 u. 134; SAWSAA/LU (2017), S. 474-476; BERGENRODT/KOWALSKI (2015), S. 11-16; BERGENRODT/KOWALSKI/ZELEWSKI (2015), S. 483-490; ROTH-BERGHOFER (2012), S. 112 u. 127-128; VAN ELST (2012), 140-143; SINTEK (2012), S. 169 u. 174-176; ADRIAN/ENDRES-NIGGESMEYER (2012), S. 206; LOSKYLL/SCHLICK/HODEK et al. (2012), 294-299 u. 304-314; HORRIDGE (2011), S. 10-107; STUCKENSCHMIDT (2011), S. 146-154; FENSEL (2004), S. 44-46.

diese Konzepte, Attribute und Relationen werden keine konkreten, auf ein einzelnes Projekt bezogenen Werte spezifiziert. Daher stellt eine Ontologie niemals ein repräsentatives Modell für einen konkreten Realitätsausschnitt, wie z. B. ein reales Projekt, dar, sondern bezieht sich auf der Konzept- oder Metaebene immer nur auf die sprachlichen Ausdrucksmittel (begrifflichen Konzepte), die sich auf einer untergeordneten Instanzen- oder Objektebene benutzen lassen, um auf dieser untergeordneten Ebene konkrete Realitätsausschnitte, wie z. B. ein reales Projekt, zu modellieren. Ein CBR-System gehört dieser „untergeordneten“ Ebene an. Es dient dazu, durch die Zuweisung konkreter Werte zu den Konzepten, Attributen und Relationen einer „übergeordneten“ Ontologie z. B. ein reales Projekt zu modellieren. Diese Wertzuweisung wird als „Instanziierung“ einer Ontologie bezeichnet. Mittels dieser Instanziierung werden Konzepten jeweils einzelne Objekte oder Individuen, Attributen jeweils einzelne Attributwerte bzw. Relationen jeweils einzelne Relationselemente zugeordnet, die sich jeweils auf ein einzelnes, konkretes Projekt beziehen. Aus dieser Perspektive lässt sich die Erfassung des Wissens, das in einem Unternehmen über ein einzelnes, konkretes Projekt vorliegt oder erhoben wird, auf der Instanzen- oder Objektebene mithilfe des CBR-Systems jCORA, als die *Instanziierung* einer *Projekt-Ontologie* auffassen, die zuvor auf der Konzept- oder Metaebene mithilfe eines Ontologie-Editors wie Protégé erstellt wurde. Ein ontologiegestütztes CBR-System wie jCORA bewegt sich also – im Gegensatz zu den zugrunde liegenden Ontologien – immer auf der Instanzenebene. Dies stellt für den praktischen Einsatz von jCORA einen wichtigen Hintergrund dar, der bei einem „unreflektierten“ Gebrauch dieses KI-Tools leicht übersehen werden könnte.

Bei näherem Hinsehen zeigt sich jedoch, dass die Unterscheidung zwischen Konzept- oder Metaebene, auf der Ontologien angesiedelt sind, und der Instanzen- oder Objektebene, auf der CBR-Systeme operieren, doch nicht so klar ist, wie im voranstehenden Absatz „prima facie“ nahegelegt wurde. Diese „Ebenenvermischung“ tritt dadurch ein, dass sich auch in Ontologien Instanzen – vor allem in der Gestalt von konzeptzugehörigen Individuen und von Attributwerten – spezifizieren lassen. Diese Option bietet u. a. auch der Ontologie-Editor Protégé. Um diese „Ebenenvermischung“ zu bereinigen, bietet sich folgende Demarkation an: In Ontologien können Instanzen (vor allem Individuen für Konzepte und Werte für Attribute) spezifiziert werden, solange sie sich nicht ausschließlich auf einen einzelnen, konkreten Realitätsausschnitt auf der Objektebene beziehen, sondern „nur“ auf der Metaebene die sprachlichen – jetzt instanzbezogenen – Ausdrucksmittel bereitstellen, mit denen sich Instanzen aus beliebigen Realitätsausschnitten bezeichnen lassen. Beispielsweise können in einer Projekt-Ontologie auf der Metaebene für sämtliche Erdteile, Nationen und Regionen die Mengen konkreter Instanzen als grundsätzlich zulässige sprachliche Ausdrucksmittel angelegt werden, ohne festzulegen, welche dieser sprachlichen Ausdrucksmittel für ein einzelnes, konkretes Projekt tatsächlich verwendet werden. Aus dieser „verfeinerten“ Perspektive können in einer Ontologie auf der Konzept- oder Metaebene zwar *Mengen zulässiger Instanzen* spezifiziert werden, aber die Auswahl *einzelner Instanzen* daraus erfolgt erst auf der Instanzen- oder Objektebene im Rahmen eines CBR-Systems, mit dessen Hilfe das Wissen über einzelne, konkrete Objekte erfasst, verarbeitet und gegebenenfalls wiederverwendet (also insgesamt „gemanagt“) wird.⁷⁶

76) Erschwerend kommt im Hinblick auf die „verfeinerte“ Unterscheidung zwischen den Ebenen von Ontologien einerseits und von CBR-Systemen andererseits der empirisch oftmals festgestellte Sachverhalt, dass Mengen von Instanzen, die in einer Projekt-Ontologie als sprachliche Ausdrucksmittel „a priori“ spezifiziert wurden, „a posteriori“ nicht ausreichen, um das Wissen über für ein einzelnes, konkretes Projekt vollständig und korrekt auszudrücken. Beispielsweise können in einer Projekt-Ontologie alle Erdteile, Nationen und Regionen als Instanzen angelegt worden sein. Aber ein neues Projekt betrifft materialtechnische Experimente im Weltraum unter „Niedrigst-“ oder sogar „Null-Gravitation“-Bedingungen, sodass für eine Relation, welche die „geografische Verortung“ des Projekts ausdrücken soll, im CBR-System eine neue Instanz wie „Weltraum“ oder „Low Earth Orbit“ (LEO) hinzugefügt werden muss. Das CBR-System jCORA verfügt über die Fähigkeit einer solchen nachträglichen Hinzufügung einer Instanz, die in der zugrunde liegenden Projekt-Ontologie noch nicht vorgesehen war. Alternativ besteht die Möglichkeit, eine Projekt-Ontologie nachträglich um sprachliche Ausdrucksmittel – in diesem Fall Instanzen – zu erweitern. Das CBR-System jCORA arbeitet nach Speicherung automatisch mit der aktualisierten Projekt-Ontologie, sodass die hinzugefügten sprachlichen Ausdrucksmittel ohne weiteres Eingreifen durch den Benutzer verwendet werden können.

Im Hinblick auf den CBR-Zyklus liegt ein besonderer Fokus des KI-Tools jCORA auf der Retrieve-Phase, in der mittels eines Berechnungsalgorithmus⁷⁷ die Ähnlichkeiten zwischen alten und neuen Projekten ermittelt werden können. Der Berechnungsalgorithmus erweist sich als komplexer als die meisten analogen ähnlichkeitsbezogenen Algorithmen in anderen CBR-Systemen.⁷⁸ Dies liegt vor allem daran, dass in jCORA eine „rekursive“ Ähnlichkeitsberechnung erfolgt⁷⁹ und Einschränkungen auf jeweils zwei miteinander zu vergleichende Projektmerkmale in der Gestalt von Limitationen hinsichtlich der Kardinalitäten von Relationen und Attributen wie im CBR-System „myCBR“ vermieden werden⁸⁰. Auf die Details dieses Berechnungsalgorithmus für projektbezogene Ähnlichkeiten kann in der hier gebotenen Kürze nicht näher eingegangen werden. Stattdessen wird auf ausführliche Beschreibungen der Funktionsweise dieses Berechnungsalgorithmus einschließlich zugrunde liegender Berechnungsformeln und Berechnungsbeispiele verwiesen, die an anderer Stelle dokumentiert sind.⁸¹

Nachdem eine Ähnlichkeitsberechnung in Bezug auf zwei Projekte als „CBR-Anfrage“ gestartet wurde, können Gewichtungen für die ähnlichkeitsrelevanten Projektmerkmale eingestellt werden.⁸² Für jede Relation und jedes Attribut, das in einer Projektbeschreibung enthalten ist, lässt sich eine Gewichtung im Intervall von 0 % bis 100 % festlegen. Dadurch ist es möglich, in flexibler Weise für jede einzelne Ähnlichkeitsberechnung festzulegen, wie wichtig einem Benutzer des CBR-Systems die Projektmerkmale zweier miteinander verglichener Projekte im Hinblick auf ihre Projektähnlichkeit sind.

77) Vgl. zu diesem Berechnungsalgorithmus BERGENRODT (2015), S. 34-42, 71-125 u. 186-189; BERGENRODT/KOWALSKI/ZELEWSKI (2015), S. 492-511, 517-518 u. 537-541.

78) Der Berechnungsalgorithmus baut auf den Ausführungen in der Dissertation von BEIBEL (2011), S. 159-215, auf. Vgl. dazu auch BERGENRODT (2015), S. 30-32. Darüber hinaus findet sich eine ähnliche Vorgehensweise zur Berechnung der Projektähnlichkeit auch bei KOWALSKI/ZELEWSKI (2015a), S. 387-402 u. 405-411. Die Ähnlichkeit der Berechnungsalgorithmen in den beiden vorgenannten Quellen beruht darauf, dass in beiden Quellen das ontologiegestützte CBR-System „myCBR“ verwendet wurde, das wegen seiner Benutzerfreundlichkeit in der internationalen Fachliteratur zu ontologiegestützten Case-based-Reasoning-System eine großen Beliebtheit besitzt.

Allerdings wurde in den beiden BMBF-Verbundprojekten OrGoLo und KI-LiveS festgestellt, dass das KI-Tool „myCBR“ hinsichtlich der Berechnung der Ähnlichkeit von Projekten unter einigen wenigen, aber gravierenden Mängeln leidet (hierauf wird im Folgenden näher eingegangen). Daher wurde in den beiden BMBF-Verbundprojekten OrGoLo und KI-LiveS schließlich bzw. von Anfang an auf den wesentlich leistungskräftigeren Berechnungsalgorithmus des (international noch kaum beachteten) KI-Tools jCORA zurückgegriffen, der den Berechnungsalgorithmus von Beißel erheblich erweitert und verfeinert. Vgl. zur Kritik am Berechnungsalgorithmus von BEIBEL auch BERGENRODT (2015), S. 6.

79) Vgl. zu dieser Rekursivität BERGENRODT (2015), S. 33 u. 39; BERGENRODT/KOWALSKI/ZELEWSKI (2015), S. 479-480 u. 506-507.

80) Die Limitationen hinsichtlich der Kardinalitäten von Relationen und Attributen wie im CBR-System myCBR beruhen auf der „skalaren knotenbasierten Ähnlichkeitsermittlung“ in myCBR. Vgl. dazu die „technischen“, aber für die Konstruktion und Anwendung von Ontologien wichtigen Ausführungen (u. a. hinsichtlich einer Bipolaritäts- und Identitätsprämisse, die der Funktionsweise des CBR-Systems myCBR zugrunde liegen, aber in der Fachliteratur – abgesehen von den nachfolgend angeführten Beiträgen – nicht explizit diskutiert werden) in BERGENRODT/KOWALSKI/ZELEWSKI (2015), S. 479; KOWALSKI/ZELEWSKI (2015a), S. 394. Die Limitationen werden besonders deutlich anhand von Knoten in einem Ontologie-Graphen, in dem einem Knoten (für ein Konzept) drei oder mehr Knoten (für Subkonzepte) untergeordnet sind. Vgl. dazu das Beispiel bei BEIBEL (2011), S. 177-178 hinsichtlich des Knotens für das Konzept „Unix“ mit demselben Ähnlichkeitswert von 0,5 für alle Ähnlichkeitsvergleiche zwischen den drei Subkonzepten in der Abbildung 47 auf S. 178.

81) Vgl. dazu die Quellen aus der voranstehenden Fußnote 77, insbesondere BERGENRODT (2015), S. 71-122; BERGENRODT/KOWALSKI/ZELEWSKI (2015), S. 493, 496-500 u. 507-511.

82) Vgl. FINK/RÖHRIG/HEEB et al. (2021), S. 24; BERGENRODT (2015), S. 62; BERGENRODT/KOWALSKI/ZELEWSKI (2015), S. 530-531.

Die Reuse- und die Revise-Phase werden vom KI-Tool jCORA derzeit noch kaum unterstützt. Für die Reuse-Phase wird – bis auf eine wenig hilfreiche Kopierfunktion, welche die Lösung für ein altes ähnlichstes Projekt als Lösungsvorschlag für ein neues Projekt unverändert übernimmt – noch kein systematisches Anpassungswissen, vor allem in der Gestalt von Anpassungsregeln⁸³, computer-gestützt angeboten. Stattdessen müssen die Anpassungen der Projektlösungen alter Projekte an ein neues Projekt derzeit noch „manuell“ erfolgen. Für die Revise-Phase bietet jCORA überhaupt keine Unterstützung. Lediglich die Retain-Phase wird von jCORA „vollautomatisch“ und ohne Einschränkungen durchgeführt.

4.1.2 Beschreibung des KI-Tools jCORA aus der Benutzerperspektive

4.1.2.1 Spezifizierung einer Projektbeschreibung

Im Folgenden wird die Funktionsweise des KI-Tools jCORA anhand einiger Screenshots in exemplarischer Weise verdeutlicht.⁸⁴ Insbesondere wird auf die Darstellung des Wissens über Projekte mithilfe von „Fallgraphen“ zurückgegriffen. Sie gestatten in jCORA eine – in Grenzen (darauf wird noch zurückgekommen) – benutzerfreundliche Visualisierung des projektrelevanten, vom CBR-System gespeicherten und verarbeitbaren Wissens über Projekte, vor allem des projektbezogenen Erfahrungswissens.

Im Rahmen der „Retrieve-Phase“ erlaubt das KI-Tool jCORA, für ein neues Projekt anhand dessen Projektbeschreibung sowohl ein ähnlichstes altes Projekt als auch mehrere ähnlichste alte Projekte zu ermitteln. Dazu muss zunächst eine Projektbeschreibung für das jeweils betrachtete neue Projekt in jCORA angelegt werden. Die nachfolgende Abbildung 3 zeigt den Beginn der Erstellung einer Projektbeschreibung für ein neues Projekt in jCORA.

83) Vgl. zu solchen Anpassungsregeln im speziellen Kontext von projektbezogenen Kostenschätzungen mithilfe von CBR-Systemen beispielsweise ZIMA (2015), S. 63; KIM/LEE/WOO et al. (2012), S. 290; KOWALSKI/ZELEWSKI/GÜNES et al. (2011), S. 53-54; ZELEWSKI/KOWALSKI/KÜHN (2011), S. 490-500, insbesondere S. 498-499; KÜHN (2010), S. 39-44, insbesondere Tabelle 6 auf S. 43; HANNEY/KEANE (1997), S. 362. Vgl. auch im allgemeinen Kontext des Case-based Reasonings RICHTER/WEBER (2013), S. 191-197.

84) Vgl. hinsichtlich weiterer, zum Teil ausführlicherer Demonstrationen der Funktionsweise des KI-Tools jCORA FINK/RÖHRIG/HEEB et al. (2021), S. 15-26; WEBER/HEEB/SETHUPATHY et al. (2021), S. 23-26; BERGENRODT (2015), S. 49-67; BERGENRODT/KOWALSKI (2015), S. 39-55 u. 105-107; BERGENRODT/KOWALSKI/ZELEWSKI (2015), S. 518-536.

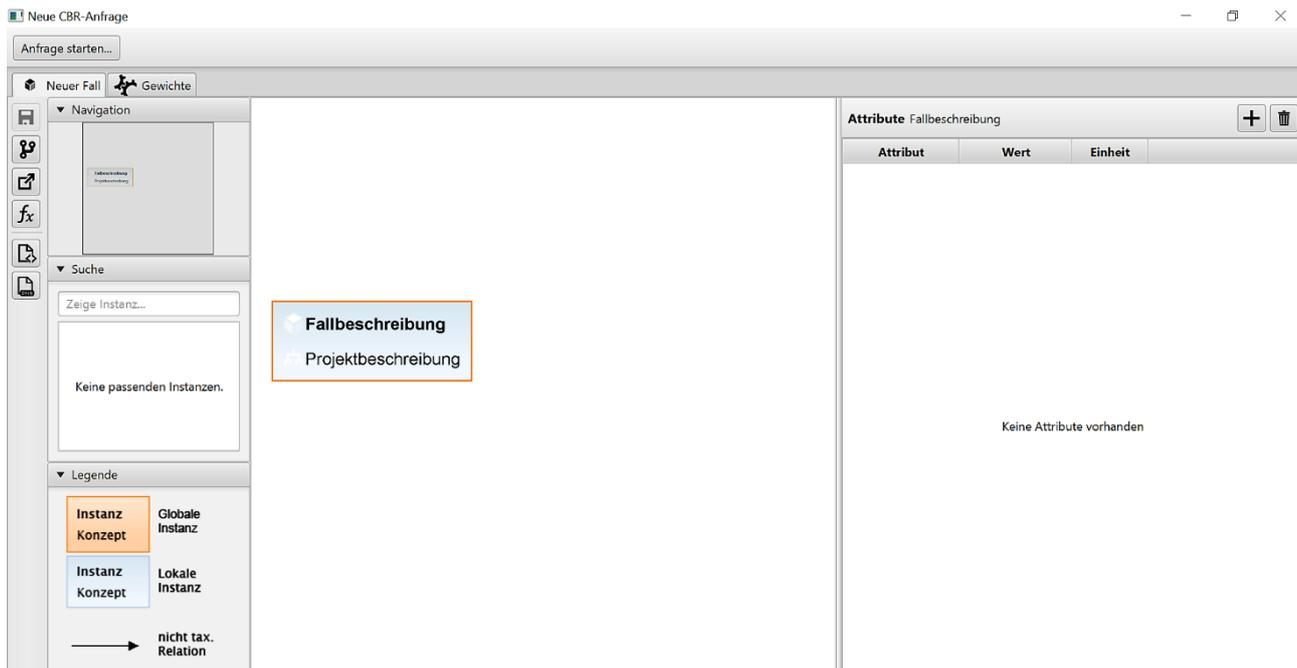


Abbildung 3: Start der Projektbeschreibung in jCORA

Um Instanzen eines Konzepts vom betroffenen Konzept terminologisch zu unterscheiden, wird in den hier präsentierten Anwendungen des KI-Tools jCORA im KI-LiveS-Projekt zunächst zwischen Fällen (wie z. B. der o. a. Fallbeschreibung) auf der Instanzenebene jeweils in der oberen Zeile der Knotenbeschriftungen und Projekten (wie z. B. der o. a. Projektbeschreibung) auf der Konzeptebene jeweils in der unteren Zeile der Knotenbeschriftungen unterschieden. Diese Unterscheidung zwischen Fällen und Projekten erweist sich jedoch als intuitiv kaum zugänglich. Daher soll in folgenden Anwendungen des KI-Tools jCORA nur noch von Projekten – sowohl auf der Instanzen- als auch auf der Konzeptebene – die Rede sein und durch andere Bezeichnungszusätze zwischen Instanzen- und Konzeptebene unterschieden werden. Beispielsweise kann auf der Instanzenebene von einer „Projektbeschreibung_Projekt_4711“ für ein konkretes Projekt mit der Bezeichnung „Projekt_4711“ gesprochen werden, während auf der Konzeptebene weiterhin die generische Bezeichnung „Projektbeschreibung“ (für alle im CBR-System berücksichtigten Projekte) verwendet wird.

Darüber hinaus bietet das KI-Tool jCORA die Möglichkeit, zwischen globalen und lokalen Instanzen zu unterscheiden.⁸⁵ Sie beziehen sich jeweils auf alle Projekte („global“), die mittels jCORA aus der Wissensperspektive „gemanagt“ werden und in der Wissensbasis von jCORA gespeichert sind oder gespeichert werden können, bzw. auf nur ein einzelnes Projekt („lokal“). Diese Unterscheidung kann sich auf die Funktionsweise des Berechnungsalgorithmus für die Ähnlichkeit zwischen Projekten auswirken, lässt sich aber in der hier gebotenen Kürze nicht im Detail erläutern.⁸⁶

85) Vgl. zu Erläuterungen zur unterschiedlichen Behandlung lokaler und globaler Wissenskomponenten im KI-Tool jCORA, wie z. B. in Bezug auf die Speicherung von Wissen über Instanzen, die in mehreren Projekten verwendet werden, und im Hinblick auf Anpassungsregeln, BERGENRODT (2015), S. 6, 45-46 u. 66; BERGENRODT/KOWALSKI (2015), S. 54; BERGENRODT/KOWALSKI/ZELEWSKI (2015), S. 513-515, 524, 535 u. 540.

86) Die mögliche Beeinflussung der Ähnlichkeitsberechnung in jCORA im Hinblick auf die Unterscheidung zwischen lokalen und globalen Wissenskomponenten, insbesondere Instanzen, bedarf einer zukünftig eingehenderen Analyse der Funktionsweise des Ähnlichkeitsalgorithmus von jCORA. Überprüfungen der Ähnlichkeitsberechnung in jCORA haben gezeigt, dass globale Wissenskomponenten die Ähnlichkeitsüberprüfung dann negativ – d. h. zu fehlerhaften Ergebnissen führen – beeinflussen, wenn globale Wissenskomponenten bei der Fallerstellung im Fallgraph um lokale Relations- oder Attributwerte erweitert werden. Für die praktische Anwendung von jCORA bedeutet dies, dass globale Wissenskomponenten nur dann verwendet werden sollten, wenn eine lokale Erweiterung um Relations- oder Attributwerte bei diesen globalen Wissenskomponenten nicht vorgesehen ist. Dies stellt eine wesentliche funktionale Einschränkung von jCORA dar.

Ausgehend von der Instanz „Fallbeschreibung“ kann per Rechtsklick eine neue nicht-taxonomische Relation zur Erweiterung des Fallgraphs hinzugefügt werden. Es öffnet sich das nachfolgend dargestellte Fenster „Relation hinzufügen“.

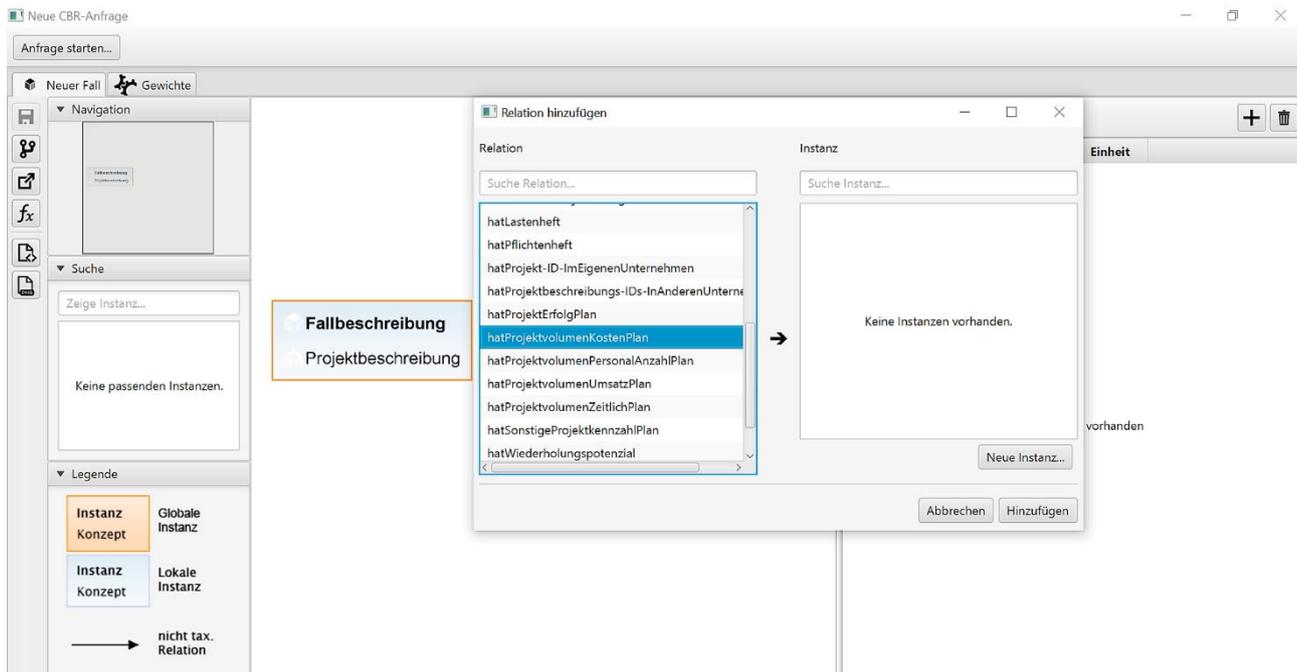


Abbildung 4: Relation hinzufügen in jCORA

Wie aus Abbildung 4 ersichtlich, wird dem Benutzer eine Vielzahl von nicht-taxonomischen Relationen angezeigt. Grundsätzlich werden dem Benutzer alle nicht-taxonomischen Relationen angezeigt, die in der zugrundeliegenden Projekt-Ontologie dasjenige Konzept oder ein dem angezeigten Konzept übergeordnetes Konzept – im vorliegenden Beispiel das Konzept „Projektbeschreibung“ – im Vorbereich („Domain“) haben, dem die in jCORA jeweils ausgewählte Instanz – hier die Instanz „Fallbeschreibung“ – zugeordnet ist. Mittels der jeweils ausgewählten Relation kann die bereits ausgewählte Instanz mit einer Instanz verknüpft werden, die zu einem anderen Konzept gehört, das in der zugrundeliegenden Projekt-Ontologie im Nachbereich („Range“) der jeweils betroffenen nicht-taxonomischen Relation vorkommt. Eine solche Instanz kann entweder als sogenannte lokale Instanz in jCORA selbst oder als globale Instanz in der zugrundeliegenden Projekt-Ontologie spezifiziert werden. Bestehende Instanzen – d. h. entweder globale Instanzen aus der zugrunde liegenden Projekt-Ontologie oder lokale Instanzen, die im jeweils betrachteten Projekt („Fall“) bereits angelegt wurden – werden in der Abbildung 4 im Fenster auf der rechten Seite angezeigt. Solche Instanzen bestehen im hier betrachteten Beispiel jedoch noch nicht und müssen daher neu angelegt werden. Um eine neue Instanz zu erstellen, wird zunächst der Button „Neue Instanz ...“ angeklickt. Es öffnet sich das nachfolgend in Abbildung 5 dargestellte Fenster.

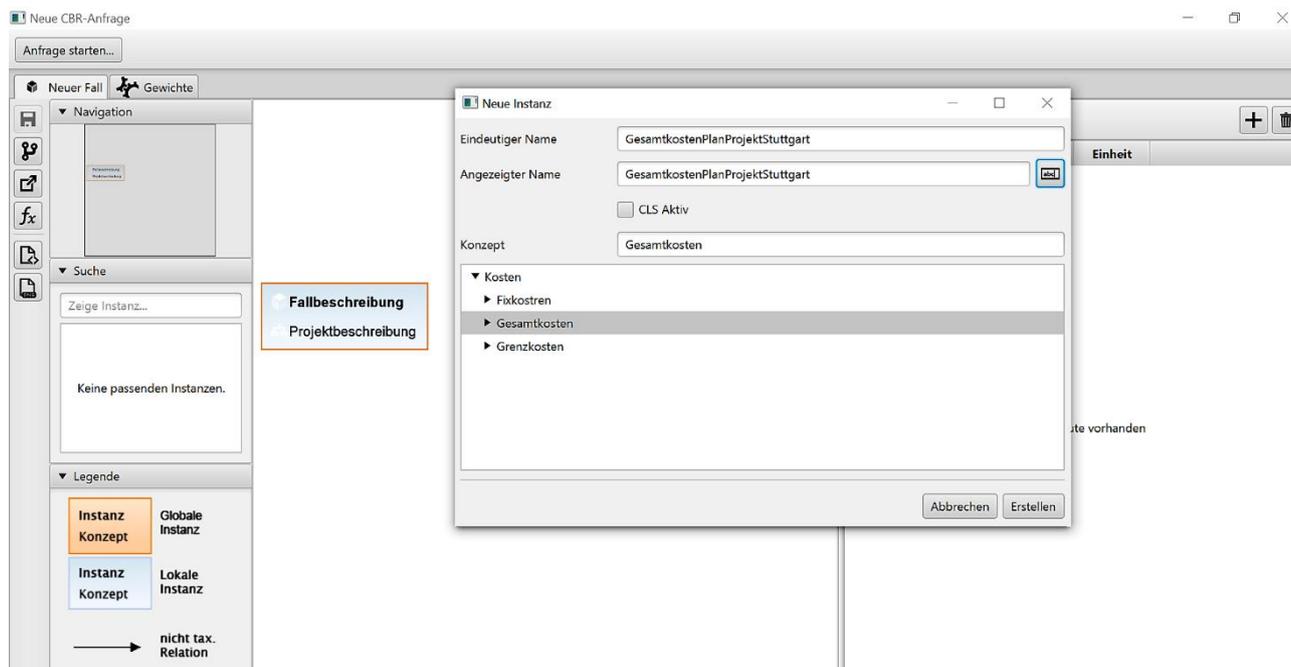


Abbildung 5: neue Instanz erstellen

Wie in Abbildung 5 exemplarisch dargestellt wird, erfolgt das Erstellen einer neuen Instanz, indem für die Instanz ein Name vergeben und der Instanz einem in der zugrundeliegenden Ontologie modellierten Konzept zugeordnet wird.⁸⁷ Anschließend kann der Button „Erstellen“ gedrückt werden und die Instanz hinzugefügt werden. Ist die Instanz erfolgreich hinzugefügt worden, erweitert sich der Fallgraph in jCORa um die hinzugefügte Relation, verknüpft mit der hinzugefügten Instanz. Die nachfolgende Abbildung 6 verdeutlicht die exemplarische Erweiterung des Fallgraphs.

87) Das zugeordnete Konzept entspricht entweder jenem Konzept, das im Nachbereich („Range“) der jeweiligen Relation in der zugrunde liegenden Ontologie spezifiziert wurde, oder einem diesem Konzept taxonomisch untergeordneten Konzept. Im Beispiel der Abbildungen 4 und 5 ist im Nachbereich der Relation „hatProjektvolumenKosten Plan“ das Konzept „Kosten“ im Nachbereich („Range“) angelegt. Wie aus der Abbildung 5 ersichtlich ist, kann die angegebene Instanz zudem einem Konzept aus der Menge {Fixkosten, Gesamtkosten, Grenzkosten} zugeordnet werden. Die letztgenannten drei Konzepte sind alle in der zugrundeliegenden Ontologie dem Konzept „Kosten“ als Subkonzepte taxonomisch untergeordnet.

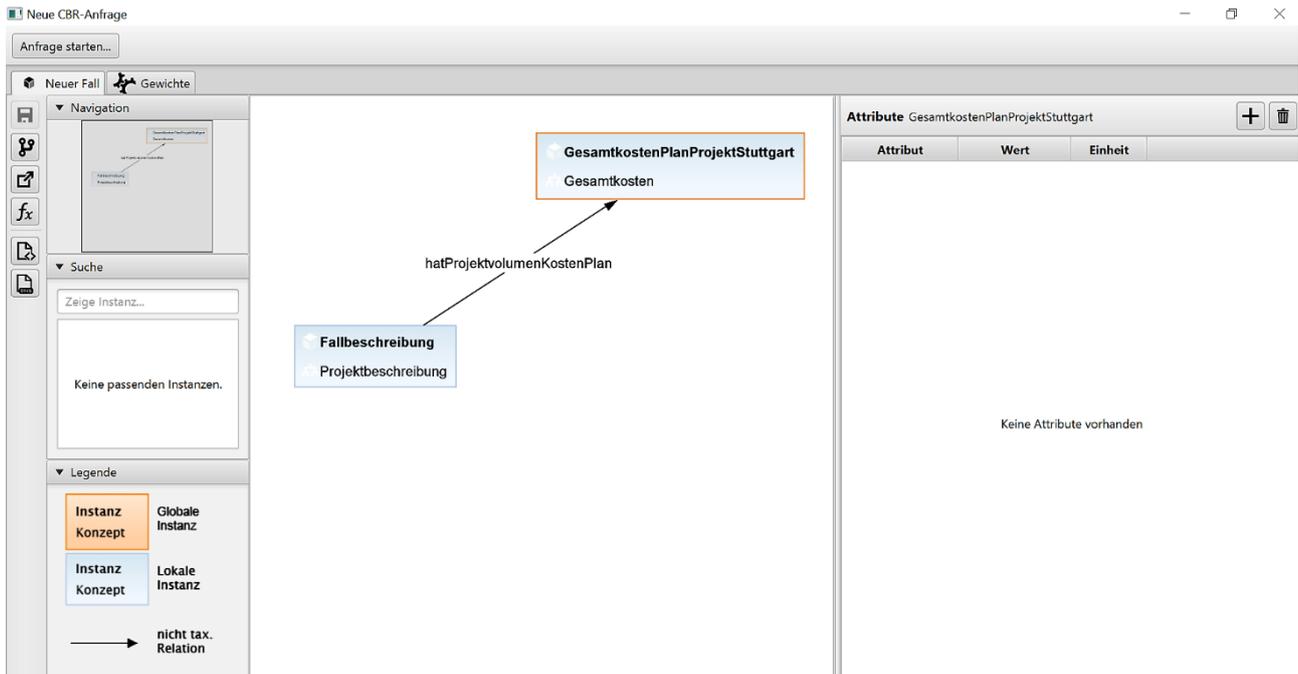


Abbildung 6: Erweiterung des Fallgraphens in jCORA

Neben nicht-taxonomischen Relationen können in jCORA auch Attribute verwendet werden, um Instanzen aus dem Nachbereich einer nicht-taxonomischen Relation konkrete Attributwerte zuzuordnen. Dazu ist – wie in der Abbildung 6 durch die orange Umrandung gekennzeichnet – eine Instanz anzuklicken. Danach muss in dem sich am rechten Rand öffnende Menü „Attribute“ das Plus-Symbol „+“ angeklickt werden. Dadurch öffnet sich das nachfolgende, in Abbildung 7 dargestellte Fenster.

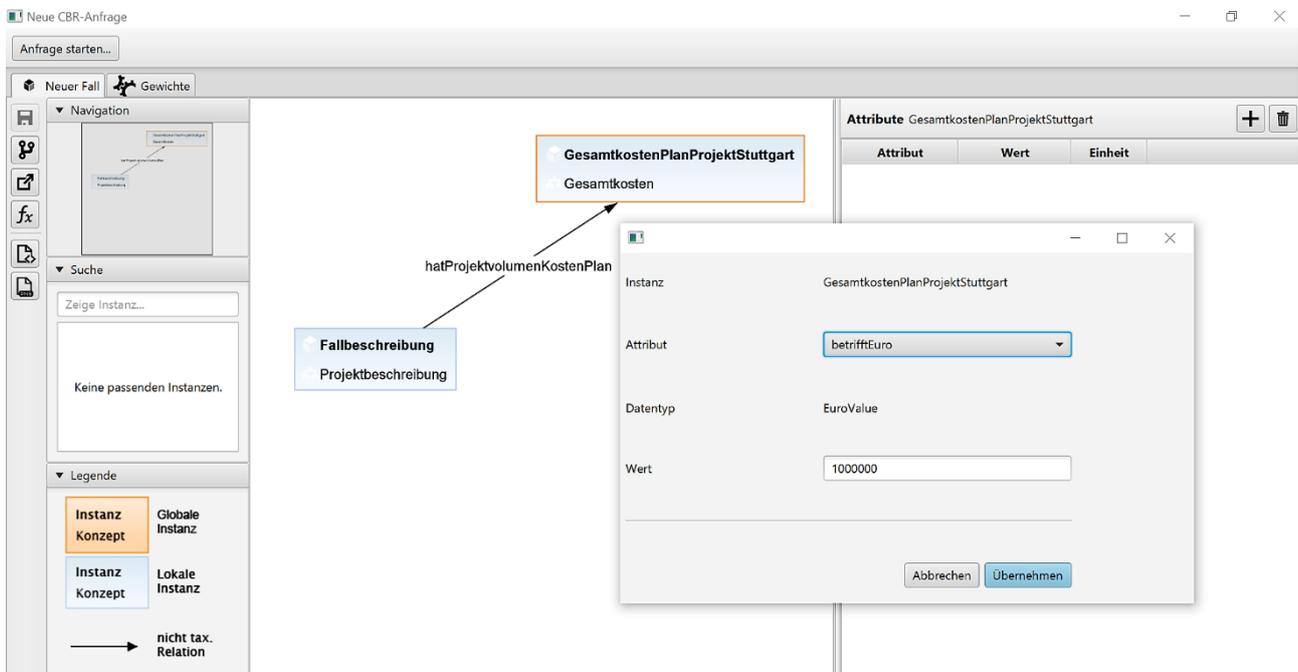
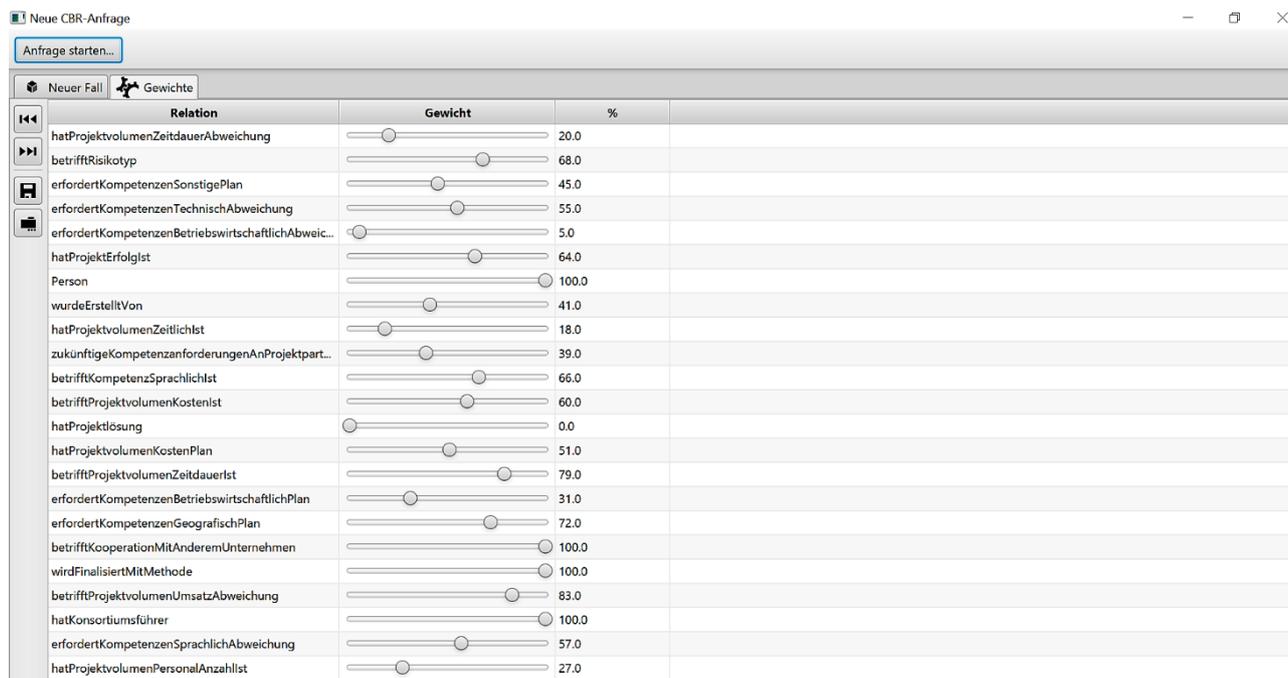


Abbildung 7: Attribut hinzufügen in jCORA

Wie aus Abbildung 7 ersichtlich, ist zunächst das gewünschte Attribut – im vorliegenden Beispiel „betrifftEuro“ – aus der Menge der Attribute auszuwählen, die für Instanzen des Konzepts „Gesamtkosten“ aus dem Nachbereich („Range“) der hier betrachteten Relation „hatProjektvolumenKostenPlan“ zur Verfügung stehen. Dem Benutzer werden alle Attribute angezeigt, die in der zugrunde liegenden Ontologie für das Konzept „Gesamtkosten“ definiert sind. jCORA ordnet dem ausgewählten Attribut automatisch denjenigen Datentyp zu, der in der zugrunde liegenden Ontologie des jeweils

Abbildung 9: Einstellen von Gewichten in jCORA⁸⁸

Wenn die angegebenen Gewichte den Präferenzen des Benutzers entsprechen, kann der Benutzer die Ähnlichkeitsberechnung starten. Dazu ist der Button „Anfrage starten ...“ zu drücken, der in der Abbildung 9 in der linken oberen Ecke (blau) umrandet zu sehen ist. Die Dauer des Rechenprozesses für die Ähnlichkeitsberechnung hängt einerseits von der Anzahl der in der Projektwissensbasis gespeicherten Projekte mit ihren Projektbeschreibungen und andererseits vom Umfang der zu vergleichenden Projekte ab.

Nach Beendigung der Ähnlichkeitsberechnung werden dem Benutzer die Berechnungsergebnisse präsentiert. jCORA bietet sowohl eine grafische als auch eine tabellarische Ergebnispräsentation. Die nachfolgende Abbildung 10 zeigt zunächst die grafische Ergebnispräsentation.

88) In der vorliegenden Abbildung der „Ursprungsversion“ des KI-Tools jCORA (v1.0) werden nicht-taxonomische Relationen und Attribute im Gewichtungsfenster unter der gemeinsamen Spaltenüberschrift „Relation“ zusammengefasst. Auf diese terminologische Ungenauigkeit wird später in Kapitel 6.1, das offene Probleme dieses KI-Tools und entsprechenden Weiterentwicklungsbedarf behandelt, zurückgekommen. In der gegenwärtig aktuellsten Version des KI-Tools jCORA (v1.2.5) erfolgt im Gewichtungsfenster eine Trennung von Relationen und Attributen mittels zweier abgegrenzter Spalten. Auf diese und weitere Weiterentwicklungen wird in einem separaten, noch folgenden Projektbericht im Detail eingegangen werden.

Wie aus Abbildung 11 ersichtlich, werden in der tabellarischen Ergebnispräsentation die in der Projektwissensbasis gespeicherten Projekte unter Angabe ihrer jeweiligen Projektbezeichnung („Fall-ID“) mit der berechneten Ähnlichkeit auf einer Skala von 0 bis 100 % Prozent angezeigt, und zwar geordnet von größter Ähnlichkeit bis zu geringster Ähnlichkeit.

Ausgehend von der tabellarischen Ergebnispräsentation stehen dem Benutzer verschiedene Optionen zur Verfügung.

Um im Rahmen der Retrieve-Phase bei einer großen Anzahl von alten Projekten eine Vorauswahl derjenigen Projekte vornehmen zu können, die eine im Einzelfall festzulegende Mindestähnlichkeit aufweisen, kann eine solche Mindestähnlichkeit mithilfe der Funktion „Filter“ festgelegt werden. Siehe hierzu die nachfolgende Abbildung 12, in der diese Filterfunktion am linken oberen Rand als (blau) umrandetes Eingabefeld hervorgehoben wird. Diese Abbildung zeigt, dass bei einer Mindestähnlichkeit von 60 % nur noch ein Projekt – mit der Bezeichnung „Projekt_Hamburg“ – angeführt wird, das mit einer berechneten Ähnlichkeit von 64 % in Bezug auf das betrachtete neue Projekt diese Mindestähnlichkeit erreicht.

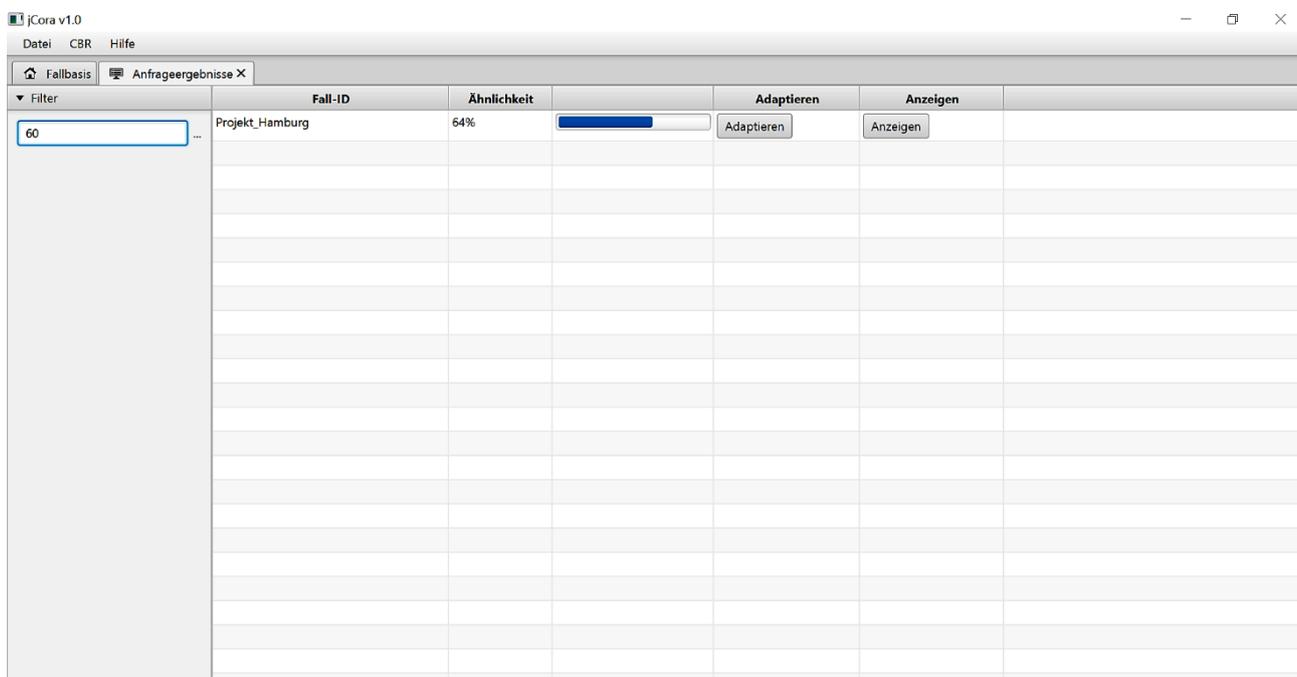


Abbildung 12: Einstellen der Mindestähnlichkeit in jCORA

Wenn keine hinreichend ähnlichen, bereits bearbeiteten, alten Projekte in der Projektwissensbasis enthalten sind, bricht die Bearbeitung eines neuen Projekts mithilfe des KI-Tools jCORA an dieser Stelle ab. Stattdessen muss auf eine andere Projektmanagementmethode mit anderen unterstützenden IT-Tools zurückgegriffen werden.

4.1.2.3 Wiederverwendung von projektbezogenem Erfahrungswissen

Im Rahmen der „Reuse-Phase“ kann, ausgehend von der in den Abbildungen 11 und 12 dargestellten tabellarischen Ergebnispräsentation, mindestens ein altes Projekt und das dort in den Wissenskomponenten der Projektlösung und der Projektbewertung gespeicherte Erfahrungswissen wiederverwendet werden. Hierzu ist der Button „Anpassen“ anzuklicken. Dadurch öffnet sich ein neues Fenster, das die Anwendung von Anpassungsregeln auf das ausgewählte alte Projekt ermöglicht. Die nachfolgende Abbildung 13 zeigt das Fenster, das durch das Anklicken des Buttons „Anpassen“ geöffnet wird.

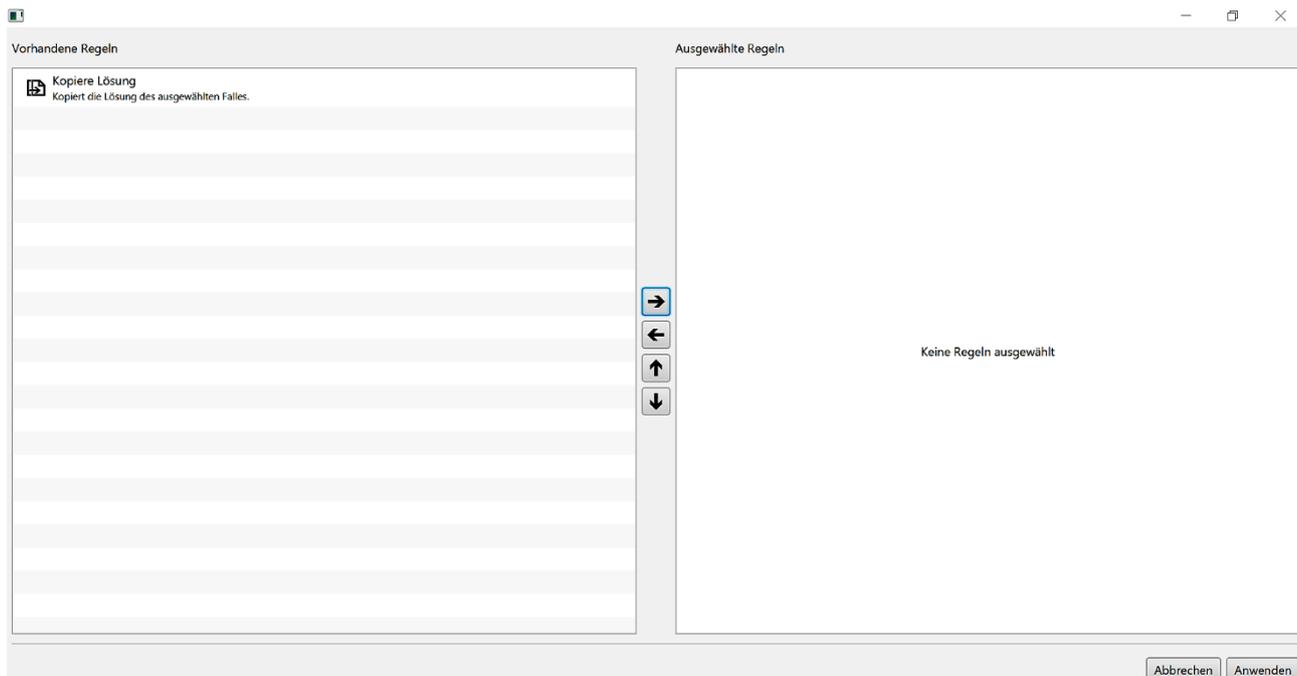


Abbildung 13: Anpassung der Lösungen alter Projekte an die Beschreibung eines neuen Projekts in jCORA

Wie aus Abbildung 13 ersichtlich, ist in jCORA lediglich die Anpassungsregel „Kopiere Lösung“ hinterlegt. Mit ihrer Hilfe kann die gesamte Lösung eines bereits bearbeiteten, alten Projekts in die Lösung für ein neues Projekt kopiert werden. Eine solche Anpassung wird auch als Nulladaptation bezeichnet.⁸⁹ Sie ist aus der Sicht des betrieblichen Projektmanagements unbefriedigend, weil das schlichte Kopieren einer alten Projektlösung wegen der „Einzigartigkeit“ von Projekten mit großer Wahrscheinlichkeit keine überzeugende Lösung für ein neues Projekt liefern wird. Stattdessen kann eine solche Kopieraktivität lediglich eine „Ausgangslösung“ offerieren, die vom Benutzer des KI-Tools jCORA an die Besonderheiten der Beschreibung eines neuen Projekts „manuell“ angepasst werden muss. Ein solches „manuelles“ Anpassungserfordernis widerspricht der Anforderung, Projekte möglichst weitgehend mit „intelligenten“ KI-Tools computerunterstützt managen zu können.

Allerdings bietet das KI-Tool eine „generische“ Anpassungsfunktion *adapt*.⁹⁰ Diese Anpassungsfunktion kann als eine „funktionale Blaupause“ oder „Shell“ genutzt werden kann, um mittels einer präzise definierten Syntax benutzerspezifische Anpassungsregeln zu spezifizieren. Diese Anpassungsregeln legen fest, wie die Anpassung der Lösung *solution* eines ausgewählten alten Projekts *case_{alt}* an die Beschreibung *description* eines neuen Projekts *case_{neu}* gemäß der nachfolgend dargestellten rekursiven Formel angepasst werden kann: In dieser Formel bezeichnet *AR* die Menge aller ausgewählten und in der o. a. Abbildung 13 auf der rechten Seite – gegebenenfalls – aufgelisteten Anpassungsregeln. Mit dem Symbol *ar* wird eine einzelne Anpassungsregel aus dieser Regelmenge *AR* bezeichnet. Das Symbol *pos(ar)* gibt die Position an, in der sich die Anpassungsregel *ar* in der

89) Vgl. BERGMANN/MINOR/BACH et al. (2021), S. 367; BERGENRODT/KOWALSKI/ZELEWSKI (2015), S. 535; WILKE/BERGMANN (1998), S. 500.

90) Vgl. BERGENRODT/KOWALSKI/ZELEWSKI (2015), S. 534-535. Vgl. zur hier vorgestellten Vorgehensweise grundsätzlich SÁNCHEZ-RUIZ/GÓMEZ-MARTÍN/DÍAZ-AGUDO et al. (2008), S. 504-507; LIEBER/BRESSON (2000), S. 177-179. Die Eingabe- und Ausgabeparameter lehnen sich an MITRA/BASAK (2005), S. 628, an.

Liste der Anpassungsregeln befindet. Unter diesen Voraussetzungen⁹¹ gilt für die „generische“ Anpassungsfunktion $adapt$:⁹²

$$solution_case_{neu} = adapt(solution_case_{alt}, description_case_{neu}, AR)$$

$$= \begin{cases} solution_case_{alt} & \text{wenn } AR = \emptyset \\ adapt(solution_case_{alt}, description_case_{neu}, \{ar\}) \\ \text{mit } ar \in AR \text{ und } pos(ar) = \min\{pos(\widehat{ar}) \mid \widehat{ar} \in AR\} & \\ \\ adapt\left(solution_case_{alt}, adapt\left(solution_case_{alt}, description_case_{neu}, \{ar\}\right), AR^*\right) & \text{wenn } AR \neq \emptyset \\ \text{mit } ar \in AR, AR^* = AR \setminus \{ar\} \text{ und } \forall \widehat{ar} \in AR^*: pos(\widehat{ar}) > pos(ar) & \end{cases}$$

Gemäß dieser Formel werden die ausgewählten Anpassungsregeln nach der vom Benutzer des KI-Tools jCORa angegebenen Reihenfolge sequenziell abgearbeitet. Dabei wird jeder nachfolgend angewandten Anpassungsregel \widehat{ar} das Ergebnis der Anwendung der zuvor angewandten Anpassungsregel ar als Eingabeparameter übergeben. Diese Vorgehensweise erlaubt es, Anpassungsregeln zu implementieren, die in rekursiver Weise aufeinander aufbauen. Für den einfachsten Fall $AR = \emptyset$, in dem keine speziellen Anpassungsregeln spezifiziert sind (wie es für jCORa bislang der Fall ist), umfasst die o.a. Formel die schlichte, bereits oben angesprochene Anpassungsregel „Kopiere Lösung“ als „Nulladaption“, mittels derer die Lösung für das betrachtete alte Projekt zunächst⁹³ ohne Änderung für das beschriebene neue Projekt übernommen wird.

Um eine Anpassungsregel in jCORa anzuwenden, gilt es, die entsprechende Anpassungsregel aus der Menge der vorhandenen Anpassungsregeln (linke Seite in der Abbildung 13) auszuwählen und mittels Anklickens des in Abbildung 13 nach rechts weisenden Pfeils zu den ausgewählten Regeln (rechte Seite in der Abbildung 13) hinzuzufügen. Die nachfolgende Abbildung 14 verdeutlicht die Anwendung der Anpassungsregel „Kopiere Lösung“, die bislang als einzige Anpassungsregel in jCORa implementiert ist.

91) Streng genommen muss – wie in BERGENRODT/KOWALSKI/ZELEWSKI (2015), S. 535, ausgeführt – eine weitere Voraussetzung beachtet werden, die sich zwar leicht computergestützt auf „prozedurale“ Weise implementieren lässt, aber in der „deskriptiven“ Darstellungsweise mathematischer Formeln wie im nachfolgenden Fall nicht leicht ausgedrückt werden kann: Die Menge AR der Anpassungsregeln liegt nicht „statisch“ vor, sondern wird nach jeder Anwendung einer Anpassungsregel ar in „dynamischer“ Weise aktualisiert, indem diese Anpassungsregel ar aus der Regelmenge AR entfernt wird, sodass eine Regel-Restmenge $AR \setminus \{ar\}$ resultiert. Mit dem Zuweisungssymbol „:=“, das in prozeduralen Programmiersprachen in dieser oder ähnlicher Form weit verbreitet ist (aber in mathematischen Formeln wegen der erforderlichen „statischen“ Eindeutigkeit von Symbolen wie AR unzulässig ist), lässt sich diese zusätzliche Voraussetzung wie folgt ausdrücken: $AR := AR \setminus \{ar\}$.

92) Vgl. BERGENRODT/KOWALSKI/ZELEWSKI (2015), S. 535. Die dort angeführte Formel wurde für diesen Beitrag geringfügig überarbeitet, und zwar im Hinblick auf den Index „alt“ versus „neu“ für den Fall $AR = \emptyset$ sowie in Bezug auf die Menge AR^* der „Rest-Anpassungsregeln“ versus $AR \setminus \{ar\}$. Mithilfe der Menge AR^* der „Rest-Anpassungsregeln“ wird der Vorbehalt aus der voranstehenden Fußnote in der überarbeiteten Regelformulierung berücksichtigt.

93) Eine „manuelle“ Überarbeitung der übernommenen alten Projektlösung ist – wie bereits erläutert wurde – auch in jCORa möglich. Die Fallgraphanpassung erfolgt aus technischer Sicht wie bei der bereits dargestellten Projektbeschreibung.

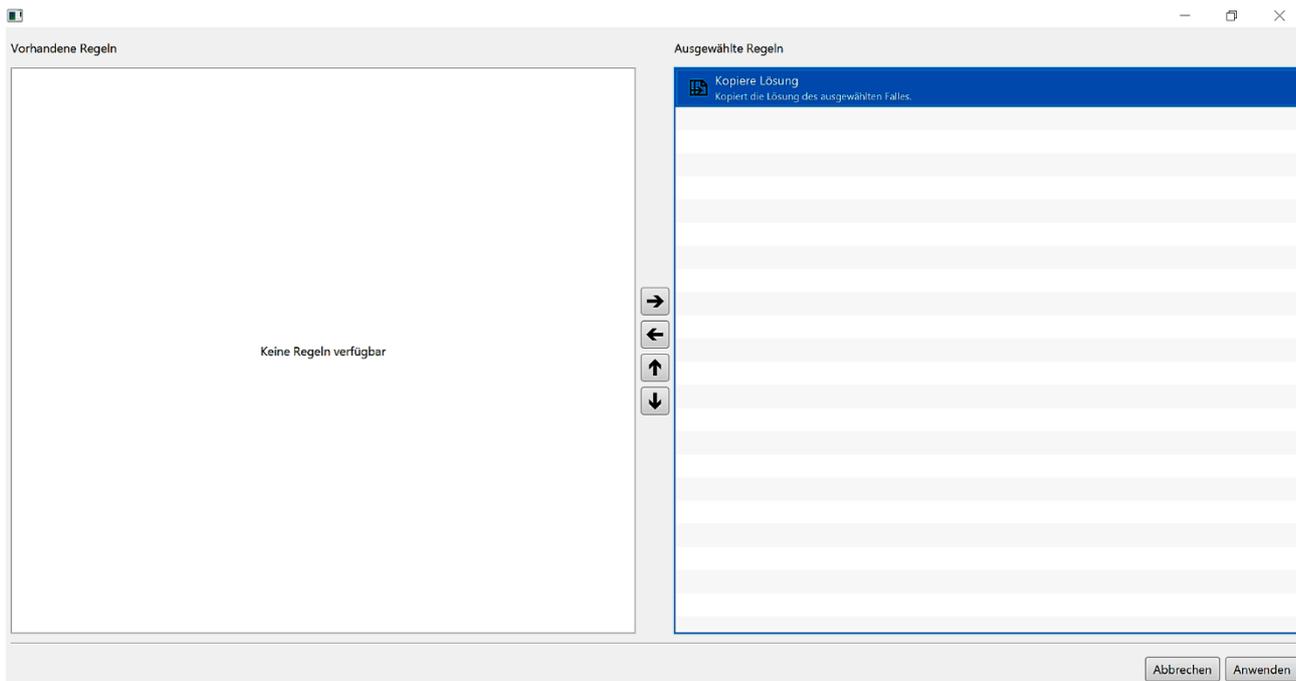


Abbildung 14: Anwendung der Anpassungsregel „Kopiere Lösung“ in jCORA

Nachdem die jeweilige(n) Anpassungsregel(n) ausgewählt wurde(n), muss schließlich am rechten unteren Rand, wie in Abbildung 14 nachzuvollziehen, der Button „Anwenden“ angeklickt werden. Anschließend werden alle ausgewählten Anpassungsregeln auf das neue Projekt angewendet.

Neben der automatischen Anpassung mittels Anpassungsregeln besteht, wie bereits erwähnt, zudem die Möglichkeit, manuelle Anpassungen entweder ergänzend zur Anwendung von computergestützten Anpassungsregeln oder auch von vornherein vorzunehmen. Dazu kann die vorläufige Lösung eines neuen Projekts beliebig – allerdings unter Beachtung der durch die jeweils zugrunde liegende Projekt-Ontologie zur Verfügung gestellten sprachlichen Ausdrucksmittel – angepasst, um neue Wissenskomponenten erweitert oder auch von alten Wissenskomponenten bereinigt werden.

Im Rahmen der nachfolgenden Revise-Phase können die vorgenommenen Anpassungen hinsichtlich ihrer Eignung im Hinblick auf die Anforderungen des neuen Projekts überprüft und evaluiert werden. Eine automatische Überprüfung und Evaluation durch jCORA sind gegenwärtig nicht möglich. Die Überprüfung und Evaluation müssen daher derzeit noch durch Benutzer des KI-Tools – wie z. B. durch Projektmanagementexperten – erfolgen. Die Überprüfungs- und Evaluationsergebnisse sind wichtige Wissensbestandteile für die dritte Wissenskomponente der eingangs vorgestellten Wissensstruktur im Case-based Reasoning, die Projektbewertung. Das Einpflegen solcher Erkenntnisse in die Projektbewertung erfolgt in jCORA analog zum Erstellen der Projektbeschreibung. Die Projektbewertung wird zunächst „leer“ aufgerufen, weil davon ausgegangen wird, dass Projektbewertungen grundsätzlich projektspezifisch und somit einzelfallspezifisch erfolgen. Deshalb können sie in jCORA nicht – wie im Falle von Projektlösungen mittels der Anpassungsregel „Kopiere Lösung“ – aus dem ausgewählten ähnlichsten alten Projekt unmittelbar übernommen werden.

Erfüllt eine vorliegende Projektlösung die Anforderungen seitens des Projektmanagements nicht im wünschenswerten Umfang, kann diese Projektlösung weiter angepasst („repariert“) werden. Dazu stehen die im Rahmen der Reuse-Phase dargelegten automatischen und manuellen Anpassungsmöglichkeiten wiederum zur Verfügung. Ein solches Wechselspiel aus Überprüfung und Evaluierung einerseits sowie Anpassung andererseits sollte so lange geschehen, bis die Anforderungen an die Projektlösung durch die Projektlösung erfüllt sind. Andernfalls, wenn sich diese Anforderungserfüllung nach einer als „angemessen“ empfundenen Anzahl von Anpassungen der Projektlösung nicht eingestellt hat, ist der CBR-Zyklus als „erfolglos“ abzubrechen. Dann ist es mithilfe des KI-Tools jCORA nicht gelungen, für das neue Projekt aus dem Erfahrungswissen über bereits bearbeitete, alte Projekte

eine zufriedenstellende Projektlösung herzuleiten. Dieses Scheitern sollte in der Projektbewertung für das neue Projekt als „Negativwissen“ festgehalten werden. In der betrieblichen Praxis muss in diesem Fall auf eine andere Projektmanagementmethode als das Case-based Reasoning übergegangen werden (mit entsprechenden, anderen IT-Tools), um das neue Projekt auf andere Weise zu bearbeiten. Dies können Methoden des Agilen Projektmanagements oder auch konventionelle Projektmanagementmethoden, wie z. B. die Netzplantechnik, sein.

4.1.2.4 Überblick über die Projektwissensbasis von jCORA

In der Abbildung 15 wird zunächst auf der obersten Ebene der Wissensstrukturierung verdeutlicht, wie im KI-Tool jCORA das vollständige Wissen über ein Projekt auf der Konzept- oder Metaebene (in den jeweils ersten Zeilen der Knoteninschriften) in die drei generischen Wissenskomponenten der Projektbeschreibung, der Projektlösung und der Projektbewertung ausdifferenziert wird. Die zugehörigen Instanzen werden auf der Instanzen- oder Objektebene (in den jeweils zweiten Zeilen der Knoteninschriften) als Fallbeschreibungen, Falllösungen bzw. Fallbewertungen bezeichnet.⁹⁴

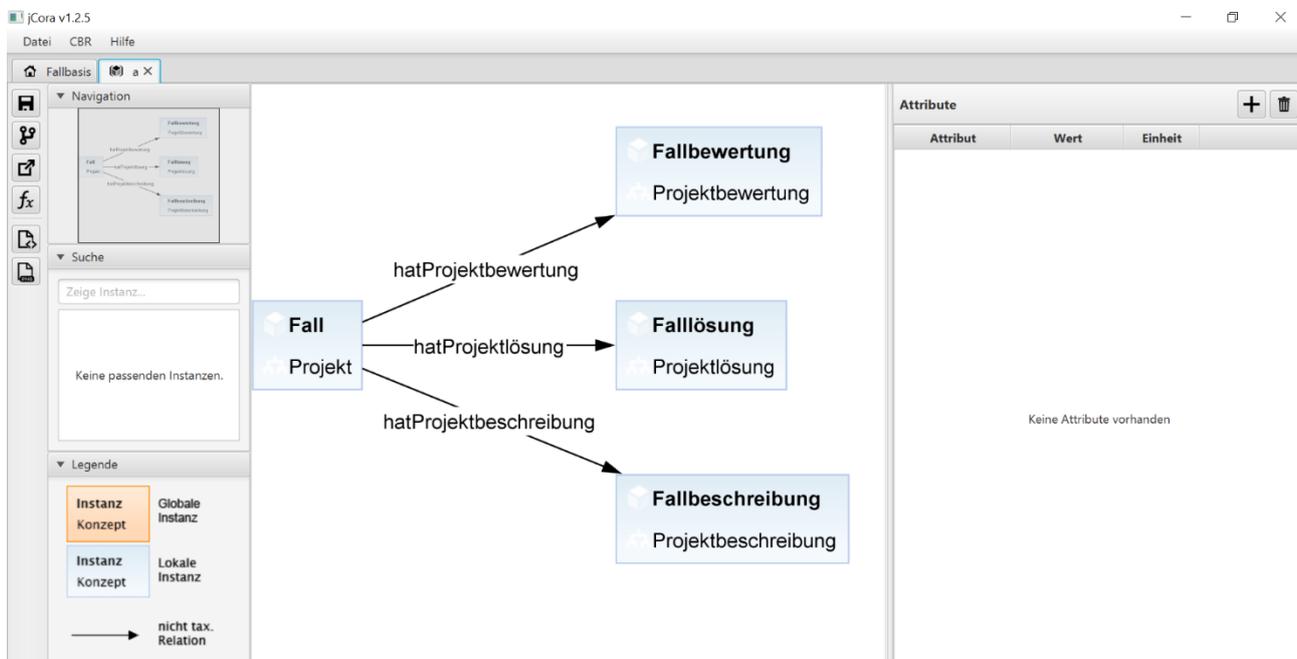


Abbildung 15: Wissensstrukturierung in jCORA anhand von Projektbeschreibung, Projektlösung und Projektbewertung

Die nachfolgende Abbildung 16 zeigt einen Ausschnitt aus einem vollständigen, mit dem KI-Tool jCORA erstellten Fallgraphen für ein konkretes, aber im Hinblick auf die beteiligten Personen pseudonymisiertes IT-Projekt. Im linken Ausschnittteil lässt sich die bereits in Abbildung 15 visualisierte Wissensstruktur – bestehend aus den drei generischen Wissenskomponenten der Projektbeschreibung, der Projektlösung und der Projektbewertung – unmittelbar wiedererkennen. Auch werden bei näherem Hinschauen in den Knoten und an den Kanten zahlreiche Bezüge zum Projektmanagement sowie zu projektbezogenen Mitarbeiterkompetenzen deutlich.

94) Auf die Überarbeitungswürdigkeit dieser Instanzenbezeichnungen wurde bereits an früherer Stelle hingewiesen.

Aus der Abbildung 16 wird deutlich, dass sich Projekt-Ontologien und ihre Anwendung auf konkrete Projekte im KI-Tool jCORA mittels Instanziierung der ontologiezugehörigen Konzepte und Relationen in ihrer Gesamtheit nur schwer visualisieren lassen. Obwohl es sich bei der Abbildung 16 lediglich um einen Ausschnitt aus einer instanziierten Projekt-Ontologie in jCORA handelt, wirkt bereits dieser Fallgraph unübersichtlich. Dies gilt insbesondere im Hinblick auf die zahlreichen Knoten- und Kantenüberschneidungen sowie die nicht immer klaren Zuordnungen von Kantenanschriften zu Kanten. In dieser Hinsicht lässt die Visualisierung von instanziierten Projekt-Ontologien in jCORA mittels Fallgraphen noch erhebliche Wünsche an die Übersichtlichkeit der Fallgraphen offen. Daher lassen sich „große“ instanziierte Projekt-Ontologien für betriebswirtschaftlich realistische Projekte in der Regel nicht mehr visuell aufbereiten, sondern müssen anhand von vor allem tabellarischen Darstellungen der involvierten Instanzen von Konzepten und Relationen mühsam nachvollzogen werden.

Die nachfolgende Abbildung 17 zeigt einen weiteren Ausschnitt, dieses Mal jedoch aus einer Projekt-Ontologie, die mithilfe des Ontologie-Editors Protégé erstellt wurde. Der Ontologie-Ausschnitt bezieht sich auf Kompetenzen von Projektmitarbeitern. Die Knoten in der Grafik (Ontologie-Graph), die in Protégé mittels der Funktion „Export Graph as Image“ sowie mithilfe des Plug-ins „OntoGraf“ editiert wurde, repräsentieren entweder Kompetenzarten als Konzepte (oder synonym als „Klassen“ oder „Typen“, jeweils mit einem Kreis in der linken oberen Knotenecke) oder einzelne, konkrete Kompetenzen (oder synonym als „Instanzen“, jeweils mit einer Raute in der linken oberen Knotenecke). Die gerichteten Kanten drücken aus, dass ein Konzept (Superkonzept) einem anderen Konzept (Subkonzept) übergeordnet ist⁹⁵ oder ein Konzept die untergeordneten Instanzen umfasst.

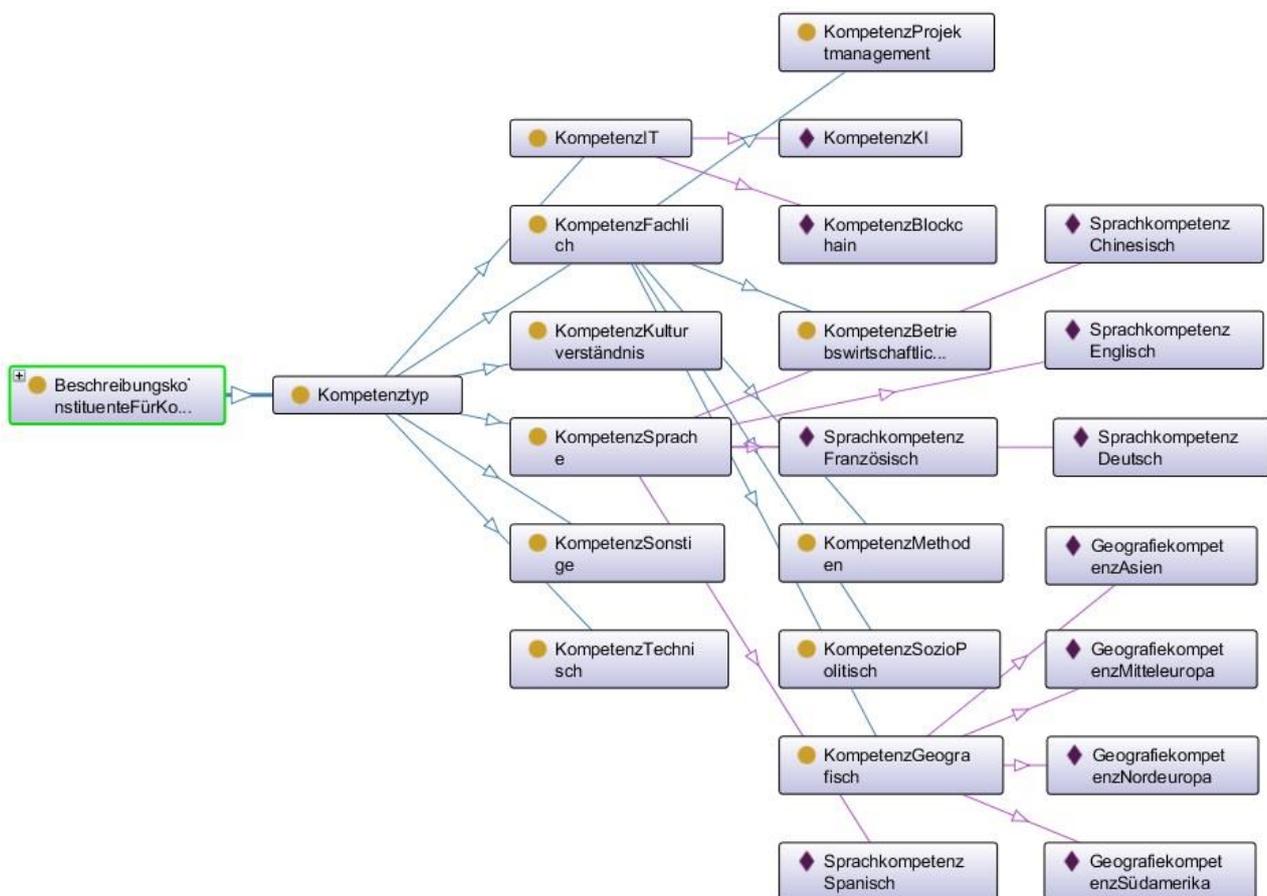


Abbildung 17: Ausschnitt aus einer mit Protégé erstellten Projekt-Ontologie mit Fokus auf Projektkompetenzen

95) Es handelt sich also jeweils um ein Element einer taxonomischen Relation, die sich zum „Normalfall“ der taxonomischen Relation „is a“ (die von einem Subkonzept zum unmittelbar übergeordneten Superkonzept gerichtet ist) invers verhält.

Aus der Abbildung 17 wird ersichtlich, dass nur einigen, aber nicht allen Konzepten jeweils konkrete Instanzen zugeordnet sind. Dies entspricht dem bereits an früherer Stelle diskutierten Freiheitsgrad, dass in einer Ontologie Instanzen spezifiziert werden können, aber nicht müssen. Darüber hinaus lässt sich erkennen, dass sich die Visualisierung des Ontologie-Ausschnitts nicht als benutzerfreundlich erweist. Dies liegt einerseits an den unübersichtlichen Kantenüberschneidungen und andererseits an den „hässlich“ anmutenden Zeilenumbrüchen in den Knoteninschriften.

Am Ende der Bearbeitung eines neuen Projekts wird im Rahmen der Retain-Phase das mittels Case-based Reasonings bearbeitete neue Projekt mit seinen drei charakteristischen Wissenskomponenten der Projektbeschreibung, der Projektlösung und der Projektbewertung in der Projektwissensbasis als „gelerntes“ Wissen gespeichert. Dieses Projektwissen steht für nachfolgende Anwendungen des KI-Tools jCORA als Wissen über ein nunmehr altes, bereits bearbeitetes Projekt zur Verfügung.

4.1.3 Berechnung der Ähnlichkeit zwischen alten und neuen Projekten

Im Folgenden⁹⁶ wird anhand eines realistischen Beispiels⁹⁷ aus dem Bereich des Projektmanagements aufgezeigt, wie sich eine Ontologie für überwiegend qualitatives Wissen über internationale Logistik-Projekte nutzen lässt, um in einem CBR-System ein möglichst ähnliches, bereits bearbeitetes Logistik-Projekt zu identifizieren und das Erfahrungswissen hierüber für das Management eines neuen Logistik-Projekts wiederzuverwenden.

Das Beispiel betrifft das neue Logistik-Projekt, für einen Kunden Holz mit einem Containerschiff von Duisburg nach Barcelona zu transportieren. Für diesen neuen Transport sollen die voraussichtlichen Kosten der Transportdurchführung geschätzt werden, um ein entsprechendes Angebot an den Kunden abgeben zu können. Die Projektwissensbasis umfasst umfangreiche Informationen über einige alte, bereits bearbeitete Logistik-Projekte. Mittels eines ontologiegestützten CBR-Systems, wie z. B. dem zuvor vorgestellten prototypischen KI-Tool jCORA, wird in der Projektwissensbasis u. a. ein altes Logistik-Projekt identifiziert, das dem neuen Logistik-Projekt stark ähnelt. Bei diesem alten Logistik-Projekt musste Öl von Duisburg nach Hamburg transportiert werden. In der nachfolgenden Tabelle 1 werden die wesentlichen Merkmale (Attributs- und Relationswerte) der beiden Transporte einander gegenübergestellt.

96) In diesem Kapitel wird – im Gegensatz zu voranstehenden Kapiteln – der Klassen- gegenüber dem (synonym verwendeten) Konzeptbegriff bevorzugt, weil der Klassenbegriff in den zugrunde liegenden Quellen vorherrscht.

97) Das Beispiel überträgt die Überlegungen von BEIBEL (2011), S. 174-215, insbesondere S. 192-202, die in der Domäne des Managements von Software-Projekten erfolgten, auf internationale Logistik-Projekte. Die Ausführungen in diesem Beitrag stellen eine geringfügige readaktionelle Überarbeitung von Ausführungen dar, die sich finden in: ZELEWSKI/KOWALSKI/BERGENRODT (2015a), S. 251-255; KOWALSKI/KLÜPFEL/ZELEWSKI et al. (2013a), S. 262-267.

Klassen / Subklassen	Attribute und Relationen als Slots der Klassen und Subklassen	Attributs- und Relationswerte des neuen Projekts „Transport Holz“	Attributs- und Relationswerte des alten Projekts „Transport Öl“
Logistik-Projekt	Auftragsvolumen	580.000 €	790.000 €
	Zeitdauer	2 Monate	1 Monat
	Typ	Transport	Transport
	hat_Startort	Duisburg	Duisburg
	betrifft_Gut	Holz	Öl
	hat_Zielort	Barcelona	Hamburg
	betrifft_Transportmittel	Emma Maersk	Öltanker Heinz
Ort	Ortsname	Barcelona / Duisburg	Hamburg / Duisburg
	Binnenhafen_vorhanden	ja	ja
	Seehafen_vorhanden	ja	ja
Gut	Bezeichnung	Holz	Öl
	HS-Position	IX-4406	V-2710
Transportmittel / Containerschiff	Reederei	Maersk	
	Anwendungsbereich	Transport von Containern	
	Gefahrgut_tauglich	ja	
	Hochsee_tauglich	ja	
	Tiefgang	18 m	
	Tragfähigkeit	156.907 tdw	
	Container-Kapazität	1.000 TEU	
Transportmittel / Binnenschiff	Reederei		DBR AG
	Anwendungsbereich		Transport von Flüssigkeiten
	Gefahrgut_tauglich		ja
	Hochsee_tauglich		nein
	Tank-Kapazität		125.000 m ³

Tabelle 1: Transportmerkmale für das neue und ein ähnliches altes Logistik-Projekt

Die gesamte Ähnlichkeitsberechnung für die beiden betrachteten Transporte kann in der hier gebotenen Kürze nicht dargestellt werden.⁹⁸ Stattdessen wird in diesem Beitrag lediglich in exemplarischer Weise skizziert, wie sich die partielle Projektähnlichkeit im Hinblick auf ein relationales Projektmerkmal mit qualitativen Merkmalsausprägungen anhand einer Projekt-Ontologie für die Logistik-Domäne bestimmen lässt. Es handelt sich um das Projektmerkmal „Transportmittel“, das festlegt, dass im neuen Logistik-Projekt als Transportmittel ein „Containerschiff“ zu verwenden ist, im alten Logistik-Projekt dagegen ein „Binnenschiff“ als Transportmittel verwendet wurde.

98) Vgl. zu den Details BEIBEL (2011), S. 196-202.

Für die Ähnlichkeitsberechnung wird auf einen Teil aus einer zugrunde liegenden, weitaus umfassenderen Logistik-Ontologie (wiederum als Teil einer noch umfassenderen Projekt-Ontologie) zurückgegriffen, der in der nachfolgenden Abbildung 18 visualisiert wird. Dieser Ausschnitt aus einer Logistik-Ontologie besitzt die Form eines mathematischen Graphen (Ontologie-Netz), der aus Knoten und gerichteten Kanten besteht. Sowohl die Knoten als auch die Kanten repräsentieren die sprachlichen Ausdrucksmittel, die erforderlich oder zumindest hilfreich sind, um projektbezogenes Erfahrungswissen aus der oben skizzierten Domäne wiederzugeben.

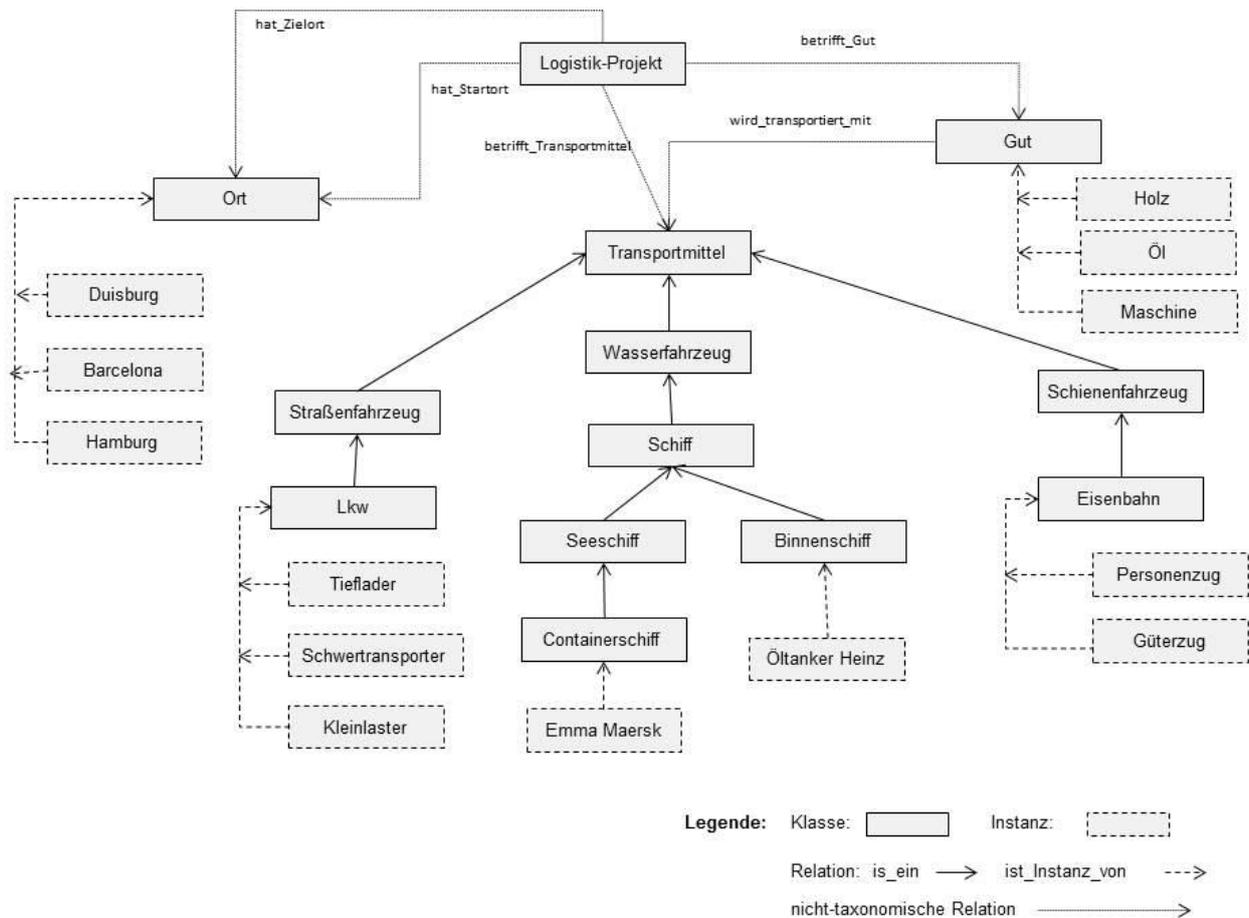


Abbildung 18: Ausschnitt aus einer projektspezifischen Logistik-Ontologie⁹⁹

Hinsichtlich der Knoten wird zwischen Klassen (Mengen, Gruppen, Typen o. ä.) einander ähnlicher Objekte einerseits und den individuellen Objekten – den sogenannten „Instanzen“ – andererseits unterschieden. Diese Differenzierung ist erforderlich, weil sich Ontologien zunächst nur auf Klassen als allgemeine begriffliche Konzepte beziehen, für die Lösung konkreter Probleme – wie beispielsweise einzelner Logistik-Projekte – jedoch die Instanziierung dieser allgemeinen begrifflichen Konzepte mit den einzelfallspezifischen, individuellen Objekten erforderlich ist. Die gerichteten Kanten stellen die taxonomischen („ist_ein“) und einige der nicht-taxonomischen Relationen dar, die als inhaltliche – d. h. „semantische“ – Beziehungen zwischen den Klassen (oder als Relationselemente zwischen den Instanzen) der Logistik-Ontologie bestehen.

99) Quelle: ZELEWSKI/KOWALSKI/BERGENRODT (2015a), S. 252. Vgl. ebenso KOWALSKI/KLÜPFEL/ZELEWSKI et al. (2013a), S. 264.

In der Regel werden in Ontologien nur zweistelligen Relationen berücksichtigt. Dies stellt eine erhebliche Einschränkung gegenüber dem natürlichsprachlichen Ausdrucksreichtum dar. Beispielsweise erweisen sich Relationen, die Wissen über vorhandene oder erforderliche Kompetenzen im Projektmanagement ausdrücken sollen, als mindestens dreistellige Relationen: Sie ordnen einem Akteur als Kompetenzträger eine Kompetenzart in einer aktueursspezifischen Ausprägung (z. B. „Novize“ versus „erfahrener Praktiker“ versus „Experte“) zu. Neben diesen drei relationalen Kompetenzdeterminanten können auch weitere (vierte usw.) Relationsstellen hinzukommen, wie z. B. hinsichtlich des zurückliegenden Zeitraums, in dem die betroffene Kompetenz (Kompetenzart und Kompetenzausprägung) erworben wurde, um z. B. Erfahrungseffekte aufgrund eines langdauernden Kompetenzgebrauchs oder auch Vergessenseffekte infolge einer langdauernden Vernachlässigung des Kompetenzgebrauchs zu erfassen. Ebenso kann an Relationsstellen gedacht werden, die auf formale Abschlüsse oder Zertifikate des Kompetenzerwerbs verweisen. Leider sind ontologiegestützte CBR-Systeme wie jCORA zurzeit noch nicht in der Lage, derart komplexe, mindestens dreistellige Relationen, wie z. B. im voranstehend angesprochenen Bereich des projektbezogenen Kompetenzmanagements, computergestützt zu verarbeiten.¹⁰⁰

Für die beiden Instanzen „Emma Maersk“ und „Öltanker Heinz“ der Klasse „Transportmittel“ wird zunächst anhand der zugrunde liegenden Ontologie festgestellt, dass diese Instanzen zwar zu zwei verschiedenen Subklassen „Containerschiff“ bzw. „Binnenschiff“ gehören. Aber die beiden Subklassen stimmen zumindest hinsichtlich der vier Attribute „Reederei“ „Anwendungsbereich“ „Gefahrgut_tauglich“ und „Hochsee_tauglich“ überein. Die beiden Instanzen können also in einem ersten Schritt zumindest hinsichtlich dieser gemeinsamen Attribute miteinander verglichen werden.

Den beiden Instanzen der Klasse „Transportmittel“ wird hinsichtlich ihrer Ausprägungen „Emma Maersk“ und „Öltanker Heinz“ des Attributs „Reederei“ in einer – hier nicht explizit dargestellten – Ähnlichkeitstabelle für die Ähnlichkeiten zwischen elementaren, nicht weiter zusammengesetzten Merkmalsausprägungen nur eine sehr geringe Ähnlichkeit von 0,1 zugeordnet. Dagegen erweist sich die Ähnlichkeit zwischen ihren Ausprägungen „Transport von Containern“ zu „Transport von Flüssigkeiten“ für das Attribut „Anwendungsbereich“ als deutlich größer mit einem Wert von 0,5. Die Ähnlichkeit zwischen den Ausprägungen des Attributs „Gefahrgut_tauglich“ beträgt für die beiden Schiffe 1,0, weil sich sowohl das Schiff „Emma Maersk“ als auch das Schiff „Öltanker Heinz“ gemäß Tabelle 1 für den Transport von Gefahrgütern eignen. Dagegen beträgt die Ähnlichkeit zwischen den Ausprägungen des Attributs „Hochsee_tauglich“ für die beiden Schiffe 0,0, da gemäß Tabelle 1 nur das Schiff „Emma Maersk“ für Hochseetransporte geeignet ist, während dem Schiff „Öltanker Heinz“ diese Hochseetauglichkeit fehlt.

Die Attribute „Reederei“ und „Gefahrgut_tauglich“ werden vom Benutzer als weniger wichtig beurteilt. Sie erhalten die ähnlich niedrigen Bedeutungsgewichte von 0,2 bzw. 0,3. Die beiden anderen Attribute „Anwendungsbereich“ und „Hochsee_tauglich“ werden dagegen vom Benutzer hinsichtlich ihrer Relevanz für Kostenschätzungen als sehr wichtig beurteilt und erhalten beide dasselbe hohe Bedeutungsgewicht von 0,8.

Somit ergibt sich für die gewichtete Ähnlichkeit der beiden Instanzen „Emma Maersk“ und „Öltanker Heinz“ in Bezug auf das Projektmerkmal „Transportmittel“ und im Hinblick auf ihre übereinstimmenden Attribute – aber nicht ihrer Attributausprägungen – der Wert von $(0,2 \cdot 0,1) + (0,8 \cdot 0,5) + (0,3 \cdot 1,0) + (0,8 \cdot 0,0) = 0,72$.

100) Vgl. zu einer ausführlichen Diskussion der Probleme und auch Lösungsmöglichkeiten, mindestens dreistellige Relationen im Kontext von Ontologien computergestützt erfassen und verarbeiten zu können, FOSSATI/DORIGATTI/GIULIANO (2018), S. 416, 424 u. 434-435; ZELEWSKI/BRUNS/KOWALSKI (2012), S. 169-171; HAYES/WELTY (2006), S. 2-10 (eigene Paginierung); ALAN (2002), S. 25-28.

Dieser Ähnlichkeitswert ist allerdings nur vorläufig, weil bei der Ähnlichkeitsbestimmung noch nicht das Wissen darüber berücksichtigt wurde, dass die beiden Instanzen „Emma Maersk“ und „Öltanker Heinz“ nicht zu einer gemeinsamen Klasse gehören. Denn nur Instanzen derselben Klasse können aufgrund ihrer Gleichartigkeit direkt miteinander verglichen werden. Für Instanzen, die zu verschiedenen Klassen gehören, muss hingegen eine ontologiegestützte Korrektur der Ähnlichkeitswerte durchgeführt werden. Diese Korrektur erfasst das Ausmaß an Ähnlichkeit zwischen Klassen, die sich in der jeweils zugrunde liegenden Ontologie an unterschiedlichen „semantischen Positionen“ befinden. Diese ontologiegestützte Korrektur von Ähnlichkeitswerten stellt einerseits eine besonders schwierige Aufgabe dar. Andererseits begründet diese Korrektur den besonderen Reiz und „Mehrwert“ der Kombination von Case-based Reasoning und Ontologien.

Die Ähnlichkeit zwischen zwei Klassen, die sich in der jeweils zugrunde liegenden Ontologie an unterschiedlichen „semantischen Positionen“ (Knoten im Ontologie-Netz) befinden, wird durch das Verhältnis zweier Attributanzahlen bestimmt. Die erste Attributanzahl ist die Anzahl aller Attribute, über die zwei Klassen gemeinsam verfügen. Dies sind im hier betrachteten Beispiel für die Klassen „Containerschiff“ und „Binnenschiff“ die 4 Attribute „Reederei“, „Anwendungsbereich“, „Gefahrgut_tauglich“ und „Hochsee_tauglich“. Da sie jeweils zu den 2 Klassen „Containerschiff“ und „Binnenschiff“ gehören, beträgt die Anzahl übereinstimmender Attribute beider Klassen insgesamt $2 \cdot 4 = 8$. Die zweite Attributanzahl ist die Anzahl aller Attribute, über welche die zwei betrachteten Klassen insgesamt verfügen. Dies sind im hier betrachteten Beispiel gemäß der o. a. Tabelle 1 insgesamt 12 Attribute. Das Verhältnis der beiden zuvor angesprochenen Attributanzahlen beträgt somit insgesamt $8/12 = 2/3$.

Des Weiteren wird zur ontologiegestützten Korrektur von Ähnlichkeitswerten berücksichtigt, wie weit zwei Instanzen, die in der jeweils zugrunde liegenden Ontologie zu unterschiedlichen Klassen gehören, maximal von derjenigen „niedrigsten“ Superklasse („least common subsumer“) entfernt sind, zu der die beiden unterschiedlichen Klassen in der Klassenhierarchie der Ontologie erstmals als Subklassen gehören. Dies ist gemäß der o. a. Abbildung 18 die Klasse „Schiff“. Von ihr sind die beiden Instanzen „Emma Maersk“ und „Öltanker Heinz“ 3 Kanten bzw. 2 Kanten weit in der Ontologie entfernt, sodass die maximale Entfernung der Instanzen von der erstmals übergeordneten Superklasse 3 Kanten beträgt. Allerdings ist zu berücksichtigen, dass die Ähnlichkeit zwischen Instanzen aus unterschiedlichen Klassen umso kleiner ist, je größer der Abstand der Instanzen in der zugrunde liegenden Ontologie ausfällt. Daher ist zur Ähnlichkeitsmessung in einer Ontologie der reziproke Wert für die maximale Kantenzahl zwischen einer Instanz und der erstmals übergeordneten Superklasse zu verwenden. Daraus resultiert hier der zusätzliche Korrekturwert von $1/3$.

Insgesamt ergibt sich das folgende Resultat: Die partielle Ähnlichkeit zwischen dem neuen und dem alten Logistik-Projekt hinsichtlich des Projektmerkmals „Transportmittel“ setzt sich aus zwei Komponenten zusammen. Es handelt sich einerseits um die gewichtete Ähnlichkeit der beiden Instanzen „Emma Maersk“ und „Öltanker Heinz“ im Hinblick auf ihre übereinstimmenden Attribute mit dem Wert 0,72. Andererseits kommt die ontologiegestützte Korrektur dieses Ähnlichkeitswerts für die Ähnlichkeit zwischen den beiden Klassen hinzu, zu denen die beiden Instanzen gehören und die sich in der zugrunde liegenden Ontologie an unterschiedlichen „semantischen Positionen“ befinden. Der Korrekturwert beträgt $2/3 \cdot 1/3 \approx 0,22$. Daraus resultiert für die partielle Ähnlichkeit zwischen dem neuen und dem alten Logistik-Projekt hinsichtlich des Projektmerkmals „Transportmittel“ insgesamt ein Wert von $0,72 \cdot 0,22 \approx 0,16$.

In der gleichen Weise sind die partiellen Projektähnlichkeiten hinsichtlich aller weiteren Projektmerkmale zu ermitteln. Dabei kann auf die komplizierte ontologiegestützte Korrektur eines Ähnlichkeitswerts verzichtet werden, wenn die zwei Instanzen, die das jeweils betrachtete neue Logistik-

Projekt und ein altes Logistik-Projekt hinsichtlich eines Projektmerkmals spezifizieren, in der zugrunde liegenden Ontologie zur selben Klasse gehören, sich also an derselben „semantischen Positionen“ befinden. Die Summe aus den gewichteten Ähnlichkeitswerten für alle Projektmerkmale ergibt schließlich den Ähnlichkeitswert für die zwei miteinander verglichenen Logistik-Projekte.

In der zuvor skizzierten Weise ist es möglich, die Ähnlichkeit von Projekten beliebiger Art zu ermitteln, die durch eine Vielzahl von nicht-numerischen, d. h. qualitativen und in der Regel natürlichsprachlich formulierten Projektmerkmalen charakterisiert werden. Dadurch lässt sich ein wesentlich größeres Ausmaß an Erfahrungswissen über alte, bereits bearbeitete Projekte für das Management neuer Projekte nutzen, als es bisher auf der Basis rein quantitativer Ähnlichkeitsmessungen im Case-based Reasoning ohne Rückgriff auf Ontologien möglich war.

Darüber hinaus ist anzumerken, dass sich die voranstehende Erläuterung einer ontologiegestützten Ähnlichkeitsberechnung für zwei Projekte in einem CBR-System im Interesse seiner Anschaulichkeit und intuitiven Nachvollziehbarkeit auf einen „relativ ähnlichen“ Algorithmus der Ähnlichkeitsberechnung bezieht, wie er z. B. von BEIBEL in seiner Dissertation aus dem Jahr 2011 ausführlich kommentiert wurde.¹⁰¹ Zwischenzeitlich wurden Algorithmen für die ontologiegestützte Ähnlichkeitsberechnung in CBR-Systemen erheblich weiterentwickelt. Dazu gehört vor allem der „rekursive“ Berechnungsalgorithmus von BERGENRODT, der im Rahmen des BMBF-Verbundprojekts OrGoLo entwickelt und seitens des BMBF-Verbundprojekts KI-LiveS weiterentwickelt wurde.¹⁰² Dieser Berechnungsalgorithmus erweist sich jedoch als derart komplex, dass er in diesem Überblicksbeitrag nicht anhand eines einfachen Berechnungsbeispiels illustriert werden kann.¹⁰³

4.2 Limitationen des KI-Tools jCORA

Aus den voranstehenden – mitunter bewusst kritischen – Ausführungen zu ontologiegestützten CBR-Systemen im Allgemeinen und zum KI-Tool jCORA im Besonderen ergeben sich zahlreiche Einschränkungen („Limitationen“), die den Einsatz solcher KI-Tools in der betrieblichen Praxis des Projektmanagements behindern:¹⁰⁴

- Sowohl die „theoretische“ Leistungsfähigkeit als auch die Praxistauglichkeit eines KI-Tools für das Projektmanagement, wie der hier vorgestellte Softwareprototyp jCORA für ein ontologiegestütztes CBR-System, hängen stark von der Ausdrucksmächtigkeit und der Realitätsadäquanz der zugrunde liegenden Projekt-Ontologie ab, die mit einem Ontologie-Editor wie z. B. Protégé erstellt wurde. Daher muss sich das KI-Tool jCORA grundsätzlich alle Mängel

101) Vgl. dazu die Fußnoten 97 und 98.

102) Vgl. die Ausführungen in Kapitel 4.1.1 sowie die Hinweise in den zugehörigen Fußnoten 77 und 78.

103) Vgl. stattdessen die ausführlich kommentierten Berechnungsbeispiele, auf die bereits in Fußnote 81 verwiesen wurde.

104) Auf die Einschränkungen („Limitationen“) wird im Folgenden nur stichwortartig eingegangen, weil die zugrunde liegenden Probleme bereits mittels voranstehender Argumente erläutert wurden. Darüber hinaus werden auch Argumente berücksichtigt, die zuvor nicht speziell auf das KI-Tool jCORA bezogen waren, sondern allgemein gegenüber ontologiegestützten CBR-Systemen vorgetragen wurden.

Vgl. zu weiteren kritischen Auseinandersetzungen mit den Einschränkungen, denen das KI-Tool jCORA derzeit (noch) unterliegt, vor allem FINK/HAUKE/YE et al. (2021), S. 45-49; FINK/RÖHRIG/HEEB et al. (2021), S. 26-29; BERGENRODT (2015), S. 126-130; BERGENRODT/KOWALSKI/ZELEWSKI (2015), S. 537-541.

zurechnen lassen, die von der zugrunde liegenden Projekt-Ontologie verursacht werden.¹⁰⁵ Darauf wird vor allem im nachfolgenden Punkt näher eingegangen.

- Aus betriebswirtschaftlicher Sicht werden die Erwartungen an die KI-Technik der Ontologien, die zur Spezifizierung der formalsprachlichen Ausdrucksmittel eines ontologiegestützten CBR-Systems dient, wegen der nachstehenden zwei Probleme nicht vollständig erfüllt. *Problem relationaler Zweistelligkeit:* Es betrifft die Einschränkung des KI-Tools jCORA und des zugrunde liegenden Ontologie-Editors Protégé auf lediglich zweistellige Relationen. Diese Einschränkung entspricht nicht dem betriebswirtschaftlich fundierten Bedürfnis für mehr als zweistellige Relationen, wie oben in Bezug auf Wissen über Mitarbeiterkompetenzen in exemplarischer Weise verdeutlicht wurde. Für solche mehr als zweistellige Relationen sind komplizierte Hilfskonstrukte erforderlich,¹⁰⁶ die von einem Ontologie-Editor wie Protégé und einem KI-Tool wie jCORA nicht unterstützt werden. *Problem relationaler Einwertigkeit:* Das KI-Tool jCORA und der zugrunde liegende Ontologie-Editor Protégé können nur Relationen verarbeiten, deren Relationselemente auf der Instanzebene genau einen Wert im Nachbereich aufwiesen. Deshalb sind keine (z. B. zweistelligen) Relationen mit einem mehr- oder (synonym gemeint) mengenwertigen Nachbereich vorgesehen. Dies betrifft beispielsweise die Relation „hat_Mitarbeiter“ mit dem Vorbereich „Projekt“ und dem Nachbereich „Mitarbeiter“. Da einem Projekt in der Regel eine Vielzahl von Mitarbeitern zugeordnet ist, müsste bei einer „natürlichen“ Ausdrucks- und Modellierungsweise einem Projekt eine (nicht-leere) Menge mit beliebig vielen Mitarbeitern zugeordnet werden können. Dies ist jedoch in Protégé und jCORA nicht möglich, weil jedes Element der Relation „hat_Mitarbeiter“ in ihrem Nachbereich nur genau ein Element enthalten kann. Daher muss die Relation „hat_Mitarbeiter“ auf der Instanzebene „vervielfacht“ werden, und zwar mit je einem Relationselement für das betroffene Projekt und den jeweils betrachteten Mitarbeiter. Diese Relationselementevervielfachung lässt sich immerhin in jCORA auf der Instanzebene ohne Schwierigkeiten durchführen.
- Es gibt keinen allgemein akzeptierten Algorithmus zur Berechnung der Ähnlichkeit zwischen Projekten auf der Grundlage von Projekt-Ontologien. Stattdessen konkurrieren mehrere Vorschläge für solche Berechnungsalgorithmen miteinander um die „Aufmerksamkeit“ in der „Scientific Community“.

105) Mit guten Gründen lässt sich darüber streiten, ob einem ontologiegestützten CBR-System wie jCORA die Mängel anderer, unterstützender Softwaresysteme, wie hier des Ontologie-Editors Protégé, zugerechnet werden dürfen. In kausaler Hinsicht ist eine solche Zurechnung auf jeden Fall unzulässig. Aber aus pragmatischer Sicht muss ein ontologiegestütztes CBR-System stets als ein „Bündel“ aus Ontologie-Editor und CBR-System im engeren Sinn betrachtet werden. Daher schlagen Mängel des eingesetzten Ontologie-Editors auf das darauf aufbauende CBR-System durch. Folglich kann ein ontologiegestütztes CBR-System wie jCORA Mängel in der zugrunde liegenden Projekt-Ontologie, die durch den jeweils eingesetzten Ontologie-Editor verursacht werden, nur dadurch überwinden, dass der bislang eingesetzte Ontologie-Editor durch einen besseren Ontologie-Editor ausgetauscht wird. Auf diesen Aspekt wird im vorliegenden Beitrag jedoch nicht näher eingegangen, weil der Ontologie-Editor Protégé im Interesse der Anschlussfähigkeit an die internationale Ontologie-Forschung für das KI-Tool jCORA vorgegeben wurde. Weiterführende Untersuchungen könnten sich jedoch der Frage widmen, ob sich andere Ontologie-Editoren besser eignen, um eine Projekt-Ontologie als Basis für das CBR-System jCORA zu erstellen. Solche Untersuchungen sollten vor allem die nachfolgend erwähnten Mängel hinsichtlich der formalsprachlichen Ausdrucksmittel eines ontologiegestützten CBR-Systems (mehr als zweistellige Relationen sowie Relationen mit mengenwertigen Nachbereichen) adressieren.

106) Vgl. zu solchen Hilfskonstrukten FOSSATI/DORIGATTI/GIULIANO (2018), S. 424 u. 434-435; ZELEWSKI/BRUNS/KOWALSKI (2012), S. 170-171; HAYES/WELTY (2006), S. 4-9 (eigene Paginierung); ALAN (2002), S. 26-28.

- Der Berechnungsalgorithmus für Projektähnlichkeiten, der im KI-Tool jCORA implementiert ist, erweist sich zwar als „relativ fortgeschritten“ (vor allem aufgrund der rekursiven Ähnlichkeitsberechnung), wurde aber in der einschlägigen Fachliteratur bislang kaum rezipiert. Es ist daher fraglich, ob er sich in der einschlägigen Fachliteratur als „anschlussfähig“ erweist.
- Zwar kann ein Benutzer des KI-Tools jCORA unabhängig vom Berechnungsalgorithmus für Projektähnlichkeiten mithilfe der integrierten Suchfunktion auch nach eigenem „Gutdünken“ gezielt nach ähnlichen Projekten suchen. Dies kommt der Anforderung entgegen, einen Benutzer nicht einseitig einem „KI-Algorithmus auszuliefern“, sondern ihm auch ein autonomes Suchverhalten zu ermöglichen. Allerdings unterstützt die Suchfunktion in jCORA bisher nur die Suche nach einer Fall-ID (sie entspricht einer eindeutigen Projektbezeichnung). Dies ist wenig benutzerfreundlich. Stattdessen wäre es wünschenswert, ähnliche Projekte auch anhand von betriebswirtschaftlich relevanten Kriterien, wie z. B. Branche, Region oder Projekttyp, auswählen zu können. Dies ist in jCORA derzeit jedoch noch nicht möglich.
- Zwar bietet das KI-Tool jCORA die Möglichkeit, in einer Projektbeschreibung oder Projektlösung nach Instanzen mit einer bestimmten Eigenschaft zu suchen, wie z. B. nach einem Mitarbeiter mit einer bestimmten Kompetenz, wie etwa im allgemeinen IT- oder im speziell KI-Bereich. Aber es wird von jCORA nur das erste Suchergebnis ausgewiesen. Es ist nicht möglich, sich eine Liste aller Instanzen anzeigen zu lassen, die das Suchkriterium erfüllen.
- Die Auswahl von nur einem ähnlichsten alten Projekt, um das Wissen über dessen Projektbearbeitung auf ein neues Projekt zu übertragen, kann sich als zu eng erweisen. Stattdessen sollte erwogen werden, für die Bearbeitung eines neuen Projekts das Wissen über mehrere, jeweils möglichst ähnliche alte Projekte heranzuziehen. Die Bestimmung der Anzahl einzubeziehender möglichst ähnlicher alter Projekte bleibt derzeit jedoch weitgehend im Dunkeln.
- Es existieren derzeit keine klaren Handlungsempfehlungen dafür, wie hoch die Mindestschwelle für akzeptable Mindestähnlichkeiten für alte Projekte festgelegt werden sollte, die in die Reuse-Phase für die Bearbeitung neuer Projekte einbezogen werden.
- Die Anpassung von Projektlösungen für alte, möglichst ähnliche Projekte (mit akzeptabler Mindestähnlichkeit zu einem neuen Projekt) an ein neues Projekt wird in der Reuse-Phase nicht „effektiv“ unterstützt. Es wird lediglich eine „Copy-Funktion“ für die Übernahme der Projektlösung eines alten Projekts angeboten. Ein solches Kopieren einer alten Projektlösung leistet jedoch keinen konstruktiven Beitrag zu ihrer Anpassung an ein neues Projekt.
- Für die Revise-Phase werden keine computergestützten Hilfen offeriert, um Empfehlungen zur Lösung eines neuen Projekts hinsichtlich ihrer Plausibilität zu überprüfen („validieren“) und hinsichtlich ihrer Eignung zur Wiederverwendung zu evaluieren.
- Die Visualisierung von instanziierten Projekt-Ontologien mittels Fallgraphen erweist sich in jCORA für betriebswirtschaftlich realistische Projekte im Allgemeinen als unübersichtlich und infolgedessen als benutzerunfreundlich.
- Es fehlt in jCORA an einem Rollenkonzept, mit dessen Hilfe sich festlegen lässt, welche Benutzergruppen – definiert über spezielle (Benutzer-)Rollen – welche Zugriffsrechte, insbesondere Lese- und Schreibrechte, auf welche Wissenskomponenten in der Projektwissensbasis besitzen. Beispielsweise kann es seitens des Projektmanagements oder der Unternehmensführung als inakzeptabel empfunden werden, dass beliebige Mitarbeiter des Projektmanagements auf alle Wissensbestandteile der Projektbewertung für alte Projekte zugreifen können und somit Einsicht vor allem auch auf kritische Aspekte, wie z. B. kritische Projekt-Misserfolgsk-

toren, erlangen. Diese Zugriffsrechte, die für die betriebliche Praxis eine nicht zu unterschätzende Bedeutung besitzen, wurden in der prototypischen CBR-Software jCORa noch nicht berücksichtigt.

Insgesamt betrachtet, lässt sich festhalten, dass vom KI-Tool jCORa mehrere Erwartungen, die an ein ontologiegestütztes CBR-System gerichtet werden, derzeit noch nicht erfüllt werden. Aber dieses (selbst-)kritische Urteil sollte insofern relativiert werden, als die oben angeführten (eventuell auch mehr) Kritikpunkte auch gegenüber anderen KI-Tools für ontologiegestützte CBR-Systeme in derselben Ergebnisoffenheit zu diskutieren wären. Ein wissenschaftlicher Diskurs („Benchmarking“) hinsichtlich der Leistungsfähigkeit solcher ontologiegestützter CBR-Systeme wäre aus der Sicht der Verfasser dieses Beitrags hochwillkommen. Insbesondere wäre es wünschenswert, einen „übergreifend“ akzeptierten Katalog von Leistungskriterien zu vereinbaren, die einem solchen „Benchmarking“ zugrunde liegen. Vielleicht vermag der vorliegende Beitrag die Entwicklung eines solchen Kriterienkatalogs zu „motivieren“.

5 Rückblick auf Grundlagen des Case-based Reasonings

Im Gegensatz zum „Mainstream“ der modernen KI-Forschung, der vor allem durch Deep Learning Networks und oftmals nicht klar voneinander getrennt – Machine Learning gekennzeichnet ist, gehört das Case-based Reasoning zu einem speziellen, aber ebenso sehr leistungsfähigen Forschungsansatz der KI. Es betrifft den Ansatz der „White-Box AI“, weil Case-based Reasoning von vornherein so angelegt ist, dass ein CBR-System seinem Anwender erklären kann,¹⁰⁷ wie es zu seinen Handlungsempfehlungen für die Lösung eines neuen Problems, wie etwa der Planung, der Durchführung, der Steuerung und dem Controlling eines neuen Projekts, gelangt ist. Diese „intrinsisch“ angelegte Erklärungsfähigkeit und somit auch Transparenz seiner Funktionsweise unterscheidet Case-based Reasoning deutlich von Deep Learning Networks und Machine Learning, die aufgrund der schweren Nachvollziehbarkeit ihrer internen Funktionsweisen überwiegend dem Ansatz der „Black-Box AI“ zugerechnet werden.

Aus den vorgenannten Gründen eignet sich ein ontologiegestütztes CBR-System wie das KI-Tool jCORa aufgrund seiner Zugehörigkeit zum Ansatz der „White-Box AI“ vor allem für solche Managementaufgaben, die im betrieblichen Alltag nicht nur zur Bewältigung von Mengenproblemen einer Computerunterstützung bedürfen, sondern aus Gründen der *Akzeptanz* von computergestützt erzeugten Handlungsempfehlungen durch die jeweils betroffenen Mitarbeiter und Kunden ebenso eine leicht nachvollziehbare *Erklärung* dieser Handlungsempfehlungen benötigen. Insbesondere auf der *Managementebene* von Unternehmen wird dieser Akzeptanzaspekt oftmals unterschätzt.

Ein ontologiegestütztes CBR-System wie das KI-Tool jCORa schließt diese Akzeptanz- und Erklärungslücke im Projektmanagement, indem die Empfehlungen für die Bearbeitung eines neuen Projekts auf der Basis der Wiederverwendung von Wissen – insbesondere Erfahrungswissen – über bereits bearbeitete, alte Projekte schrittweise nachvollzogen werden kann und sich auch durch Visualisierungen der jeweils einbezogenen Wissenskomponenten verdeutlichen lässt. Dazu tragen vor allem die im Prinzip jederzeit mögliche Überprüfung der Berechnungsergebnisse des eingesetzten Ähnlichkeitsalgorithmus, die Festlegung von Mindestähnlichkeiten, die transparente Festlegung von Gewichten für bearbeitungsrelevante Attribute und Relationen sowie der Ausweis aller alten Projekte bei, welche die vorgegebene Mindestähnlichkeit erreichen oder überschreiten. Falls ein KI-Tool wie jCORa auch noch um Anpassungsregeln für die Anpassung der Projektlösung(en) für (mindestens) ein ähnlichstes altes Projekt an die Projektbeschreibung eines neuen Projekts – über die rein kopierbasierte „Nulladaption“ hinaus – erweitert wird, lässt sich noch besser erklären, anhand welcher

107) Vgl. AMIN (2021), S. 32 u. 69.

Anpassungsregeln die Handlungsempfehlung in der Gestalt einer Projektlösung für ein neues Projekt computergestützt gewonnen wurde. Mit einer derart reichhaltig fundierten Erklärungsfähigkeit gehen ontologiegestützte CBR-Systeme als Exemplare der „White-Box AI“ weit über die Erklärungsansätze hinaus, die zurzeit für die „Black-Box AI“ unter der Bezeichnung des „Explainable AI“ diskutiert werden, aber aus inhaltlicher Sicht im Allgemeinen auf nicht mehr als auf statistischen Korrelationen zwischen Input- und Outputdatenmustern beruhen. Solche Korrelationen besitzen jedoch – zumindest aus erkenntnistheoretischer Perspektive – allenfalls eine schwache Erklärungskraft.

Des Weiteren kann ein ontologiegestütztes CBR-System aus der Managementperspektive – gemeint ist hier nicht nur das Projekt-, sondern auch das IT-Management – als ein „Kristallisierungskeim“ für Bestrebungen dienen, im wissensintensiven Projektmanagement ein „Knowledge Repository“, „Wissensportal“ oder „Projektportal“¹⁰⁸ zu etablieren, mit dessen Hilfe die Mitarbeiter des Projektmanagements eines Unternehmens – in Abhängigkeit von ihren Zugriffsrechten¹⁰⁹ – auf verfügbares projektrelevantes Wissen, insbesondere Erfahrungswissen über alte, bereits bearbeitete Projekte, zugreifen können. Eine solches „Portal“ hätte den Vorzug, dass die Mitarbeiter sich nicht durch das Dickicht „diffus verstreuten“ Wissens über alte Projekte in den IT-Systemen eines Unternehmens „quälen“ müssen, sondern mithilfe eines unternehmensweit zentral administrierten Wissens- oder Projektportals die Gelegenheit besitzen, stets über eine klar definierte IT-Schnittstelle – z. B. mittels einer „modernen“ Browser-Software – auf das unternehmensweit verfügbare, explizit archivierte Projektwissen zurückgreifen zu können.

Darüber hinaus ist ein ontologiegestütztes CBR-System wie das KI-Tool jCORA auch in der Lage, die fünf wesentlichen Herausforderungen (Probleme) des Projektmanagements – allerdings in unterschiedlichem Ausmaß – zu meistern, die eingangs in Kapitel 2.2 aus der Perspektive des projektbezogenen Wissensmanagements skizziert wurden.

Das Wissensakquisitionsproblem wird nicht vollständig gelöst, aber konstruktiv angegangen. Die Explizierung von „implizitem“ oder „tazitem“ Wissen, das „in den Köpfen“ von Projektmanagern mit großer Berufserfahrung „eingeschlossen“ ist, wird durch die überwiegend benutzerfreundliche, von mehreren Visualisierungskomponenten begleitete Oberfläche des KI-Tools jCORA unterstützt.¹¹⁰ Aus der Perspektive des Projektmanagements bedarf es aber noch einer Steigerung der Benutzerfreundlichkeit, vor allem im Hinblick auf die Visualisierungskomponenten. Außerdem wird

108) Vgl. BARÃO/DE VASCONCELOS/ROCHA (2017), S. 71 („knowledge portals“); ALHAWARI (2016), S. 16-18 u. 23-28 („knowledge repository“); GENTNER/VON MEVIUS (2003), S. 363 u. 367-368 (Wissensportal); SCHINDLER/GASSMANN (2000b), S. 42 (Projektportal).

109) Diese Zugriffsrechte können durch ein Rollenkonzept für die Nutzung des KI-Tools jCORA geregelt werden. Vgl. hierzu die rollenkonzeptbezogenen Anmerkungen in den Kapiteln 4.2 u. 6.2.

110) In dieser Hinsicht trägt das KI-Tool jCORA zur Phase der Explizierung impliziten oder taziten Wissens bei. Diese Explizierungsphase spielt in der sogenannten, vierphasigen „Wissensspirale“ – auch bekannt als SECI-Modell des Wissensmanagements – im Anschluss an die Arbeiten von NONAKA (vor allem gemeinsam mit Takeuchi im Bestseller „The Knowledge-Creating Company“) eine wichtige Rolle. Vgl. zu dieser Wissensexplizierungsphase speziell im Kontext des wissensintensiven Projektmanagements DE NADAE/DE CARVALHO (2017), S. 351-352 u. 359-359. Vgl. allgemein zu „Wissensspirale“ und SECI-Modell (das Akronym SECI steht für seine vier charakteristischen Phasen der Wissenstransformation: „Specialization“, „Externalization“, „Combination“ und „Internalization“) NORTH (2021), S. 48-52; LEHNER (2012), S. 72-75; NONAKA/TAKEUCHI (2012), S. 78-93; NONAKA/VON KROGH (2009), S. 638-639 u. 642-647; PELTOKORPI/NONAKA/KODAMA (2007), S. 55-56 u. 67; NONAKA/KONNO (1998), S. 42-47; NONAKA/TAKEUCHI (1995), S. 62-73; NONAKA (1994), S. 18-20.

aus der Managementperspektive empfohlen, die Benutzung eines KI-Tools wie jCORA im betrieblichen Alltag durch umfangreiche E-Learning-Angebote¹¹¹ sowie Use Cases¹¹² zu fördern. Die E-Learning-Angebote sind vor allem für Mitarbeiter des Projektmanagements gedacht, die keine umfangreichen „Software-Handbücher“ oder ähnliche Dokumente studieren möchten, bevor sie an ihren Arbeitsplätzen ein KI-Tool produktiv nutzen. Die Use Cases sollen einem potenziellen Benutzer des KI-Tools jCORA in einer klar strukturierten Weise verdeutlichen, wie er dieses CBR-System für seine „Standard-Aufgaben“ im Projektmanagement konkret einsetzen kann.

Das Wissensdispersionsproblem lässt sich aus der Perspektive des Projektmanagements lösen, wenn es sich zu klaren Vorgaben für das projektbezogene Wissensmanagement durchringt, dass „alles“ projektrelevante Wissen – zumindest im erheblichen Umfang – in einem KI-Tool für das betriebliche Projektmanagement wie jCORA zusammengetragen wird. Dies gilt unabhängig davon, ob das projektrelevante Wissen über personelle oder maschinelle Akteure eines Unternehmens „verstreut“ ist. Auf den ersten Blick handelt es sich um eine reine Managementaufgabe, die das jeweils eingesetzte KI-Tool nicht betrifft. Schließlich muss das Projektmanagement die organisatorischen Vorkehrungen dafür treffen, dass das projektrelevante Wissen in ein KI-Tool wie jCORA eingebracht wird. Schlichte „Vorgaben“ oder „Anweisungen“ werden in der betrieblichen Praxis nicht ausreichen, um drohende Akzeptanzwiderstände seitens der betroffenen Mitarbeiter zu überwinden. Daher sollte verstärkt über Anreizsysteme nachgedacht werden, die es betroffenen Mitarbeitern als individuell vorteilhaft erscheinen lassen, ihr projektrelevantes Wissen in ein solches KI-Tool einzubringen. Die konkrete Ausgestaltung solcher Anreizsysteme stellt eine typische Managementaufgabe dar. Allerdings zeigt sich bei näherem Hinsehen, dass sich die Lösung des Wissensdispersionsproblems nicht einseitig dem Projektmanagement anlasten lässt. Stattdessen muss auch das Design des eingesetzten KI-Tools zur Problemlösung beitragen. Dazu gehört einerseits, dass die Benutzerfreundlichkeit eines KI-Tools wie jCORA erheblich gesteigert werden muss, um Mitarbeiter im Projektmanagement zu motivieren, in dieses KI-Tool ihr projektrelevantes Wissen einzubringen. Aus der Managementperspektive ist insbesondere über erhebliche Investments in die Weiterentwicklung der Benutzerfreundlichkeit eines KI-Tools nachzudenken, die zunächst nur „Kosten verursacht“ und erst auf längere Sicht einen höheren Nutzen durch Bereitstellung und Wiederverwendung von (Erfahrungs-)Wissen bewirken kann. Außerdem gehört es zu den typischen Aufgaben des Projektmanagements, sich um die innerbetrieblichen Schnittstellen zwischen diversen IT-Systemen zu kümmern. Dies betrifft vor allem die Anforderung, dass in einem KI-Tool für das betriebliche Projektmanagement wie jCORA auch projektrelevantes Wissen erfasst und wiederverwendet werden kann, dass in anderen betrieblichen IT-Systemen gespeichert ist. Darauf wird in Kapitel 6.2 aus der Integrationsperspektive zurückgekommen.

Das Wissenserossionsproblem wird durch ein KI-Tool wie jCORA gelöst, sofern es gelingt, projektrelevantes Erfahrungswissen von Projektmanagern mit großer Berufserfahrung in einem solchen ontologiegestützten CBR-System als Wissen über bereits bearbeitete, alte Projekte zu archivieren. In dieser Hinsicht gelten Ausführungen zum Wissensdispersionsproblem in analoger Weise. Dies betrifft vor allem Anreizsysteme, die Projektmanager motivieren, ihr reichhaltiges Erfahrungswissen in ein solches KI-Tool einzubringen. Aber auch die Anforderung, die Benutzerfreundlichkeit eines sol-

111) Erste Ansätze für solche E-Learning-Angebote zum ontologiegestütztes Case-based Reasoning, insbesondere zum KI-Tool jCORA, wurden im KI-LiveS-Projekt bereits erstellt. Vgl. ALLAM/HEEB/ZELEWSKI (2021), S. 26-89 u. 102-137; SCHAGEN/HEEB/ZELEWSKI et al. (2021), S. 22-42 u. 53-71; WEBER/ALLAM/CAMGÖZ et al. (2021), S. 7-27 u. 33-60; WEBER/HEEB/SETHUPATHY et al. (2021), S. 27-29.

112) Erste Use Cases für das KI-Tool jCORA wurden, wie bereits erwähnt, schon erstellt; vgl. FINK/HAUKE/YE et al. (2021), S. 8-51. Allerdings sollten diese Use Cases aus der Managementperspektive weiterentwickelt werden, also weniger auf die informationstechnische Dimension der Nutzung eines KI-Tools legen, sondern sich noch stärker aus betriebswirtschaftlichem Blickwinkel der Bearbeitung von typischen Projektmanagementaufgaben widmen. Vgl. zur Bedeutung von Use Cases („Anwendungsfällen“) für betriebswirtschaftliche Anwendungen von KI-Techniken im Allgemeinen auch AUTH/JÖHNK/WIECHA (2021), S. 153, 156, 158, 161, 163, 164 u. 167-168.

chen KI-Tools erheblich zu steigern, kann die Bereitschaft der Projektmanager fördern, ihr Erfahrungswissen in ein KI-Tool wie jCORa einzubringen. Sowohl die Etablierung von Anreizsystemen im Wissensmanagement als auch die Förderung der Benutzerfreundlichkeit von KI-Tools stellen typische Aufgaben der Managementebene dar.

Das Wissensformproblem wird durch ein ontologiegestütztes CBR-System fast vollständig gelöst, weil ein solches KI-Tool dafür prädestiniert ist, qualitatives, überwiegend natürlichsprachliches (Erfahrungs-)Wissen computergestützt zu erfassen und auszuwerten, vor allem zur Bearbeitung neuer Projekte zielgerichtet wiederzuverwenden. Aus der Managementperspektive ergeben sich in dieser Hinsicht keine speziellen Handlungserwartungen. Zwar wird die Lösung des Wissensformproblems derzeit durch einige wenige Unzulänglichkeiten getrübt, die in Kapitel 4.4 hinsichtlich der Spezifizierung der formalsprachlichen Ausdrucksmittel eines ontologiegestützten CBR-Systems erwähnt wurden. Aber die Überwindung dieser Unzulänglichkeiten stellt kein Managementproblem dar, sondern ist von Experten der KI-Forschung zu leisten.

Auch das Wissensmengenproblem wird durch ein ontologiegestütztes CBR-System fast vollständig gelöst, weil ein solches KI-Tool „im Prinzip“ erlaubt, beliebig große Projektwissensbasen mit (Erfahrungs-)Wissen über bereits bearbeitete, alte Projekte hinsichtlich der Bearbeitung eines neuen Projekts „intelligent“ auszuwerten. Die Konstruktion der Lösung für ein neues Projekt anhand der Lösung (mindestens) eines ähnlichsten alten Projekts unterstützt sowohl die Effektivität als auch die Effizienz¹¹³ des Projektmanagements.¹¹⁴ Die Effektivität des Projektmanagements lässt sich z. B. im Hinblick auf die Projektdurchführungsqualität – vor allem die Ergebnisqualität – fördern, indem Erfahrungswissen über kritische Erfolgsfaktoren, vor allem auch kritische Misserfolgskriterien verwendet wird, um aus früheren Fehlern zu lernen und dadurch Qualitätsmängeln bei neuen Projekten vorzubeugen. Auch die Effizienz des Projektmanagements, wie z. B. in Bezug auf geringere Projektplanungsdauern, kann durch die computergestützte Wiederverwendung von (Erfahrungs-)Wissen über bereits bearbeitete, alte Projekte erheblich gesteigert werden, weil neue Projekte nicht „von Grund auf“ („planning from scratch“) neu geplant werden müssen.

Allerdings stehen diese beiden optimistischen Einschätzungen unter mindestens¹¹⁵ vier grundsätzlichen Vorbehalten, die sich sowohl an das Management von Unternehmen mit projektorientierter Geschäftstätigkeit als auch an das Management von Hochschulen hinsichtlich ihrer Projektaktivitäten richten.

113) Unter *Effektivität* wird hier eine Relation (in der Regel ein Verhältnis [Quotient]) zwischen einem Ist- und einem Soll-Output verstanden, wie beispielsweise ein Quotient aus der Ist-Qualität (z. B. laut Projekt-Controlling am Projektende) und der Soll-Qualität (z. B. laut Lasten- und Pflichtenheften am Projektanfang) der Ergebnisse der Projektdurchführung. Mit *Effizienz* wird hier hingegen eine Relation (in der Regel ebenso ein Verhältnis [Quotient]) zwischen Output und Input gemeint, die sich entweder gemeinsam auf Istgrößen oder aber gemeinsam auf Sollgrößen eines Projekts beziehen können. Beispielsweise lässt sich die (Ist-)Effizienz einer Projektdurchführung mit einem projektausführungsbegleitenden Projektcontrolling, wie etwa dem Earned Value Management, beurteilen, indem in einem Zeitpunkt der Projektdurchführung das Verhältnis zwischen realisierter Projektleistung (als Ist-Output) und hierfür eingesetzten Ressourcen (als Ist-Input) ermittelt wird (von entsprechenden Ermittlungsproblemen in Bezug auf die realisierte Projektleistung wird hier der Überlichkeit halber abgesehen).

Vgl. zur Unterscheidung zwischen Effektivität und Effizienz des Projektmanagements beispielsweise auch AUTH/JÖHNK/WIECHA (2021), S. 151 (dort allerdings mit einer problematischen Abgrenzung, weil z. B. Qualitäts- und Gütekriterien sowohl der Effizienz- als auch der Effektivitätsdimension zugeordnet werden).

114) Die Ausführungen zur Effektivität und Effizienz stehen unter dem Vorbehalt, dass die o. a. Prämissen des analogen Schließens akzeptiert werden und empirisch erfüllt sind.

115) Ein weiterer, hier nicht näher erörterter Vorbehalt besteht darin, dass die bereits erwähnten Prämissen des analogen Schließens erfüllt sein müssen.

Erstens leiden KI-Tools wie jCORA derzeit noch unter nicht-trivialen Performance-Problemen hinsichtlich der Wissenswiederverwendung, vor allem im Hinblick auf die Berechnung von Projektähnlichkeiten.¹¹⁶ Solche Performance-Probleme beeinträchtigen vor allem die Effizienz des Projektmanagements, weil die Zeitdauern (als Inputgrößen) für die Ermittlung ähnlichster alter Projekte und auch für die Anpassung ihrer Projektlösungen an die Beschreibung eines neuen Projekts (als Outputgrößen) die Geduld von Mitarbeitern im Projektmanagement überstrapazieren können. Daher werden aus der Managementperspektive vor allem zwei Anstrengungen benötigt. Einerseits werden Investments in informationstechnische, vor allem algorithmische Verbesserungen der eingesetzten IT-Tools benötigt. Solche Investments übersteigen in der Regel die erheblich eingeschränkten „Forschungs“-Etats von Hochschulen. Daher sollte sich in dieser Hinsicht das Management von KI-affinen Unternehmen stärker in die Pflicht nehmen lassen, *prototypische* KI-Tools, die an Hochschulen mithilfe von „Steuergeldern“ entwickelt wurden, durch den Einsatz unternehmensspezifischer Personal- und Finanzressourcen im Sinne eines „Performance Tunings“ *professionell* weiterzuentwickeln. Dies gilt natürlich nur für KI-Tools, die einem Unternehmen hinsichtlich ihres Einsatzes im eigenen Unternehmen als Erfolg versprechend eingestuft werden. Andererseits lassen sich solche Investments in informationstechnische, vor allem algorithmische Verbesserungen von KI-Tools nur dann erwarten, wenn sich im Rahmen einer Nutzen-Kosten-Analyse (oder anderer, anspruchsvollerer betriebswirtschaftlicher Analysetechniken) nachweisen lässt, dass sich die unternehmensseitige Weiterentwicklung eines prototypischen KI-Tools „rechnet“. Solche Nutzen-Kosten-Analysen sind nur unternehmensspezifisch möglich. Erste Ansätze hierfür liegen zwar bereits vor, beziehen sich aber eher auf die *Nutzung* eines KI-Tools wie jCORA im Projektmanagement¹¹⁷ als auf dessen unternehmensinterne *Weiterentwicklung* zwecks Performance-Steigerung. Daher bleibt es bei dem Desiderat, aus der Managementperspektive von KI-affinen Unternehmen Investments in die Performance-Steigerung von KI-Tools für das Projektmanagement intensiver zu prüfen. Dies kann auch in Kooperation mit Hochschulinstituten, wie z. B. im Rahmen von „wirtschaftsnahen“ Master- und Doktorarbeiten geschehen.

Zweitens bedürfen die beiden vorgenannten Plausibilitätsurteile („Hypothesen“) hinsichtlich der Effektivitäts- und Effizienzsteigerung des Projektmanagements durch Einsatz von KI-Tools einer sorgfältigen empirischen Überprüfung. Solche Überprüfungen sind bislang noch nicht in wissenschaftlich akzeptabler Qualität erfolgt. Daher wäre es wünschenswert, dass Verantwortliche im Projektmanagement von Unternehmen intensiver mit Forschungseinrichtungen, wie z. B. Hochschulinstituten, zusammenarbeiten, um entsprechende Effektivitäts- und Effizienzmessungen im Vergleich zwischen KI-Tools und konventionellen Projektmanagement-Tools zu ermöglichen. In dieser Hinsicht wäre vom Projektmanagement eines Unternehmens insbesondere die Bereitschaft erforderlich, realistische – notfalls anonymisierte oder pseudonymisierte – Informationen über Projekte als projektrelevantes Wissen zur Verfügung zu stellen. Diese Bereitschaft ist aufgrund der Erfahrungen der Verfasser dieses Beitrags, die vor allem im Rahmen des KI-LiveS-Projekts gesammelt wurden,¹¹⁸ derzeit als tendenziell gering einzustufen. Plausible Bedenken vor allem hinsichtlich der Datensicherheit und der – hiermit zusammenhängenden – Wahrung von Geschäftsgeheimnissen werden seitens der betrieblichen Praxis immer wieder angeführt. Vielleicht ist in dieser Hinsicht ein „Umdenken“ im Projektmanagement von Unternehmen empfehlenswert, wenn es über die Effektivität und Effizienz „moderner“ KI-Tools „datengetrieben“ oder „faktenbasiert“, d. h. auf der Basis seriöser empirischer Analysen, informiert werden möchte.

116) Vgl. BERGENRODT (2015), S. 129-130; BERGENRODT/KOWALSKI/ZELEWSKI (2015), S. 540-541.

117) Vgl. zu einer solchen Nutzen-Kosten-Analyse in exemplarischer Weise WEBER/HEEB/SETHUPATHY et al. (2021), S. 29-41.

118) Vgl. SCHAGEN/ZELEWSKI/HASELHOFF et al. (2021), S. 9 u. 23-25.

Allerdings erweist es sich auch im Hinblick auf das Management von Hochschulen als wünschenswert, im Interesse ihrer „Third Mission“ offensiver und intellektuell offener auf Unternehmen zuzugehen, um mit ihnen die zuvor angesprochenen Effektivitäts- und Effizienzanalysen in einer gegenseitig respektvollen Kooperation durchzuführen. Hochschulen, insbesondere „klassische“ Universitäten, besitzen in dieser Hinsicht mitunter einen gewissen „Nachholbedarf“, weil sie dazu neigen, ihre „Third Mission“ hinsichtlich des Know-how-Transfers an Unternehmen in ihrem regionalen Umfeld zu vernachlässigen. Stattdessen neigen ihre Hochschulleitungen dazu, sich auf „Forschungsexzellenz“ und die Einwerbung von „kompetitiven“ Drittmitteln (meist recht engstirnig auf DFG- und EU-Drittmittel beschränkt) zu konzentrieren. BMBF-geförderte Verbundprojekte wie das KI-LiveS-Projekt, das vor allem auf den Transfer von KI-Know-how in die betriebliche Praxis abzielt, werden zwar diesem „Exzellenzdrang“ von Hochschulleitungen nicht unmittelbar gerecht. Aber diese Verbundprojekte können maßgeblich dazu beitragen, das Bewusstsein von Hochschulleitungen für die Bedeutung der „Third Mission“ – auch im Rahmen des vielfach „gehypten“ Führungsstils des „New Public Managements“¹¹⁹ – zu „schärfen“.

Drittens sind aus der Managementperspektive eines Unternehmens mit vorrangig projektorientierter Geschäftstätigkeit Investitionsanalysen, Nutzen-Kosten-Analysen oder auch methodisch anspruchsvollere Wirtschaftlichkeitsanalysen (wie z. B. der Analytic Hierarchy Process, Outranking-Methoden wie Promethee und viele weitere multikriteriellen Bewertungstechniken) erforderlich, um im Einzelfall eines Unternehmens zu prüfen, ob sich der Einsatz eines KI-Tools wie jCORA im Projektmanagement betriebswirtschaftlich als vorteilhaft erweist („rechnet“). Solche Wirtschaftlichkeitsanalysen liegen bislang nur in einigen wenigen Ansätzen vor.¹²⁰ Daher stellt es eine besondere Herausforderung an das Management eines KI-affinen Unternehmens dar, eine solche Wirtschaftlichkeitsanalyse für den Einsatz eines KI-Tools wie jCORA im eigenen Unternehmen entweder intern durchzuführen oder extern in Auftrag zu geben. Ein Projektmanagement mit Sensibilität („AI awareness“) nicht nur für die wirtschaftlichen Erfolgspotenziale (Chancen), sondern auch für Risiken des Einsatzes von KI-Tools sollte eine solche Wirtschaftlichkeitsanalyse einschließlich einer betriebswirtschaftlichen, eventuell (im Interesse der Corporate Social Responsibility) auch gesellschaftlich orientierten Chancen-Risiken-Analyse, auf jeden Fall eigenständig durchführen oder mithilfe Dritter durchführen lassen.¹²¹

Viertens ist einzuräumen, dass in diesem Beitrag vornehmlich aus einer „technischen“ Perspektive argumentiert wurde, wie sich Erkenntnisse aus der KI-Forschung in der Gestalt von ontologiegestützten CBR-Systemen nutzen lassen, um die Wiederverwendung von insbesondere Erfahrungswissen im betrieblichen Projektmanagement zu unterstützen. Die Argumentation erstreckte sich zwar nicht nur auf rein technische, IT-fokussierte Aspekte, sondern bezog vor allem auch Aspekte der Benutzerfreundlichkeit solcher CBR-Systeme aus ebenso personalwirtschaftlicher Perspektive ein. Aber über das Denken über Benutzerfreundlichkeit seitens informations- versus personalwirtschaftlicher Interessensvertreter lässt sich ausgiebig diskutieren. Daher wird als weitere Limitation angeführt, dass

119) Vgl. zu einer kritischen Auseinandersetzung mit dem „New Public Management“ aus inneruniversitärer Perspektive beispielsweise ZELEWSKI/KLUMPP/AKCA (2017), S. 558-560 u. 571-580.

120) Vgl. zu solchen Wirtschaftlichkeitsanalysen für KI-Tools wie jCORA beispielsweise (wie bereits erwähnt) WEBER/HEEB/SETHUPATHY et al. (2021), S. 29-41. Vgl. darüber hinaus zu Wirtschaftlichkeitsanalysen im umfassenderen, nicht auf KI-Tools fokussierten Sinn beispielsweise Analysen zur Wirtschaftlichkeit von IT-Projekten, vor allem auch Wissensmanagementprojekten, in FARNESCHLÄDER/BIMAZUBUTE/PFEIFFER et al. (2003), S. 445-452 (S. 447-452 in Bezug auf Wissensmanagementprojekte).

121) Einen Sonderfall einer solchen Wirtschaftlichkeitsanalyse stellt ein Businessplan für ein Start-up dar, das eine Existenzgründung mit einem KI-Tool wie jCORA erwägt. In einem solchen Businessplan geht es u. a. darum, die wirtschaftliche Tragfähigkeit einer solchen Existenzgründungsidee mit betriebswirtschaftlichen Analysemethoden detailliert zu prüfen. Erste Ansätze in dieser Richtung werden im KI-LiveS-Projekt konkret verfolgt, wie insbesondere im Rahmen einer Masterarbeit zum Thema „Erstellung eines Businessplans für ein Start-up im Hinblick auf innovative KI-Software im Bereich des wissensbasierten Projektmanagements“. Die Ergebnisse dieser Masterarbeit liegen jedoch noch nicht vor.

genuin personalwirtschaftliche Aspekte („social relations“) des Wissensmanagements im Rahmen des Projektmanagements in diesem Beitrag nicht thematisiert wurden.¹²²

6 Ausblick

6.1 Offene Probleme hinsichtlich der projektbezogenen Wissensverarbeitung mittels eines KI-Tools wie jCORA

In diesem Ausblick wird vor allem auf Anwendungsschwierigkeiten des ontologiegestützten Case-based Reasonings für das Projektmanagement in der betrieblichen Praxis eingegangen. Diese Anwendungsschwierigkeiten stimmen inhaltlich teilweise mit den „Limitationen“ überein, die in Kapitel 4.2 speziell für das KI-Tool jCORA angesprochen wurden, gehen aber auch darüber hinaus, um allgemeine Aspekte des Case-based Reasonings zu akzentuieren. Des Weiteren werden im Folgenden weniger die „einschränkenden“ als vielmehr die für zukünftige Forschungs- und Implementierungsarbeiten „herausfordernden“ Aspekte als offene Probleme thematisiert.

- Generell stellt die sprachliche, vor allem natürlichsprachliche Ausdrucksfähigkeit von KI-Techniken wie Ontologien (z. B. Protégé) und CBR-Systemen (z. B. jCORA) einen Engpass dar. Dies gilt insbesondere in Bezug auf Relationen, weil in allen gängigen KI-Tools nur zweistellige Relationen unterstützt werden. Dies ist aber zu wenig, wie in diesem Beitrag in Bezug auf Kompetenzen im Projektmanagement aus betriebswirtschaftlicher Sicht verdeutlicht wurde. Daher sollten KI-Techniken, insbesondere die zugehörigen computergestützten Werkzeuge, in Zukunft auch die Editierung und Verarbeitung von mindestens dreistelligen Relationen gestatten. Eine flexible Handhabung von N -stelligen Relationen mit $N \geq 2$ (ohne Obergrenze) wäre aus Benutzersicht willkommen. Die ebenso erwähnten Relationen mit einem mehr- oder mengenwertigen Nachbereich lassen sich hingegen durch eine Relationelementervielfachung auf der Instanzenebene pragmatisch bewältigen.
- Hinsichtlich der Retrieve-Phase mangelt es an einem übergreifenden Konzept, um die Leistungsfähigkeit konkurrierender Berechnungsalgorithmen für Projektähnlichkeiten miteinander zu vergleichen. Insbesondere bedarf es einer Einigung, welche Leistungsdeterminanten – vor allem Inputdeterminanten wie Rechenzeiten und Speicherplatzbedarfe sowie Outputdeterminanten wie die Übereinstimmung von algorithmisch ermittelten Ähnlichkeitswerten mit intuitiv „plausiblen“ Ähnlichkeitswerten (im Sinne von „Benchmarkings“). Das „tiefgründige“ Gebiet, welche Ähnlichkeitswerte unter welchen Bedingungen als „plausibel“ gelten sollten, ist bislang weitgehend unerforscht, wenn von rein formal definierten „Ähnlichkeitsmetriken“ abgesehen wird, die in Bezug auf natürlichsprachliches Erfahrungswissen jedoch kaum weiterhelfen.
- Details von Ähnlichkeitsberechnungen lassen sich wegen der komplexen Berechnungsalgorithmen und ihrer „kompakten“, nur spärlich kommentierten Implementierung zuweilen nicht im Detail nachvollziehen und infolgedessen auch kaum kritisch überprüfen. Dies betrifft auch das prototypische KI-Tool jCORA, und zwar insbesondere im Hinblick auf seine Verarbeitung von Ähnlichkeitstabellen¹²³ auf der „elementaren Ebene“ der Ähnlichkeitsberechnung für Instanzen desselben Konzepts, die qualitatives Erfahrungswissen darstellen. Daher ist es

122) Vgl. stattdessen zur dezidierten Diskussion von „social relations“ im Rahmen von Projektmanagement und zugehörigem Wissensmanagement beispielsweise REN/YAN/WANG et al. (2020), S. 844-859.

123) Vgl. zur Verwendung solcher Ähnlichkeitstabellen z. B. KOWALSKI/ZELEWSKI (2015a), S. 391-393; BEIBEL (2011), S. 179-184, 194 u. 204; ZILLES (2009), S. 11-12; STAHL/ROTH-BERGHOFER (2008), S. 622-623.

wünschenswert, die implementierten Algorithmen für Ähnlichkeitsberechnungen wesentlich detaillierter und expliziter zu dokumentieren. Außerdem wäre es hilfreich, wenn Ähnlichkeitstabellen, die für ein „pragmatisches“ Case-based Reasoning auf der Instanzenebene eine beachtliche Rolle spielen können, nicht innerhalb eines Algorithmus für Ähnlichkeitsberechnungen „fest verdrahtet“ wären.¹²⁴ Stattdessen sollte es möglich sein, solche Ähnlichkeitstabellen einem Algorithmus für Ähnlichkeitsberechnungen über eine wohldefinierte Schnittstelle extern vorzugeben, wie z. B. mittels einfacher Excel-Tabellen, die in der betrieblichen Praxis weit verbreitet sind. Oder jCORA sollte um eine einfach aufzurufende und zu bedienende „Eingabemaske“ erweitert werden, mit deren Hilfe sich eine instanzbezogene Ähnlichkeitstabelle auf intuitiv unmittelbar verständliche Weise editieren lässt. Solche Ähnlichkeitstabellen sind in der gegenwärtig aktuellsten Version von jCORA (v.1.2.5) grundsätzlich gegeben, erfüllen die Anforderung einer einfachen Bedienung jedoch noch nicht vollends.

- Darüber hinaus wäre eine ähnlichkeitsbezogene „Erklärungskomponente“ von CBR-Systemen wünschenswert. Zwar können aktuelle CBR-Systeme wie das prototypische KI-Tool jCORA schon jetzt ihre Handlungsempfehlungen für die Auswahl (mindestens) eines ähnlichsten alten Projekts als Grundlage für die Bearbeitung eines neuen Projekts mithilfe projektspezifischer Ähnlichkeitswerte begründen, eventuell ergänzt um die Einhaltung oder Verletzung vorgegebener Mindestähnlichkeiten. Aber die ausgewiesenen Ähnlichkeitswerte müssen vom Benutzer eines CBR-Systems „geglaubt“ werden, weil die eingesetzten Algorithmen zur Ähnlichkeitsberechnung viel zu komplex sind, als dass sie sich unmittelbar „durchschauen“ ließen. Daher wäre es im Interesse der Transparenz und Nachvollziehbarkeit – in Übereinstimmung mit dem Konzept der bereits hervorgehobenen „White-Box AI“ – willkommen, wenn einem Benutzer die Möglichkeit geboten würde (z. B. mittels eines Buttons „Erläuterung der Ähnlichkeitsberechnung“), vom CBR-System ein Protokoll der konkret durchgeführten Ähnlichkeitsberechnung anzufordern und auch zu archivieren oder auszudrucken. An das Berechnungsprotokoll lassen sich weitergehende Anforderungen aus der Sicht einer benutzerfreundlichen Erklärungsfähigkeit stellen. Dazu gehört beispielsweise die Anforderung, dass nicht nur numerische Berechnungen protokolliert werden, sondern auch hinterlegt wird, aufgrund welcher allgemeiner Berechnungsformeln (in Bezug auf eine Dokumentation des implementierten Berechnungsalgorithmus) diese Berechnungen erfolgt sind.
- Bezüglich der Reuse-Phase wird von KI-Tool jCORA die Anpassung von Projektlösungen für alte, möglichst ähnliche Projekte (mit akzeptabler Mindestähnlichkeit zu einem neuen Projekt) an ein neues Projekt noch nicht unterstützt. Es wird lediglich eine „Copy-Funktion“ für die Übernahme der Projektlösung eines alten Projekts angeboten. Ein solches Kopieren einer alten Projektlösung leistet jedoch keinen Beitrag zu ihrer Anpassung an ein neues Projekt. Auch andere Ansätze zur Anpassung von Projektlösungen für alte Projekte an neue Projekte überzeugen derzeit noch nicht. Es handelt sich entweder um sehr abstrakte, weitgehend formalsprachliche Anpassungskonzepte ohne den wichtigen semantischen Bezug zu qualitativem Erfahrungswissen. Oder es handelt sich um Anpassungskonzepte für Spezialfälle, wie z. B. die Anpassung von Kostenschätzungen für neue Projekte an Wissen über die Kosten alter Projekte. Insgesamt betrachtet, liegen für das Wissensanpassungsproblem des Case-based Reasonings aus betriebswirtschaftlicher Sicht – sowohl in Bezug auf die semantische Wissensverarbeitungsdimension als auch in Bezug auf die Allgemeinheit der Anpassungsfähig-

124) Dies ist z. B. für das KI-Tool jCORA im Hinblick auf Ähnlichkeiten zwischen HS-Codes für internationale Logistik-Projekte der Fall.

keit – bisher noch keine überzeugenden Lösungsvorschläge vor. Daher kann aktuell von einem „adaptiven Lösungsdefekt“ des Case-based Reasonings zumindest aus betriebswirtschaftlicher Perspektive gesprochen werden.

- Für die Revise-Phase werden keine computergestützten Hilfen offeriert, um Empfehlungen zur Lösung eines neuen Projekts hinsichtlich ihrer Plausibilität zu überprüfen („validieren“) und hinsichtlich ihrer Eignung zur Wiederverwendung zu evaluieren. Hierfür werden in der einschlägigen Fachliteratur – wenn überhaupt – nur plausible, aber kaum verallgemeinerbare Beispiele für „passende“ Einzelfälle erwähnt. Für eine allgemein einsetzbare, computergestützte Überprüfung und Evaluierung von Lösungsempfehlungen, die durch ein CBR-System generiert werden, bedarf es daher weitreichender zukünftiger Forschungen.
- Es wäre wünschenswert, aus den Resultaten der Reuse-Phase (Projektlösung) und der Revise-Phase (Projektbewertung und gegebenenfalls überarbeitete Projektlösung) einen übersichtlichen „Project Report“ in überwiegend natürlichsprachlicher Form generieren zu können, der insbesondere über „Lessons Learned“ sowie über projektbezogene kritische Erfolgs- und Misserfolgskriterien informiert.
- Für die Visualisierung von instanziierten Projekt-Ontologien mittels Fallgraphen sollte das KI-Tool jCORa erheblich überarbeitet werden. Hierfür bieten sich zwei Wege an. Einerseits wird die „Funktionalität“ von jCORa im Hinblick auf die Generierung und Überarbeitung von Fallgraphen erheblich erweitert. Dazu wäre es erforderlich, die generierten Fallgraphen im Nachhinein manuell ohne „Tricksereien“ überarbeiten zu können, um z. B. Überschneidungen von Knoten und Kanten zu entzerren, Knotengrößen an die enthaltenen Instanzen- und Konzeptbezeichnungen anzupassen und Kantenanschriften so zu verschieben, dass sie sich visuell klarer den jeweils betroffenen Kanten zuordnen lassen. Außerdem wäre es hilfreich, in jCORa die Möglichkeit vorzusehen, einen „großen“ Fallgraphen für ein betriebswirtschaftlich realistisches Projekt auf mehrere Darstellungsseiten (z. B. jeweils in DIN-A4-Größe für die spätere Projektdokumentation) mit klar definierten „Schnittstellen“ oder „Konnektoren“ zu verteilen. Eine solche Erweiterung von jCORa um die Fähigkeit, visuell wesentlich überzeugendere Fallgraphen zu erstellen, wird jedoch erhebliche, vor allem professionelle Programmierungsressourcen binden. Daher wäre es andererseits zu erwägen, die „Funktionalität“ von jCORa nur insoweit zu erweitern, dass die in jCORa generierten Fallgraphen über eine Software-Schnittstelle in eine betriebsübliche Grafik-Software exportiert und dort entsprechend überarbeitet werden können. Als solche Grafik-Softwares kommen vor allem MS PowerPoint und MS Visio in Betracht.¹²⁵

6.2 Offene Probleme hinsichtlich der betrieblichen Integration von CBR-Systemen wie jCORa

CBR-Systeme wie das prototypische KI-Tool jCORa und auch „Hilfssysteme“ wie der Ontologie-Editor Protégé leiden hinsichtlich ihrer „Tauglichkeit“ für die betriebliche Praxis grundsätzlich darunter, dass sie überwiegend an Forschungseinrichtungen – wie z. B. Universitätsinstituten – entwickelt wurden, in denen eine andere „IT- oder Organisations-Kultur“ als in der betrieblichen Praxis herrscht.

125) Hinsichtlich der erforderlichen Software-Schnittstellen vgl. auch die integrationsbezogenen Ausführungen im anschließenden Kapitel 6.2.

Beispielsweise werden an Forschungseinrichtungen andere Programmiersprachen (z. B. C#, Python und Java) und Entwicklungsumgebungen (z. B. Apache und Ruby on Rails) bevorzugt, als es in der betrieblichen Praxis üblich ist (wie z. B. im Hinblick auf betriebswirtschaftliche Standardsoftware im Umfeld von SAP, MS Navision und Oracle – abgesehen von problematischer, weil veralteter „Legacy Software“ in Unternehmen).

Hinzu kommt, dass Anforderungen der betrieblichen Praxis an ein KI-Tool¹²⁶ oftmals andere Aspekte – wie etwa die Benutzerfreundlichkeit – betonen als im Fokus von wissenschaftlichen Forschungsinteressen stehen (wie z. B. die Ausdrucksmächtigkeit einer Wissensmodellierung und die „Performance“ eines Algorithmus zur Ähnlichkeitsberechnung).

Aus den vorgenannten Gründen werden im Folgenden einige Aspekte angeführt, die aus der Sicht der Verfasser dieses Beitrags wesentlich dazu beitragen könnten, die Integration von CBR-Systemen – wie z. B. dem KI-Tool jCORA – zu fördern:

- Ein CBR-System sollte wohldefinierte (Software-)Schnittstellen besitzen, um projektrelevantes Wissen aus konventionellen Softwaresystemen – wie z. B. SAP 4/Hana im Hinblick auf konventionelle Projektmanagementmethoden oder Jira in Bezug auf agile Projektmanagementmethoden wie Scrum – importieren zu können. Vor allem sind auch Input-Schnittstellen zu Text- und Tabellenverarbeitungssystemen wie Word bzw. Excel wünschenswert, weil in diesen konventionellen Softwaresystemen oftmals projektrelevantes Wissen archiviert wird.
- Ein CBR-System sollte wohldefinierte (Software-)Schnittstellen besitzen, um seine Handlungsempfehlungen in Bezug auf neue Projekte in konventionelle Softwaresysteme exportieren zu können.
- Es wäre wünschenswert, die Projektwissensbasis eines CBR-Systems nicht als „Stand-alone Software“ zu realisieren, sondern diese Projektwissensbasis in eine betrieblich übliche Projektmanagement-Software zu integrieren, um vielfältige Schnittstellenprobleme zu vermeiden. Angesichts der bereits angesprochenen Software- und Schnittstellenprobleme erscheint dieser Wunsch jedoch derzeit als sehr schwer zu realisieren.
- Für die vorgenannte Integrationsaufgabe (hinsichtlich der Projektwissensbasis eines CBR-Systems in eine betrieblich übliche Projektmanagement-Software) bietet es sich an, eine systematische Prozessmodellierung¹²⁷ der im Projektmanagement üblichen Geschäftsprozesse mit den Wissensobjekten zu verknüpfen, die von einem CBR-System im Projektmanagement erzeugt, verwaltet und wiederverwendet werden: entweder als die drei generischen Wissenskomponenten der Projektbeschreibung, -lösung und -bewertung von alten oder auch neuen Projekten oder auch als einzelne Bestandteile dieser drei generischen Wissenskomponenten. Eine solche Kombination von projektbezogener Prozessmodellierung mit projektbezogenen Wissensobjekten wurde zwar bislang noch nicht systematisch erarbeitet, aber erste vielversprechende Ansätze¹²⁸ liegen bereits vor.

126) Siehe dazu die umfangreichen Erhebungen von Anforderungen der betrieblichen Praxis an KI-Tools (nicht nur, aber vor allem im Umfeld des Projektmanagements), die vom Institut für Produktion und Industrielles Informationsmanagement der Universität Duisburg-Essen im Rahmen des KI-LiveS-Projekts durchgeführt wurden; vgl. FINK/RÖHRIG/HEEB et al. (2021), S. 13-15 u. 34-61; SCHAGEN/ZELEWSKI/HEEB (2020), S. 15-130, insbesondere S. 88-128. Vgl. darüber hinaus z. B. auch die Anforderungen an IT-Tools aus der Perspektive des nicht nur, aber vor allem auch projektbezogenen Wissensmanagements in GENTNER/VON MEVIUS (2003), S. 366.

127) Dafür kommen beispielsweise BPMN-Prozessmodelle (BPMN für „Business Process Model and Notation“) sowie – zwar weniger bekannte, aber anspruchsvollere – PETRI-Netz-Modelle in Betracht.

128) Vgl. beispielsweise GENTNER/VON MEVIUS (2003), S. 364-365 u. 376-368 (auf der Basis von PETRI-Netzen).

- Für ein CBR-System sind hinsichtlich seines Einsatzbereichs im betrieblichen Projektmanagement umfangreiche Datenschutzregelungen vorzusehen. Dies betrifft vor allem „Rollen-Konzepte“, in denen festgelegt wird, welche Mitarbeiter eines Unternehmens in welche „Rolle“ (organisatorische oder funktionale Zuständigkeit) welche Zugriffsrechte (vor allem Lese- und Schreibrechte) auf die Projektwissensbasis eines CBR-Systems erhalten. In dieser Hinsicht sind Mitbestimmungsrechte eines Betriebs- oder Personalrats und individuelle Rechte von Mitarbeitern auf informationelle Selbstbestimmung sorgfältig und „sensibel“ zu beachten. Beispielsweise kann ein CBR-System mit Projektwissensbasis erhebliches persönlichkeitsrelevantes Wissen hinsichtlich der Beteiligung einzelner Mitarbeiter – insbesondere ihrer „Performance“ – an den Projekten eines Unternehmens umfassen. Daher sollte ein „praxistaugliches“ CBR-System vor allem auch ein „Rollenkonzept“ umfassen, das festlegt, welche betrieblichen Personengruppen in welchem Ausmaß Zugriff auf das in einem CBR-System gespeicherte Wissen erhalten. Entsprechende Betriebsvereinbarungen besitzen für die betriebliche Praxis vermutlich eine herausragende Bedeutung. Beispiele für solche Betriebsvereinbarungen liegen leider derzeit noch nicht „allgemein konsultierbar“ vor.
- Ein CBR-System sollte mit einer Cockpit- oder Dash-Board-Funktionalität¹²⁹ ausgestattet werden, um Mitarbeitern – vor allem Führungskräften – im Projektmanagement jederzeit anzeigen zu können, welche der aktuell geplanten oder durchgeführten Projekte gegebenenfalls besondere „Eingriffe“ zur Gegensteuerung erfordern, falls der erwartete Projekterfolg erheblich gefährdet wird. Diese Funktionalität wäre vor allem aus der Perspektive des Projektcontrollings willkommen.
- Mithilfe von Use Cases¹³⁰ sollte noch intensiver aufgezeigt werden, wie sich ein CBR-System in die betriebliche „Alltagsarbeit“ des Projektmanagements aus der Benutzerperspektive „praxistauglich“ integrieren lässt.

Die voranstehend angesprochenen Aspekte sind sicherlich nicht vollständig, mögen aber ausreichen, um zu verdeutlichen, dass die Fortentwicklung eines CBR-Systems nicht nur aus der Perspektive von KI-Techniken angezeigt ist, sondern vor allem auch einer sorgfältigen Berücksichtigung des Integrationsbedarfs in bestehende – oftmals „konventionelle“ (also nicht KI-affine) – betriebliche Informationstechnik- und Organisationsstrukturen bedarf.

129) Vgl. in Bezug auf Wissensportale zur Unterstützung des Projektmanagements GENTNER/VON MEVIUS (2003), S. 367.

130) Ein erster Ansatz zur Erstellung solcher Use Cases für ein CBR-System im Projektmanagement findet sich in FINK/HAUKE/YE et al. (2021), S. 7-44. Dort werden Use Cases zunächst aus vor allem informationstechnischer Sicht konstruiert, indem typische Fälle der unmittelbaren Anwendung eines KI-Tools wie jCORA untersucht werden. Aber auf S. 45-49 werden diese Use Cases auf betriebswirtschaftliche Aufgaben („Funktionen“) im Bereich des Projektmanagements bezogen, wie z. B. darauf, Personal für ein Projekt (kompetenz- und kapazitätsorientiert) auszuwählen und einen Projektabschlussbericht zu erstellen. Vgl. dazu vor allem die Tabelle 13 in FINK/HAUKE/YE et al. (2021), S. 45. Dieser betriebswirtschaftlich ausgerichtete Ansatz von Use Cases für CBR-Systeme sollte in Zukunft weiter ausgebaut werden.

Literaturverzeichnis

Vorbemerkungen:

- Alle Quellen werden im Literaturverzeichnis wie folgt aufgeführt: In der ersten Zeile wird der *Referenztitel* der Quelle angegeben. Er entspricht der Form, die im Text Verwendung findet, wenn auf die Quelle hingewiesen wird.
- Bei der Vergabe der Referenztitel wird bei *einem* Autor dessen Nachname, gefolgt von dem Erscheinungsjahr der Quelle in Klammern, verwendet. Existieren *zwei* oder *drei* Autoren, werden diese getrennt von einem Schrägstrich („/“) aufgeführt. Bei mindestens *vier* Autoren werden nur die ersten drei Autoren mit dem Zusatz „et al.“ aufgeführt.
- Die Quellen werden *lexikografisch* nach Maßgabe der Namen ihrer Autoren geordnet.
- Bei Quellen mit *gleichen* Autoren werden Quellen mit früheren Erscheinungsdaten vor Quellen mit neueren Erscheinungsdaten angeführt.
- Zwischen Quellen, die sich hinsichtlich ihrer Autoren und Erscheinungsdaten nicht unterscheiden, wird durch Zusätze wie „a“ und „b“ unterschieden.
- Zu *Internetquellen* wird die dafür verantwortliche Instanz aufgeführt. Dies können sowohl natürliche als auch juristische Personen sein. Für Internetquellen werden die zum Zugriffsdatum gültige Internetadresse (URL) und das Zugriffsdatum angegeben.

AAMODT (2004)

Aamodt, A.: Knowledge-Intensive Case-Based Reasoning in CREEK. In: Funk, P.; González Calero, P.A. (Hrsg.): *Advances in Case-Based Reasoning, 7th European Conference, ECCBR 2004*, 30.08.-02.09.2004 in Madrid, Proceedings. Berlin - Heidelberg - New York 2004, S. 1-15.

AAMODT/PLAZA (1994)

Aamodt, A.; Plaza, E.: Case-Based Reasoning: Foundational Issues, Methodological Variations, and System Approaches. In: *AI Communications (AICOM)*, Vol. 7 (1994), No. 1, S. 39-59.

ABDOULLAEV (2008)

Abdoullaev, A.: *Reality, Universal Ontology, and Knowledge Systems – Toward the Intelligent World*. Hershey 2008.

ABELS/AHLEMANN/HAHN et al. (2006)

Abels, S.; Ahlemann, F.; Hahn, A.; Hausmann, K.; Strickmann, J.: PROMONT – A Project Management Ontology as a Reference for Virtual Project Organizations. In: Meersman, R.; Tari, Z.; Herrero, P. et al. (Hrsg.): *On the Move to Meaningful Internet Systems 2006: OTM Workshops 2006*, Berlin - Heidelberg, S. 813-823.

ADRIAN/ENDRES-NIGGESMEYER (2012)

Adrian, B.; Endres-Niggesmeyer, B.: Semantik in der Informationsextraktion. In: Dengel, A. (Hrsg.): *Semantische Technologien. Grundlagen – Konzepte – Anwendungen*. Heidelberg 2012, S. 205-229.

AKERKAR (2009)

Akerkar, R.: *Foundations of the Semantic Web – XML, RDF & Ontology*. Oxford 2009.

ALAN (2002)

Alan, Y.: Konstruktion der KOWIEN-Ontologie. KOWIEN-Projektbericht 2/2002, Institut für Produktion und Industrielles Informationsmanagement, Universität Duisburg-Essen (Campus Essen). Essen 2002.

ALAN/ZELEWSKI (2005)

Alan, Y.; Zelewski, S.: Präzisierung des Ontologieverständnisses für das Projekt KOWIEN. In: Zelewski, S.; Alan, Y.; Alparslan, A.; Dittmann, L.; Weichelt, T. (Hrsg.): Ontologiebasierte Kompetenzmanagementsysteme – Grundlagen, Konzepte, Anwendungen. Berlin 2005, S. 229-276.

ALHAWARI (2016)

Alhawari, S.: Relationship among Project Management Processes and Knowledge Repository for Project Success. In: International Journal of Enterprise Information Systems, Vol. 12 (2016), No. 4, S. 16-30.

ALI/YANG/ZHANG et al. (2021)

Ali, M.M.; Yang, R.; Zhang, B.; Furini, F.; Rai, R.; Otte, J.N.; Smith, B.: Enriching the functionally graded materials (FGM) ontology for digital manufacturing. In: International Journal of Production Research, Vol. 59 (2021), No. 18, S. 5540-5557.

ALLAM/HEEB/ZELEWSKI (2021)

Allam, S.; Heeb, T.; Zelewski, S.: Konzipierung und Implementierung eines E-Learning-Moduls für ein ontologiegestütztes Case-based Reasoning Tool zur Unterstützung des Projektmanagements im Rahmen des KI-LiveS-Projekts. Arbeitsbericht Nr. 51, Institut für Produktion und Industrielles Informationsmanagement, Universität Duisburg-Essen (Campus Essen), zugleich KI-LiveS-Projektbericht Nr. 5. Essen 2021.

AMAILEF/LU (2013)

Amailef, K.; Lu, J.: Ontology-supported case-based reasoning approach for intelligent m-Government emergency response services. In: Decision Support Systems, Vol. 55 (2013), No. 1, S. 79-97.

AMBROSINI/BOWMAN (2001)

Ambrosini, V.; Bowman, C.: Tacit Knowledge: Some Suggestions for Operationalization. In: Journal of Management Studies. Vol. 38 (2001), No. 6, S. 811-829.

AMIN (2021)

Amin, K.: DeepKAF: A Knowledge Intensive Framework for Heterogeneous Case-Based Reasoning in Textual Domains. Dissertation, Department of Computer Science, Technische Universität Kaiserslautern 2021. Kaiserslautern 2021.

ANAND/YANG/VAN DUIN et al. (2012)

Anand, N.; Yang, M.; van Duin, J.H.R.; Tavasszy, L.: GenCLOn: An ontology for city logistics. In: Expert Systems with Applications, Vol. 39 (2012), No. 15, S. 11944-11960.

ARAMO-IMMONEN (2009)

Aramo-Immonen, H.: Project Management Ontology – The Organizational Learning Perspective. Dissertation, Tampere University of Technology 2009. Tampere 2009.

ARORA/OWENS/KHAZANCHI (2010)

Arora, P.; Owens, D.; Khazanchi, D.: A Pattern-Based Tool for Knowledge Management in Virtual Projects. In: The IUP Journal of Knowledge Management, Vol. 8 (2010), No. 3, S. 60-80.

ARTHOFFER/ENGELHARDT-NOWITZKI/FEICHTENSCHLAGER et al. (2012)

Arthofer, K.; Engelhardt-Nowitzki, C.; Feichtenschlager, H.-P.; Girardi, D.: Servicing Individual Product Variants within Value Chains with an Ontology. In: Jodlbauer, H.; Olhager, J.; Schonberger, R.J. (Hrsg.): Modelling Value, Selected Papers of the 1st International Conference on Value Chain management, 04.-05.05.2011 in Steyr. Heidelberg 2012, S. 331-252.

ASSALI/LENNE/DEBRAY (2009)

Assali, A.A.; Lenne, D.; Debray, B.: Case Retrieval in Ontology-Based CBR Systems. In: Mertsching, B.; Hund, M.; Aziz, Z. (Hrsg.): KI 2009: Advances in Artificial Intelligence, 32nd Annual German Conference on AI, 15.-18.09.2009 in Paderborn, Proceedings. Berlin - Heidelberg - New York 2009, S. 564-571.

ASSALI/LENNE/DEBRAY (2010)

Assali, A.A.; Lenne, D.; Debray, B.: Heterogeneity in Ontological CBR Systems. In: Montani, S.; Jain, L.C. (Hrsg.): Successful Case-Based Reasoning Applications - 1. Berlin - Heidelberg 2010, S. 97-116.

ASSALI/LENNE/DEBRAY (2013)

Assali, A. A.; Lenne, D.; Debray, B.: Adaptation Knowledge Acquisition in a CBR System. In: International Journal on Artificial Intelligence Tools, Vol. 22 (2013), No. 1, Beitrag 1250041, S. 1250041-1 - 1250041-13.

AUTH/JÖHNK/WIECHA (2021)

Auth, G.; Jöhnk, J.; Wiecha, D.A.: Künstliche Intelligenz im Projektmanagement – Ein Ordnungsrahmen zur Potenzialabschätzung und Lösungskonzeption. In: Barton, T.; Müller, C. (Hrsg.): Künstliche Intelligenz in der Anwendung – Rechtliche Aspekte, Anwendungspotenziale und Einsatzszenarien. Wiesbaden 2021, S. 149-173.

AVDEENKO/MAKAROVA (2018)

Avdeenko, T.V.; Makarova, E.S.: Knowledge Representation Model Based on Case-Based Reasoning and the Domain Ontology: Application to the IT Consultation. In: IFAC-Papers-OnLine, Vol. 51 (2018), No. 11, S. 1218-1223.

AVRAMENKO/KRASLAWSKI (2008)

Avramenko, Y.; Kraslawski, A.: Case based design – Applications in Process Engineering. Berlin - Heidelberg 2008.

BADRA/CORDIER/LIEBER (2009)

Badra, F.; Cordier, A.; Lieber, J.: Opportunistic Adaptation Knowledge Discovery. In: McGinty, L.; Wilson, D.C. (Hrsg.): Case-Based Reasoning Research and Development, 8th International Conference on Case-Based Reasoning (ICCBR 2009), 20.-23.07.2009 in Seattle, Proceedings. Berlin - Heidelberg - New York 2009, S. 60-74.

BAI/YANG/QIU (2008)

Bai, Y.; Yang, J.; Qiu, Y.: OntoCBR: Ontology-based CBR in Context-aware Applications. In: The 2nd International Conference on Multimedia and Ubiquitous Engineering, 24.-26.04.2008 in Busan. Los Alamitos 2008, S. 164-169.

BARÃO/DE VASCONCELOS/ROCHA (2017)

Barão, A.; de Vasconcelos, J.B.; Rocha, Á.: Knowledge Management and Engineering Approach Concepts to Capture Organizational Learning Networks. In: Rocha, Á.; Correia, A.M.; Adeli, H.; Reis, L.P.; Costanzo, S. (Hrsg.): Recent Advances in Information Systems and Technologies, Volume 1. Cham 2017, S. 71-80.

BARTON (2021)

Barton, T.: Anwendungspotenziale für kausale Inferenz im Online-Marketing. In: Barton, T.; Müller, C. (Hrsg.): Künstliche Intelligenz in der Anwendung – Rechtliche Aspekte, Anwendungspotenziale und Einsatzszenarien. Wiesbaden 2021, S. 93-98.

BEIERLE/KERN-ISBERNER (2019)

Beierle, C.; Kern-Isberner, G.: Methoden wissensbasierter Systeme – Grundlagen, Algorithmen, Anwendungen. 6. Aufl., Wiesbaden 2019.

BEIBEL (2011)

Beißel, S.: Ontologiegestütztes Case-Based Reasoning – Entwicklung und Beurteilung semantischer Ähnlichkeitsindikatoren für die Wiederverwendung natürlichsprachlich repräsentierten Projektwissens. Dissertation, Fakultät für Wirtschaftswissenschaften, Universität Duisburg-Essen 2011. Wiesbaden 2011.

BERGENRODT (2015)

Bergenrodt, D.: Konzipierung, Implementierung und kritische Evaluierung einer Projektwissensbank auf Basis von semantischen Methoden der Künstlichen Intelligenz. Masterarbeit, eingereicht an der Fakultät für Betriebswirtschaftslehre der Mercator School of Management Universität Duisburg-Essen (Campus Duisburg), angefertigt am Institut für Produktion und Industrielles Informationsmanagement, Universität Duisburg-Essen (Campus Essen). Duisburg - Essen 2015.

BERGENRODT/KOWALSKI (2015)

Bergenrodt, D.; Kowalski, M.: Konzipierung, Implementierung und kritische Evaluierung einer Projektwissensbank auf Basis von semantischen Methoden der Künstlichen Intelligenz. OrGoLo-Projektbericht Nr. 31, Institut für Produktion und Industrielles Informationsmanagement, Universität Duisburg-Essen (Campus Essen). Essen 2015.

BERGENRODT/KOWALSKI/ZELEWSKI (2015)

Bergenrodt, D.; Kowalski, M.; Zelewski, S.: Prototypische Implementierung des ontologiegestützten CBR-Tools jCORa. In: Zelewski, S.; Akca, N.; Kowalski, M. (Hrsg.): Organisatorische Innovationen mit Good Governance und Semantic Knowledge Management in Logistik-Netzwerken – Wissenschaftliche Grundlagen und Praxisanwendungen. Berlin 2015, S. 475-553.

BERGMANN/MINOR/BACH et al. (2021)

Bergmann, R.; Minor, M.; Bach, K.; Althoff, K.-D.; Muñoz-Avila, H.: Fallbasiertes Schließen. In: Görz, G.; Schmid, U.; Braun, T. (Hrsg.): Handbuch der Künstlichen Intelligenz. 6. Aufl., Berlin - Boston 2021, S. 343-393.

BICHINDARITZ (2009)

Bichindaritz, I.: Prototypical Cases for Retrieval, Reuse, and Knowledge Maintenance in Biomedical Case-based Reasoning. In: Computational Intelligence, Vol. 25 (2009), No. 3, S. 214-234.

BODENDORF (2006)

Bodendorf, F.: Daten- und Wissensmanagement. 2. Aufl., Berlin - Heidelberg - New York 2006.

BODENDORF (2020)

Bodendorf, F.; unter Mitarbeit von Carolin Kaiser: Case Based Reasoning. In: Gronau, N. (Hrsg.): Enzyklopädie der Wirtschaftsinformatik, Online-Quelle unter <https://www.enzyklopaedie-der-wirtschaftsinformatik.de/lexikon/technologien-methoden/KI-und-Softcomputing/Case-Based-Reasoning>, zuletzt bearbeitet am 29.09.2020, letzter Zugriff am 24.01.2022. o. S. (S. 1-2 gemäß eigenen Paginierung).

BÖHM/LINNYK/JÄGER et al. (2021)

Böhm, S.; Linnyk, O.; Jäger, W.; Teetz, I.: KI im Recruiting: Anwendungsfelder, Entwicklungsstand und Anwendungsbeispiele aus der Praxis. In: Barton, T.; Müller, C. (Hrsg.): Künstliche Intelligenz in der Anwendung – Rechtliche Aspekte, Anwendungspotenziale und Einsatzszenarien. Wiesbaden 2021, S. 195-218.

BOUHANA/ZIDI/FEKIH et al. (2015)

Bouhana, A.; Zidi, A.; Fekih, A.; Chabchoub, H.; Abed, M.: An ontology-based CBR approach for personalized itinerary search systems for sustainable urban freight transport. In: *Expert Systems with Applications*, Vol. 42 (2015), No. 7, S. 3724-3741.

BROOKES/MORTON/DAINTY et al. (2006)

Brookes, N.J., Morton, S.C., Dainty, A.R.J., Burns, N.D.: Social processes, patterns and practices and project knowledge management: A theoretical framework and an empirical investigation. In: *International Journal of Project Management*, Vol. 24 (2006), No. 4, S. 474-482.

BRUNO/ANTONELLI/VILLA (2015)

Bruno, G.; Antonelli, D.; Villa, A.: A reference ontology to support product lifecycle management. In: *Procedia CIRP*, Vol. 33 (2015): 9th CIRP Conference on Intelligent Computation in Manufacturing Engineering – CIRP ICME'14, S. 41-46.

BUXMANN/SCHMIDT (2021)

Buxmann, P.; Schmidt, H.: Ethische Aspekte der Künstlichen Intelligenz. In: Buxmann, P.; Schmidt, H. (Hrsg.): *Künstliche Intelligenz – Mit Algorithmen zum wirtschaftlichen Erfolg*. 2. Aufl., Berlin 2021, S. 215-229.

CHEN/CHEN/SU et al. (2009)

Chen, Y.-J.; Chen, Y.-M.; Su, Y.-S.; Wen, C.-C.: Ontology-based Distributed Case-based Reasoning in Virtual Enterprises. In: *International Journal of Software Engineering and Knowledge Engineering*, Vol. 19 (2009), No. 8, S. 1039-1082.

CHHIM/CHINNAM/SADAWI (2019)

Chhim, P.; Chinnam, R.B.; Sadawi, N.: Product design and manufacturing process based ontology for manufacturing knowledge reuse. In: *Journal of Intelligent Manufacturing*, Vol. 30 (2019), No. 2, S. 905-916.

CHOU (2009)

Chou, J.: Web-based CBR system applied to early cost budgeting for pavement maintenance project. In: *Expert Systems with Applications*, Vol. 36 (2009), No. 2, S. 2947-2960.

COJAN/LIEBER (2010)

Cojan, J.; Lieber, J.: An Algorithm for Adapting Cases Represented in an Expressive Description Logic. In: Bichindaritz, I.; Montani, S. (Hrsg.): *Case-Based Reasoning Research and Development*, 18th International Conference on Case-Based Reasoning (ICCBR 2010), 19.-22.07.2010 in Alessandria, Proceedings. Berlin - Heidelberg - New York 2010, S. 51-65.

CORDIER/FUCHS/MILLE (2006)

Cordier, A.; Fuchs, B.; Mille, A.: Engineering and learning of adaptation knowledge in Case-Based Reasoning. In: Staab, S., Svátek, V. (Hrsg.): *Managing Knowledge in a World of Networks*, 15th International Conference, EKAW 2006, 02.-06.10.2006 in Podebrady, Proceedings. Berlin - Heidelberg 2006, S. 303-317.

CRAW/WIRATUNGA/ROWE (2006)

Craw, S.; Wiratunga, N.; Rowe, R.C.: Learning adaptation knowledge to improve case-based reasoning. In: *Artificial Intelligence*, Vol. 170 (2006), Nos. 16-17, S. 1175–1192.

CRAWFORD/POLLACK (2007)

Crawford, L.; Pollack, J.: How Generic Are Project Management Knowledge and Practice? In: *Project Management Journal*, Vol. 38 (2007), No. 1, S. 87-96.

CREMERS/ENGLANDER/GABRIEL et al. (2019)

Cremers, A.B.; Englander, A.; Gabriel, M.; Hecker, D.; Mock, M.; Poretschkin, M.; Rosenzweig, J.; Rostalski, F.; Sickling, J.; Volmer, J.; Voosholz, J.; Voss, A.; Wrobel, S.: Vertrauenswürdiger Einsatz von Künstlicher Intelligenz – Handlungsfelder aus philosophischer, ethischer, rechtlicher und technologischer Sicht als Grundlage für eine Zertifizierung von Künstlicher Intelligenz. Studie von: Fraunhofer-Institut für Intelligente Analyse- und Informationssysteme IAIS in Kooperation mit der Universität Bonn und der Universität zu Köln. Sankt Augustin 2019.

DE MÁANTARAS/PLAZA (1997)

de Máantarás, R.L.; Plaza, E.: Case-Based Reasoning: an overview. In: AI Communications, Vol. 10 (1997), No. 1, S. 21-29.

DEMIGUEL/PLAZA/DÍAZ-AGUDO (2008)

DeMiguel, J.; Plaza, L.; Díaz-Agudo, B.: ColibriCook: A CBR system for ontology-based recipe retrieval and adaption. In: Schaaf, M. (Hrsg.): ECCBR 2008: The 9th European Conference on Case-Based Reasoning – Workshop Proceedings. Hildesheim 2008, S. 199-208.

DE NADAE/DE CARVALHO (2017)

de Nadae, J.; de Carvalho, M.M.: A Knowledge Management Perspective of the Project Management Office. In: Brazilian Journal of Operations & Production Management, Vol. 14 (2017), No. 3, S. 350-362.

DENGEL/BERNARDI/VAN ELST (2012)

Dengel, A.; Bernardi, A.; van Elst, L.: Wissensrepräsentation. In: Dengel, A. (Hrsg.): Semantische Technologien. Grundlagen – Konzepte – Anwendungen. Heidelberg 2012, S. 21-72.

DE TONI/PESSOT (2021)

De Toni, A.F.; Pessot, E.: Investigating organisational learning to master project complexity: An embedded case study. In: Journal of Business Research, Vol. 129 (2021), S. 541-554.

DÍAZ-AGUDO/GONZÁLEZ-CALERO (2010)

Díaz-Agudo, B.; González-Calero, P.A.: An Architecture for Knowledge Intensive CBR Systems. In: Blanzieri, E.; Portinale, L. (Hrsg.): Advances in Case-Based Reasoning, 5th European Workshop, EWCBR 2000, 06.-09.09.2000 in Trento, Proceedings. Berlin - Heidelberg - New York 2000, S. 37-48.

DÍAZ-AGUDO/GONZÁLEZ-CALERO/RECIO-GARCÍA et al. (2007)

Díaz-Agudo, B.; González-Calero, P.; Recio-García, J.A.; Sánchez-Ruiz-Granados, A.: Building CBR systems with jCOLIBRI. In: Science of Computer Programming, Vol. 69 (2007), S. 68-75.

DIETRICH/BÜCHEL/DEMARY et al. (2021)

Dietrich, A.; Büchel, J.; Demary, V.; Goecke, H.; Kohlisch, E.; Koppel, O.; Mertens, A.; Rusche, C.; Scheufen, M.; Wendt, J.: KI-Monitor 2021 – Status quo der Künstlichen Intelligenz in Deutschland. Gutachten im Auftrag von: Bundesverband Digitale Wirtschaft (BVDW) e. V. und Institut der deutschen Wirtschaft (IW). Berlin 2021.

DOGAN/ARDITI/ASCE et al. (2006)

Dogan, S.; Arditi, D.; Asce, M.; Günaydin, M.: Determining attribute weights in a CBR model for early cost prediction of structural systems. In: Journal of Construction Engineering and Management, Vol. 132 (2006), No. 10, S. 1092-1098.

DONG/HUSSAIN/CHANG (2011)

Dong, H.; Hussain, F.K.; Chang, E.: ORPMS: An Ontology-based Real-time Project Monitoring System in the Cloud. In: Journal of Universal Computer Science, Vol. 17 (2011), No. 8, S. 1161-1182.

DORNHOF (1992)

Dornhoff, P.: Aufwandsplanung zur Unterstützung des Managements von Softwareentwicklungsprojekten. Arbeitsberichte des Instituts für Wirtschaftsinformatik Nr. 12, Institut für Wirtschaftsinformatik der Westfälischen Wilhelms-Universität Münster. Münster 1992.

DRÖBER (2011)

Dröber, S.: Wissensmanagement in Projekten – Wie Project Reviews die Dokumentation und Nutzung von Projekterfahrungen sicherstellen können. Saarbrücken 2011.

DUFOUR-LUSSIER/LIEBER/NAUER et al. (2011)

Dufour-Lussier, V.; Lieber, J.; Nauer, E.; Toussaint, Y.: Improving Case Retrieval by Enrichment of the Domain Ontology. In: Ram, A.; Wiratunga, N. (Hrsg.): Case-Based Reasoning Research and Development, 19th International Conference, ICCBR 2011, 12.-15.09.2011 in London, Proceedings. Berlin - Heidelberg 2011, S. 62-76.

ELFAKI/ALATAWI/ABUSHANDI (2014)

Elfaki, A.O.; Alatawi, S.; Abushandi, E.: Using Intelligent Techniques in Construction Project Cost Estimation: 10-Year Survey. In: Advances in Civil Engineering, Vol. 2014, Article ID 107926, S. 1-11.

ELLEUCH/JÉRIBI/TMAR et al. (2008)

Elleuch, W.Y.; Jéribi, L.; Tmar, M.; Hamadou, A.B.: Case based reasoning using semantic annotations to assist the information retrieval on the Web. In: Schaaf, M. (Hrsg.): ECCBR 2008: The 9th European Conference on Case-Based Reasoning – Workshop Proceedings. Hildesheim 2008, S. 23-32.

ENGELBACH (2003)

Engelbach, W.: Vorgebaute Informationsräume für Informationsrecherchestrategien in wissensintensiven Geschäftsprozessen. In: Reimer, U.; Abecker, A.; Staab, S.; Stumme G. (Hrsg.): WM2003: Professionelles Wissensmanagement – Erfahrungen und Visionen. Beiträge der 2. Konferenz Professionelles Wissensmanagement – Erfahrungen und Visionen, 02.-04.04.2003 in Luzern, Proceedings. Bonn 2003, S. 357-362.

FALBO/BERTOLLO (2009)

Falbo, R.d.A.; Bertollo, G.: A software process ontology as a common vocabulary about software processes. In: International Journal of Business Process Integration and Management, Vol. 4 (2009), No. 4, S. 239-250.

FARNSCHLÄDER/BIMAZUBUTE/PFEIFFER et al. (2003)

Farnschläder, F.; Bimazubute, R.; Pfeiffer, U.; Stoyan, H.: Bewertung von Wissensmanagementprojekten nach dem Vorbild der Bewertung von EDV, Marketing und Personalwesen. In: Reimer, U.; Abecker, A.; Staab, S.; Stumme G. (Hrsg.): WM2003: Professionelles Wissensmanagement – Erfahrungen und Visionen. Beiträge der 2. Konferenz Professionelles Wissensmanagement – Erfahrungen und Visionen, 02.-04.04.2003 in Luzern, Proceedings. Bonn 2003, S. 443-452.

FENSEL (2004)

Fensel, D.: Ontologies: A Silver Bullet for Knowledge Management and Electronic Commerce. 2. Aufl., Berlin - Heidelberg 2004.

FINK/HAUKE/YE et al. (2021)

Fink, S.; Hauke, M.; Ye, B.; Schagen, J.P.; Zelewski, S.: Erstellung und kritische Analyse von Use Cases für Anwendungen von KI-Tools im betrieblichen Projektmanagement – mit Fokussierung auf der „intelligenten“ Wiederverwendung von projektbezogenem Erfahrungswissen. Arbeitsbericht Nr. 53, Institut für Produktion und Industrielles Informationsmanagement, Universität Duisburg-Essen (Campus Essen), zugleich KI-LiveS-Projektbericht Nr. 7. Essen 2021.

FINK/RÖHRIG/HEEB et al. (2021)

Fink, S.; Röhrig, K.; Heeb, T.; Schagen, J.P.; Zelewski, S.: Konzipierung und Implementierung eines ontologiegestützten Case-based-Reasoning-Systems für die Wiederverwendung von projektbezogenem Erfahrungswissen. Arbeitsbericht Nr. 49, Institut für Produktion und Industrielles Informationsmanagement, Universität Duisburg-Essen (Campus Essen), zugleich KI-LiveS-Projektbericht Nr. 3. Essen 2021.

FITSILIS/GEROGIANNIS/ANTHOPOULOS (2014)

Fitsilis, P.; Gerogiannis, V.; Anthopoulos, L.: Ontologies for Software Project Management: A Review. In: Journal of Software Engineering and Applications, Vol. 7 (2014), No. 13, S. 1096-1110.

FONG/KWOK (2009)

Fong, P.S.W.; Kwok, C.W.C.: Organizational Culture and Knowledge Management Success at Project and Organizational Levels in Contracting Firms. In: Journal of Construction Engineering and Management, Vol. 135 (2009), No. 12, S. 1348-1356.

FONSECA/MARTIN (2007)

Fonseca, F.; Martin, J.: Learning the Differences Between Ontologies and Conceptual Schemas Through Ontology-Driven Information Systems. In: Journal of the Association for Information Systems, Vol. 8 (2007), No. 2, S. 129-142.

FOSSATI/DORIGATTI/GIULIANO (2018)

Fossati, M.; Dorigatti, E.; Giuliano, C.: N-ary Relation Extraction for Simultaneous T-Box and A-Box Knowledge Base Augmentation. In: Semantic Web, Vol. 9 (2018), No. 4, S. 413-439.

FOSTER (1988)

Foster, A.D.: Artificial Intelligence in Project Management. In: Cost Engineering, Vol. 30 (1988), No. 6, S. 21-24.

FRANK/SCHÖNERT (2001)

Frank, W.; Schönert, S.: Wissensmanagement in Projekten – Status quo und informationstechnologische Unterstützungspotenziale. In: Projektmanagement aktuell, 12. Jg. (2001), Heft 4, S. 25-33.

FREITAS (2019)

Freitas, A.A.: Automated Machine Learning for Studying the Trade-Off Between Predictive Accuracy and Interpretability. In: Holzinger, A.; Kieseberg, P.; Tjoa, A.M.; Weippl, E. (Hrsg.): Machine Learning and Knowledge Extraction, Third IFIP TC 5, TC 12, WG 8.4, WG 8.9, WG 12.9 International Cross-Domain Conference, 26.-29.08.2019 in Canterbury, Proceedings. Cham 2019, S. 48–66.

FREUDENTHALER (2008)

Freudenthaler, B.: Case-based Reasoning (CBR) – Grundlagen und ausgewählte Anwendungsgebiete des fallbasierten Schließens. Saarbrücken 2008 (nochmals veröffentlicht: Saarbrücken 2012 im Akademiker Verlag).

FREY/LINDNER/MÜLLER et al. (2009)

Frey, P.; Lindner, F.; Müller, A.; Wald, A.: Project Knowledge Management Organizational Design and Success Factors – An Empirical Study in Germany. In: Sprague, R.H. (Hrsg.): Proceedings of the 42nd Hawaii International Conference on System Sciences 2009, 05.-08.01.2009 in Waikoloa, Big Island, Hawaii. Los Alamitos - Washington - Tokyo 2009, S. 1-14 (beitragsindividuelle Paginierung).

FRIEDRICH/IGLEZAKIS/KLEIN et al. (2002)

Friedrich, R.; Iglezakis, I.; Klein, W.; Pregizer, S.: Experience-based decision support for project management with Case-Based Reasoning. In: Minor, M.; Staab, S. (Hrsg.): 1st German Workshop on Experience Management – Sharing Experiences about the Sharing of Experiences. 07.-08.03.2002 in Berlin. Bonn 2002, S. 139-150.

GARCÍA DE SOTO/ADEY (2016)

García de Soto, B.; Adey, B.T.: Preliminary Resource-based Estimates Combining Artificial Intelligence Approaches and Traditional Techniques. In: Hajdu, M.; Skibniewski, M.J. (Hrsg.): Creative Construction Conference 2016, 25.-28.06.2016 in Budapest, Proceedings. Budapest 2016, S. 237-243.

GASIK (2011)

Gasik, S.: A Model of Project Knowledge Management. In: Project Management Journal, Vol. 42 (2011), No. 3, S. 23-44.

GENTNER/VON MEVIUS (2003)

Gentner, C.; von Mevius, M.: Entwicklung eines unternehmensbezogenen Unternehmensportals zum dynamischen Wissensmanagement. In: Reimer, U.; Abecker, A.; Staab, S.; Stumme G. (Hrsg.): WM2003: Professionelles Wissensmanagement – Erfahrungen und Visionen. Beiträge der 2. Konferenz Professionelles Wissensmanagement – Erfahrungen und Visionen, 02.-04.04.2003 in Luzern, Proceedings. Bonn 2003, S. 363-368.

GETULI (2020)

Getuli, V.: Ontologies for Knowledge modeling in construction planning – Theory and Application. Firenze 2020.

GÖRÖG (2011)

Görög, M.: Translating Single Project Management Knowledge to Project Programs. In: Project Management Journal, Vol. 42 (2011), No. 2, S. 17-31.

GOFFIN/KONERS (2011)

Goffin, K.; Koners, U.: Tacit Knowledge, Lessons Learnt and New Product Development. In: Journal of Product Innovation Management, Vol. 28 (2011), No. 2, S. 300-318.

GRIMES (2008)

Grimes, S.: Unstructured Data and the 80 Percent Rule – Breakthrough Analysis – Seth Grimes on NLP, text analytics, sentiment analysis, BI, visualization and more. Online-Quelle vom 01.08.2008 unter der URL “<https://breakthroughanalysis.com/2008/08/01/unstructured-data-and-the-80-percent-rule/>”, letzter Zugriff am 10.01.2022.

GRIMM/ABECKER/VÖLKER et al. (2011)

Grimm, S.; Abecker, A.; Völker, J.; Studer, R.: Ontologies and the Semantic Web. In: Domingue, J.; Fensel, D.; Hendler, J.A. (Hrsg.): Handbook of Semantic Web Technologies. Berlin - Heidelberg 2011, S. 507-580.

GRUBER (1995)

Gruber, T.R.: Toward principles for the design of ontologies used for knowledge sharing. In: International Journal of Human-Computer Studies, Vol. 43 (1995), Nos. 5-6, S. 907-928.

GU/AAMODT (2005)

Gu, M.; Aamodt, A.: A Knowledge-Intensive Method for Conversational CBR. In: Muñoz-Avila, H.; Ricci, F. (Hrsg.): Case-Based Reasoning Research and Development, 6th International Conference on Case-Based Reasoning, ICCBR 2005, 23.-26.08.2005 in Chicago, Proceedings. Berlin - Heidelberg - New York 2005, S. 296-311.

GUARINO (1997)

Guarino, N.: Understanding, building and using ontologies. In: International Journal of Human-Computer Studies, Vol. 46 (1997), No. 2/3, S. 293-310.

GUARINO/OBERLE/STAAB (2009)

Guarino, N.; Oberle, D.; Staab, S.: What is an Ontology? In: Staab, S.; Studer, R. (Hrsg.): Handbook on Ontologies. 2. Aufl., Berlin - Heidelberg 2009, S. 1-17.

GUO/HU/PENG (2012)

Guo, Y.; Hu, J.; Peng, Y.: A CBR system for injection mould design based on ontology: A case study. In: Computer-Aided Design, Vol. 44 (2012), No. 6, S. 496-508.

HANNEY/KEANE (1997)

Hanney, K.; Keane, M.T.: The Adaptation Knowledge Bottleneck: How to Ease it by Learning from Cases. In: Leake, D.B., Plaza, E. (Hrsg.): Case-Based Reasoning Research and Development, Second International Conference on Case-Based Reasoning (ICCBR-97), 25.-27.07. 1997 in Providence, Proceedings. Berlin - Heidelberg - New York 1997, S. 359-370.

HAYES/WELTY (2006)

Hayes, P.; Welty, C.: Defining N-ary Relations on the Semantic Web. W3C Working Group Note 12 April 2006. Online-Quelle, im Internet unter <http://www.w3.org/TR/2006/NOTE-swbp-n-aryRelations-20060412/>, veröffentlicht am 12.04.2006, letzter Zugriff am 25.01.2022.

HOLM (2019)

Holm, E.A.: In defense of the black box. In: Science, Vol. 364 (2019), No. 6435, S. 26-27.

HONG/LEE/LEE et al. (2020)

Hong, C.W.; Lee, C.; Lee, K.; Ko, M.-S.; Kim, D.E.; Hur, K.: Remaining Useful Life Prognosis for Turbofan Engine Using Explainable Deep Neural Networks with Dimensionality Reduction. In: Sensors, Vol. 20 (2020), No. 22, Beitrag 6626, S. 1-19.

HORRIDGE (2011)

Horridge, M.: A Practical Guide To Building OWL Ontologies Using Protégé 4 and CO-ODE Tools, Edition 1.3. Report, The University Of Manchester. Manchester 2011.

HUGHES (2010)

Hughes, R.: Project Management Process Ontologies: A Proof of Concept. In: UK Academy for Information Systems Conference, Spring 23.03.2010, Proceedings. o. O. 2010, Beitrag 30, S. 1-19 (beitragsindividuelle Paginierung).

IDRI/ABRAN/KHOSHGOFTAAR (2004)

Idri, A.; Abran, A.; Khoshgoftaar, T.M.: Fuzzy Case-Based Reasoning Models for Software Cost Estimation. In: Damiani, E.; Madravio, M.; Jain, L.C. (Hrsg.): Soft Computing in Software Engineering. Berlin - Heidelberg 2004, S. 64-96.

IMRAN/YOUNG (2016)

Imran, M.; Young, R.I.M.: Reference ontologies for interoperability across multiple assembly systems. In: International Journal of Production Research, Vol. 54 (2016), No. 18, S. 5381-5403.

INGASON/JÓNASSON (2009)

Ingason, H.T.; Jónasson, H.I.: Contemporary Knowledge and Skill Requirements in Project Management. In: Project Management Journal, Vol. 40 (2009), No. 2, S. 59-69.

JALLOW/RENUKAPPA/SURESH (2020)

Jallow, H.; Renukappa, S.; Suresh, S.: Knowledge Management and Artificial Intelligence (AI). In: Garcia-Perez, A.; Simkin, L. (Hrsg.): 21st European Conference on Knowledge Management (ECKM 2020), 02.-04.12.2020 in Coventry, Proceedings. Reading 2020, S. 363-369.

Ji/PARK/LEE (2011)

Ji, S.-H.; Park, M.; Lee, H.-S.: Case Adaption Method of Case-Based Reasoning for Construction Cost Estimation in Korea. In: *Journal of Construction Engineering and Management*, Vol. 38 (2011), No. 5, S. 570-581.

Ji/PARK/LEE (2012)

Ji, S.-H.; Park, M.; Lee, H.-S.: Cost estimation model for building projects using case-based reasoning. In: *Canadian Journal of Civil Engineering*, Vol. 138 (2012), No. 1, S. 43-52.

Ji/PARK/LEE et al. (2011)

Ji, S.-H.; Park, M.; Lee, H.-S.; Ahn, J.; Kim, N.; Son, B.: Military Facility Cost Estimation System Using Case-Based Reasoning in Korea. In: *Journal of Computing in Civil Engineering*, Vol. 25 (2011), No. 3, S. 218-231.

KAMARA/AUGENBROE/ANUMBA et al. (2002)

Kamara, J.M.; Augenbroe, G.; Anumba, C.J.; Carrillo, P.M.: Knowledge management in the architecture, engineering and construction industry. In: *Construction Innovation: Information, Process, Management*, Vol. 2 (2002), No. 1, S. 53-67.

KHAN/CHAUDHRY (2015)

Khan, A.A.; Chaudhry, I.A.: Object-Oriented Case Representation for CBR Application in Structural Analysis. In: *Applied Artificial Intelligence*, Vol. 29 (2015), No. 4, S. 335-352.

KIM/KIM (2010)

Kim, K.J.; Kim, K.: Preliminary Cost Estimation Model Using Case-Based Reasoning and Genetic Algorithms. In: *Journal of Computing in Civil Engineering*, Vol. 24 (2010), No. 6, S. 499-505.

KIM/LEE/WOO et al. (2012)

Kim, M.; Lee, S.; Woo, S.; Shin, D.H.: Approximate Cost Estimating Model for River Facility Construction Based on Case-Based Reasoning with Genetic Algorithms. In: *KSCCE [Korean Society of Civil Engineers] Journal of Civil Engineering*, Vol. 16 (2012), No. 3, S. 283-292.

KIM/SHIM (2014)

Kim, S.; Shim, J.H.: Combining case-based reasoning with genetic algorithm optimization for preliminary cost estimation in construction industry. In: *Canadian Journal of Civil Engineering*, Vol. 41 (2014), No. 1, S. 65-73.

KOCAGUNELI/MENZIES/BENER et al. (2012)

Kocaguneli, E.; Menzies, T.; Bener, A.B.; Keung, J.W.: Exploiting the Essential Assumptions of Analogy-Based Effort Estimation. In: *IEEE Transactions on Software Engineering*, Vol. 38 (2012), No. 2, S. 425-438.

KOLODNER (1992)

Kolodner, J.L.: An Introduction to Case-Based Reasoning. In: *Artificial Intelligence Review*, Vol 6 (1992), No. 1, S. 3-34.

KOLODNER (1993)

Kolodner, J.: *Case-Based reasoning*. San Mateo 1993.

KOLODNER (1996)

Kolodner, J.: Making the Implicit Explicit: Clarifying the Principles of Case-Based Reasoning. In: Leake, D. (Hrsg.): *Case-Based Reasoning – Experiences, Lessons & Future Directions*. Menlo Park - Cambridge - London 1996, S. 349-370.

KOLODNER/LEAKE (1996)

Kolodner, J.; Leake, D.: A Tutorial Introduction to Case-Based Reasoning. In: Leake, D. (Hrsg.): *Case-Based Reasoning – Experiences, Lessons & Future Directions*. Menlo Park - Cambridge - London 1996, S. 31-65.

KOPPE/SCHATZ/HORNUNG (2021)

Koppe, T.; Schatz, J.; Hornung, T.: Herausforderungen und Potenziale von KI-gestützter visueller Inspektion in der Elektronikindustrie. In: Buxmann, P.; Schmidt, H. (Hrsg.): Künstliche Intelligenz – Mit Algorithmen zum wirtschaftlichen Erfolg. 2. Aufl., Berlin 2021, S. 65-80.

KOSKINEN (2004)

Koskinen, K.U.: Knowledge Management to Improve Project Communication and Implementation. In: Project Management Journal, Vol. 35 (2004), No. 1, S. 13-19.

KOWALSKI/BAHSER (2013)

Kowalski, M.; Bahser, J.: Auswirkungen von zollrechtlichen Bestimmungen auf internationale Supply-Chain-Projekte – insbesondere Entwicklung einer Zoll-Ontologie. OrGoLo-Projektbericht Nr. 18, Institut für Produktion und Industrielles Informationsmanagement, Universität Duisburg-Essen (Campus Essen). Essen 2013.

KOWALSKI/BERGENRODT/ZELEWSKI (2015)

Kowalski, M.; Bergenrodt, D.; Zelewski, S.: Prototypische Implementierung des ontologiegestützten CBR-Tools mit jColibri. In: Zelewski, S.; Akca, N.; Kowalski, M. (Hrsg.): Organisatorische Innovationen mit Good Governance und Semantic Knowledge Management in Logistik-Netzwerken – Wissenschaftliche Grundlagen und Praxisanwendungen. Berlin 2015, S. 415-474.

KOWALSKI/KATER (2011)

Kowalski, M.; Kater, D.: Case-based Reasoning in Supply Chains – Qualitative Case Retrieval. OrGoLo-Projektbericht Nr. 9, Institut für Produktion und Industrielles Informationsmanagement, Universität Duisburg-Essen (Campus Essen). Essen 2011.

KOWALSKI/KLÜPFEL/ZELEWSKI et al. (2012)

Kowalski, M.; Klüpfel, H.; Zelewski, S.; Bergenrodt, D.; Becker, A.: Implementation of an Ontology-driven CBR-System for the Intelligent Reuse Project-Related Knowledge. In: Perner, P. (Hrsg.): Advances in Data Mining, 12th Industrial Conference on Data Mining ICDM 2012, 16.-20.07.2012 in Berlin, Poster and Industry Proceedings. Fockendorf 2012, S. 80-88.

KOWALSKI/KLÜPFEL/ZELEWSKI et al. (2013a)

Kowalski, M.; Klüpfel, H.; Zelewski, S.; Bergenrodt, D.: Knowledge Management of International Logistics Projects – A Computer-supported Approach Using Ontologies and Case-based Reasoning. In: Blecker, T.; Kersten, W.; Ringle, C.M. (Hrsg.): Pioneering Solutions in Supply Chain Performance Management – Concepts, Theories and Applications. Lohmar - Köln 2013, S. 253-271 (und Nachdruck 2014, S. 289-307).

KOWALSKI/KLÜPFEL/ZELEWSKI et al. (2013b)

Kowalski, M.; Klüpfel, H.; Zelewski, S.; Bergenrodt, D.; Saur, A.: Integration of Case-Based and Ontology-Based Reasoning for the Intelligent Reuse of Project-Related Knowledge. In: Clausen, U.; ten Hompel, M.; Klumpp, M. (Hrsg.): Efficiency and Logistics. Berlin - Heidelberg 2013, S. 289-299.

KOWALSKI/QUINK (2013)

Kowalski, M.; Quink, N.: Erstellung einer Ontologie zum Themenkomplex Verpackungen in der Logistik mithilfe des Ontologie-Editors Protégé. OrGoLo-Projektbericht Nr. 16, Institut für Produktion und Industrielles Informationsmanagement, Universität Duisburg-Essen (Campus Essen). Essen 2013.

KOWALSKI/ZELEWSKI (2015a)

Kowalski, M.; Zelewski, S.: Prototypische Implementierung des ontologiegestützten CBR-Tools mit myCBR. In: Zelewski, S.; Akca, N.; Kowalski, M. (Hrsg.): Organisatorische Innovationen mit Good Governance und Semantic Knowledge Management in Logistik-Netzwerken – Wissenschaftliche Grundlagen und Praxisanwendungen. Berlin 2015, S. 363-414.

KOWALSKI/ZELEWSKI (2015b)

Kowalski, M.; Zelewski, S.: Erstellung einer Verpackungsontologie mithilfe des Ontologie-Editors Protégé. In: Zelewski, S.; Akca, N.; Kowalski, M. (Hrsg.): Organisatorische Innovationen mit Good Governance und Semantic Knowledge Management in Logistik-Netzwerken – Wissenschaftliche Grundlagen und Praxisanwendungen. Berlin 2015, S. 593-614.

KOWALSKI/ZELEWSKI (2015c)

Kowalski, M.; Zelewski, S.: Erstellung einer Zoll-Ontologie für internationale Logistik-Projekte. In: Zelewski, S.; Akca, N.; Kowalski, M. (Hrsg.): Organisatorische Innovationen mit Good Governance und Semantic Knowledge Management in Logistik-Netzwerken – Wissenschaftliche Grundlagen und Praxisanwendungen. Berlin 2015, S. 615-658.

KOWALSKI/ZELEWSKI/GÜNES et al. (2011)

Kowalski, M.; Zelewski, S.; Günes, N.; Kühn, T.: Kostenschätzungen für die Reaktivierung passiver Gleisanschlüsse – Eine neue Methode für Kostenschätzungen mithilfe von Case-based Reasoning (CBR) basiert auf der Wiederverwendung von historischem Projektwissen. In: EI – Der Eisenbahningenieur, 62. Jg. (2011), Heft 6, S. 49-54.

KREUTZER/SIRRENBURG (2019)

Kreutzer, R.T.; Sirrenberg, M.: Künstliche Intelligenz verstehen: Grundlagen – Use-Cases – unternehmenseigene KI-Journey. Wiesbaden 2019.

KÜHN (2010)

Kühn, T.: Beurteilung des Einsatzpotenzials von Case-based Reasoning für Kostenschätzungen bei Großprojekten – Praxisbeispiel: Reaktivierung eines passiven Gleisanschlusses. Diplomarbeit am Fachbereich Wirtschaftswissenschaften der Universität Duisburg-Essen. Essen 2010.

KURBEL/DORNHOF (1993)

Kurbel, K.; Dornhoff, P.: Aufwandschätzung für Software Entwicklungsprojekte mit Hilfe fallbasierter Wissensverarbeitung. In: Zeitschrift für Betriebswirtschaft, 63. Jg. (1993), Heft 10, S. 1047-1065.

LACASTA/NOGUERAS-ISO/ZARAZGA-SORIA (2010)

Lacasta, J.; Nogueras-Iso, J.; Zarazga-Soria, F.J.: Terminological Ontologies – Design, Management and Practical Applications. New York et al. 2010.

LEAKE (1996)

Leake, D.: CBR in Context: The Present and Future. In: Leake, D. (Hrsg.): Case-Based Reasoning – Experiences, Lessons & Future Directions. Menlo Park - Cambridge - London 1996, S. 3-30.

LEAKE/YE/CRANDALL (2021)

Leake, D.; Ye, X.; Crandall, D.: Supporting Case-Based Reasoning with Neural Networks: An Illustration for Case Adaptation. In: Martin, A.; Hinkelmann, K.; Fill, H.-G.; Gerber, A.; Lenat, D.; Stolle, R.; van Harmelen, F. (Hrsg.): Proceedings of the AAAI 2021 Spring Symposium on Combining Machine Learning and Knowledge Engineering (AAAI-MAKE 2021), 22.-24.03.2021 in Palo Alto. o. O. 2021, o. S. (S. 1-11 gemäß beitragsindividueller Paginierung).

LEHNER (2012)

Lehner, F.: Wissensmanagement – Grundlagen, Methoden und technische Unterstützung. 4. Aufl., München 2012.

LENFLE/LE MASSON/WEIL (2016)

Lenfle, S.; Le Masson, P.; Weil, B.: When Project Management Meets Design Theory: Revisiting the Manhattan and Polaris Projects to Characterize ‘Radical Innovation’ and its Managerial Implications. In: *creativity and innovation management*, Vol. 25 (2016), No. 3, S. 378-395.

LEONARD/INSCH (2005)

Leonard, N.; Insch, G.S.: Tacit Knowledge in Academia: A Proposed Model and Measurement Scale. In: *The Journal of Psychology*. Vol. 139 (2005), No. 6, S. 495-512.

LEVITT/KARTAM/KUNZ (1988)

Levitt, R.E.; Kartam, N.A.; Kunz, J.C.: Artificial Intelligence Techniques for Generating Construction Project Plans. In: *Journal of Construction Engineering and Management*, Vol. 114 (1988), No. 3, S. 329-343.

LI/XIE/GOH (2009)

Li, Y.; Xie, M.; Goh, T.: A study of project selection and feature weighting for analogy based software cost estimation. In: *Journal of Systems and Software*. Vol. 82 (2009), No. 2, S. 241-252.

LIEBER/BRESSON (2000)

Lieber, J.; Bresson, B.: Case-Based Reasoning for Breast Cancer Treatment Decision Helping. In: Blanzieri, E.; Portinale, L. (Hrsg.): *Advances in Case-Based Reasoning, 5th European Workshop, EWCBR 2000, 06.-09.09.2000 in Trento, Proceedings*. Berlin - Heidelberg - New York 2000, S. 173-185.

LIM/LIU/LEE (2011)

Lim, E.H.Y.; Liu, J.N.K.; Lee, R.S.T.: *Knowledge Seeker – Ontology Modelling for Information Search and Management – A Compendium*. Berlin - Heidelberg 2011.

LINDNER (2010)

Lindner, F.: *Projektwissensmanagement – Status quo, Gestaltungsfaktoren und Erfolgsdeterminanten des Wissensmanagements in der Projektabwicklung*. Dissertation, European Business School Oestrich-Winkel 2009. Berlin 2010.

LIN/HILAIRE/GAUD et al. (2012)

Lin, Y.; Hilaire, V.; Gaud, N.; Koukam, A.: Scrum Conceptualization Using K-CRIO Ontology. In: Aberer, K.; Damiani, E.; Dillon, T. (Hrsg.): *Data-Driven Process Discovery and Analysis, First International Symposium (SIMPDA 2011), 29.06.-01.07.2011 in Campione D’Italia, Revised Selected Papers*. Heidelberg - Dordrecht - London et al. 2012, S. 189-211.

LIN/ZHANG/ÖOU et al. (2011)

Lin, L.F.; Zhang, W.Y.; Öou, Y.C.; Chu, C.Y.; Cai, M.: Developing manufacturing ontologies for knowledge reuse in distributed manufacturing environment. In: *International Journal of Production Research*. Vol. 49 (2011), No. 2, S. 343-359.

LÓPEZ (2013)

López, B.: *Case-Based Reasoning: A Concise Introduction*. Synthesis lectures on artificial intelligence and machine learning, Vol. 20. San Rafael 2013.

LOSKYLL/SCHLICK/HODEK et al. (2012)

Loskyll, M.; Schlick, J.; Hodek, S.; Ollinger, L.; Maxeiner, C.: Semantische Webservices zur Steuerung von Produktionsprozessen. In: Dengel, A. (Hrsg.): *Semantische Technologien. Grundlagen – Konzepte – Anwendungen*. Heidelberg 2012, S. 285-314.

LUNDBERG/ERION/CHEN et al. (2020)

Lundberg, S.M.; Erion, G.; Chen, H.; DeGrave, A.; Prutkin, J.M.; Nair, B.; Katz, R.; Himmelfarb, J.; Bansal, N.; Lee, S.-I.: From local explanations to global understanding with explainable AI for trees. In: *Nature Machine Intelligence*, Vol. 2 (2020), No. 1, S. 56-67.

MACKARE/JANSONE (2021)

Mackare, K.; Jansone, A.: Knowledge Management in Artificial Intelligence Based Automated E-Material Formatting Tool. In: Lubkina, V.; Strods, G.; Danilane, L.; Kļavinska, A.; Vinda, O. (Hrsg.): *Society. Integration. Education, Proceedings of the International Scientific Conference*, 28.-29.05.2021 in Rezekne, Vol. V. Rezekne 2021, S. 379-390.

MAEDCHE/STAAB (2002)

Maedche, A.; Staab, S.: Measuring Similarity between Ontologies. In: Gomez-Pérez, A.; Benjamins, V.R. (Hrsg.): *Knowledge Engineering and Knowledge Management. Lecture Notes in Computer Science*, Vol. 2473. Berlin - Heidelberg 2002, S. 251-263.

MAEDCHE/STAAB/STUDER (2001)

Maedche, A.; Staab, S.; Studer, R.: Ontologien. In: *Wirtschaftsinformatik*, 43. Jg. (2001), Heft 4, S. 393-395.

MAIN/DILLON/SHIU (2001)

Main, J.; Dillon, T.; Shiu, S.: A Tutorial on Case Based Reasoning. In: Pal, S.K.; Dillon, T.S.; Yeung, D.S. (Hrsg.): *Soft Computing in Case Based Reasoning*. London 2001, S. 1-28.

MAJCHRZAK/COOPER/NEECE (2004)

Majchrzak, A.; Cooper, L.P.; Neece, O.E.: Knowledge Reuse for Innovation. In: *Management Science*, Vol. 50 (2004), No. 2, S. 174-188.

MANSOURI/HAMDI-CHERIF (2011)

Mansouri, D.; Hamdi-Cherif, A.: Ontology-oriented case-based reasoning (CBR) approach for trainings adaptive delivery. In: Mastorakis, N.; Mladenov, V.; Bojkovic, Z. et al. (Hrsg.): *Recent Researches in Computer Science, Proceedings of the 15th WSEAS International Conference on Computers (Part of the 15th WSEAS CSCC Multiconference)*, 15.-17.07. 2011 in Corfu. o. O (Athen) 2011, S. 328-333.

MANZANO/ONTANON/PLAZA (2012)

Manzano, S.; Ontanon, S.; Plaza, E.: A Case-Based Approach to Mutual Adaptation of Taxonomic Ontologies. In: Diaz-Agudo, B.; Watson, I. (Hrsg.): *Case-Based Reasoning Research and Development, 20th International Conference, ICCBR 2012*. Berlin 2012, S. 226-240.

MARKUS (2001)

Markus, M.L.: Toward a theory of Knowledge Reuse: Types of Knowledge Reuse Situations and Factors in Reuse Success. In: *Journal of Management Information Systems*, Vol. 18 (2001), No. 1, S. 57-93.

MARTIN/EMMENEGGER/HINKELMANN et al. (2017)

Martin, A.; Emmenegger, S.; Hinkelmann, K.; Thönssen, B.: A viewpoint-based case-based reasoning approach utilising an enterprise architecture ontology for experience management. In: *Enterprise Information Systems*, Vol. 11 (2017), No. 4, S. 551-575.

MEDINA/MEDINA (2017)

Medina, R.; Medina, A.: Managing competence and learning in knowledge-intensive, project-intensive organizations – A case study of a public organization. In: *International Journal of Managing Projects in Business*, Vol. 10 (2017), No. 3, S. 505-526.

MESÁROŠ/MANDIČÁK/BEHÚN et al. (2018)

Mesároš, P.; Mandičák, T.; Behún, M.; Smetanková, J.: Applications of knowledge technology in construction industry. In: Jakab, F. (Hrsg.): ICETA 2018 – 16th IEEE International Conference on Emerging eLearning Technologies and Applications – Proceedings, 15.-16.11. 2018 in Starý Smokovec, The High Tatras, Slovak Republic, o. O. S. 367-372.

MESKI/BELKADI/LAROCHE et al. (2021)

Meski, O.; Belkadi, F.; Laroche, F.; Ritou, M.; Furet, B.: A generic knowledge management approach towards the development of a decision support system. In: International Journal of Production Research, Vol. 59 (2021), No. 22, S. 6659-6676.

MILLER/HOWE/SONENBERG (2017)

Miller, T.; Howe, P.; Sonenberg, L.: Explainable AI Beware of Inmates Running the Asylum. Or: How I Learnt to Stop Worrying and Love the Social and Behavioural Sciences. In: IJCAI 2017 Workshop on Explainable Artificial Intelligence (XAI), 20.08.2017 in Melbourne, Proceedings. o. O., o. S. (eigene Paginierung: S. 1-7), verfügbar unter arXiv:1712.00547v2 [cs.AI]).

MINOR (2006)

Minor, M.: Erfahrungsmanagement mit fallbasierten Assistenzsystemen – Prozesse, Konzepte und Anwendungsbeispiele in einem ganzheitlichen Rahmenwerk. Dissertation, Mathematisch-Naturwissenschaftliche Fakultät II, Humboldt-Universität zu Berlin 2006. o. O. (Berlin) 2006.

MITRA/BASAK (2005)

Mitra, R.; Basak, J.: Methods of Case Adaptation: A Survey. In: International Journal of Intelligent Systems, Vol. 20 (2005), No. 6, S. 627-645.

MÜLLER/GLÜCKLER/AUBRY et al. (2013)

Müller, R.; Glückler, J.; Aubry, M.; Shao, J.: Project Management Knowledge Flows in Networks of Project Managers and Project Management Offices: A Case Study in the Pharmaceutical Industry. In: Project Management Journal, Vol. 44 (2013), No. 2, S. 4-19.

MUNIR (2019)

Munir, M.: How Artificial Intelligence can help Project Managers? In: Global Journal of Management and Business Research, Vol. 19 (2019), No. 4, S. 29-35.

NAPOLI/LIEBER/CURIEN (1996)

Napoli, A.; Lieber, J.; Curien, R.: Classification-Based Problem-Solving in Case-Based Reasoning. In: Smith, I.; Faltings, B. (Hrsg.): EWCBR'96: Proceedings of the Third European Workshop on Advances in Case-Based Reasoning. Berlin - Heidelberg 1996, S. 295-308.

NONAKA (1994)

Nonaka, I.: A Dynamic Theory of Organizational Knowledge Creation. In: Organization Science, Vol. 5 (1994), No. 1, S. 14-37.

NONAKA/KONNO (1998)

Nonaka, I.; Konno, N.: The Concept of “Ba”: Building a Foundation for Knowledge Creation. In: California Management Journal, Vol. 40 (1998), No. 3, S. 40-54.

NONAKA/TAKEUCHI (1995)

Nonaka, I.; Takeuchi, H.: The Knowledge-Creating Company – How Japanese Companies Create the Dynamics of Innovation. New York - Oxford 1995.

NONAKA/TAKEUCHI (2012)

Nonaka, I.; Takeuchi, H.: Die Organisation des Wissens. 2. Aufl., Frankfurt - New York 2012.

NONAKA/VON KROGH (2009)

Nonaka, I.; von Krogh, E.: Tacit Knowledge and Knowledge Conversion: Controversy and Advancement in Organizational Knowledge Creation Theory. In: *Organization Science*, Vol. 20 (2009), No. 3, S. 635-652.

NORTH (2021)

North, K.: *Wissensorientierte Unternehmensführung – Wissensmanagement im digitalen Wandel*. 7. Aufl., Wiesbaden 2021.

OBERMAYER/TÓTH (2021)

Obermayer, N.; Tóth, V.E.: The Impact of Emerging Technologies on Knowledge Management. In: Garcia-Perez, A.; Simkin, L. (Hrsg.): *22nd European Conference on Knowledge Management (ECKM 2021)*, 02.-03.09.2021 in Coventry, Proceedings, Vol. 2. Reading 2021, S. 585-593.

ONG/UDDIN (2020)

Ong, S.; Uddin, S.: Data Science and Artificial Intelligence in Project Management: The Past, Present and Future. In: *Journal of Modern Project Management*, Vol. 7 (2020), No. 4, S. 1-8.

o. V. (2022)

o. V.: Verbundprojekt „KI-LiveS“. Online-Quelle unter <https://www.pim.wiwi.uni-due.de/forschung/forschungs-und-transferprojekte/verbundprojekt-ki-lives/>, letzte Änderung: 05.01.2022, letzter Zugriff am 10.01.2022.

PAL/SHIU (2004)

Pal, S.K.; Shiu, S.C.K.: *Foundations of soft case-based reasoning*. Hoboken 2004.

PAREDES/RIBEIRO (2018)

Paredes, C.; Ribeiro, P.A.: Future Trends in Project Management. In: Jardim-Gonçalves, R.; Marques, M.; Mendonça, J.P.; Martins, J.; Jotsov, V.; Bierwolf, R. (Hrsg.): *Theory, Research and Innovations Applications*, 9th International Conference on Intelligent Systems 2018 (IS'18), 25.-27.09.2018 in Funchal, Conference Proceedings. Danvers 2018, S. 637-644.

PELTOKORPI/NONAKA/KODAMA (2007)

Peltokorpi, V.; Nonaka, I.; Kodama, M.: NTT DoCoMo's Launch of I-Mode in the Japanese Mobile Phone Market: A Knowledge Creation Perspective. In: *Journal of Management Studies*, Vol. 44 (2007), No. 1, S. 50-72.

PEREIRA/GONÇALVES (2017)

Pereira, L.; Gonçalves, A.F.: Knowledge management in projects. In: Mendonca, J.P.; Jardim-Goncalves, R.; Martins, J.; Zarli, A.; Marques, M.; Pallot, M. (Hrsg.): *23rd International Conference on Engineering, Technology and Innovation, ICE/ITMC 2017*. Funchal 2017, S. 21-28.

PERRATON/TARRANT (2007)

Perraton, J.; Tarrant, I.: What does tacit knowledge actually explain? In: *Journal of Economic Methodology*, Vol. 14 (2007), No. 3, S. 353-370.

PETTER/RANDOLPH (2009)

Petter, S.; Randolph, A.B.: Developing Soft Skills to Manage User Expectations in IT Projects: Knowledge Reuse Among IT Project Managers. In: *Project Management Journal*, Vol. 40 (2009), No. 4, S. 45-59.

PFUHL (2003)

Pfuhl, M.: *Case-Based Reasoning auf der Grundlage Relationaler Datenbanken. Eine Anwendung zur strukturierten Suche in Wirtschaftsnachrichten*. Wiesbaden 2003.

PHILIPOOM/STEELE (2011)

Philipoom, P.; Steele, D.: Shop Floor Control When Tacit Worker Knowledge is Important. In: Decision Sciences, Vol. 42 (2011), No. 3, S. 655-688.

POLANYI (1985)

Polanyi, M.: The Tacit Dimension. New York 1966. Deutsche Übersetzung als Polanyi, M.: Implizites Wissen. Frankfurt am Main 1985.

PRASAD/SARADHI (2019)

Prasad, K.S.N.; Saradhi, M.V.V.: Comprehensive Project Management Framework using Machine Learning. In: International Journal of Recent Technology and Engineering, Vol. 8 (2019), No. 2S3, S. 1373-1377.

PRENTZAS/HATZILYGEROUDIS (2011)

Prentzas, J.; Hatzilygeroudis, I.: Case-Based Reasoning Integrations: Approaches and Applications. In: Leeland, A.M. (Hrsg.): Case-Based Reasoning – Processes, Suitability and Applications. New York 2011, S. 1-38.

PRETORIUS/STEYN (2005)

Pretorius, C.J.; Steyn, H.: Knowledge management in project environments. In: South African Journal of Business Management, Vol. 36 (2005), No. 3, S. 41-50.

RADZIEJOWSKA/ZIMA (2015)

Radziejowska, A.; Zima, K.: The Concept of a Knowledge Base to Aid in Cost Estimating of Sports Facilities. In: International Journal of Contemporary Management, Vol. 14 (2015), No. 3, S. 99-113.

RAI (2020)

Rai, A.: Explainable AI: from black box to glass box. In: Journal of the Academy of Marketing Science, Vol. 48 (2020), No. 1, S. 137-141.

RAZIQ (2020)

Raziq, M.M.: Organisational Structure and Project Success: The Mediating Role of Knowledge Sharing. In: Journal of Information & Knowledge Management, Vol. 19 (2020), No. 2, Beitrag 2050007, S. 1-22.

RECIO-GARCÍA (2008)

Recio[-]García, J.A.: jCOLIBRI: A multi-level platform for building and generating CBR systems. Dissertation, Department of Software Engineering and Artificial Intelligence, Facultad de Informática Universidad Complutense de Madrid. Madrid 2008.

RECIO-GARCÍA/DÍAZ-AGUDO (2004)

Recio-García, J.A.; Díaz-Agudo, B.: An introductory user guide to jCOLIBRI 0.3. Technical Report No. 144/2004, Departamento de Sistemas Informáticos y Programación, Universidad Complutense de Madrid. Madrid 2004.

RECIO-GARCÍA/DÍAZ-AGUDO/GONZÁLEZ-CALERO et al. (2007)

Recio-García, J.A.; Díaz-Agudo, B.; González-Calero, P.; Sánchez-Ruiz-Granados, A.: Ontology based CBR with jCOLIBRI. In: Ellis, R.; Allen, T.; Tuson, A. (Hrsg.): Applications and Innovations in Intelligent Systems XIV: Proceedings of AI-2006, the Twenty-sixth SGAI International Conference on Innovative Techniques and Applications of Artificial Intelligence, Dezember 2006 in Cambridge. London 2007, S. 149-162.

RECIO-GARCÍA/GONZÁLEZ-CALERO/DÍAZ-AGUDO (2014)

Recio-García, J.A.; González-Calero, P.A.; Díaz-Agudo, B.: jcolibri2: A framework for building Case-based reasoning systems. In: Science of Computer Programming, Vol. 79 (2014), S. 126-145.

REN/YAN/WANG et al. (2020)

Ren, X.; Yan, Z.; Wang, Z.; He, J.: Inter-project knowledge transfer in project-based organizations: an organizational context perspective. In: *Management Decision*, Vol. 58 (2020), No. 5, S. 844-863.

RICHTER (2003)

Richter, M.: Fallbasiertes Schließen – Vergangenheit, Gegenwart, Zukunft. In: *Informatik Spektrum*, Vol. 26 (2003), No. 3, S. 180-190.

RICHTER/WEBER (2013)

Richter, M.M.; Weber, R.O.: *Case-Based Reasoning – A Textbook*. Berlin - Heidelberg 2013.

RIESBECK (1996)

Riesbeck, C.: What Next? The Future of Case-Based Reasoning in Post-Modern AI. In: Leake, D. (Hrsg.): *Case-Based Reasoning – Experiences, Lessons & Future Directions*. Menlo Park - Cambridge - London 1996, S. 371-388.

RIESBECK/SCHANK (1989)

Riesbeck, C.; Schank, R.: *Inside Case-Based Reasoning*. Hillsdale 1989.

ROSCHER/BOHN/DUARTE et al. (2020)

Roscher, R.; Bohn, B.; Duarte, M.F.; Garcke, J.: Explainable Machine Learning for Scientific Insights and Discoveries. In: *IEEE Access*, Vol. 8 (2020), S. 42200-42216.

ROTH-BERGHOFER (2003)

Roth-Berghofer, T.R.: *Knowledge Maintenance of Case-Based Reasoning Systems – The SIAM Methodology*. Dissertation, Fachbereich Informatik, Universität Kaiserslautern 2002. Berlin 2003.

ROTH-BERGHOFER (2012)

Roth-Berghofer, T.: *Das Resource Description Framework*. In: Dengel, A. (Hrsg.): *Semantische Technologien. Grundlagen – Konzepte – Anwendungen*. Heidelberg 2012, S. 109-129.

ROTH-BERGHOFER/ADRIAN/DENGEL (2010)

Roth-Berghofer, T.; Adrian, B.; Dengel, A. (2010): Case acquisition from text: Ontology-based information extraction with SCOOBIE for myCBR. In: Bichindaritz, I.; Montani, S. (Hrsg.): *Case-Based Reasoning Research and Development, 18th International Conference on Case-Based Reasoning, ICCBR 2010, 19.-22.07.2010 in Alessandria, Proceedings*. Berlin 2010, S. 451-464.

ROTH-BERGHOFER/RECIO-GARCÍA/SAUER et al. (2012)

Roth-Berghofer, T.; Recio[-]García, J.A.; Sauer, C.S.; Bach, K.; Althoff, K.-D.; Díaz[-]Agudo, B.; González[-]Calero, P.A.: *Building Case-based Reasoning Applications with myCBR and COLIBRI Studio*. Accepted Version vom 10.12.2012. In: *UWL Repository*, <https://repository.uwl.ac.uk/id/eprint/2183/> und [oai:repository.uwl.ac.uk:2183](https://oai.repository.uwl.ac.uk:2183). o. S. (S. 1-12 gemäß eigener Paginierung).

RUDIN (2019)

Rudin, C.: Stop explaining black box machine learning models for high stakes decisions and use interpretable models instead. In: *Nature Machine Intelligence*, Vol. 1 (2019), No. 5, S. 206-215.

RUIZ/TORRES/CRESPO (2021)

Ruiz, J.G.; Torres, J.M.; Crespo, R.G.: The Application of Artificial Intelligence in Project Management Research: A Review. In: *International Journal of Interactive Multimedia and Artificial Intelligence*, Vol. 6 (2021), No. 6, S. 54-65.

RUIZ-BERTOL/RODRÍGUEZ/DOLADO (2011)

Ruiz-Bertol, F.J.; Rodríguez, D.; Dolado, J.J.: Applying rules to an ontology for project management. In: Muñoz, C.C.; Places, Á.S. (Hrsg.): Jornadas de Ingeniería del Software y Bases de Datos (JISBD), 05.-07.09.2011 in A Coruña. A Coruña 2011, S. 257-262.

SAGE/DAINTY/BROOKES (2010)

Sage, D.J.; Dainty, A.R.J.; Brookes, N.J.: Who reads the project file? Exploring the power effects of knowledge tools in construction project management. In: Construction Management and Economics, Vol. 28 (2010), No. 6, S. 629-639.

SAMEK/MONTAVON/VEDALDI et al. (2019)

Samek, W.; Montavon, G.; Vedaldi, A.; Hansen, L.K.; Müller, K.-R. (Hrsg.): Explainable AI: Interpreting, Explaining and Visualizing Deep Learning. Cham 2019.

SÁNCHEZ-RUIZ/GÓMEZ-MARTÍN/DÍAZ-AGUDO et al. (2008)

Sánchez-Ruiz, A.A.; Gómez-Martín, P.P.; Díaz-Agudo, B.; González-Calero, P.A.: Adaptation through Planning in Knowledge Intensive CBR. In: Althoff, K.-D.; Bergmann, R.; Minor, M.; Hanft, A. (Hrsg.): Advances in Case-Based Reasoning, 9th European Conference, ECCBR 2008, 01.-04.09. 2008 in Trier, Proceedings. Berlin - Heidelberg 2008, S. 503-517.

SANI/WIRATUNGA/MASSIE et al. (2011)

Sani, S.; Wiratunga, N.; Massie, S.; Lothian, R.: Term Similarity and Weighting Framework for Text Representation. In: Ram, A.; Wiratunga, N. (Hrsg.): Case-Based Reasoning Research and Development, 19th International Conference, ICCBR 2011, 12.-15.09.2011 in London, Proceedings. Berlin - Heidelberg 2011, S. 304-318.

SANYA/SHEHAB (2015)

Sanya, I.O.; Shehab, E.M.: A framework for developing engineering design ontologies within the aerospace industry. In: International Journal of Production Research, Vol. 53 (2015), No. 8, S. 2383-409.

SANZOGNI/GUZMAN/BUSCH (2017)

Sanzogni, L.; Guzman, G.; Busch, P.: Artificial intelligence and knowledge management: questioning the tacit dimension. In: Prometheus, Vol. 35 (2017), No. 1, S. 37-56.

SARANTIS/ASKOUNIS (2009)

Sarantis, D.; Askounis, D.: A Project Management Ontology as a Reference for e-Government Projects. In: 2009 International Conference for Internet Technology and Secured Transactions ICITST, 09.-12.11.2009 in London. Piscataway, S. 1-8 (beitragsindividuelle Paginierung).

SAWSAA/LU (2017)

Sawsaa, A.F.; Lu, J.: Research Background on Ontology. In: Lu, J.; Xu, Q. (Hrsg.): Ontologies and Big Data Considerations for Effective Intelligence. Hershey 2017, S. 443-509.

SCHAAF (1998)

Schaaf, J.W.: Über die Suche nach situationsgerechten Fällen im fallbasierten Schließen. Dissertation, Fachbereich Informatik, Universität Kaiserslautern 1997. Sankt Augustin 1998.

SCHAGEN/HEEB/ZELEWSKI et al. (2021)

Schagen, T.; Heeb, T.; Zelewski, S.; Schagen, J.P.: Entwicklung eines E-Learning-Moduls für ein ontologiegestütztes Case-based Reasoning Tool für das betriebliche Projektmanagement. Arbeitsbericht Nr. 54, Institut für Produktion und Industrielles Informationsmanagement, Universität Duisburg-Essen (Campus Essen), zugleich KI-LiveS-Projektbericht Nr. 8. Essen 2021.

SCHAGEN/ZELEWSKI/HASELHOFF et al. (2021)

Schagen, J.P.; Zelewski, S.; Haselhoff, T.; Schmitz, S.; Heeb, T.: Überblick über potenzielle Quellen für Test- und Evaluierungsdaten eines KI-Labors im Rahmen des KI-LiveS-Projekts. Arbeitsbericht Nr. 48, Institut für Produktion und Industrielles Informationsmanagement, Universität Duisburg-Essen (Campus Essen), zugleich KI-LiveS-Projektbericht Nr. 2. Essen 2021.

SCHAGEN/ZELEWSKI/HEEB (2020)

Schagen, J.P.; Zelewski, S.; Heeb, T.: Erhebung und Analyse der Anforderungen an ein KI-Tool aus der Perspektive der betrieblichen Praxis – mit Fokus auf der Wiederverwendung von Erfahrungswissen im Bereich des betrieblichen Projektmanagements. Arbeitsbericht Nr. 47, Institut für Produktion und Industrielles Informationsmanagement, Universität Duisburg-Essen (Campus Essen), zugleich KI-LiveS-Projektbericht Nr. 1. Essen 2020.

SCHINDLER/GASSMANN (2000a)

Schindler, M.; Gassmann, O.: Wissensmanagement in der Projektabwicklung – Ergebnisse einer empirischen Studie am Beispiel der Konzernentwicklung von Schindler Aufzüge AG. Report, Institute for Media and Communications Management, University of St. Gallen, publiziert in: NetAcademy at <http://www.netacademy.org>. St. Gallen 2000.

SCHINDLER/GASSMANN (2000b)

Schindler, M.; Gassmann, O.: Projektabwicklung gewinnt durch Wissensmanagement: Ergebnisse einer empirischen Studie – die Konzernentwicklung der Schindler Aufzüge AG. In: Wissenschaftsmanagement, 6. Jg. (2000), Heft 1, S. 38-45.

SCHUHBAUER/FUHR/WITTMANN (2008)

Schuhbauer, H.; Fuhr, T.; Wittmann, S.: Flexible Informationsstrukturen mit Ontologien. In: HMD Praxis der Wirtschaftsinformatik. Vol. 45 (2008), No. 4 (auch: Heft 262), S. 97-105.

SENARATNE/SEXTON (2008)

Senaratne, S.; Sexton, M.: Managing construction project change: a knowledge management perspective. In: Construction Management and Economics, Vol. 26 (2008), No. 12, S. 1303-1311.

SHEEBA/KRISHNAN/BERNARD (2012)

Sheeba, T.; Krishnan, R.; Bernard, M.J.: An Ontology in Project Management Knowledge Domain. In: International Journal of Computer Applications, Vol. 56 (2012), No. 5, S. 1-7 (beitragsindividuelle Paginierung).

SHEHAB/ABUALIGAH/JARRAH et al. (2020)

Shehab, M.; Abualigah, L.; Jarrah, M.I.; Alomari, O.A.; Daoud, M.S.: Artificial intelligence in software engineering and inverse: review. In: International Journal of Computer Integrated Manufacturing, Vol. 33 (2020), No. 1, S. 1129-1144.

SHONGWE (2015)

Shongwe, M.M.: The Role of Knowledge Management in Facilitating Learning in Software Organisations. In: Chen, J.C.; Xinghua, D.; Hu, W.; Zhang, R. (Hrsg.): The Proceedings of the 5th International Conference on IS Management and Evaluation (ICIME 2015), 28.-29.05.2015 in Shaanxi. Reading 2015, S. 151-158.

SINTEK (2012)

Sintek, M.: Anfragesprachen und Reasoning. In: Dengel, A. (Hrsg.): Semantische Technologien. Grundlagen – Konzepte – Anwendungen. Heidelberg 2012, S. 161-177.

SMYTH/CUNNINGHAM (1993)

Smyth, B.; Cunningham, P.: Complexity of Adaptation in Real-World Case-Based Reasoning Systems. In: Proceedings of the 6th Irish Conference on Artificial Intelligence and Cognitive Science, 1993 in Belfast. o. O. 1993, S. 229-240 (nur mit beitragsindividueller Paginierung verfügbar: S. 1-12).

SMYTH/KEANE (1998)

Smyth, B.; Keane, M.T.: Adaption-guided retrieval: questioning the similarity assumption in reasoning. In: Artificial Intelligence, Vol. 102 (1998), No. 2, S. 249-293.

SNIDER/NISSEN (2003)

Snider, K.F.; Nissen, M.E.: Beyond the Body of Knowledge: A Knowledge-Flow Approach to Project Management Theory and Practice. In: Project Management Journal, Vol. 34 (2003), No. 2, S. 4-12.

STAHL/ROTH-BERGHOFER (2008)

Stahl, A.; Roth-Berghofer, T.R.: Rapid Prototyping of CBR Applications with the Open Source Tool myCBR. In: Althoff, K.-D.; Bergmann, R.; Minor, M.; Hanft, A. (Hrsg.): Advances in Case-Based Reasoning, 9th European Conference, ECCBR 2008, 01.-04.09.2008 in Trier, Proceedings. Springer: Berlin - Heidelberg - New York 2008, S. 615-629.

ȘTEFĂNESCU/ȘTEFĂNESCU (2008)

Ștefănescu, L.; Ștefănescu, A.: The Need of Knowledge Management Strategy for the Successful Implementation of Reengineering Projects. In: The Icfai University Journal of Knowledge Management, Vol. 6 (2008), No. 6, S. 51-60.

STUART (2016)

Stuart, D.: Practical Ontologies for Information Professionals. London 2016.

STUCKENSCHMIDT (2011)

Stuckenschmidt, H.: Ontologien – Konzepte, Technologien und Anwendungen. 2. Aufl., Berlin - Heidelberg 2011.

STYHRE (2004)

Styhre, A.: Rethinking Knowledge: A Bergsonian Critique of the Notion of Tacit Knowledge. In: British Journal of Management, Vol. 15 (2004), No. 2, S. 177-188.

SUGUMARAN/STOREY (2006)

Sugumaran, V.; Storey, V.C.: The Role of Domain Ontologies in Databases Design: An Ontology Management and Conceptual Modeling Environment. In: ACM Transactions on Database Systems, Vol. 31 (2006), No. 3, S. 1064-1094.

SWANSON (2017)

Swanson, S.A.: Real Possibilities - Artificial Intelligence Has The Potential to Allow Project Managers to Focus on Higher-Value Work. The Question Is: Are They Ready? In: PM Network, Vol. 31 (2017), No. 1, S. 62-67.

TAN (1999)

Tan, A.-H.: Text Mining: The state of the art and the challenges. In: Proceedings of the Pacific Asia Conference on Knowledge Discovery and Data Mining PAKDD'99 Workshop on Knowledge Discovery from Advanced Databases (KDAD'99), o. O., S. 65-70.

TAN/CARRILLO/ANUMBA et al. (2007)

Tan, H.C.; Carrillo, P.M.; Anumba, C.J.; Bouchlaghem, N.D.; Kamara, J.M.; Udejaja, C.E.: Development of a Methodology for Live Capture and Reuse of Project Knowledge in Construction. In: Journal of Management in Engineering, Vol. 23 (2007), No. 1, S. 18-26.

TODOROVIĆ/PETROVIĆ/MIHIĆ et al. (2015)

Todorović, M.L.; Petrović, D.Č.; Mihić, M.M.; Obradović, V.L.; Bushuyev, S.D.: Project success analysis framework: A knowledge-based approach in project management. In: International Journal of Project Management, Vol. 33 (2015), No. 4, S. 772-783.

TÖPFER/LEFFLER/BRABÄNDER et al. (2021)

Töpfer, A.; Leffler, P.; Brabänder, G.; Silbermann, S.: Bedeutung und Ausgestaltung eines ganzheitlichen Qualitätsmanagements in der Künstlichen Intelligenz (KI). In: Bruhn, M.; Hadwich, K. (Hrsg.): Künstliche Intelligenz im Dienstleistungsmanagement. Band 1: Geschäftsmodelle – Serviceinnovationen – Implementierung. Wiesbaden 2021, S. 266-296.

USMAN/YOUNG/CHUNGOORA et al. (2013)

Usman, Z.; Young, R.I.M.; Chungoora, N.; Palmer, C.; Case, K.; Harding, J.A.: Towards a formal manufacturing reference ontology. In: International Journal of Production Research, Vol. 51 (2013), No. 22, 6553–6572.

VAN ELST (2012)

van Elst, L.: Ontologien und Ontologie-Abgleich in verteilten Informationssystemen. In: Dengel, A. (Hrsg.): Semantische Technologien. Grundlagen – Konzepte – Anwendungen. Heidelberg 2012, S. 130-160.

VOLLHARDT/SCHMIDT/KASK ET AL. (2021)

Vollhardt, S.; Schmidt, K.; Kask, S.; Noga, M.: Das intelligente Unternehmen: Effiziente Prozesse mit Künstlicher Intelligenz von SAP – Wie Unternehmen die hohen Erwartungen an die KI erfüllen können. In: Buxmann, P.; Schmidt, H. (Hrsg.): Künstliche Intelligenz – Mit Algorithmen zum wirtschaftlichen Erfolg. 2. Aufl., Berlin 2021, S. 119-137.

VON KOCEMBA/BELZ (2015)

von Kocemba, D.F.; Belz, H.J. (Teamleitung): Ergänzung und Veränderung von Erfolgsfaktoren im Projektmanagement bei zunehmender Internationalisierung. Herausgegeben von GPM – Deutsche Gesellschaft für Projektmanagement e. V. Nürnberg o. J. (Dokument laut Metadaten erstellt am 11.12.2015).

VON WASIELEWSKI (2010)

von Wasielewski, E.: Project Knowledge Management – Systematic Learning with the Project Comparison Technique. Berlin - Heidelberg 2010.

VOSKOGLOU (2011)

Voskoglou, M.: Case-Based Reasoning: History, Methodology and Development Trends. Integrations: Approaches and Applications. In: Leeland, A.M. (Hrsg.): Case-Based Reasoning – Processes, Suitability and Applications. New York 2011, S. 59-75.

WANG/FERGUSON/PERRY et al. (2008)

Wang, C.; Fergusson, C.; Perry, D.; Antony, J.: A conceptual case-based model for knowledge sharing among supply chain members. In: Business Process Management Journal, Vol. 14 (2008), No. 2, S. 147-165.

WATSON (1995)

Watson, I.: An Introduction to Case-Based Reasoning. In: Watson, I.D. (Hrsg.): Progress in Case-Based Reasoning, First United Kingdom Workshop, 12.01.1995 in Salford, Proceedings. Berlin - Heidelberg - New York 1995, S. 3-16.

WATSON (1997)

Watson, I.: Applying case-based reasoning – Techniques for Enterprise Systems. San Francisco 1997.

WATSON/HEWETT (2006)

Watson, S.; Hewett, K.: A Multi-Theoretical Model of Knowledge Transfer in Organizations: Determinants of Knowledge Contribution and Knowledge Reuse. In: *Journal of Management Studies*, Vol. 43 (2006), No. 2, S. 141-173.

WEBER/ALLAM/CAMGÖZ et al. (2021)

Weber, L.; Allam, S.; Camgöz, A.; Heeb, T.; Zelewski, S.: Erstellung eines E-Learning-Moduls für den Ontologie-Editor Protégé. Arbeitsbericht Nr. 52, Institut für Produktion und Industrielles Informationsmanagement, Universität Duisburg-Essen (Campus Essen), zugleich KI-LiveS-Projektbericht Nr. 6. Essen 2021.

WEBER/HEEB/SETHUPATHY et al. (2021)

Weber, L.; Heeb, T.; Sethupathy, G.; Schagen, J.P.; Zelewski, S.: „Intelligente“ Wiederverwendung von Erfahrungswissen im betrieblichen Projektmanagement mithilfe von KI-Techniken bei sicherheitskritischen IT-Projekten mit Fokus auf PRINCE2 und Risikomanagement. Arbeitsbericht Nr. 50, Institut für Produktion und Industrielles Informationsmanagement, Universität Duisburg-Essen (Campus Essen), zugleich KI-LiveS-Projektbericht Nr. 4. Essen 2021.

WEIBER/MORGEN (2021)

Weiber, R.; Morgen, J.: Autonomous Consumer Analysis. In: Bruhn, M.; Hadwich, K. (Hrsg.): *Künstliche Intelligenz im Dienstleistungsmanagement*. Band 2: Einsatzfelder – Akzeptanz – Kundeninteraktionen. Wiesbaden 2021, S. 84-112.

WILKE/BERGMANN (1998)

Wilke, W.; Bergmann, R.: Techniques and Knowledge Used for Adaptation During Case-Based Problem Solving. In: del Pobil, A.P.; Mira, J.; Ali, M. (Hrsg.): *Tasks and Methods in Applied Artificial Intelligence*, IEA-AIE 1998. Berlin - Heidelberg - New York 1998, S. 497-506.

XIONG/FUNK (2006)

Xiong, N.; Funk, P.: Building similarity metrics reflecting utility in case-based reasoning. In: *Journal of Intelligent & Fuzzy Systems*, Vol. 17 (2006), No. 4, S. 407-416.

YANG (2013)

Yang, S.-Y.: Developing an energy-saving and case-based reasoning information agent with Web service and ontology techniques. In: *Expert Systems with Applications*, Vol. 40 (2013), No. 9, S. 3351-3369.

YE/YANG/JIANG et al. (2008)

Ye, Y.; Yang, D.; Jiang, Z.; Tong, L.: Ontology-based semantic models for supply chain management. In: *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, Vol. 37 (2008), Nos. 11-12, S. 1250-1260.

ZELEWSKI (1988)

Zelewski, S.: Ansätze der Künstlichen Intelligenz-Forschung zur Unterstützung der Netzplantechnik. In: *Zeitschrift für betriebswirtschaftliche Forschung*, 40. Jg. (1988), S. 1112-1129.

ZELEWSKI (2000)

Zelewski, S.: Katastrophentheorie. In: Corsten, H. (Hrsg.): *Lexikon der Betriebswirtschaftslehre*. 4. Aufl., München - Wien 2000, S. 438-444.

ZELEWSKI (2002)

Zelewski, S.: Organisierte Erfahrung – Wissensmanagement mit Ontologien. In: *Essener Unikate*, Nr. 18: *Wirtschaftsinformatik – Wissensmanagement und E-Services*. Essen 2002, S. 63-73.

ZELEWSKI (2005a)

Zelewski, S.: Kooperatives Wissensmanagement in Engineering-Netzwerken. In: Zelewski, S.; Alan, Y.; Alparslan, A.; Dittmann, L.; Weichelt, T. (Hrsg.): Ontologiebasierte Kompetenzmanagementsysteme. Berlin 2005, S. 33-76.

ZELEWSKI (2005b)

Zelewski, S.: Einführung in das Themenfeld „Ontologien“ aus informations- und betriebswirtschaftlicher Perspektive. In: Zelewski, S.; Alan, Y.; Alparslan, A.; Dittmann, L.; Weichelt, T. (Hrsg.): Ontologiebasierte Kompetenzmanagementsysteme – Grundlagen, Konzepte, Anwendungen. Berlin 2005, S. 115-228.

ZELEWSKI (2015c)

Zelewski, S.: Ontologien als Grundlage für das Semantic Knowledge Management von projektbezogenem Erfahrungswissen. In: Zelewski, S.; Akca, N.; Kowalski, M. (Hrsg.): Organisatorische Innovationen mit Good Governance und Semantic Knowledge Management in Logistik-Netzwerken – Wissenschaftliche Grundlagen und Praxisanwendungen. Berlin 2015, S. 81-228.

ZELEWSKI (2021)

Zelewski, S.: Case-based Reasoning. In: Kollmann, T.; Kuckertz, A.; Stöckmann, C. (Hrsg.): Gabler Kompakt-Lexikon Unternehmensgründung – 2000 Begriffe nachschlagen, verstehen, anwenden. 3. Aufl., Wiesbaden 2021, S. 61-62.

ZELEWSKI/AKCA/KOWALSKI (2015)

Zelewski, S.; Akca, N.; Kowalski, M. (Hrsg.): Organisatorische Innovationen mit Good Governance und Semantic Knowledge Management in Logistik-Netzwerken – Wissenschaftliche Grundlagen und Praxisanwendungen. Berlin 2015.

ZELEWSKI/BRUNS/KOWALSKI (2012)

Zelewski, S.; Bruns, A.; Kowalski, M.: Ontologies for Guaranteeing the Interoperability in e-Business: A Business Economics Point of View. In: Kajan, E.; Dorloff, F.-J.; Bedini, I. (Hrsg.): Handbook of Research on E-Business Standards and Protocols: Documents, Data and Advanced Web Technologies. Hershey 2012, S. 154-184.

ZELEWSKI/KLUMPP/AKCA (2017)

Zelewski, S.; Klumpp, M.; Akca, N.: New Public Management: Lenkung von Investitionen im Hochschulbereich mittels Effizienzanalysen – Eine Kritik am „DEA-Paradigma“ aus qualitäts-orientierter Perspektive. In: Kaluza, B.; Braun, K.D.; Beschorner, H.; Rolfes, B. (Hrsg.): Betriebswirtschaftliche Fragen zu Steuern, Finanzierung, Banken und Management – Prof. Dr. Rainer Elschen zum 66. Geburtstag. Wiesbaden 2017, S. 557-584.

ZELEWSKI/KOWALSKI/BERGENRODT (2015a)

Zelewski, S.; Kowalski, M.; Bergenrodt, D.: Management von Erfahrungswissen aus internationalen Logistik-Projekten mithilfe von Case-based Reasoning. In: Zelewski, S.; Akca, N.; Kowalski, M. (Hrsg.): Organisatorische Innovationen mit Good Governance und Semantic Knowledge Management in Logistik-Netzwerken – Wissenschaftliche Grundlagen und Praxisanwendungen. Berlin 2015, S. 229-267.

ZELEWSKI/KOWALSKI/BERGENRODT (2015b)

Zelewski, S.; Kowalski, M., Bergenrodt, D.): Intelligente Wissenswiederverwendung in internationalen Logistik-Projekten. In: Ege, B.; Humm, B.; Reibold, A. (Hrsg.): Corporate Semantic Web – Wie semantische Anwendungen in Unternehmen Nutzen stiften. Berlin - Heidelberg 2015, S. 289-305.

ZELEWSKI/KOWALSKI/KÜHN (2011)

Zelewski, S.; Kowalski, M.; Kühn, T.: Kostenschätzung für die Reaktivierung von Gleisanschlüssen mithilfe von Case-based Reasoning. In: Zelewski, S.; Jene, S. (Hrsg.): Kooperationen zwischen Eisenbahnverkehrsunternehmen: Grundlagen – Konzepte – Praxisanwendungen, Band 1. Berlin 2011, S. 489-503.

ZHANG/YIN/LIN et al. (2009)

Zhang, W.Y.; Yin, J.W.; Lin, L.F.; Zhu, T.H.: Towards a general ontology of multidisciplinary collaborative design for Semantic Web applications. In: International Journal of Computer Integrated Manufacturing, Vol. 22 (2009), No. 12, S. 1144-1153.

ZIDI/BOUHANA/ABED et al. (2014)

Zidi, A.; Bouhana, A.; Abed, M.; Fekih, A.: An ontology-based personalized retrieval model using case base reasoning. In: 18th International Conference on Knowledge-Based and Intelligent Information & Engineering Systems – KES2014, Procedia Computer Science, Vol. 35 (2014), S. 213-222.

ZILLES (2009)

Zilles, L.: myCBR Project – myCBR Tutorial. Report DFKI, Version 1.1, 11.04.2009. o. O. 2009.

ZIMA (2015)

Zima, K.: The Case-Based Reasoning Model Of Cost Estimation At The Preliminary Stage Of A Construction Project. In: Procedia Engineering, Vol. 122 (2015): Operational Research in Sustainable Development and Civil Engineering – meeting of EURO working group and 15th German-Lithuanian-Polish colloquium (ORSDC 2015), S. 57-64.

**Institut für Produktion und
Industrielles Informationsmanagement
Universität Duisburg-Essen / Campus Essen**

**Verzeichnis der Arbeitsberichte
(ISSN 1614-0842)**

- Nr. 1: Zelewski, S.: Stickels theoretische Begründung des Produktivitätsparadoxons der Informationstechnik. Universität Essen, Essen 1999.
- Nr. 2: Zelewski, S.: Flexibilitätsorientierte Koordinierung von Produktionsprozessen. Universität Essen, Essen 1999.
- Nr. 3: Zelewski, S.: Ontologien zur Strukturierung von Domänenwissen. Universität Essen, Essen 1999.
- Nr. 4: Siedentopf, J.; Schütte, R.; Zelewski, S.: Wirtschaftsinformatik und Wissenschaftstheorie. Universität Essen, Essen 1999.
- Nr. 5: Fischer, K.; Zelewski, S.: Ontologiebasierte Koordination von Anpassungsplanungen in Produktions- und Logistiknetzwerken mit Multi-Agenten-Systemen. Universität Essen, Essen 1999.
- Nr. 6: Weihermann, A. E.; Wöhlert, K.: Gentechnikakzeptanz und Kommunikationsmaßnahmen in der Lebensmittelindustrie. Universität Essen, Essen 1999.
- Nr. 7: Schütte, R.: Zum Realitätsbezug von Informationsmodellen. Universität Essen, Essen 2000.
- Nr. 8: Zelewski, S.: Erweiterungen eines Losgrößenmodells für betriebliche Entsorgungsprobleme. Universität Essen, Essen 2000.
- Nr. 9: Schütte, R.: Wissen, Zeichen, Information, Daten. Universität Essen, Essen 2000.
- Nr. 10: Hemmert, M.: The Impact of Internationalization and Externalization on the Technology Acquisition Performance of High-Tech Firms. Universität Essen, Essen 2001.
- Nr. 11: Hemmert, M.: Erfolgswirkungen der internationalen Organisation von Technologiegewinnungsaktivitäten. Universität Essen, Essen 2001.
- Nr. 12: Hemmert, M.: Erfolgsfaktoren der Technologiegewinnung von F&E-intensiven Großunternehmen. Universität Essen, Essen 2001.
- Nr. 13: Schütte, R.; Zelewski, S.: Epistemological Problems in Working with Ontologies. Universität Essen, Essen 2001.
- Nr. 14: Peters, M. L.; Zelewski, S.: Analytical Hierarchy Process (AHP). Universität Essen, Essen 2002.
- Nr. 15: Zelewski, S.: Wissensmanagement mit Ontologien. Universität Essen, Essen 2002.
- Nr. 16: Klumpp, M.; Krol, B.; Zug, S.: Management von Kompetenzprofilen im Gesundheitswesen. Universität Essen, Essen 2002.
- Nr. 17: Zelewski, S.: Der „non statement view“ – eine Herausforderung für die (Re-) Konstruktion wirtschaftswissenschaftlicher Theorien. Universität Essen, Essen 2002.
- Nr. 18: Peters, M. L.; Zelewski, S.: A heuristic algorithm to improve the consistency of judgments in the Analytical Hierarchy Process (AHP). Universität Duisburg-Essen (Campus Essen), Essen 2003.

- Nr. 19: Peters, M. L.; Zelewski, S.: Fallstudie zur Lösung eines Standortplanungsproblems mit Hilfe des Analytical Hierarchy Process (AHP). Universität Duisburg-Essen (Campus Essen), Essen 2003.
- Nr. 20: Zelewski, S.: Konventionelle versus strukturalistische Produktionstheorie. Universität Duisburg-Essen (Campus Essen), Essen 2003.
- Nr. 21: Alparslan, A.; Zelewski, S.: Moral Hazard in JIT Production Settings. Universität Duisburg-Essen (Campus Essen), Essen 2004.
- Nr. 22: Dittmann, L.: Ontology-based Skills Management. Universität Duisburg-Essen (Campus Essen), Essen 2004.
- Nr. 23: Peters, M. L.; Zelewski, S.: Ein Modell zur Auswahl von Produktionsaufträgen unter Berücksichtigung von Synergien. Universität Duisburg-Essen (Campus Essen), Essen 2004.
- Nr. 24: Peters, M. L.; Zelewski, S.: Ein Modell zur Zuordnung ähnlicher Kundenbetreuer zu Kunden. Universität Duisburg-Essen (Campus Essen), Essen 2004.
- Nr. 25: Zelewski, S.: Kooperatives Wissensmanagement in Engineering-Netzwerken – (vorläufiger) Abschlussbericht zum Verbundprojekt KOWIEN. Universität Duisburg-Essen (Campus Essen), Essen 2004.
- Nr. 26: Siemens, F.: Vorgehensmodell zur Auswahl einer Variante der Data Envelopment Analysis. Universität Duisburg-Essen (Campus Essen), Essen 2005.
- Nr. 27: Alan, Y.: Integrative Modellierung kooperativer Informationssysteme – Ein Konzept auf der Basis von Ontologien und Petri-Netzen. Dissertation, Universität Duisburg-Essen (Campus Essen), Essen 2005.
- Nr. 28: Akca, N.; Ilas, A.: Produktionsstrategien – Überblick und Systematisierung. Universität Duisburg-Essen (Campus Essen), Essen 2005.
- Nr. 29: Zelewski, S.: Relativer Fortschritt von Theorien – ein strukturalistisches Rahmenkonzept zur Beurteilung der Fortschrittlichkeit wirtschaftswissenschaftlicher Theorien (Langfassung). Universität Duisburg-Essen (Campus Essen), Essen 2005.
- Nr. 30: Peters, M. L.; Schütte, R.; Zelewski, S.: Erweiterte Wirtschaftlichkeitsanalyse mithilfe des Analytic Hierarchy Process (AHP) unter Berücksichtigung des Wissensmanagements zur Beurteilung von Filialen eines Handelsunternehmens. Universität Duisburg-Essen (Campus Essen), Essen 2006.
- Nr. 31: Zelewski, S.: Beurteilung betriebswirtschaftlichen Fortschritts – ein metatheoretischer Ansatz auf Basis des „non statement view“ (Langfassung). Universität Duisburg-Essen (Campus Essen), Essen 2006.
- Nr. 32: Kijewski, F.; Moog, M.; Niehammer, M.; Schmidt, H.; Schröder, K.: Gestaltung eines Vorgehensmodells für die Durchführung eines Promotionsprojekts am Fachbereich Wirtschaftswissenschaften der Universität Duisburg-Essen, Campus Essen, zum Erwerb des „Dr. rer. pol.“ mithilfe von PETRI-Netzen. Universität Duisburg-Essen (Campus Essen), Essen 2006.
- Nr. 33: Peters, M. L.; Zelewski, S.: Effizienzanalyse unter Berücksichtigung von Satisfizierungsgrenzen für Outputs – Die Effizienz-Analysetechnik EATWOS. Universität Duisburg-Essen (Campus Essen), Essen 2006.

- Nr. 34: Häselhoff, I.; Meves, Y.; Munsch, D.; Munsch, S.; Schulte-Euler, D.; Thorant, C.: Anforderung an eine verbesserte Lehrqualität – Qualitätsplanung mittels House of Quality. Universität Duisburg-Essen (Campus Essen), Essen 2007.
- Nr. 35: Zelewski, S.: Das ADL-Modell der Prinzipal-Agent-Theorie für die Just-in-Time-Produktionssteuerung – Darstellung, Analyse und Kritik. Universität Duisburg-Essen (Campus Essen), Essen 2008.
- Nr. 36: Peters, M. L.; Zelewski, S.: Analyse der Effizienzentwicklung von Bankfilialen mithilfe des Operational Competitiveness Ratings (OCRA). Universität Duisburg-Essen (Campus Essen), Essen 2010.
- Nr. 37: Peters, M. L.; Zelewski, S.: Fallstudie zu Porters generischen Wettbewerbsstrategien im Kontext nachhaltigen Wirtschaftens. Universität Duisburg-Essen (Campus Essen), Essen 2010.
- Nr. 38: Peters, M. L.; Zelewski, S.: Erweiterung von EATWOS um die Berücksichtigung von Satisfizierungsgrenzen für Inputs. Universität Duisburg-Essen (Campus Essen), Essen 2012.
- Nr. 39: Bergenrodt, D.; Jene, S.; Zelewski, S.: Implementierung des Tau-Werts. Universität Duisburg-Essen (Campus Essen), Essen 2013.
- Nr. 40: Millan-Torres, J.; Arndt, C.: Erstellung eines Businessplans zur Existenzgründung des Unternehmens Cowdy! – Anwendung des „Fast-Casual“-Konzepts auf ein systemgastronomisch organisiertes Restaurant mit dem Schwerpunkt der Steakzubereitung. Universität Duisburg-Essen (Campus Essen), Essen 2014.
- Nr. 41: Klumpp, M.; Oeben, M.; Zelewski, S.: Evaluation internationaler Bildungstransfer – Konzeptioneller Rahmen und Diskurs zur wissenschaftlichen Bewertung im Forschungs- und Transferprojekt OpporTUNItY. Universität Duisburg-Essen (Campus Essen), Essen 2018.
- Nr. 42: Oeben, M.; Gerlach, A.-T.; Akdogan, D.; Arabaci, T.; Bagbasi, F.; Gudieva, A.; Klumpp, M.: Evaluation von Bildungsleistungen in Deutschland und Tunesien – das Beispiel des Hochschulsektors. Universität Duisburg-Essen (Campus Essen), Essen 2018.
- Nr. 43: Oeben, M.; Klumpp, M.: Die Berufsschulsysteme in Tunesien und Deutschland – Ein systematischer Vergleich im Rahmen der wissenschaftlichen Evaluation des Projektes OpporTUNItY. Universität Duisburg-Essen (Campus Essen), Essen 2018.
- Nr. 44: Peters, M. L.; Zelewski, S.: Adaption der Efficiency Analysis Technique With Input and Output Satisficing (EATWIOS) zur Berücksichtigung von unteren und oberen Satisfizierungsgrenzen. Universität Duisburg-Essen (Campus Essen), Essen 2018.
- Nr. 45: Oeben, M.; Klumpp, M.: Export von Expertise im Bereich der Berufsausbildung – Erfolgsfaktoren und Hemmnisse für den Aufbau und Betrieb eines technischen Berufsschulzentrums in Tunesien im Forschungs- und Transferprojekt OpporTUNItY. Universität Duisburg-Essen (Campus Essen), Essen 2019.
- Nr. 46: Oeben, M.; Klumpp, M.; Zelewski, S.: Internationaler Bildungstransfer – Internationaler Quervergleich als komparativer Ansatz zu Erfahrungen im Bildungstransfer in Richtung Tunesien. Universität Duisburg-Essen (Campus Essen), Essen 2019.

- Nr. 47: Schagen, J. P.; Zelewski, S.; Heeb, T.: Erhebung und Analyse der Anforderungen an ein KI-Tool aus der Perspektive der betrieblichen Praxis – mit Fokus auf der Wiederverwendung von Erfahrungswissen im Bereich des betrieblichen Projektmanagements. Zugleich KI-LiveS-Projektbericht Nr. 1. Universität Duisburg-Essen (Campus Essen), Essen 2020.
- Nr. 48: Schagen, J. P.; Zelewski, S.; Haselhoff, T.; Schmitz, S.; Heeb, T.: Überblick über potenzielle Quellen für Test- und Evaluierungsdaten eines KI-Labors im Rahmen des KI-LiveS-Projekts. Zugleich KI-LiveS-Projektbericht Nr. 2. Universität Duisburg-Essen (Campus Essen), Essen 2021.
- Nr. 49: Fink, S.; Röhrig, K.; Heeb, T. (Mitarbeit Schagen, J. P.; Zelewski, S.): Konzipierung und Implementierung eines ontologiegestützten Case-based-Reasoning-Systems für die Wiederverwendung von projektbezogenem Erfahrungswissen. Zugleich KI-LiveS-Projektbericht Nr. 3. Universität Duisburg-Essen (Campus Essen), Essen 2021.
- Nr. 50: Weber, L.; Heeb, T.; Sethupathy, G. (Mitarbeit Schagen, J. P.; Zelewski, S.): „Intelligente“ Wiederverwendung von Erfahrungswissen im betrieblichen Projektmanagement mithilfe von KI-Techniken bei sicherheitskritischen IT-Projekten mit Fokus auf PRINCE2 und Risikomanagement. Zugleich KI-LiveS-Projektbericht Nr. 4. Universität Duisburg-Essen (Campus Essen), Essen 2021.
- Nr. 51: Allam, S.; Heeb, T.; Zelewski, S.: Konzipierung und Implementierung eines E-Learning-Moduls für ein ontologiegestütztes Case-based Reasoning Tool zur Unterstützung des Projektmanagements im Rahmen des KI-LiveS-Projekts. Zugleich KI-LiveS-Projektbericht Nr. 5. Universität Duisburg-Essen (Campus Essen), Essen 2021.
- Nr. 52: Weber, L.; Allam, S.; Camgöz, A. (Mitarbeit Heeb, T.; Zelewski, S.): Erstellung eines E-Learning-Moduls für den Ontologie-Editor Protégé. Zugleich KI-LiveS-Projektbericht Nr. 6. Universität Duisburg-Essen (Campus Essen), Essen 2021.
- Nr. 53: Fink, S.; Hauke, M.; Ye, B. (Mitarbeit Schagen, J. P.; Zelewski, S.): Erstellung und kritische Analyse von Use Cases für Anwendungen von KI-Tools im betrieblichen Projektmanagement – mit Fokussierung auf der „intelligenten“ Wiederverwendung von projektbezogenem Erfahrungswissen. Zugleich KI-LiveS-Projektbericht Nr. 7. Universität Duisburg-Essen (Campus Essen), Essen 2021.
- Nr. 54: Schagen, T.; Heeb, T.; Zelewski, S. (Mitarbeit Schagen, J. P.): Entwicklung eines E-Learning-Moduls für ein ontologiegestütztes Case-based Reasoning Tool für das betriebliche Projektmanagement. Zugleich KI-LiveS-Projektbericht Nr. 8. Universität Duisburg-Essen (Campus Essen), Essen 2021.
- Nr. 55: Zelewski, S.; Schagen, J. P.: Case-based Reasoning als KI-Technik zur „intelligenten“, computergestützten Wiederverwendung von Erfahrungswissen im Projektmanagement. Zugleich KI-LiveS-Projektbericht Nr. 9. Universität Duisburg-Essen (Campus Essen), Essen 2022.