

Modellieren des Umgangs mit Wissen für Industrie 4.0

Norbert Gronau

Lehrstuhl für Wirtschaftsinformatik, Prozesse und Systeme, Universität Potsdam

Industrie 4.0, also die Verbindung cyber-physischer Systeme mittels Internet in Produktion und Logistik führt zu erheblichen Veränderungen im sozio-technischen System der Fabrik. Die Auswirkungen reichen von einem erheblichen Weiterbildungsbedarf, der durch den derzeitigen Fachkräftemangel noch verschärft wird, über eine Öffnung der bisher unzugänglichen Grenzen der Fabrik für Zugriffe Dritter, einer zunehmenden Verschmelzung von Büro-IT und Fertigungs-IT bis hin zu einer neuen Auffassung dessen, was Maschinen mit ihren Daten anfangen können. Daraus resultieren neue Anforderungen an die Modellierung, Analyse und Gestaltung von informationsverarbeitenden und die Leistungserstellung abbildenden Geschäftsprozessen.

In der Vergangenheit wurden unter der Bezeichnung „Prozessorientiertes Wissensmanagement“ Verfahren entwickelt, mit denen der Austausch und die Nutzung von Wissen in Geschäftsprozessen dargestellt, analysiert und verbessert werden konnte. Diese Ansätze blieben jedoch auf den Bürobereich beschränkt. Eine Methode, die es ermöglicht, die neuen Möglichkeiten der Wissensverarbeitung durch Einsatz von Künstlicher Intelligenz und Maschinellen Lernens in Produktion und Logistik in gleicher Weise und kompatibel zur Vorgehensweise im Büroumfeld zu dokumentieren, analysieren und gemeinsam zu optimieren, existiert bisher nicht. Einen Beitrag zum Schließen dieser Forschungslücke will die Erweiterung der Modellierungssprache KMDL leisten, die in diesem Beitrag beschrieben wird.

Dieser Beitrag beschreibt erste Ansätze für eine Analyse- und Gestaltungsmethode für ein Mensch und Maschine integrierendes Wissensmanagement im Zeitalter von Industrie 4.0.

1. Neue Anforderungen durch Industrie 4.0

Industrie 4.0 und die Verschmelzung der realen und der virtuellen Welt sind bereits ein Teil unseren Alltags geworden (Dorst 2012, S. 34-37). Die Vernetzung einzelner Gegenstände mit dem Internet, wie beispielsweise Alarmanlagen, Wärmeregulatoren oder Smartphones, ermöglicht es einerseits, mit diesen Gegenständen zu kommunizieren. Andererseits erledigen diese Gegenstände selbstständig verschiedene Aufgaben. Im Unternehmen wurden dazu weitere technische Entwicklungen und eine flächendeckende Vernetzung umgesetzt, die eine Integration von eingebetteten Systemen mit webbasierten Diensten in die Produktionsprozesse erlauben (Geisberger/Broy 2012, S. 7; Gronau 2014). Auf diese Weise können sich die technischen Entitäten in den Fabriken (gegenseitig) selbstständig regeln und steuern, Entscheidungen treffen, Informationen weiterschicken und aktuelle Umgebungsveränderungen einbeziehen.

Digitalisierte Arbeitsprozesse erfordern von den Mitarbeitenden in einer Industrie 4.0-Umgebung die Handlungskompetenz, fluiden Situationen auf Basis eigenen Wissens und der Fähigkeit, dieses in situationsspezifische Kontexte setzen zu können, adäquat begegnen zu können (Teichmann u.a. 2018). Dafür ist zuerst die Herausbildung eines umfassenden Prozessverständnisses (Spötl u.a. 2016) gegenüber digitalisierten Arbeitsumgebungen elementar. Erwachsene Lerner profitieren zudem vom Aufbau auf vorhandene Kenntnisse (Arnold 2010) und von nah am realen Arbeitsprozess angesiedelten Lerneinheiten (Dehnbostel 2010).

Eine weitere Wirkung der Digitalisierung in der Industrie ist die Despezialisierung (Gronau 2018). Durch die Verfügbarmachung von elektronischen Aufgaben Helfern und Assistenzsystemen werden Aufgaben, für die früher hervorragend ausgebildete Spezialisten benötigt wurden, durch weitgehende Laien zu erledigen sein. Beispielsweise sind Maschinen, die über Selbstregelungsfähigkeiten wie SPC (Statistische Prozesskontrolle) verfügen, auch von angeleiteten Mitarbeitern bedienbar. Diese Despezialisierung führt zu einem Verlust von Arbeitsplätzen für genau die Aufgaben, die vorher von Menschen wahrgenommen wurden und nun von Maschinen wahrgenommen werden können. Gleichzeitig entsteht aber eine erhebliche zusätzliche Nachfrage nach neuen Spezialisten für Aufgaben, die nicht durch automatisierte oder computerisierte Systeme abgebildet werden können.

Diese Despezialisierung bestehender Aufgaben führt daher zu einer gesteigerten Nachfrage nach neuen Spezialisten, wie in manchen Ballungsräumen zu sehen ist, in denen für IT-Spezialisten teilweise höhere Jahresgehälter gezahlt werden als für gestandene Universitätsprofessoren.

Geschäftsprozesse müssen vor diesem Hintergrund so gestaltet werden, dass sie sowohl die Kommunikationsaspekte, wie Machine-to-Machine-Communication (Baum et al. 2013, S. 10-13) und Human-Machine Interaction (Gronau, 2014), als auch die individuellen Kunden- und Lieferantenwünsche berücksichtigen. Neben der Entwicklung von Technologien und der Umstellung der Produktion müssen im organisatorischen Bereich die bestehenden Hemmnisse der Veränderungsfähigkeit erkannt und Wege gesucht werden, diese zu überwinden (Wiendahl et al. 2014, S. 163). Die Qualifikation der Führungs- und Arbeitskräfte spielt in diesem Zusammenhang eine wichtige Rolle, da der Automatisierungsgrad in den Produktionsprozessen zunimmt (Bettenhausen 2014). Notwendige schnelle und qualifizierte Entscheidungen in Störfällen bei Werkzeugen oder Prozessen können nur gut ausgebildete Spezialisten treffen (Hergesell 2014, S. 12-17).

1.1. Stärkerer Bedarf an Qualifizierung

Die Gestaltung komplexer Wertschöpfungsketten mit raschen Technologiewechseln, sich verkürzenden Produktionszyklen und einer Vielzahl von Schnittstellen zwischen den beteiligten Unternehmen und Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern (im Folgenden wird meist die männliche Form verwendet) erfordert kompetente Fachkräfte, die sich strukturiert und kreativ einbringen. Nur diese können aufgrund ihres umfangreichen Prozess- und Fachwissens gezielt und lösungsorientiert zur Optimierung von innerbetrieblichen und unternehmensübergreifenden Strukturen beitragen. Dies erfordert die partizipative Mitgestaltung von Arbeitsbedingungen und -prozessen entlang der gesamten Wertschöpfungskette unter Berücksichtigung der Perspektiven von Geschäftsführung und Führungskräften auf der einen Seite und Mitarbeitern sowie Betriebsrat auf der anderen Seite (Gronau u.a. 2015, S. 125).

Das erlernte Prozessverständnis ermöglicht es den Beschäftigten zudem, ihre jeweils individuellen Erfahrungen in unterschiedliche Arbeitsprozesse einzubringen und damit sozialverträgliche Innovationen am Arbeitsplatz zu generieren. Gleichzeitig sollten sie die Möglichkeit erhalten, zu lernen, ihr persönliches Kompetenzprofil berufsbegleitend weiterzuentwickeln, sich Qualifikationen angrenzender Berufsfelder anzueignen oder soziale sowie methodische Kompetenzen zu erwerben. Nur so kann den Industrie 4.0-induzierten Veränderungen durch neue Qualifikationen bei den Mitarbeitern erfolgreich begegnet werden.

Das Verständnis eines umfassenden Kompetenzmanagements orientiert sich entlang der gesamten Wertschöpfungskette, mit Fokus auf Aktivierung und Integration aller intra- und interindividuellen sowie unternehmensspezifischen Kompetenzen. Dazu wird ein geeigneter Erfassungs-, Analyse- und Gestaltungsansatz benötigt.

1.2. Wissen von Maschinen berücksichtigen

Bisher wird für die Definition von stillschweigendem Wissen das von Davenport vorgeschlagene Set an Kriterien angewendet, das aus Informationen fachlicher Einsicht, Wertvorstellungen, Erfahrungen und Kontext besteht (Davenport und Prusak, 1998; Gronau, 2009). Herkömmliche Konzepte zur Unterscheidung von stillschweigendem und expliziten Wissen (Polanyi, 1966) oder des Umgangs mit Wissen, wie das SECI-Model (Nonaka und Takeuchi, 1995), verorten stillschweigendes Wissen ausschließlich bei menschlichen Wissensträgern. Dies ist aufgrund der Durchdringung von Organisationen und deren Leistungserstellungsprozessen mit cyber-physischen Systemen (Lee et al., 2014; Gronau 2015b) als selbstorganisierende und entscheidungsfähige technische Entitäten nicht mehr zeitgemäß. Entscheidungskompetenzen liegen nun auch bei technischen Akteuren. Digitalisierung, Virtualisierung und das Internet der Dinge forcieren wesentliche Veränderungen der Rollen der Mitarbeiter sowie der technischen Akteure. Maschinen und Anlagen sowie Produkte nehmen Daten ihrer Umwelt mittels Sensoren auf, verarbeiten diese und greifen mithilfe von Aktoren in ihre Umwelt ein. Daten werden an Informationssysteme - die wiederum empfangen, verarbeiten und versenden - weitergeleitet; analog der Aufnahme, Verarbeitung und Versendung von Informationen beim Menschen. Das „Verarbeiten“ inkludiert dabei sowohl die Verwendung von Informationen entsprechend vordefinierter Regeln und einem vorgegebenen Raum alternativer Lösungspfade und -möglichkeiten (Inferenz) als auch das (kreative) Erschließen von Sachverhalten und Lösungen über vorgegebene Strukturen hinweg mit vorab nicht bestimmten Ergebnis (Intelligenz; vgl. Turing, 1950). Wissen als „zweckorientierte Vernetzung von Informationen“ (Rehhäuser und Krcmar, 1996, S. 5) befähigt Akteure zum Handeln und zur Entscheidungsfindung. Es bereitet diese vor und ist ein wesentlicher Baustein, um Kompetenzen auszubilden. Diese vernetzten Informationen bestehen aus Daten mit entsprechender Semantik sowie Daten in einer vordefinierten Syntax. Mit gegenwärtig vorhandener Technik sind sowohl menschliche als auch technische Akteure in der Lage, Zeichen, Daten, Informationen und auch Wissen zweckorientiert zu verarbeiten.

Als technische Akteure werden dabei alle Einheiten in Produktions- oder Logistikprozessen betrachtet, die als Cyber-physische Systeme aufgefasst werden können, weil sie über große Fähigkeiten zur Verarbeitung von Informationen verfügen und miteinander vernetzt sind.

Dementsprechend liegt es nahe, nunmehr auch technischen Entitäten als potenzielle Wissensträger zu begreifen und behandeln. Im Zeitalter der immer intensiver die Wertschöpfungsprozesse durchziehenden cyber-physischen Systeme können demzufolge einige der in den herkömmlichen Konzepten aufgestellten Kriterien

für das personengebundene Wissen inzwischen auch Maschinen zugeschrieben werden. Dabei handelt es sich um die Aspekte der fachlichen Einsicht in die jeweilige spezielle Domäne und die Erfahrung, die eine Maschine durchaus beispielsweise durch Verfügbarmachung eines Case-Based-Reasoning Werkzeugs aufweisen kann.

1.3. Operationalisieren von Wissen

In den meisten Modellierungsansätzen für wissensintensive Geschäftsprozesse war die Abbildung von Wissen bisher rein qualitativ. So bewertete Sultanow et al. (2012) 13 verschiedene Ansätze zur Modellierung von Geschäftsprozessen, u.a. aus einer wissensorientierten Perspektive. Die meisten untersuchten Ansätze beherrschten lediglich das Mapping von Wissen, etwa durch Aufzeigen von Wissenslandkarten oder Topic Maps. Zwar war häufig eine semantische Aggregation möglich (z.B. Java -> Programmiersprache), aber eine präzisere quantitative Modellierung des Wissens, z.B. für dessen Einbeziehung in Simulationsmodelle, war nicht möglich.

So war in der Knowledge Modeling and Description Language (KMDL) bis Version 2 nur die Angabe eines einzelnen Wissensniveaus als Attribut eines Wissensobjektes möglich. Das wurde als unbefriedigend angesehen, da Wissen häufig konstruktivistisch erklärt wird und daher auch mit mehreren voneinander unabhängigen Beurteilungsmaßstäben eingeschätzt werden sollte.

2. Modellierung wissensintensiver Prozesse mit KMDL

Eine der Modellierungstechniken, die Wissen von Personen als gesonderte Objekte in Geschäftsprozessen ausdrückte, war die Knowledge Modeling and Description Language (KMDL). Ihre Entwicklung begann vor mehr als 10 Jahren. Mit dem Versionsstand 2.1 liegen sehr umfassende Praxiserfahrungen in unterschiedlichen wissensintensiven Prozessen in Bereichen der Softwareentwicklung, Produktentwicklung, Innovationsmanagement, Qualitätsmanagement und vielen anderen vor.

Die Methode der Knowledge Modeling and Description Language (KMDL) wurde zur Modellierung, Analyse und Bewertung wissensintensiver Geschäftsprozesse bzw. wissensintensiver Anteile von Geschäftsprozessen entwickelt.

Die KMDL ist eine semiformale Modellierungssprache, die auf einer eindeutig festgelegten Symbolmenge sowie einer vorgegebenen Syntax basiert. KMDL in der Version 2 ist z.B. in (Gronau 2014b) ausführlich beschrieben worden. Die KMDL dient der Analyse, Modellierung und Bewertung von wissensbasierten Geschäftsprozessen, indem neben den Ablauf- und Informationsaspekten auch personenge-

bundenes Wissen, Anforderungen an wissensintensive Aufgaben sowie die Umwandlungsmechanismen (genannt Konversionen) zwischen den Wissensarten berücksichtigt werden.

Konversionen stehen im Mittelpunkt des Konzeptes der KMDL. Ausgehend von der Annahme, dass sich das personengebundene Wissen einer direkten Erfassung entzieht, setzt KMDL dort an, wo das personengebundene Wissen seine Form wechselt oder gewonnen wird. KMDL stellt Beschreibungsmechanismen zur Verfügung, um z.B. die Internalisierung von Wissen durch Lesen eines Textes, die interpretierende Extraktion durch fachkundiges Analysieren eines physischen Gegenstandes oder die Externalisierung durch Verfassen eines Textes aus dem Gedächtnis heraus deutlich zu machen. Auch die vielleicht bedeutendste Konversion, die Sozialisierung, beschreibt den direkten Austausch von Wissen zwischen Menschen durch Kommunikation, Beobachtung oder Nachahmung. Erst mit Berücksichtigung dieser Konversionen wird es möglich, auch personengebundenes Wissen in die Gestaltung von Geschäftsprozessen einzubeziehen.

Während bisherige Modellierungsmethoden überwiegend den Daten- und Kontrollfluss in Geschäftsprozessen fokussieren, ermöglicht die KMDL eine Erfassung, Erzeugung und Verteilung von Wissen entlang der Geschäftsprozesse. Dieser Aspekt gestaltet eine erweiterte Analyse der Geschäftsprozesse im Hinblick auf die Verarbeitung von Wissen und bietet damit Ansatzpunkte zur Verbesserung der Wissensarbeit im Unternehmen (Gronau, Fröming 2006).

KMDL wurde entwickelt, weil andere Konzepte zur Modellierung und Analyse von Geschäftsprozessen den Anforderungen eines an Geschäftsprozessen orientierten Wissensmanagements nicht ausreichend gerecht wurden (Sultanow u.a. 2012). Zumeist verfügen sie nicht über die Möglichkeit zur Darstellung von personengebundenem Wissen, zur Darstellung von Anforderungen an die erfolgreiche Umwandlung zwischen unterschiedlichen Wissensarten und zur Verknüpfung von Maschinenwissen mit dem personengebundenen stillschweigenden Wissen.

2.1. Wissen in KMDL 2

Die Betrachtung von stillschweigendem (engl. tacit) und explizitem Wissen in der KMDL zielt auf die Beschreibung der unterschiedlichen Artikulierbarkeit von Wissen (Polanyi 1966).

Stillschweigendes Wissen

Stillschweigendes Wissen ist für den Menschen häufig unbewusst und liegt im Verborgenen (Renzl 2004). Es besteht aus komplexen Elementen wie z. B. Erfahrungen und äußert sich intuitiven Prozessen. Die unbewusste Anwendung stillschwei-

genden Wissens führt dazu, dass dieses nur begrenzt formal artikuliert bzw. transferiert werden kann (Faber 2007). Stillschweigendes Wissen ist damit stark personenabhängig.

Explizites Wissen

Explizites Wissen ist jener Wissensbestandteil, der in einer formalen und systematischen Sprache formuliert sowie leicht übertragen und ausgetauscht werden kann (Rehäuser, Krcmar 1996). Das explizite Wissen ist damit reproduzierbar, da es der organisationalen Wissensbasis zugänglich gemacht werden kann (Hasler Roumois 2010). Es ist personenunabhängig und wird häufig auch als „disembodied knowledge“ (Bleckler 1995) beschrieben. Im Verständnis der KMDL wird explizites Wissen mit Information gleichgesetzt (Gronau, Fröming 2006).

2.2. Die Weiterentwicklung zu KMDL 3

Die mit KMDL 2 gemachten Erfahrungen zeigen, dass eine Erweiterung und Anpassung der Modellierung erforderlich ist, um den aktuellen Anforderungen gerecht werden zu können. Tabelle 1 zeigt die Veränderungen von KMDL 2 zu KMDL 3 im Überblick.

Tabelle 1: Veränderungen von KMDL 2 zu KMDL 3

	KMDL 2	KMDL 3
Objekte der Prozessperspektive		
Aufgabe	✓	✓
Operatoren	✓	✓
Prozessschnittstelle	✓	✓
Informationssystem	✓	✓
Rolle	✓	✓
Physisches Objekt	✗	✓
Informationsobjekt	✗	✓
Maschine	✗	✓
Objekte der Wissensperspektive		
Aktivität	✓	✓
Wissensobjekt	✓	✓
Anforderung	✓	✓
Person, Team	✓	✓
Informationsobjekt	✓	✗
Methode, Funktion	✓	✗
Maschinenwissen	✗	✓
Konversionen der Wissensperspektive		
Internalisierung	✓	✓

Externalisierung	✓	✓
Sozialisierung	✓	✓
Kombination	✓	✗
Interpretierende Extraktion	✗	✓
✓ = enthalten ✗ = nicht enthalten		

Um den Lesefluss nicht durch Diskussion der Unterschiede zwischen KMDL 2 und 3 zu stören, wird im folgenden ein Überblick über den Stand von KMDL 3 gegeben. Veränderungen zur Vorversion werden an geeigneten Stellen erläutert.

Im wesentlichen beziehen sich die Veränderungen auf die Verbesserung der Abbildung des Umgangs mit physischen Objekten, die vorher nicht dargestellt werden konnten. Um den Umgang mit personengebundenem Wissen deutlicher als bisher von der maschinellen Aggregation von Informationen abzugrenzen, wurde das Informationsobjekt in die Prozessperspektive verschoben. Damit wurde eine Äquivalenz zu den übrigen Prozessmodellierungsmethoden geschaffen. Als Konsequenz musste die Konversionsart „Kombination“ in der Wissensperspektive entfallen. Um den Gewinn von personengebundenem Wissen aus der Betrachtung physischer Objekte darstellen zu können, wurde die Konversionsart "interpretierende Extraktion" neu eingeführt.

Eingebettetes Wissen

In KMDL 3.0 kommt eingebettetes Wissen hinzu. Eingebettetes Wissen oder Embodied Knowledge ist dasjenige personenbezogene Wissen, welches sich in von Menschen geschaffenen Objekten manifestiert. Die Konversion vom stillschweigenden zum eingebetteten Wissen wird als Engineering bezeichnet.

Unter Embodied Knowledge werden diejenigen physischen Objekten innewohnenden Attribute verstanden, die durch fachkundige Betrachtung dem Objekt wieder entnommen werden und in stillschweigendes Wissen umgewandelt werden können. Diese Konversion wird als interpretierende Extraktion bezeichnet.

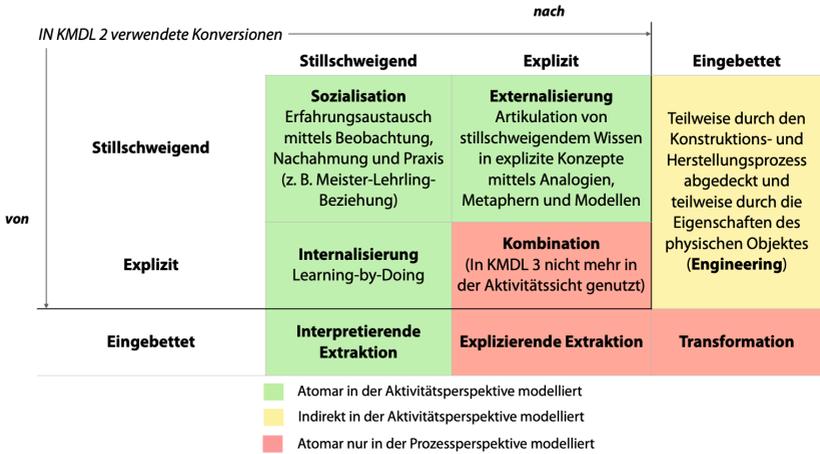


Abbildung 1: Unterschiedliche Arten der Wissensumwandlung

Physische Objekte sollten bei der Modellierung wissensintensiver Aktivitäten berücksichtigt, wenn sie Embodied Knowledge enthalten oder in ihnen Embodied Knowledge erzeugt wird. Beurteilungsmaßstab ist der Zweck der Modellierung. Abb. 1 zeigt einen Überblick über die in KMDL 3.0 erweiterten Konversionsarten.

In der KMDL werden prinzipiell zwei Perspektiven eingenommen, die Prozessperspektive und die Wissensperspektive. Während die Prozessperspektive den Geschäftsprozessablauf sowie Konzepte zur Abbildung organisationaler Beziehungen betrachtet, stehen in der Wissensperspektive Konzepte zur Erfassung des Umgangs mit personengebundenem Wissen im Fokus. Neben dem unterschiedlichen Blickwinkel wird zwischen diesen beiden Perspektiven auch die Abstraktionsebene variiert. Die Prozessperspektive betrachtet wissensintensive Geschäftsprozesse auf einer aggregierteren Ebene als die Wissensperspektive, die die zur Aufgabenerfüllung notwendigen Wissensflüsse und -umwandlungen detailliert abbildet und so einer Untersuchung zugänglich macht.

Die beiden Perspektiven beinhalten mehrere Sichten, mit Hilfe derer einzelne Aspekte durch Ausblendung einzelner Modellierungsobjekte genauer betrachtet werden können (Abb. 2).

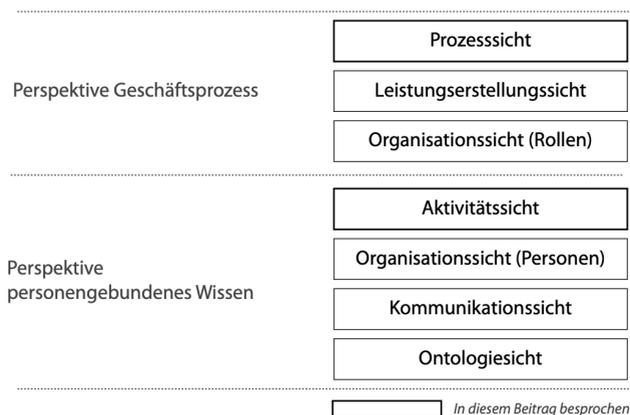


Abbildung 2: Perspektiven in KMDL und Sichten innerhalb der jeweiligen Perspektive

Die Prozesssicht selbst beschreibt den Ablauf eines Geschäftsprozesses. Die Leistungserstellungssicht beschreibt den Ablauf der Erstellung von physischen Produkten innerhalb der betrachteten Organisation. Die rollenbezogene Organisationssicht beschreibt den hierarchischen Aufbau der Organisation, also die Über- und Unterordnung sowie funktionale Gliederung der Organisationseinheiten. Die Wissensperspektive beinhaltet ebenfalls eine Organisationssicht, jetzt jedoch auf Ebene der Personen, denn diese sind Träger des personengebundenen Wissens, nicht die Rollen. Die Zuordnung zum Prozess wird durch die Aktivitätssicht geleistet, die als wissensintensiv erkannte Aufgaben weiter detailliert. Eine Kommunikationssicht geht auf die besondere Rolle der Sozialisierung als wesentliches Mittel des Wissensaustauschs zwischen Personen ein. Gerade diese Konversion wird bei der klassischen Geschäftsprozessmodellierung unberücksichtigt gelassen. Dies ist einer der Gründe, warum sich klassische Geschäftsprozessmodellierung nicht für die Analyse und Gestaltung von Wissensmanagement in der Organisation eignet.

2.3. Die Prozessperspektive von KMDL

Die KMDL-Prozessperspektive besteht aus allen erforderlichen Notationselementen, um die Vorgänge eines leistungserstellenden Prozesses modellieren zu können (Abb. 3).

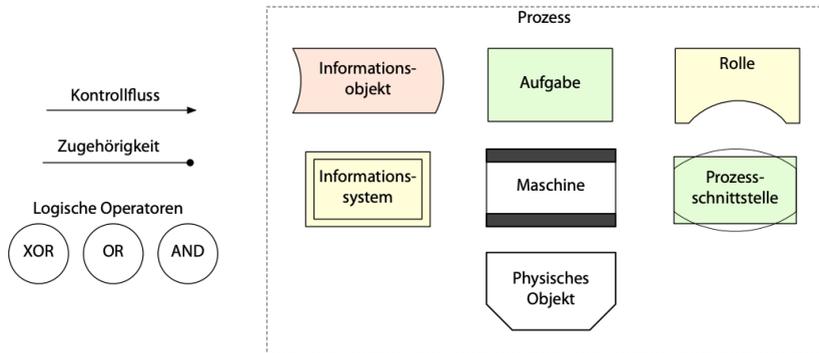


Abbildung 3: Symbole für die Prozessperspektive (Gronau 2020, S. 18)

Ein **Prozess** dient als Container bzw. Rahmen für eine endliche Anzahl von Objekten der KMDL-Prozesssicht. Zur Beschriftung eines Prozesses werden Substantive verwendet, beispielsweise Softwareentwicklung oder Projektfinanzierung.

Eine **Aufgabe** steht für eine Menge von Aktivitäten, die auf der Prozessebene nicht weiter betrachtet werden. Aufgaben können sich im Prozess wiederholen und dienen der Strukturierung von Prozessen. Eine Aufgabe repräsentiert einen geschlossenen Sachverhalt im Prozess. Um die Wissensperspektive zu erschließen, werden wissensintensive Aufgaben im Prozess identifiziert und dann durch Aktivitäten detaillierter modelliert werden. Zur Beschriftung von Aufgaben gilt die Vorgabe Objekt-Verb. Das Verb steht dabei immer im Präsens, beispielsweise Software testen oder Rohstoffe beschaffen.

Jeder Aufgabe auf Prozessebene wird mindestens eine **Rolle** zugeordnet, die für die Bearbeitung der Aufgabe zuständig ist. Die Belegung einer Rolle mit einer oder mehreren Personen erfolgt in der Wissensperspektive. Rollen werden personenneutral bezeichnet. Es werden keine Namen benannt, sondern nur die Rollen der Personen beschrieben, in der diese an der Aufgabe im Prozess beteiligt sind. Es können auch Gruppen von Personen mit der Abteilung als Rolle dargestellt werden, beispielsweise Entwickler oder Produktion

Ein **Informationssystem** repräsentiert Informations- bzw. Kommunikationstechnologie, die im Prozess eingesetzt wird. Informationssysteme können durch Algorithmen wie Sortieren, Kombinieren oder die Berechnung von mathematischen Funktionen Informationsobjekte erzeugen bzw. bearbeiten.

Prozessschnittstellen dienen dem Zusammenfügen einzelner Prozesse zu Prozessketten. Prozessschnittstellen bieten darüber hinaus die Möglichkeit einer prozessübergreifenden Auswertung und Verbesserung der modellierten Wissenskonversionen.

Verknüpfungsoperatoren dienen der Abbildung folgender möglicher Sachverhalte von Aufgaben:

- Entscheidung: Exklusives Oder (XOR), wenn nur eine der angegebenen Optionen möglich sein soll,
- Option: Logisches Oder (OR), wenn mehrere Optionen möglich sind,
- Verknüpfung: Logisches Und (AND), wenn Aufgaben parallel ausgeführt werden sollen

Der **Kontrollfluss** verbindet Aufgaben miteinander bzw. mit Verknüpfungsoperatoren und gibt die Reihenfolge an, in der die Aufgaben ausgeführt werden.

Informationen werden als **Informationsobjekt** modelliert. Informationen können dabei sowohl als Text, Zeichnung oder Diagramm auf Papier als auch in elektronischer Form, in Dokumenten, Audiodateien, Bitmaps oder Videoformaten existieren. Informationen bestehen unabhängig von Personen und können explizierbares Wissen von Personen enthalten. Als Beispiele für Informationsobjekte können eine Rezeptur oder eine SOP (Standard Operating Procedure) genannt werden.

Physische Objekte werden modelliert, wenn sie für den Zweck der Modellierung erforderlich sind. Sie können eingebettetes Wissen enthalten. Nicht nur für die Prozessperspektive ist es wichtig, diese Objekte zu modellieren. So kann z.B. in der Wissenssicht der Wissensgewinn aufgezeigt werden, wenn eine Expertin ein physisches Objekt untersucht. Dabei wird angenommen, dass physische Objekte Wissen enthalten, das durch geeignete Untersuchungsmethoden gewonnen werden kann. Ebenso kann aufgezeigt werden, welches Wissen notwendig ist, um ein physisches Objekt zu erstellen bzw. zu produzieren. Im Zeitalter cyber-physischer Produktionssysteme können auch Maschinen als Informationsträger dienen. Es hat sich aufgrund der Datenverarbeitungsfunktion der

Maschinen als sinnvoll herausgestellt, diese mit einem gesonderten Symbol zu modellieren, da sie anders als Informationssysteme auch eine physische Repräsentation aufweisen.

2.4. Die Wissensperspektive von KMDL

Die KMDL-Wissensperspektive stellt verschiedene Notationselemente zur Verfügung, um den Umgang mit Wissen innerhalb einer Aufgabe modellieren zu können. Die Objekte der Wissensperspektive sind in Abb. 4 dargestellt.

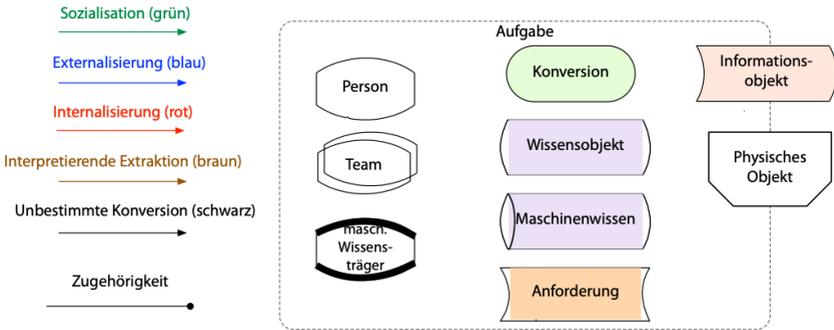


Abbildung 4: Objekte der Wissensperspektive von KMDL

Die **Aufgabe** gibt den Bezug zwischen den Wissenskonversionen in der Wissensperspektive und der Prozessperspektive an. Eine Aufgabe in der Aktivitätssicht ist eine Referenz auf eine Aufgabe aus der Prozesssicht. Die Bezeichnungen der Aufgabe werden aus dem Prozessmodell übernommen.

Wissensobjekte sind Artefakte, die das Wissen einer Person oder eines Teams repräsentieren. Das Wissensobjekt umfasst die Abbildung der Kompetenzen, Erfahrungen, Fähigkeiten und Einstellungen der Person bzw. des Teams. Wissensobjekte können Input- oder Outputobjekte von Konversionen sein. Ist ein Wissensobjekt Inputobjekt einer Konversion, so trägt dessen Inhalt zur Konversion bei, ist es Outputobjekt der Konversion, so ist es ein Resultat der Konversion. Wissensobjekte werden an eine Person oder ein Team modelliert. Jedes so modellierte Wissensobjekt deutet an, dass diese Person dieses Wissen besitzt.

Das Objekt Maschinenwissen wurde neu in KMDL 3 eingefügt, um die stark gewachsenen Möglichkeiten technischer Entitäten, Daten auszuwerten und Zusammenhänge zu erkennen und dadurch z.B. Erfahrungen zu erlangen, ebenfalls in KMDL ausdrücken zu können. Wenn heute die Generierung, Verarbeitung und Nutzung von Wissen, z.B. im Produktionsbereich, untersucht wird, so muss

gleichberechtigt neben das Wissen der Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter das Vermögen der Maschinen und anderer technischer Entitäten treten, Wissen zu erwerben und abzugeben. Wenn z.B. technische Entitäten über die Fähigkeit des Machine Learning (Windt u.a. 2011, Freitag u.a. 2015) verfügen, dann soll das genauso darstellbar und analysierter sein wie das Wissen einer Person. Deshalb wurde in KMDL 3 Wert darauf gelegt, das Wissen von Maschinen in gleicher Weise operationalisierter und bewertbar zu machen wie das Wissen von Menschen.

Konversionen beschreiben die Erzeugung, Anwendung und Verteilung von Wissen und die Erzeugung, Verteilung und Bewahrung von Informationen. Sie besitzen Input- und Outputobjekte, welche durch Informations- bzw. Wissensobjekte dargestellt sind. Die Konversionsart und der Konversionstyp sind durch die Input- und Outputobjekte einer Konversion eindeutig bestimmt. Die Kanten einer Konversion zwischen den Input- und Outputobjekten werden mit einem Konversionsnamen belegt oder sind unbestimmt. Die Frequenz einer Konversion kann als Attribut angegeben werden. Konversionen werden stets über Wissens- und Informationsobjekte als Eingangs- bzw. Ausgangsobjekte miteinander verbunden. Eine direkte Verknüpfung zweier Konversionen ist sachlogisch falsch, da die Bedeutung der Konversion als Deskriptor der Wissensumwandlung verloren geht.

Aktivitäten beschreiben wissensintensive Aufgaben. Aus der Aufgabe "Rezeptur erstellen" können z.B. folgende Aktivitäten abgeleitet werden, in denen personenbezogenen oder Maschinenwissen zur Erledigung der Aufgabe genutzt wird: Rohstoffe bestellen, Rohstoffe prüfen, Testprodukt erstellen.

Die auf Wissen bezogenen **Anforderungen**, die an eine Konversion gestellt werden, um diese erfolgreich durchführen zu können, werden durch das Objekt „Anforderung“ erfasst. Anforderungen können durch das Wissen von Personen oder Teams abgedeckt werden. Eine Anforderung kann differenziert werden werden in fachliche, methodische, soziale und handlungsorientierte Aspekte.

Das Objekt **Person** repräsentiert eine real existierende Person oder im Falle eines Sollmodells eine ideale Person in einer Organisation, die Aufgaben in einem Geschäftsprozess durchführt und dabei eine oder mehrere Rollen einnimmt. Personen sind Wissensträger. Personen werden als Wissensträger mit der Kante "Zugehörigkeit" an das Wissensobjekt modelliert.

Ein **Team** repräsentiert eine Gruppe von Personen, die zusammen an einer wissensintensiven Aufgabe arbeiten. Teams sind ebenfalls Wissensträger. Das an ein Team modellierte Wissen (in Form von Wissensobjekten) repräsentiert das kollektive Wissen des Teams. Das kollektive Wissen eines Teams besteht aus der Gesamtheit des Wissens aller Individuen des Teams und zusätzlich aus dem Wissen,

welches durch die Gruppe existiert, wie beispielsweise Verhaltensregeln oder Ansätze zur Problemlösung. Das Teamelement wird verwendet, wenn die Kriterien gut modelliert werden können und wenn die Gruppendynamik im Team nicht modelliert werden soll. In letzterem Fall müssten die Mitglieder des Teams betrachtet werden. Hat eine Person einen besonderen Einfluss in der Gruppe, wird diese separat modelliert. Die Ausprägungen der Wissensobjekte werden durch die Modellierenden für die gesamte Gruppe bewertet.

Die Konversionstypen beschreiben die Art der Wissensumwandlung

- Sozialisation
- Externalisierung
- Internalisierung
- Interpretierende Extraktion
- undefiniert

Anders als in KMDL 2 werden Kombinationen nicht mehr als Konversionen der Wissensperspektive angesehen. Die Kombination von Informationen ist ab KMDL 3.0 ein Vorgang, der in der Prozessperspektive dargestellt wird. Dadurch kann in der Wissensperspektive besser erklärt werden, welches Wissen dafür notwendig ist, um erfolgreich aus Eingangsinformationen Ausgangsinformationen zu gewinnen.

3. Nutzung für Industrie 4.0

KMDL in der Version 3 bringt zahlreiche neue Möglichkeiten, um den Anforderungen der 4. industriellen Revolution gerecht zu werden (Gronau 2020):

- Ableitung von Qualifizierungsbedarfen
- Maschinen können Wissen aufweisen
- Operationalisierung von Wissen

Diese neuen Möglichkeiten, die von der Forschungsgruppe Wissen, Lernen, Weiterbildung der Universität Potsdam und des Weizenbaum-Instituts für die vernetzte Gesellschaft in jahrelanger konzeptioneller Arbeit definiert wurden, werden im folgenden kurz dargestellt.

3.1. Ableitung von Qualifizierungsbedarf

Mittels eines KMDL-Modells der Aktivitätssicht kann z.B. der individuelle Weiterbildungsbedarf einer Person die eine Rolle ausfüllt, erkannt werden (Abb. 5).

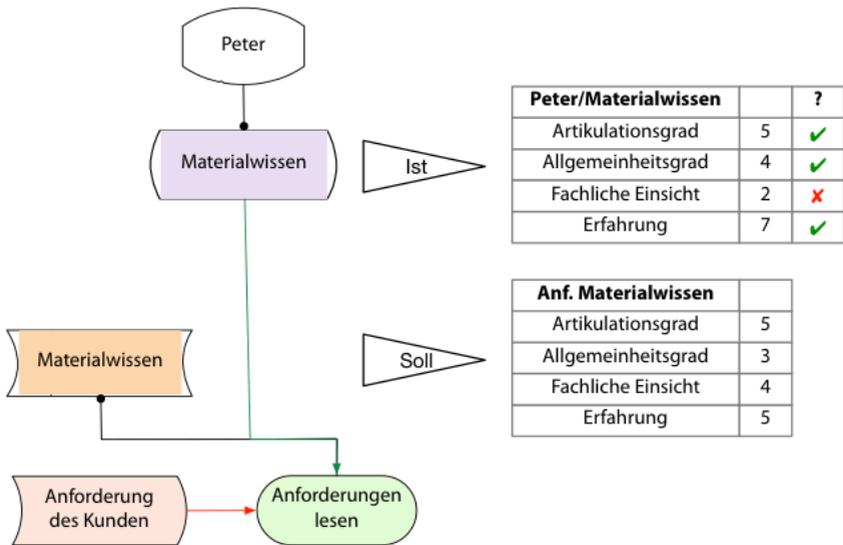


Abbildung 5: Erkennen des individuellen Weiterbildungsbedarfs

Durch die verbesserte Operationalisierung von Wissen kann der Umfang der notwendigen Qualifizierungsmaßnahmen eingeschätzt werden. Damit wird es möglich, die persönlichen Profile der Mitarbeiter mit notwendigen - und dann auch erfolgreich abzuschließenden - Personalentwicklungsmaßnahmen zu verbinden.

Der Ausschnitt in Abb. 5 zeigt, dass zur Interpretation der Anforderung des Kunden (diese liegt als Information vor) Materialwissen erforderlich ist (die orangefarbene Anforderung). Um den Weiterbildungsbedarf nun ermitteln zu können, ist eine Operationalisierung der Wissensobjekte erforderlich, deren Konzept im folgenden Abschnitt beschrieben wird.

3.2. Operationalisierung von Wissen

Um Wissen operationalisieren zu können, wurden fünf Beurteilungskriterien für Wissen festgelegt (Gronau 2020), der Artikulationsgrad bzw. der Interpretationsgrad, der Allgemeinheitsgrad, der Grad an fachlicher Einsicht und der Grad an Erfahrung der Träger dieses Wissens.

Artikulation und Interpretation

Bei der Beschreibung der Artikulation wurden mehrere Ansätze aus der Literatur einbezogen. Neuweg (2005) differenziert vier Abstufungen stillschweigend, nicht verbalisierbar, nicht formalisierbar, erfahrungsgebunden. Nonaka (mit von Krogh 2009) spannt dazu lediglich eine Bandbreite auf von stillschweigend zu explizit und umgekehrt. Cowan et al. (2000) unterscheidet nur drei Stufen articulated, unarticulated und inarticulable. Die Stufe „unarticulated“ wird darüber hinaus noch differenziert, ob eine Erschließung möglich ist (z.B. durch ein Codebuch) oder nicht (wenn z.B. kein Codebuch existiert).

Der Artikulationsgrad ist die in Zahlen ausgedrückte Fähigkeit, Sachverhalte zu einem Wissensobjekt in Worte, Sätze und Aussagen zu fassen. Die Ausdrucksdimension stellt den Artikulationsgrad als Kontinuum dar und liegt zwischen den polaren Ausprägungen stillschweigend (0) und explizit (10).

Der Artikulationsgrad steigt, wenn das eigene mentale Modell zu einem Wissensobjekt der Umwelt und sich selbst gegenüber transparenter wird. Der Artikulationsgrad einer Person unterscheidet sich je nach Wissensobjekt. Es wird davon ausgegangen, dass der Artikulationsgrad durch eine Konversion nicht sinken kann.

Eine Artikulation findet nur statt, wenn das Wissensobjekt eines Wissensträgers als Input in eine Konversion eintritt. Daher muss es ein Äquivalent zum Artikulationsgrad für den Empfang von Wissen zur Internalisierung geben. Dieses Äquivalent ist der Interpretationsgrad. Artikulations- und Interpretationsgrad eines Wissensträgers für ein Wissensobjekt sind voneinander unabhängig - jemand, der gut erklären kann, muss nicht sehr gut in der Aufnahme neuen Wissens sein und umgekehrt.

Der Interpretationsgrad ist als die in Zahlen ausgedrückte Fähigkeit definiert, artikulierte Sachverhalte aufzunehmen, zu erschließen und zu interpretieren, sodass das Wissensobjekt im besten Fall vollständig internalisiert werden kann.

Es besteht die Annahme, dass der Interpretationsgrad ohne weiteres nicht höher sein kann als der Artikulationsgrad. Eine Ausnahme wäre, wenn in Zusammenwirkung mit anderen Merkmalen des Wissensobjektes, z.B. der fachlichen Einsicht eine bessere Interpretation ermöglicht wird.

Allgemeinheitsgrad

Der Allgemeinheitsgrad eines Wissensobjektes ist seine in Zahlen ausgedrückte Spezifität. Diese Formdimension stellt den Allgemeinheitsgrad des Wissens als Kontinuum dar und liegt zwischen den polaren Ausprägungen partikular (0) und generell (10). Ein hoher Allgemeinheitsgrad heißt bessere Übertragbarkeit zu Personen mit anderen Hintergründen. Ein niedriger Allgemeinheitsgrad deutet auf

hoch spezifisches/klebriges Wissen hin, das schwieriger an Personen mit anderen Hintergründen zu übertragen ist. Bei Personen mit gleichem Hintergrund ist die Übertragung effektiver oder einfacher. Eine umfassende Untersuchung der Bedingungen bei der Übertragung von Wissen und des Einflusses der Klebrigkeit ist in Gronau und Grum (2019) zu finden.

Grad der fachlichen Einsicht

Der Grad der fachlichen Einsicht beschreibt die intellektuelle Durchdringung der Materie zu einem Wissensobjekt durch einen Wissensträger. Er liegt zwischen den polaren Ausprägungen unwissend (0) und im Besitz allen zu diesem Wissensobjekt vorhandenen Wissens (10). Der Grad der fachlichen Einsicht steigt, wenn Neues intellektuell wahrgenommen, dessen Relevanz erfasst und es in bestehendes Wissen integriert wird.

Es wird angenommen, dass der Grad der fachlichen Einsicht nicht durch eine Wissenskonversion sinken kann. Wenn jemand sich jedoch lange mit der Materie nicht befasst hat, kann der Grad seiner fachlichen Einsicht sinken. Es wird hier ein S-kurvenförmiger Verlauf unterstellt (logistische Funktion).

Erfahrung

Erfahrung wird definiert als für das Arbeitsumfeld relevantes, subjektives Wissen, das über die Zeit durch einen Wissensträger erworben wurde (Quinones 1995). Erfahrung erwächst aus der praktischen Auseinandersetzung mit einem Gegenstand und liegt zwischen den polaren Ausprägungen unerfahren (0) und höchst erfahren (10). Dabei wird Intensität und Dauer der praktischen Auseinandersetzung bewertet.

Der Grad der Erfahrung nimmt mit Dauer und Intensität der praktischen Auseinandersetzung zu.

Analog zur fachlichen Einsicht wird angenommen, dass der Grad der Erfahrung sinkt, wenn Dauer und Intensität der praktischen Auseinandersetzung zurückgefahren werden.

Für alle Quantifizierungskriterien stehen Tabellen zur Verfügung, die dem Modellierer eine Einschätzung erleichtern (Gronau 2020).

3.3. Personenwissen und Maschinenwissen

Moderne im Fertigungsbereich eingesetzte Maschinen verfügen durchaus über einige Fähigkeiten zur Auswertung der von ihnen erzeugten Daten, die es sinnvoll erscheinen lassen, dies als Wissen zu bezeichnen. Dazu wurde in KMDL 3 ein Objekt eingefügt, das das Wissen einer Maschine mit den gleichen Operationalisierungsmöglichkeiten wie das Wissen eines Menschen ausstattet. So können auch

die Wechselbeziehungen zwischen Maschinenwissen und personengebundenem Wissen analysiert werden und in Konzepte des betrieblichen Wissensmanagements aufgenommen werden.

Im vorigen Abschnitt wurden die Kriterien Artikulations- bzw. Interpretationsgrad, Allgemeingrad, fachliche Einsicht und Erfahrung differenziert und deren Ausprägungen durch eine zehnstufige Skala operationalisiert. Angesichts der zunehmenden Verbreitung cyber-physischer Systeme mit ihrem großen Datenspeicher und umfassenden analytischen und prognostischen Verarbeitungsfähigkeiten können diese Einstufungsmerkmale auch für das von Maschinen abrufbare Maschinenwissen angewandt werden:

Der Artikulationsgrad beschreibt in diesem Fall, welches Erklärungsvermögen das cyber-physische System aufweist, um seine Entscheidungsvorschläge zu erläutern. Dieses Erklärungsvermögen kann z.B. bei bestimmten KI-Techniken wie Neuronalen Netzen sehr gering ausgeprägt sein, bei anderen (z.B. regelbasierte Systeme) sehr groß.

Ebenso kann der Interpretationsgrad anzeigen, wie umfangreich die in dem maschinellen Wissensträger vorhandenen analytischen und prognostischen Fähigkeiten ausgeprägt sind.

Der Allgemeingrad ermöglicht auch bei Maschinenwissen eine Einschätzung der Reichweite der dort abgebildeten Wissensdomäne.

Ebenso können zumindest die ersten Stufen der fachlichen Einsicht auch auf Maschinenwissen angewandt werden. Allerdings erscheinen gegenwärtig Einstufungen größer als 6 noch unwahrscheinlich.

Die Erfahrung schließlich lässt sich bei Maschinenwissen zumindest auf der Basis des Zeitraums, für den auswertbare Daten vorliegen, einschätzen. Dadurch wird es möglich, in KMDL personengebundenem und Maschinenwissen innerhalb von Konversionen in gleicher Weise zu betrachten und deren Wirkung quantitativ zu beurteilen.

Für den Fall, dass in der grafischen Modellierung zwischen personengebundenem und Maschinenwissen differenziert werden soll, können Wissensträger und Wissensobjekt mit unterschiedlichen Symbolen (Abb. 6) dargestellt werden.

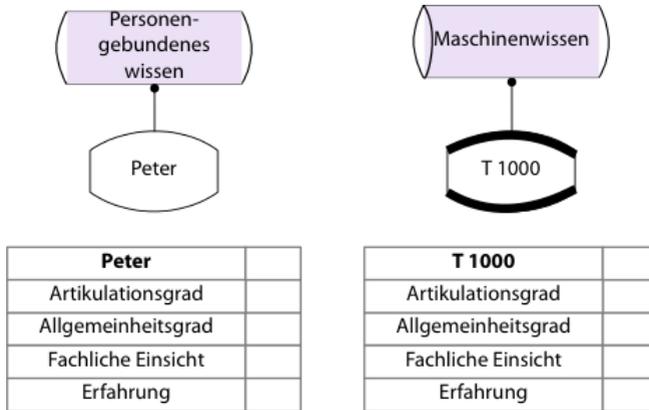


Abbildung 6: Gleichbehandlung von Personen- und Maschinenwissen

4. Zusammenfassung und Ausblick

Industrie 4.0 und die Umbrüche der Digitalen Transformation stellen erhebliche neue Anforderungen an das Wissensmanagement und an die Qualifizierung der Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter in Cyber-physischen Produktionssystemen und darüber hinaus.

Mit KMDL 3.0 liegt eine Modellierungssprache vor, mit deren Hilfe die Anforderungen von Industrie 4.0 an eine gesamthafte Darstellung der Generierung, Nutzung und Weitergabe von personengebundenem und Maschinenwissen erfüllt werden können. So können z.B. erforderliche Qualifikationsmerkmale erfasst und quantitativ bewertet werden. Dies stellt eine wesentliche Voraussetzung dar, um Qualifikationspläne personenindividuell erstellen zu können.

Dennoch sind noch eine ganze Reihe von Fragen offen, die in zukünftigen Versionen von KMDL beantwortet werden müssen, z.B.:

- Die Aggregation von Wissen mehrerer Personen, sei es in einer Community of Practice oder bei der Erfüllung der Anforderung an eine Konversion wird noch detaillierter zu betrachten sein. Wie können geeignete Regeln für die Aggregation aussehen?
- Können die quantitativen Wirkungen durch experimentelle Untersuchungen erhärtet werden?
- Welche praktische Wirkung haben die zusätzlichen Konversionen mit physischen Objekten auf die Wissensobjekte?

Literatur

- Arnold, R. (2010). *Assisted Learning. A Workbook*. Landau.
- Baum, G., Borchering, H., Broy, M., Eigner, M., Huber, A., Kohler, H., Russwurm, S., Stümpfle, M. (2013): *Industrie 4.0: Beherrschung der industriellen Komplexität mit SysLM*. Springer - Vieweg.
- Bettenhausen, K., (2014): *Erfolgsfaktoren Industrie 4.0: Qualifikation, Geschwindigkeit und Infrastruktur*, Baden-Baden: VDI Verein Deutscher Ingenieure e.V.
- Blackler, F. (1995), *Knowledge, knowledge work and organizations: An overview and interpretation*, *Organization Studies*, (16) 6, 1021-1046.
- Cowan, R., David, P. A., & Foray, D. (2000). *The explicit economics of knowledge codification and tacitness*. *Industrial and corporate change*, 9(2), 211-253.
- Davenport, T. H., Prusak, L. (1998). *Working knowledge: How organizations manage what they know*, Harvard Business School Press, Boston.
- Dehnbostel, P. (2010): *Betriebliche Bildungsarbeit. Kompetenzbasierte Aus- und Weiterbildung im Betrieb*. Baltmannsweiler.
- Dorst, W., (2012). *Fabrik- und Produktionsprozesse der Industrie 4.0 im Jahr 2020*. *Information Management und Consulting*, S. 34-37.
- Faber, S. (2007). *Entwicklung eines integrativen Referenzmodells für das Wissensmanagement in Unternehmen*. Frankfurt am Main:Lang.
- Freitag, M., Kück, M., Ait Alla, A., Lütjen, M. (2015): *Potenziale von Data Science in Produktion und Logistik. Teil 1 – Eine Einführung in aktuelle Ansätze der Data Science*, *Industrie Management* 5/2015, S. 22-26
- Geisberger, E., Broy, M. (2012): *agendaCPS: Integrierte Forschungsagenda Cyber-Physical Systems*, München: acatech – Deutsche Akademie der Technikwissenschaften.
- Gronau, N.; Fröming, J. (2006): *KMDL–Eine semiformale Beschreibungssprache zur Modellierung von Wissenskonversionen*. *Wirtschaftsinformatik* 48 (2006) 5, S. 349-360.
- Gronau, N. (2009). *Wissen prozessorientiert managen*. München: Oldenbourg.
- Gronau, N. (2014). *Enzyklopaedie der Wirtschaftsinformatik - Industrie 4.0*. [Online], unter: <https://www.enzyklopaedie-der-wirtschaftsinformatik.de/wi-enzyklopaedie/lexikon/informationssysteme/Sektorspezifische-Anwendungssysteme/cyber-physische-systeme/industrie-4.0/> [4. Juni 2020].
- Gronau, N. (2014b). *Handbuch Prozessorientiertes Wissensmanagement: Methoden und Praxis*. Berlin : Gito.
- Gronau, Norbert, André Ullrich und Gergana Vladova (2015). *Prozessbezogene und visionäre Weiterbildungskonzepte im Kontext Industrie 4.0*. in: H. Meier (Hrsg.): *Lehren und Lernen für die moderne Arbeitswelt*, Gito-Verlag: S. 125-143.

- Gronau N (2015b) Der Einfluss von Cyber-Physical Systems auf die Gestaltung von Produktionssystemen. *Industrie Management* 31 (2015) 3, S. 16-20
- Gronau, N. (2018). Auswirkungen der Digitalisierung auf ERP-Systeme, *ERP Management* 14 (2018) 1, S. 22-24.
- Gronau, N., Grum, M. (2019). *Knowledge Transfer Speed Optimizations in Product Development Contexts*. Berlin:Gito-Verlag.
- Gronau (2020). *Knowledge Modeling and Description Language 3.0. Eine Einführung*. Berlin:Gito-Verlag.
- Hasler Roumois, U. (2010). *Studienbuch Wissensmanagement. Grundlagen der Wissensarbeit in Wirtschafts-, Non-Profit- und Public-Organisationen*. Zürich:Orell Füssli Verlag.
- Hergesell, M. (2014) : Mit Apps auf dem Milkrun: WITTENSTEIN bastian (be)lebt Industrie 4.0, *Wittenstein AG - Kundenmagazin move*, Nr. 13, Oktober, S. 12-17.
- Neuweg, G.H. (2005). Implizites Wissen als Forschungsgegenstand. In: F. Rauner (Hrsg.): *Handbuch der Berufsbildungsforschung*, Bielefeld: Bertelsmann.S. 581–588
- Nonaka I, Takeuchi H (1995) *The knowledge creating company: how Japanese companies create the dynamics of innovation*. New York: Oxford University Press, p. 284
- Nonaka, I., & Von Krogh, G. (2009). Perspective—Tacit knowledge and knowledge conversion: Controversy and advancement in organizational knowledge creation theory. *Organization science*, 20 (2009) 3 , S. 635-652. Polanyi M (1966) *The tacit dimension*. Garden City, Doubleday, 1966
- Polanyi, M. (1966). *The tacit dimension*. Gloucester, Mass: Peter Smith.
- Quinones, M. A., Ford, J. K. and Teachout, M. S. (1995), *The Relationship Between Work Experience And Job Performance: A Conceptual And Meta-Analytic Review*. *Personnel Psychology*, 48: 887-910. doi:10.1111/j.1744-6570.1995.tb01785.x
- Renzl, B. 2004. *Zentrale Aspekte des Wissensbegriffs –Kernelemente der Organisation von Wissen*. In: Wyssusek, B. (Hrsg.): *Wissensmanagement komplex. Perspektiven und soziale Praxis*. Berlin: Erich Schmidt Verlag, S. 27-43.
- Rehäuser J und Krcmar H (1996) *Wissensmanagement im Unternehmen*. In: Schreyögg, G, Conrad P (Hrsg.) *Managementforschung 6: Wissensmanagement*. Berlin: De Gruyter, 1996. S. 1-40
- Spötl, G.; Gorltd, C.; Windelband, L.; Grantz, T.; Richter, T. (2016). *Industrie 4.0 – Auswirkungen auf Aus- und Weiterbildung in der M+E Industrie*. München.
- Sultanow, E., Zhou, X., Gronau, N., & Cox, S. (2012). Modeling of processes, systems and knowledge: a multi-dimensional comparison of 13 chosen methods. *International Review on Computers and Software*, 7(6), 3309-3319.
- Teichmann, M. u.a. (2018). Mobile IIoT-Technologien in hybriden Lernfabriken. *Industrie 4.0 Management* 34 (2018) 3, S. 21-24. https://doi.org/10.30844/IM18-3_21-24
- Turing, A. M. (1950). *Computing machinery and intelligence*. *Mind*, S. 433-460.
- Wiendahl, H.P., Reichardt, J., Nyhuis, P. (2014): *Handbuch Fabrikplanung: Konzept, Gestaltung und Umsetzung wandlungsfähiger Produktionsstätten*. Carl Hanser Verlag.

Windt, K., Knollmann, M., Meyer, M.: : Anwendung von Data Mining Methoden zur Wissensgenerierung in der Logistik - Kritische Reflexion der Analysefähigkeit zur Termintreueverbesserung. In: Spath, D. (Hrsg.): Wissensarbeit - Zwischen strengen Prozessen und kreativem Spielraum. Berlin: Gito 2011, S. 223-249