

Formalisierung von Expertenwissen zur Unterstützung von Data Mining Projekten

Vorhersage von Produktqualität in automatisierten Produktionsanlagen

Formalizing implicit Knowledge to support Data Mining projects

Product Quality Prediction in Automated Production Systems

Iris Weiß, Dr.-Ing. **Dorothea Pantförder**,

Prof. Dr.-Ing. **Birgit Vogel-Heuser**,

Lehrstuhl für Automatisierung und Informationssysteme, TU München;

Alexander Harrer, **Simon Lössl**,

Brückner Maschinenbau GmbH & Co. KG, Siegsdorf

Kurzfassung

Das Erfahrungswissen von Anlagenbetreibern stellt ein effektives Gut in der Handhabung von unerwarteten Situationen an einer Anlage dar. Um dieses Gut für datengetriebene Analysen des Anlagenverhaltens nutzbar zu machen, muss implizites Wissen formalisiert werden. Bei der Erhebung von Mentalen Modellen einer Anlage (gedankliche Repräsentation des Anlagenverhaltens), muss besonderes Augenmerk auf die Randbedingung der Erhebungssituation gelegt werden, um die Erstellung aussagekräftiger Ursachen-Wirk-Modelle zu ermöglichen. Die in praktischen Umsetzungen gewonnenen Erfahrungen zur Erhebung Mentaler Modelle wird in diesem Beitrag zusammengefasst. Methodische sowie situationsbedingte Faktoren werden diskutiert und anhand ihres Kosten-Nutzen-Verhältnisses bewertet.

Abstract

Effective management of unexpected situations at automated production systems requires high levels of expertise. Formalizing implicit expert knowledge enables exchange of expertise to other applications as data-driven analysis of system behavior. The acquisition of Mental Models (mental representation of system behavior) is one way to formalize this knowledge and develop a cause and effect model. However, it requires a well-designed setting to reveal sig-

nificant models. Therefore, the experience with knowledge acquisition is outlined in this contribution. Methodical as well as environmental factors are discussed and evaluated based on their costs and benefit ratio.

1. Qualitätsmanagement am Beispiel einer Folienreckanlage

In vielen alltäglichen Situationen befinden sich verschiedene Typen von Folien im Einsatz. Zum Beispiel werden für Smartphones oder Tablets technische Folien benötigt, welche in deren Displays oder Akkus (sogenannte Battery-Separator Folien) benötigt werden. Neben technischer Folie, bildet auch die Verpackungsfolie einen großen Nutzungsbereich ab. Diese ist zum Beispiel in Lebensmittel- oder Tierfuttermitteln zu finden.

Als Grundlage einer jeden Folie dient Granulat (zum Beispiel aus PP oder PET), welches aufgeschmolzen und im nachgelagerten Prozess verstreckt wird, um die gewünschten Eigenschaften der Folie zu erhalten. Dies geschieht mit Hilfe einer Folienreckanlage, die alle zwei Stunden eine Rolle von circa zehn Tonnen Folie produziert. Am Ende jeder dieser produzierten Rolle werden Foliensamples entnommen und an das Folienlabor für Qualitätsmessungen übergeben. Währenddessen wird bereits nahtlos mit der Produktion der nächsten Rolle begonnen.

Bei einer gemessenen schlechten Qualität muss vom Operator frühzeitig gegensteuert werden, um die weitere Produktion von minderwertiger Folie (Wastefilm) zu vermeiden. Im schlimmsten Fall wurden bereits größere Mengen Wastefilm produziert. Um die Folienqualität entsprechend der Messungen zu korrigieren, bedarf es oft eines großen Erfahrungsschatzes seitens der Operatoren, da unter anderem Qualitäten mit konkurrierenden optimalen Einstellungen existieren. Zum Beispiel kann Qualität 1 durch eine Erhöhung der Folientemperatur verbessert werden, wohingegen Qualität 2 dadurch negativ beeinflusst wird. Oft gilt es ein Mittelmaß zu finden, welches selbst für erfahrene Operatoren eine nicht triviale Aufgabe darstellt.

Mit Hilfe von Inline-Messtechnik können bereits unterschiedliche Qualitätsparameter einer Folie bestimmt werden. Diese stellt jedoch einen enorm hohen und für den Kunden untragbaren Kostenfaktor dar. Außerdem werden mit dieser Messtechnik keine optimalen Einstellungen ermittelt, um alle Qualitäten in einem bestimmten Maß zu erreichen.

Daher wird angestrebt, ein Assistenzsystem zu entwickeln, welches dabei hilft, die Abhängigkeiten der Qualitäten zu den Maschineneinstellungen transparenter zu gestalten und die Produktion „guter“ Folie zu vereinfachen. Durch die dazugewonnene Transparenz lassen sich

schneller Entscheidungen treffen und optimal abgestimmte Maschineneinstellungen bezüglich der konkurrierenden Qualitäten finden. Somit wird es dem Betreiber der Anlage ermöglicht, vorab die Qualität der Folie zu gegebenen Maschineneinstellungen vorauszuberechnen und gegebenenfalls korrigierend einzugreifen.

Ein möglicher weiterer Schritt in der Entwicklung dieses Systems stellt die Umwandlung einer gegebenen Folienqualität in Maschineneinstellungen dar. Aufgrund dessen ist es nicht mehr notwendig, sich an die gewünschten Folieneigenschaften heranzutasten und dabei möglicherweise minderwertigere Folie zu produzieren, sondern direkt mit den passenden Einstellungen zu starten. Dadurch lässt sich die Produktivität erheblich steigern (cf. Bild 1). Außerdem kann das Assistenzsystem dazu genutzt werden, neue beziehungsweise noch unerfahrene Mitarbeiter zu trainieren.

Da davon ausgegangen werden kann, dass der Prozess zu Beginn nicht vollständig abgebildet wird oder sich stets Veränderungen im Prozess ergeben können (zum Beispiel durch Weiterentwicklung des Produktionsprozesses), muss eine Erweiterbarkeit des bestehenden Systems

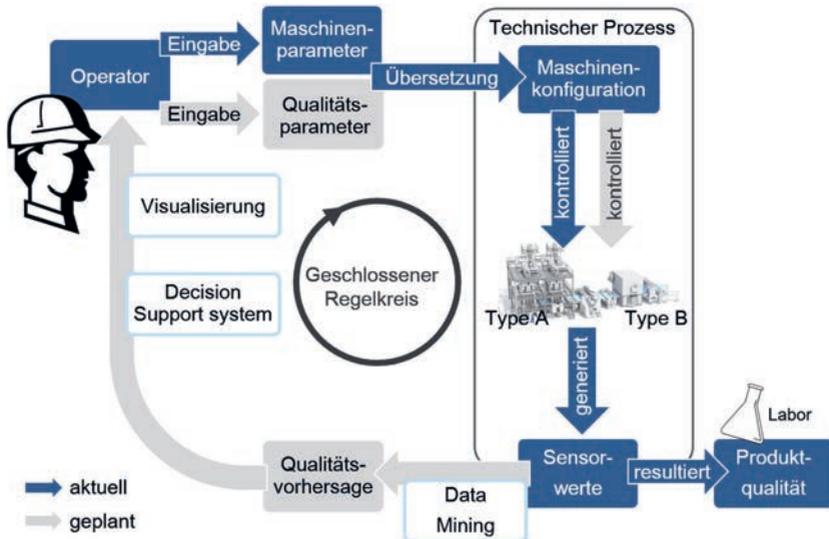


Bild 1: Qualitätsorientierter Steuerungsprozess in automatisierten Produktionsanlagen ohne inline Messung der Produktqualität (aktuell und angestrebt)

gewährleistet sein. Das System soll auf Basis von eingespeisten Wissen, als auch Datenanalysen, Vorhersagen tätigen. Damit können sich beide „Säulen“ gegenseitig validieren und falsche Vorhersagen aussortiert werden. Um das System entsprechend zu korrigieren, sollen tatsächlich im Labor gemessene Werte in die Datenbasis eingepflegt werden. Außerdem müssen Auffälligkeiten in der Produktion entsprechend markiert werden können und wenn nötig, in den zukünftigen Vorhersagen berücksichtigt werden. Nicht zu vernachlässigen ist zudem die wachsende Erfahrung einzelner Operatoren, welche dieses Wissen, soweit relevant, in das System einpflegen. Durch ein zyklisches Neu-Trainieren der Modelle sollen all diese Punkte in die gebildeten Modelle mit einfließen und zu einer kontinuierlichen Verbesserung der Vorhersagen führen.

In der folgenden Arbeit soll vor allem auf das Erheben von impliziten Wissens der Operatoren eingegangen werden, um dieses in die Analyse miteinfließen zu lassen. Die Erhebung Mentaler Modelle, als geistiges Abbild der Funktionsweise einer Anlage, wird diskutiert und Erfolgsfaktoren dieses Vorgehens identifiziert.

2. Workflow zur Formalisierung von impliziten Wissen

Das auf Erfahrung basierende Wissen der Bediener von Anlagen stellt ein höchst wertvolles Gut in der Handhabung von unerwarteten Aufgaben und Herausforderungen an einer Anlage dar. Die Erhebung dieses impliziten Wissens und die Transformation in explizites Wissen ist daher von hohem Interesse [1]. Der Workflow zur Erhebung von impliziten Wissen [2] sieht zu Beginn die Problemdefinition vor (vgl. Bild 2 A). Um zielgerichtet Informationen sammeln zu

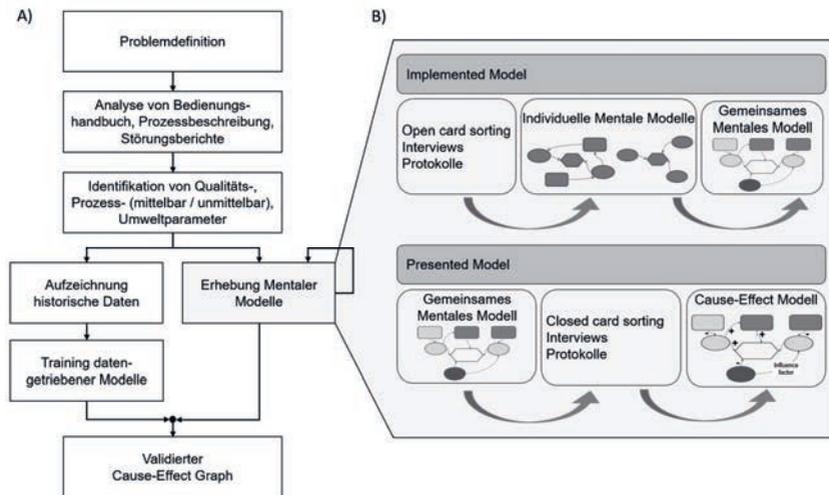


Bild 2: Workflow zur Formalisierung von implizitem Wissen mittels Erhebung von Mentalen Modellen

können, muss das Problem klar identifiziert und die Fragestellungen fixiert werden. In dem hier vorliegenden Anwendungsfall stehen Produktqualitätsmerkmale einer Folienrekanlage im Fokus. Es soll untersucht werden, welche Prozessparameter Einfluss auf die Produktqualität nehmen, um mit geeigneter Darstellung dieser Beziehungen den Anlagenbediener im operativen Geschäft zu unterstützen. Über Dokumente wie dem Bedienungshandbuch, der Prozessbeschreibung oder Störungs-/Schadensberichten sollen die relevanten Parameter der betrachteten Anlage identifiziert werden. Diese werden in Qualitäts-, Prozess-, und Umweltparameter untergliedert. Innerhalb der Prozessparameter kann eine weitere Unterteilung in unmittelbare und mittelbare Faktoren vorgenommen werden. Unter unmittelbaren Faktoren werden Prozessparameter verstanden, die vom Bediener direkt beeinflusst bzw. eingestellt werden können. Mittelbare Faktoren dagegen sind Parameter, die innerhalb des Prozesses gemessen

und nur indirekt gesteuert werden können. Unter Umweltparametern werden Faktoren betrachtet, die innerhalb der Anlage nicht als Werte erhoben werden, aber dennoch einen Einfluss auf die Qualitätsparameter nehmen. Um die identifizierten Parametern nun mit Information über deren Wirkzusammenhänge anzureichern, werden zum einen Mentale Modelle erhoben. Diese Erhebung von Mentalen Modellen wird mehrstufig und in zum Teil parallelen Prozesse ausgeführt [3] (vgl. Bild 2 B). In Interviews mit Verfahrenstechnikern und unter Anwendung einer offenen card sorting Technik [4] werden individuelle Mentale Modelle erstellt. Diese werden verglichen und zu einem gemeinsamen Modell konsolidiert. In der zweiten Stufe wird in Interviews mit Anlagebedienern und unter Anwendung einer geschlossenen card sorting Technik [4] das gemeinsame Modell zu einem Cause-Effect Modell umgewandelt, welches die Wirkzusammenhänge qualitativ durch „+“ und „-“, bewertet. Unter welchen Rahmenbedingungen dieses Verfahren die besten Ergebnisse erzielt, soll in dem folgenden Kapitel diskutiert werden. Neben der Erhebung von Mentalen Modellen werden zum anderen Daten für eine datengetriebene Analyse aufgezeichnet. Über Algorithmen wie Fuzzy Cognitive Maps [5] kann das Cause-Effect Modell weiter angereichert werden. Die qualitative Beschreibung der Wirkzusammenhänge wird ersetzt durch eine numerische Quantifizierung der Stärke und Richtung des Zusammenhangs auf Basis historischer Daten.

3. Erfolgsfaktoren

Die Güte der erhobenen Cause-Effect Modelle ist stark von den Rahmenbedingungen des Erhebungsprozesses abhängig. Während eine Vielzahl an wissenschaftlichen Beiträgen verschiedene Befragungstechniken diskutieren [6,7], müssen auch Faktoren wie z.B. Kommunikationskultur beachtet werden. Deshalb werden in diesem Beitrag methodische und situationsbedingte Faktoren unterschieden. Unter methodischen Faktoren werden Aspekte verstanden, die technischer Natur sind wie z.B. die Befragungstechnik. Unter situationsbedingten Faktoren dagegen werden soziale Aspekte gefasst wie z.B. Kommunikationskultur. Nur die Berücksichtigung aller Faktoren ermöglicht eine fehlerfreie und vollständige Erhebung von impliziten Wissen in Cause-Effect Modellen.

3.1 Methodische Faktoren

Die Befragungssituation und -technik sowie der Umfang der Problemstellung werden im Folgenden als methodische Erfolgsfaktoren zur Erhebung Mentaler Modelle diskutiert.

Befragungssituation: In welcher Umgebung die Interviews durchgeführt werden, hat einen erheblichen Einfluss auf die Gesprächsatmosphäre und damit auch auf die Gewinnung von im-

pliziten Wissen. Es ist anzustreben, die Interviews in der gewohnten Arbeitsumgebung durchzuführen, d.h. direkt an der Anlage selbst. So können fragliche Situationen einfach simuliert und die Ursachen-Wirk-Beziehungen unmittelbar nachempfunden werden. Dies ist jedoch in vielen Fällen mit großen Herausforderungen verbunden. In lauten Arbeitsbereichen zum Beispiel, in denen mit Gehörschutz gearbeitet wird, ist eine verbale Interaktion kaum möglich. Weiterhin verhindern arbeitsschutzrechtliche Aspekte häufig die Begutachtung innerer Abläufe von Produktionsprozessen während des laufenden Betriebes. Nicht zu vernachlässigen sind auch die Kosten die durch eine mögliche Beeinträchtigung des operativen Geschäfts entstehen. Alternativ können die Interviews an einer Simulation bzw. der Visualisierung der Anlagensteuerung durchgeführt werden. Dies ermöglicht die Erhebung unter wesentlich geringerem Aufwand. Dennoch können Problemsituationen nachgestellt und die Ursachen-Wirk-Beziehungen an konkreten Beispielen erarbeitet werden. Die Durchführung der Erhebung losgelöst von der Anlage bzw. einer Simulation stellt zwar den geringsten Aufwand dar erfordert jedoch ein erhebliches Maß an Abstraktionsvermögen. Dementgegen ermöglicht die Durchführung in einem Konferenzraum eine strukturierte Erhebung durch Techniken wie der Card Sorting Technik, die im folgenden Abschnitt diskutiert wird.

Befragungstechnik: Die hier verwendete Card Sorting Technik kann offen oder geschlossen durchgeführt werden. Bei der geschlossenen Technik wird der Befragte gebeten, vorformulierte Karten, in diesem Fall mit den Prozess- und Qualitätsparametern, in ein Verhältnis bzw. in Zusammenhang zu setzen. Durch dieses Verfahren wird ein Netz aus Zusammenhängen, welches das Anlageverhalten widerspiegelt, gewonnen. Bei der offenen Technik dagegen, werden die Karten vom Befragten selbst beschriftet und nicht im Vorhinein vorformuliert. Durch diese freie Gestaltung wird die Möglichkeit eröffnet ungeahnte Erkenntnisse zu gewinnen. Sie erfordert jedoch auch eine starke Führung der Diskussion durch den Interviewer, damit das Problemfeld nicht verlassen wird (vgl. *Erfahrungstand des Interviewers* im Abschnitt 3.2). Um eine umfangreiche Erhebung Mentaler Modelle durch ein geschlossene Card Sorting Technik zu gewährleisten, müssen alle relevanten Größen durch die Karten repräsentiert werden. Dies erfordert Vorarbeiten, die diese Größen identifizieren.

Umfang der Problemstellung: Die betrachteten automatisierten Produktionssysteme enthalten meist mehrere hundert Parameter, die in Wechselbeziehungen stehen. Eine effiziente Erhebung von Mentalen Modelle erfordert daher eine starke Fokussierung der Problemstellung. Die Zielvariablen müssen klar definiert und auf wenige beschränkt sein, um die Komplexität zu

reduzieren und eine vollständige Beschreibung dieser Zielvariablen zu ermöglichen. Die Zusammenführung einzelner fokussierter Cause-Effect Modelle ermöglicht dennoch die Bild der Ursachen-Wirk-Zusammenhänge einer gesamten Anlage.

3.2 Situationsbedingte Faktoren

Soziale Aspekte, die den Erfolg solcher Erhebungen beeinflussen, werden als weiche Faktoren bezeichnet, die technisch bzw. numerisch nicht eindeutig beschrieben werden können. Da Interaktionen zwischen Personen stets sehr persönliche Komponenten eines jeden der beteiligten Personen enthalten, müssen weiche Faktoren sehr individuell abgestimmt werden. Dennoch können innerhalb der weichen Faktoren Aspekte identifiziert werden, die Allgemeingültigkeit anstreben. In diesem Kapitel werden Anonymität, Kommunikationskultur, Akzeptanz, Erfahrungsstand und Unternehmenskultur diskutiert.

Anonymität: In Befragungssituationen ist dem Befragten stets Anonymität zu gewährleisten. Andernfalls ist eine offene und freie Erhebung Mentaler Modelle nicht möglich. Zum einen können Erkenntnisse unentdeckt bleiben, wenn der Befragte aus Angst etwas „Falsches“ zu sagen, Aspekte der Problemstellung nicht diskutiert. Besonders bei der Erhebung Mentaler Modelle über das Verständnis des Anlagenverhaltens muss sichergestellt sein, dass keine Rückschlüsse auf den Erfahrungsstand des Befragten gezogen werden können.

Kommunikationskultur: Um die Unterstützung der Befragten zu erhalten, muss das Ziel klar definiert sein und der Nutzen (besonders für den Befragten) deutlich gemacht werden. Dazu ist eine offene Kommunikationskultur notwendig. Gerade bei der Digitalisierung (Industrie 4.0, Automatisierung, Digital Twin, etc.) muss darauf geachtet werden, dass die Arbeitsplätze der Befragten nicht von den erwarteten Ergebnissen der Interviews in Gefahr gebracht werden. In erster Linie sollen die entwickelten Systeme dabei helfen, die Arbeit der Befragten zu erleichtern, indem häufig anfallende Tätigkeiten vom System erledigt werden. Dadurch können sie sich auf die wichtigen und besonderen Fälle konzentrieren. Da in ferner Zukunft sicherlich weniger Mitarbeiter an der Anlage benötigt werden, muss sich frühzeitig Gedanken gemacht werden, wie die künftige Arbeit der Befragten aussehen wird.

Einen wichtigen Aspekt stellt dabei die Weiterentwicklung bestehender Systeme oder die Entwicklung neuer Systeme in der Zukunft dar. Hierbei spielen die Befragten eine wichtige Rolle, da nur diese über den reichen Erfahrungsschatz verfügen, praxisrelevante Punkte ausfindig zu machen und in bestehende Systeme (zum Beispiel Cause-Effect-Graphen) einzupflegen. Des Weiteren müssen stetig Beobachtungen sowie Versuche an der Anlage gemacht werden. Dies wird nicht ohne die jeweilige Personengruppe möglich sein.

In der Wirtschaft besteht ein gewisser Drang mit den Innovationen mitzuhalten, um der Konkurrenz nicht zu unterliegen, Kunden abwandern zu lassen und dadurch möglicherweise das Unternehmen und die Arbeitsplätze zu gefährden. Allein deshalb wird es für Unternehmen wichtig sein, an Themen wie Industrie 4.0, Big Data und Künstliche Intelligenz zu forschen [8]. Mit dem technologischen Fortschritt nicht mitzuhalten wird dadurch die Arbeitsplätze vor Ort viel mehr gefährden, als die unterstützenden Tätigkeiten von intelligenten Systemen.

Akzeptanz: Damit die Befragten Einblick in ihr Erfahrungswissen gewähren, müssen sie Akzeptanz gegenüber der Zielsetzung und der Methodik aufweisen. Das Vorgehen muss eine Verbesserung der Anlagenbedienung nachvollziehbar versprechen.

Oft bewährt es sich, die Akzeptanz durch kleinere Leuchtturmprojekte zu gewinnen. Diese sind im Aufwand beschränkt und benötigen nur ein kleines Budget, das leichter zu rechtfertigen ist. Bei Erfolg dieser Leuchtturmprojekte oder Use Cases wird die Bereitschaft höher sein, da bereits erste erfolgreiche Ergebnisse präsentierbar sind. Natürlich besteht dabei das bekannte „Henne-Ei-Problem“, da immer eine initiale Motivation erreicht werden muss.

Erfahrungsstand des Interviewers: Um das Interview zu leiten, den Fokus auf dem Thema zu halten und Anstöße in verschiedene Richtungen zu geben, muss der Interviewer Vorwissen zur Anlage und zum Anlageverhalten einbringen. Die diskutierten Befragungstechniken unterstützen den Interviewer, können aber einen soliden Erfahrungsstand nicht ersetzen.

Zwischenmenschliche Interaktion: Eine positive und anregende Atmosphäre wird durch die Art und Weise der zwischenmenschlichen Interaktion bestimmt. Neben sehr individuellen Aspekten können auch allgemeingültige Regeln menschlicher Interaktion gefunden werden. Ein Aspekt beschreibt die gegenseitige Wertschätzung der Beteiligten. Eine offene und erkenntnisreiche Diskussion wird durch das Wertschätzen der Befragten und dessen Meinung erreicht.

Erfahrungsstand des Befragten: Bei der Wissenserhebung ist es von Interesse, verschiedene Erfahrungen einzufangen. Unterschiedliche Erfahrungsstände aus unterschiedlichen Bereichen (zum Beispiel Operator und Verfahrenstechniker) bergen wichtige Informationen für die Modellbildung.

Je nach Erfahrungsstand wird zum Teil auf unterschiedliche Eigenschaften, Einstellungen oder Messwerte geachtet. Des Weiteren werden basierend auf dem Erfahrungsstand unterschiedliche Lösungsansätze verfolgt. Aufgrund des beruflichen Hintergrunds werden Verfahrenstechniker im Gegensatz zum praxiserprobten Operator einen eher wissenschaftlichen oder auch „ingenieurhaften Ansatz“ wählen.

Da im Prozess nicht immer nur ein richtiger Weg existiert, um bestimmte Eigenschaften der Folie zu erhalten, bilden diese unterschiedlichen Sichtweisen die Möglichkeiten deutlich besser ab.

Unternehmenskultur. Die gelebte Unternehmenskultur ist aufgrund der unbewussten Beeinflussung der Mitarbeiter ein weiterer Faktor, der den Erfolg solcher Erhebungen von Mentalen Modellen beeinflusst. Interdisziplinäre Zusammenarbeit und Austausch muss unterstützt und gefördert werden, um einen bereichsübergreifenden Erkenntnisgewinn zu ermöglichen. Eine Anpassung der Unternehmenskultur zur Verbesserung des Erhebungsprozesses und des Austausches ist jedoch nur sehr langfristig möglich.

4. Zusammenfassung und Ausblick

Die diskutierten Erfolgsfaktoren für die Erhebung Mentaler Modelle sind aus den Erfahrungswerten der Anwender in der Praxis hervorgegangen. Die unterschiedliche Güte der Ergebnisse in Form von Cause-Effect-Graphen haben diese Diskussion angeregt. Um eine Strategie zur Umsetzung Mentaler Modelle zu erarbeiten, sind die Erfolgsfaktoren in ihrer Wichtigkeit, ihren Kosten und dem Planungshorizont/Zeitaufwand bewertet worden. Zusammenfassend können die Faktoren in drei Gruppen eingeteilt werden (cf. Bild 3).

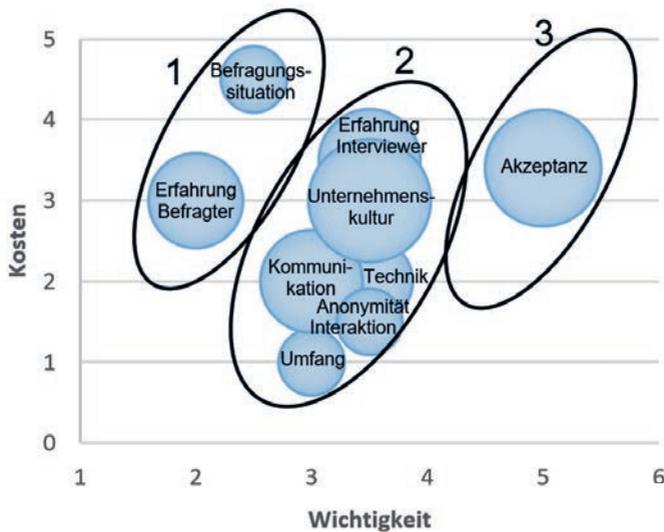


Bild 3: Erfolgsfaktoren nach ihrer Wichtigkeit (5 = wichtig) und Kosten (5 = teuer), sowie des Planungshorizonts (großer Kreis = langfristig)

Gruppe 1: Die Faktoren besitzen geringe bis mittlere Wichtigkeit, verursachen jedoch hohe Kosten. Diese Faktoren werden erst umgesetzt, wenn Gruppe 2 und 3 bereits Anwendung finden. Zudem sollten weiter Strategien entwickelt werden, diese Faktoren in günstigerer Weise zu adressieren.

Gruppe 2: Die Faktoren besitzen mittlere Wichtigkeit und streuen bis hin zu hohen Kosten. Trotz der zum Teil hohen Kosten sollten die Faktoren umgesetzt werden, um ein valides Cause-Effect Modell zu erhalten. Langfristige Faktoren wie die Unternehmenskultur sind hierbei frühzeitig zu adressieren, um eine Umsetzung zu realisieren.

Gruppe 3: Hohe Wichtigkeit und hohe Kosten. Das Thema Akzeptanz wird als sehr wichtig angesehen, um eine Erhebung von Mentalen Modelle effektiv durchführen zu können. Trotz der hohen Kosten muss dieser Erfolgsfaktor umgesetzt werden, um die Unterstützung der Befragten zu erhalten. Der lange Planungshorizont erfordert hierbei ein frühzeitiges Agieren über z.B. Leuchtturmprojekte (siehe Abschnitt 3.2).

Um die Erhebung von Mentalen Modellen zu ergänzen, werden in weiterer Forschungsarbeit datengetriebene Methoden getestet, die eine quantitative Bewertung der Ursache-Wirkungs-Beziehungen ermöglicht. Die Algorithmen von Fuzzy Cognitive Maps werden als eine Möglichkeit untersucht.

Danksagung

This project has received funding from the European Union's Horizon 2020 research and innovation programme under grant agreement No 678867.

References

- [1] J. Sutter, *Grafische Visualisierungen bei der Stellenübergabe: Ein Werkzeug zur Externalisierung von implizitem Wissen*, 1st ed. Wiesbaden: Springer Gabler, 2016.
- [2] B. Vogel-Heuser, V. Karaseva, J. Folmer, and I. Kirchen, "Operator Knowledge Inclusion in Data-Mining Approaches for Product Quality Assurance using Cause-Effect Graphs," in *IFAC World Congress*, 2017, pp. 1358–1365.
- [3] D. Pantförder, J. Schaupp, and B. Vogel-Heuser, "Making Implicit Knowledge Explicit – Acquisition of Plant Staff's Mental Models as a Basis for Developing a Decision Support System," in *International Conference on Human-Computer Interaction: Communications in Computer and Information Science*, 2017, pp. 358–365.
- [4] A. R. Barrett and J. S. Edwards, "Knowledge elicitation and knowledge representation in a large domain with multiple experts," *Expert Systems with Applications*, vol. 8, no. 1, pp. 169–176, 1995.
- [5] G. Felix *et al.*, "A review on methods and software for fuzzy cognitive maps," *Artif Intell Rev*, vol. 26, no. 6, p. 1333, 2017.
- [6] G. Schiuma, T. Gavrilova, and T. Andreeva, "Knowledge elicitation techniques in a knowledge management context," *J of Knowledge Management*, vol. 16, no. 4, pp. 523–537, 2012.
- [7] D.-M. Vásquez-Bravo, M.-I. Sánchez-Segura, F. Medina-Domínguez, and A. Amescua, "Combining Software Engineering Elicitation Technique with the Knowledge Management Lifecycle," *International Journal of Knowledge Society Research*, vol. 3, no. 1, pp. 1–13, 2012.
- [8] M. Feindt, „Künstliche Intelligenz – werden in Zukunft nur noch Maschinen Entscheidungen treffen?“, *Big Data & AI Summit*, 2018