

## **Modellierung, Simulation und Risikobewertung von Arbeitsprozessen in Projekten**

Andreas PETZ<sup>1</sup>, Peter LEHMACHER<sup>2</sup>,  
Sönke DUCKWITZ<sup>1</sup>, Christopher M. SCHLICK<sup>1</sup>

<sup>1</sup> *Institut für Arbeitswissenschaft, RWTH Aachen University  
Bergdriesch 27, D-52062 Aachen*

<sup>2</sup> *InfraServ GmbH & Co. Knapsack KG, Industriestraße 300, D-50351 Hürth*

**Kurzfassung:** Wissensintensive Dienstleistungen wie Beratung, Forschung und Entwicklung nehmen eine wichtige Rolle in der Volkswirtschaft ein, denn sie ermöglichen neue Geschäftsmodelle und tragen zum nachhaltigen Wohlstand und Wachstum bei. Etablierte Methoden des Projektmanagements können nur unzureichend komplexe Dienstleistungen planen und steuern. Dies ist insbesondere den spezifischen Merkmalen von wissensintensiven Dienstleistungen geschuldet. Als möglicher Lösungsweg wird eine für komplexe Dienstleistungsprojekte entwickelte Modellierungs- und Simulationsmethode für Arbeitsprozesse auf Grundlage von Design Structure Matrizen und der Monte-Carlo-Simulation vorgestellt und diskutiert. Anhand eines Anwendungsfalles aus dem verfahrenstechnischen Anlagenbau werden die Vorteile eines quantitativen, simulationsbasierten Arbeitsprozessmanagements aufgezeigt.

**Schlüsselwörter:** Design Structure Matrizen, Personalintegrierte Simulation, wissensintensive Dienstleistungen, Projektmanagement

### **1. Ausgangssituation**

Globalisierung und Digitalisierung zwingen Unternehmen, in immer kürzeren Zeiträumen zu planen und flexibel auf Kundenwünsche zu reagieren. Um diesem Druck entgegenzuwirken, bauen sie vermehrt auf gänzlich neue digitale Geschäftsmodelle, die auf Dienstleistungen basieren. In Hochlohnländern wie Deutschland sind es vor allem die wissensintensiven Dienstleistungen wie Ingenieurdienstleistungen im Bereich der Forschung und Entwicklung sowie Unternehmensberatung die eine volkswirtschaftlich bedeutsame Stellung einnehmen (Götzfried 2005). Ein Großteil dieser Dienstleistungen ist individuell auf den Kunden zugeschnitten und wird über einen größeren Zeitraum durch das Zusammenspiel einer Vielzahl von unterschiedlichen Arbeitspersonen erbracht. Solche Vorhaben werden zumeist in Projektform durchgeführt, sodass etablierte Methoden zur Projektplanung, -steuerung und -kontrolle zum Einsatz kommen.

Die typischen Methoden des Projektmanagements sind jedoch nur unzureichend geeignet, komplexe Arbeitsprozesse zu gestalten. Dies ist insbesondere auf die spezifischen Merkmale von Dienstleistungen wie z. B. Kundenintegration und Heterogenität zurückzuführen. In diesem Beitrag wird ein Modellierungs- und Simulationskonzept vorgestellt, das Projektmanager befähigt, komplexe Dienstleistungen zu planen und Chancen und Risiken quantitativ zu evaluieren.

## **2. Modellierung und Simulation komplexer Arbeitsprozesse wissensintensiver Dienstleistungen**

Modelle werden als vereinfachte Abbildung eines realen Systems mit dem Ziel erstellt, zu Erkenntnissen zu gelangen, die auf die Realität übertragbar sind. Um die internen Wechselwirkungen des Systems experimentierbar zu machen, wird analog ein Simulationsmodell als Abbild eines dynamischen Systems (Prozesses) verstanden (VDI 2010). Nach Stachowiak (1973) können Modelle allgemein über drei Merkmale spezifiziert werden: das Abbildungsmerkmal, das Verkürzungsmerkmal und das pragmatische Merkmal. So sind Modelle ein Abbild des natürlichen oder künstlichen Originalsystems, welches nur diejenigen relevanten Attribute beinhalten sollte, die für die Gestaltung des Modells in Abhängigkeit von der Zielsetzung erforderlich sind. Mit dem Ziel, eine Methodik zur Planung und Steuerung sowie Risikobewertung wissensintensiver Dienstleistungen zu entwickeln, werden zunächst der Begriff der wissensintensiven Dienstleistung spezifiziert sowie Modellierungssprachen zur Überführung eines Dienstleistungsprozesses in ein simulationsfähiges mathematisches Modell dargestellt.

### *2.1 Wissensintensive Dienstleistungen*

Die statistische Systematik der Wirtschaftszweige der Europäischen Gemeinschaft (NACE) teilt Dienstleistungen in wissensintensive und weniger wissensintensive auf. Zu den wissensintensiven gehören u. a. Spitzentechnologie nutzende Sektoren wie Datenverarbeitung sowie Forschung & Entwicklung, marktbezogene Dienstleistungen wie Beratungsdienstleistungen, Finanzdienstleistungen und weitere Dienstleistungen, bspw. im Gesundheitswesen (Eurostat 2013, Götzfried 2005). Diese Klassifikation ist sehr generisch. Für eine tiefergreifende Analyse von Dienstleistungssystemen auf operativer Ebene sollte eine weitere Klassifizierung herangezogen werden.

Ausgehend von der Typologisierung nach Fähnrich et al. (1999) weisen wissensintensive Dienstleistungen eine ausgeprägte Kontaktintensität zum Kunden sowie eine hohe Variantenvielfalt aufgrund der individuellen Ausprägung auf. Durch die Immaterialität und den prozessualen Charakter sind solche Dienstleistungen mit einer hohen Unsicherheit behaftet (Meffert & Bruhn 2012). Zusammenfassend sind wissensintensive Dienstleistungen komplexe Vorhaben, welche unter Beteiligung von einer Vielzahl und Vielfalt von Akteuren umfangreiche Leistungen mit hoher Unsicherheit erbringen. Solche Vorhaben werden zumeist in Projektform erbracht (Baumgärtner & Bienzeisler 2006, Bea et al. 2011). Mathematische Modelle sowie die rechnergestützte Simulation können einen wesentlichen Beitrag leisten, diese inhärente Komplexität erfolgreich zu managen.

### *2.2 Modellierungs- und Simulationsmethoden*

Die rechnergestützte Analyse wissensintensiver Dienstleistungssysteme setzt die Modellierung des jeweils zugrunde liegenden Geschäftsprozesses voraus. Zu den etablierten Modellierungssprachen im Geschäftsprozessmanagement gehören die Unified Modeling Language (UML), die Business Process Model and Notation (BPMN) sowie die ereignisgesteuerte Prozesskette (EPK). Die Anforderung, kooperative, schwach strukturierte Arbeitsprozesse abzubilden, können diese Modellierungssprachen nur unzureichend erfüllen (Preiß & Kaffenberger 2013, List & Korherr 2006, Nielen et al. 2010). Zudem bedarf es zusätzlicher Parametrisierungen,

um die Modelle in eine simulierbare Form zu überführen. Die oftmals im akademischen Umfeld entwickelten Konzepte haben es zudem noch nicht zur Marktreife gebracht (List & Korherr 2006, Mendling & Nüttgens 2006).

Mit Hilfe der Prozesssimulation können Planalternativen prospektiv visualisiert und hinsichtlich des Zielerreichungsgrades bewertet werden. Auf strategischer Ebene ermöglicht die System Dynamics Methodik, Wechselwirkungen in komplexen Systemen zu untersuchen und generelle Aussagen über den Einfluss zentraler Faktoren zu treffen (Rannacher et al. 2013, Sterman 2000). Dies setzt allerdings eine genaue Kenntnis der Abhängigkeiten voraus. Eine detaillierte Analyse auf Arbeitsprozessebene ist so nicht möglich. Weniger wissensintensive Dienstleistungen wie z. B. Flughafenabfertigungsschalter und Supermärkte können mit Warteschlangenmodellen valide abgebildet und simuliert werden. Erste Versuche zur Übertragung dieser Methodik auf wissensintensive Dienstleistungen wurden von Winkelmann (2007) und Kausch (2010) unternommen. Basierend auf Petri Netzen wurden Simulationsmodelle für industrielle Dienstleistungen im Maschinenbau sowie in Entwicklungsprozessen in der Verfahrenstechnik entwickelt und validiert. Dabei zeigten sich insbesondere die Schwachstellen grafischer Modellierung, bei der die Prozessdarstellung bei komplexen Projekten schnell unübersichtlich wird. Zudem eignen sich Petri Netze und die dazugehörigen Simulationsumgebungen nur unzureichend, um unterschiedlich komplexe Netzwerktopologien sowie schwach strukturierte Arbeitsprozesse dynamisch abzubilden und zu simulieren.

### **3. Modellierungs- und Simulation mit Design Structure Matrizen**

Die Herausforderung der modellhaften, quantitativen Abbildung wissensintensiver Dienstleistungssysteme besteht in der Beschreibung der schwach strukturierten informatorischen Abhängigkeiten innerhalb des Dienstleistungsprozesses. Für die Modellierung wissensintensiver Dienstleistungen wurden deshalb relevante Perspektiven und zu berücksichtigende Faktoren nach dem Modellverständnis von Stachowiak (1973) identifiziert. Als Grundgerüst diente dabei die allgemeine Dienstleistungsdefinition nach konstitutiven Merkmalen in den drei spezifischen Dimensionen: Potenzial, Prozess und Ergebnis (Donabedian 1980, Hilke 1989).

Eine geeignete Methodik zur Erfassung der informatorischen Abhängigkeiten stellt die Design Structure Matrix (DSM) Notation dar. Diese Methodik wurde von Steward (1981) mit dem Ziel entwickelt, Iterationen und Änderungsschleifen in Produktentwicklungsprojekten zu berücksichtigen und analytisch zu optimieren. Die Abbildung der Abhängigkeiten zwischen den Systemelementen erfolgt in quadratischen Matrizen (Eppinger & Browning 2012). Ein DSM-Modell ist nicht nur skalierbar, sondern ermöglicht eine direkte quantitative Abbildung sowie eine numerische Optimierung mittels entsprechenden Algorithmen. Weiterhin können mit einer Matrix sowohl domäneninterne als auch übergreifende Abhängigkeiten und statische wie auch dynamische Sachverhalte intuitiv erfasst werden.

In der Potenzial-Dimension werden die Aufbauorganisation sowie die an der Dienstleistung beteiligten Arbeitspersonen modelliert. Die Eigenschaften der Arbeitsperson sowie die Verknüpfungen Person-Rolle-Aktivität wird in statischen domänenübergreifenden Domain Mapping Matrizen (DMM) festgehalten. In der Prozess-Dimension wird mit Hilfe einer dynamischen DSM der Projektablauf abgebildet. Auf Grundlage einer speziell für die Szenarioanalyse von wissensintensiven Geschäftssystemen entwickelte Simulationslogik kann das

Zusammenspiel zwischen Prozess, Organisation und Arbeitspersonen durchlaufen werden. Im Modell wird die Unsicherheit als Wahrscheinlichkeitsverteilung (Beta-Verteilung) über die Drei-Punkt-Schätzmethode der personenunabhängigen Aufwände und der Verfügbarkeit der Personen modelliert. Mit Hilfe der Monte-Carlo-Simulation werden zufällige Werte für die Simulationsläufe aus der zugrunde gelegten Wahrscheinlichkeitsverteilung erzeugt. Als Ergebnis stehen dem Entscheider simulierte Planalternativen zur Verfügung. Die Güte der Projektpläne wird durch Zuhilfenahme von relevanten Indikatoren (Zeit, Kosten, Erfüllungsrat der Leistung etc.) prospektiv bewertet. – Der ereignisdiskrete Simulationsalgorithmus wurde prototypenhaft in Matlab implementiert. Kern des Algorithmus ist die Aufwandsberechnung in Abhängigkeit relevanter unternehmensspezifischer Einflussfaktoren. So wird der Aufwand einer Aktivität zunächst durch den inhaltlichen, personenunabhängigen Aufwand beschrieben. Der Gesamtaufwand ergibt sich dann aus diesem Normaufwand, den Zu- oder Abschlägen aufgrund der Qualifikation der zugeordneten Person(en), dem zusätzlichen Kommunikation- und Kooperationsaufwand über die Anzahl an Schnittstellen sowie einem potenziellen Mehraufwand aufgrund der Parallelisierung der Aufgabenbearbeitung.

#### **4. Anwendungsfall „Basic-Engineering für die Energieversorgung eines Industriebetriebes“**

##### *4.1 Beschreibung und Parametrisierung der Arbeitsprozesse für die Simulation*

Der Anwendungsfall ist ein Teilausschnitt aus der Planung eines Industriekraftwerkes. Die Zielsetzung war, ein Anlagenkonzept inklusive Layout zu entwickeln und Investitions- sowie Betriebskosten zu bestimmen. Aufgrund der engen Terminvorgaben mussten die Arbeitspakete überwiegend parallel bearbeitet werden. Es wurden mehrere Szenarien betrachtet, von denen ein Szenario vorgestellt wird. Das Projekt umfasste 36 Arbeitspakete, 9 Rollen und 14 Personen.

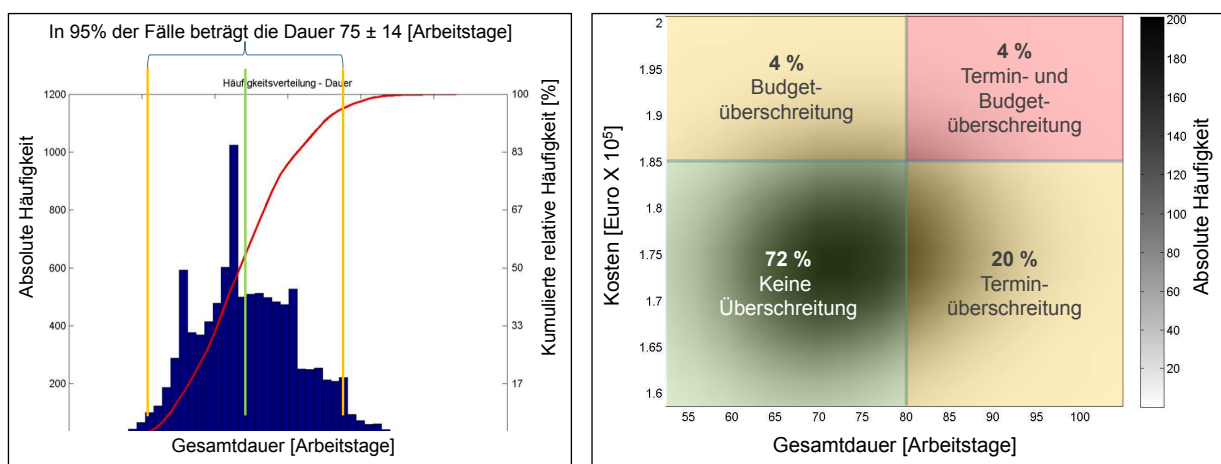
Die Parametrisierung erfolgte auf Grundlage von Projektunterlagen wie Struktur- und Ablaufplänen. Die nicht im System verfügbaren Daten wurden vom Projektleiter abgeschätzt. Dabei wurden insbesondere der personenunabhängige Aufwand pro Arbeitspaket und die Verfügbarkeit der Arbeitspersonen mit Hilfe der Drei-Punkt-Schätzung (kürzeste, längste und wahrscheinlichste Dauer) abgefragt. Zudem wurden die Stärke der Abhängigkeit zwischen den Arbeitspaketen (Überlappungsgrad und Mehraufwandsrate bei Überlappung) sowie die Wahrscheinlichkeit von Iterationen erfasst. Die Eignung der Personen wurde in diesem Fall nicht variiert, sodass ein homogener Ressourcenpool vorhanden war.

##### *4.2 Ergebnisdarstellung des Anwendungsfalls*

Zur Analyse und Bewertung des Projektes werden sowohl Kennzahlen als auch Projektverläufe und automatisiert erstellte Personaleinsatzpläne zugrunde gelegt. In der Abbildung 1 wird beispielhaft die Häufigkeitsverteilung der Kosten und der Dauer als Ergebnisse von 10.000 Simulationsläufen dargestellt. Das Histogramm (links) zeigt die Wahrscheinlichkeitsverteilung der Gesamtdauer des Projektes. Der Mittelwert beträgt 75 Tage und weist eine Standardabweichung von 7 Tagen auf. Der Modalwert ist 72 Tage. Mit einer 95%-Wahrscheinlichkeit wird das Projekt zwischen 61 bis 89 Tage dauern. Diese große Bandbreite (19%-Abweichung bezogen auf den

Mittelwert) deutet auf erhebliche Optimierungspotenziale im Hinblick auf die Robustheit des Prozesses gegenüber Störungen hin. Zudem deuten die Peaks auf häufige Iterationen zu bestimmten Zeitpunkten im Prozessverlauf hin.

Rechts im Bild ist die Punktwolke der Gesamtdauer/Kosten Kombinationen im Hintergrund dargestellt. Ausgehend von einem vorgegebenen Budget von 185.000 Euro und einer Vorgabe der Gesamtdauer von maximal 80 Tagen lassen sich Quadranten mit dazugehörigen Wahrscheinlichkeiten definieren. Auf dieser Basis lässt sich eine erste Risikobewertung durchführen, indem die jeweilige Wahrscheinlichkeit der Termin- und Kostenüberschreitungen mit den tolerierbaren Vorgaben des Unternehmens verglichen werden. Zuletzt ist es die Entscheidung des Projektmanagers, das 28%-Risiko von Termin- und/oder Budgetüberschreitung zu akzeptieren oder weitere Maßnahme zu identifizieren, die dem entgegenwirken könnten. Die Auswirkungen dieser Maßnahmen können dann mittels der Simulation erneut evaluiert werden.



**Abbildung 1:** Histogramm der Gesamtdauer sowie Häufigkeitsverteilung der Kosten/Dauer Paare

## 5. Diskussion

Mit Hilfe von Design Structure Matrizen können komplexe Projekte ganzheitlich, d. h. aus der Potenzial-, Prozess- und Ergebnisperspektive, modelliert werden. Durch eine Monte Carlo-Simulation können aus einem solchen Modell unterschiedliche Szenarien generiert und einer statistischen Analyse unterzogen werden. Als Ergebnis stehen dem Entscheider mögliche Prozessabläufe, Auslastungsprofile der zuständigen Arbeitspersonen sowie die Häufigkeitsverteilungen der Dauer und Kosten zur Verfügung. – Das dargestellte Fallbeispiel aus der verfahrenstechnischen Anlagenentwicklung zeigt die Eignung der DSM-Modellierung und die Potenziale einer statistischen Simulationsergebnisanalyse auf. Zukünftige Arbeiten fokussieren die Erhebung weiterer Anwendungsfälle bei Industriepartnern und deren Simulation mit dem Ziel, das zugrunde liegende Modell sowie den Simulationsalgorithmus zu verifizieren und zu validieren. Insbesondere werden Sensitivitätsanalysen durchgeführt und ausgewertet. Ein weiterer Schwerpunkt ist die praxisgerechte und benutzerfreundliche Gestaltung des Simulationssystems sowie die Implementierung von geeigneten Schnittstellen zu unternehmensinternen IT-Systemen, die eine produktive Integration des Simulationssystems in das Projektmanagement eines wissensintensiven Dienstleisters ermöglicht.

## 6. Literatur

- Baumgärtner M u. Bienzeisler B (2006) Dienstleistungsproduktivität konzeptionelle Grundlagen am Beispiel interaktiver Dienstleistungen. Stuttgart: Fraunhofer-IRB-Verl.
- Bea FX, Scheurer S u. Hesselmann S (2011) Projektmanagement. 2., überarb. und erw. Aufl. Konstanz [u.a.]: UVK Verl.-Ges.
- Donabedian A (1980) The Definition of Quality and Approaches to its Assessment. Ann Arbor, Michigan: Health Administration Press.
- Eppinger SD u. Browning TR (2012) Design structure matrix methods and applications. Engineering systems Cambridge, Mass.: MIT Press.
- Eurostat (2013) Glossar: Klassifikation der wissensintensiven Dienstleistungs-Bereiche: European Commission. Online verfügbar unter: [http://epp.eurostat.ec.europa.eu/statistics\\_explained/index.php/Glossary:Classification\\_of\\_knowledge\\_intensive\\_services\\_%28KIS%29/de](http://epp.eurostat.ec.europa.eu/statistics_explained/index.php/Glossary:Classification_of_knowledge_intensive_services_%28KIS%29/de) (Zugriff 5.12.14).
- Fährnich K-P, Meiren T, Barth T, Hertweck A, Baumeister M, Demuß L, Gaiser B u. Zerr K (1999) Service engineering Ergebnisse einer empirischen Studie zum Stand der Dienstleistungsentwicklung in Deutschland. Stuttgart: Fraunhofer-IRB-Verl.
- Götzfried A (2005) FuE im Unternehmenssektor der Europäischen Union. In: Eurostat (Hrsg) Statistik kurz gefasst, Wissenschaft und Technologie.
- Hilke W (1989) Dienstleistungs-Marketing. Wiesbaden: Betriebswirtschaftlicher Verlag.
- Kausch B (2010) Integrative Methodik zur grafischen Modellierung und ereignisdiskreten Simulation von Entwicklungsprozessen in der Verfahrenstechnik. RWTH Aachen, Aachen.
- List B u. Korherr B (2006) An evaluation of conceptual business process modelling languages, Proceedings of the 2006 ACM symposium on Applied computing, France. Dijon: ACM, 1532-1539.
- Meffert H u. Bruhn M (2012) Dienstleistungsmarketing Grundlagen - Konzepte - Methoden. 7., überarb. und erw. Aufl. Wiesbaden: Springer Gabler.
- Mending J u. Nüttgens M (2006) EPC markup language (EPML): an XML-based interchange format for event-driven process chains (EPC), Information Systems and e-Business Management, 4(3), 245-263.
- Nielen A, Jeske T, Arning K u. Schlick CM Prozessmodellierungssprachen für kleine und mittlere Unternehmen. 56. Kongress der Gesellschaft für Arbeitswissenschaft vom 24. bis 26. März 2010, Dortmund: GfA-Press, 483-486.
- Preiß H u. Kaffenberger C (2013) Modellierung von Sensornetz-basierten Logistikdienstleistungen – Evaluierung von drei Modellierungssprachen anhand des Projekts ALETHEIA, in Thomas, O. & Nüttgens, M. (Hrsg) Dienstleistungsmodellierung 2012: Springer Fachmedien Wiesbaden, 228-249.
- Rannacher A, Stranzenbach R, Sturm F, Mütze-Niewöhner S u. Schlick C (2013) A System Dynamics Model for the Evaluation of the Productivity of Knowledge-intensive Services, iBusiness, 5(3B), 55-58.
- Stachowiak H (1973) Allgemeine Modelltheorie. Wien [u.a.]: Springer.
- Sterman J (2000) Business dynamics : systems thinking and modeling for a complex world. Boston: Irwin/McGraw-Hill.
- Steward DV (1981) The Design Structure System: A Method for Managing the Design of Complex Systems, IEEE Transactions on Engineering Management.
- VDI (2010) Simulation von Logistik-, Materialfluss- und Produktionssystemen. Grundlagen Düsseldorf: Verein Deutscher Ingenieure.
- Winkelmann K (2007) Prospektive Bewertung der kooperativen Erbringung industrieller Dienstleistungen im Maschinenbau durch Simulation mit Petri-Netzen. Dissertation, RWTH Aachen, Aachen.

**Danksagung:** Wir danken dem Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) für die Förderung unseres Forschungsvorhabens „ProLoDi – Produktivitätslogiken komplexer Dienstleistungen“ im Rahmen des Forschungs- und Entwicklungsprogramms „Innovationen mit Dienstleistungen“, Förderschwerpunkt: „Produktivität von Dienstleistungen“ unter dem Förderkennzeichen 01FL10050-01FL10052.