

Bewertung von Methoden hinsichtlich einer ganzheitlichen Prozessdarstellung

Evaluation of Methods in Terms of a Holistic Process Representation

DIPL.-ING. OLIVER SCHNEIDER,

DIPL.-ING. FRANK HOHENSTEIN,

PROF. DR.-ING. DIPL.-WI.-ING. WILLIBALD A. GÜNTNER

LEHRSTUHL FÜR FÖRDERTECHNIK MATERIALFLUSS LOGISTIK, TECHNISCHE UNIVERSITÄT MÜNCHEN

Zusammenfassung

Zur Optimierung innerbetrieblicher Logistikprozesse ist eine ganzheitliche Prozessdarstellung unter Berücksichtigung von Material-, Informationsfluss und der eingesetzten Ressourcen erforderlich. In diesem Aufsatz werden verschiedene, häufig verwendete Methoden zur Prozessdarstellung diesbezüglich miteinander verglichen und bewertet. Die verschiedenen Stärken und Schwächen werden in Form eines Benchmarks zusammengefasst, das als Grundlage für eine neue Methode dient, die im Rahmen des IGF-Forschungsprojekts 16187 N/1 erarbeitet wurde.

Abstract

The optimization of internal logistics processes requires a detailed record of the processes which considers the material flow, information flow and the therefore used resources. In this regard this review compares and evaluates several common methods of process representation. The various strengths and weaknesses are summarized in a benchmark that serves as the basis for a new method that was developed under the research project, IGF-16187 N / 1.

1 Einleitung

Für die überbetriebliche Logistik werden häufig die zunehmende Globalisierung und die damit verbundene Prozessvielfalt und Komplexität als Herausforderungen genannt [Log-11]. Die Ursachen dafür sind vielfältige Produktvarianten sowie schnellere Produkt- und Innovationszyklen, die für die Intralogistik kürzere Prozessanpassungen bedeuten [Gün-07]. Auf Grund der Verantwortung für die termin- und mengengerechte Produktionsversorgung stellt die Intralogistik somit heute einen wichtigen Wettbewerbsfaktor dar [Wil-05].

Um diese Chance nutzen zu können bedarf es effizienter intralogistischer Prozesse, die jederzeit aktuell, vollständig und fehlerfrei vorliegen müssen. Hierfür ist eine geeignete Methode für die Prozessaufnahme und Prozessdarstellung nötig, die die Prozessabläufe transparent erfasst, den Vergleich verschiedener Prozessalternativen miteinander unterstützt [Arn-08] und wiederum die Basis für die Optimierung von Logistikprozessen bildet. Eine alleinige Abbildung des Materialflusssystem und damit der bloßen physischen Materialflussaspekte ist jedoch nicht ausreichend. Ebenso berücksichtigt werden muss der Informationsfluss, der den Materialfluss steuert [Arn-98] und mit ihm in einer Wechselwirkung steht. Die Grundsätze des Materialflusses für eine zeit- und mengenrichtige Versorgung der jeweiligen Beteiligten gelten dabei auch für den Informationsfluss, da nach [Sys-90] und [Gro-83] Informationsdefizite ein großes Problem für die Planung und Kontrolle von Prozessen darstellen.

Neben der Darstellung von Material- und Informationsfluss sind für eine ganzheitliche Prozessbetrachtung auch die eingesetzten Ressourcen in Form von Personal und Betriebsmitteln zu berücksichtigen. Gerade moderne Informations- und Kommunikationstechnologien bieten durch die Verknüpfung von Material- und Informationsfluss die Möglichkeit, Optimierungspotenziale zu offenbaren und Logistikprozesse zu verbessern [Arn-08]. Um sie effektiv einzusetzen ist jedoch eine adäquate Prozessbeschreibung voranzusetzen.

Entscheidend für den Erfolg von Optimierungs- und Anpassungsmaßnahmen ist folglich eine ganzheitliche Prozessdarstellung unter Berücksichtigung von Material- und Informationsfluss sowie der zum Einsatz kommenden Ressourcen, die die richtige Datenbasis und Ausgangssituation für eine spätere Prozessoptimierung schafft. Zwar gibt es für die Aufnahme und Darstellung logistischer Prozesse zahlreiche Methoden. Viele davon haben jedoch die spätere Prozessmodellierung zum Gegenstand, weswegen es ihnen an einer einfachen, leicht verständlichen Anwendbarkeit während der Prozessaufnahme fehlt und eine tiefe Methodenkenntnis vorausgesetzt wird. Andere wiederum sind in ihrer Anwendung auf bestimmte Bereiche spezialisiert oder fokussieren nur

den Material- oder Informationsfluss. In beiden Fällen besteht die Gefahr, dass für die Prozessoptimierung relevante Daten unvollständig aufgenommen werden, was zeit- und kostenintensive Iterationsschleifen oder übersehene Optimierungspotenziale zur Folge hat.

Zielsetzung

Einen Lösungsansatz bietet die Darstellung von Prozessen mit einheitlichen, klar definierten Operationen für Material- und Informationsfluss, die miteinander verknüpft und in Abhängigkeit von der Zielstellung durch spezifische Attribute beschrieben werden können. Ähnlich argumentiert [Höm-07] und fordert einfache, „disjunkte“ Standardprozesse zur einfachen, hinreichend genauen Beschreibung von Logistiksystemen. Diese sollen den Anwender bei einer schnellen, einfachen Prozessdarstellung und der Beschaffung prozessrelevanter Informationen unterstützen, den Komplexitätsgrad reduzieren und den Informationsaustausch zwischen den Beteiligten gewährleisten [Höm-07].

Im Rahmen des IGF-Forschungsprojekts 16187 N/1 wird eine Methode entwickelt, die dieser Forderung nachgeht. Sie bietet dem Anwender Hilfestellung bei der ganzheitlichen Aufnahme und Darstellung innerbetrieblicher Logistikprozesse auf Basis standardisierter Grundfunktionen. Den Grundstein für die Methode liefert die Analyse und Bewertung gängiger Methoden für die Prozessaufnahme und -darstellung. Hierfür wird eine empirische Untersuchung in Form eines Fragebogens durchgeführt, um verschiedene Methoden für die Aufnahme und Darstellung logistischer Prozesse, deren Verwendungshäufigkeit, Einsatzzweck sowie Stärken und Schwächen als Grundlage eines Benchmarks (siehe 4.5) zu ermitteln. Adressiert werden Prozessingenieure der Industriepartner sowie des Lehrstuhls fml, die sich häufiger mit der Darstellung und Analyse logistischer Prozesse beschäftigen. Für die Auswertung stehen die Aussagen von elf Befragten zur Verfügung. Hiervon zählen acht die Darstellung und Analyse von Prozessen zu ihrem täglichen bzw. häufigem Geschäft, der Rest befasst sich zumindest regelmäßig mit der Thematik (siehe Abbildung 1). Lediglich aus Gründen der Vereinfachung wird die häufige Befassung mit der Prozessanalyse mit einer hohen Expertise gleichgesetzt. Alle Befragten haben direkten Bezug zu Logistikprozessen, insbesondere im innerbetrieblichen Umfeld.

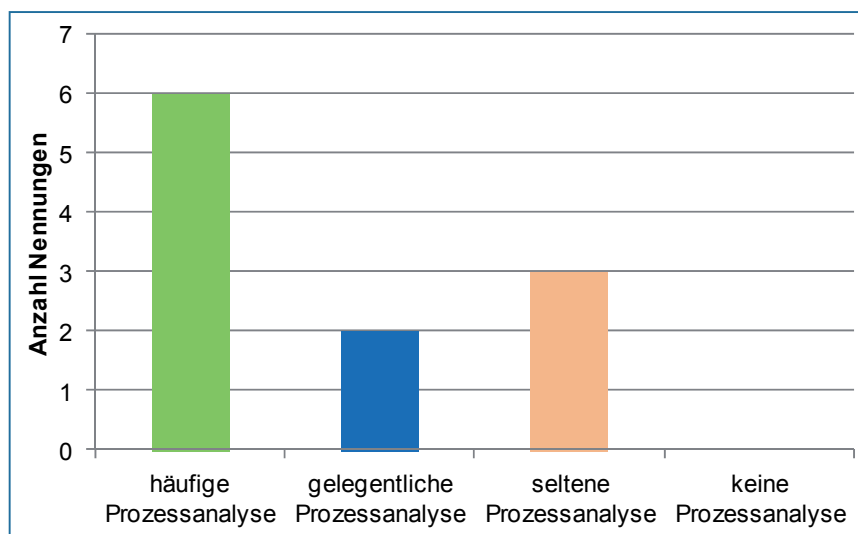


Abbildung 1: Häufigkeit der Durchführung von Prozessanalysen durch die Befragten (Expertise)

Die Inhalte der Fragebögen haben keinen Anspruch auf Allgemeingültigkeit. Sie geben lediglich Eindrücke von Anwendern der Methoden aus der Praxis wieder, die dabei helfen, verwendete Methoden zu identifizieren und eine Richtung für eine Bewertung vorzugeben. Die Ergebnisse werden deshalb in den weiteren Schritten mit Aussagen aus einschlägiger Fachliteratur sowie eigenen Einschätzungen abgeglichen.

Vorgehen

Zunächst werden auf Basis der Befragung verschiedene Methoden als Gegenstand der späteren Bewertung ausgewählt. Die Aussagen der Anwender sowie der Fachliteratur sind die Grundlage für die Ermittlung verschiedener Bewertungskriterien, anhand derer die Methoden miteinander verglichen werden können. Die Kriterien werden klassifiziert, hierarchisiert, eindeutig beschrieben und gewichtet.

Im nächsten Schritt werden verschiedene Vorgehensmodelle für die spätere Stärken-Schwächen-Analyse der einzelnen Methoden recherchiert und ein geeignetes Vorgehen ausgewählt. Dieses muss in der Lage sein, die Hierarchien von Bewertungskriterien bei der Bewertung zu berücksichtigen.

Im Sinne einer objektiven Bewert- und Vergleichbarkeit der Aufnahme- und Darstellungsmethoden wurde ein beispielhafter innerbetrieblicher Logistikprozess, bestehend aus einem Wareneingang mit Qualitätskontrolle und

anschließender Einlagerung, definiert. Er wird mit allen Methoden abgebildet und jede Methode hinsichtlich der Kriterien bewertet. Weiteren Input liefert diesbezüglich auch die empirische Untersuchung. Die Ergebnisse der Bewertung zeigen die verschiedenen Stärken und Schwächen auf. Sie können daher als Benchmarks für eine neue Methode genutzt werden, die im Rahmen des bereits erwähnten Forschungsprojekts entwickelt wird.

2 Ausgewählte Methoden zur Prozessaufnahme und -darstellung

Nachfolgend werden verschiedene Methoden zur Prozessaufnahme und -darstellung kurz vorgestellt. Bei den von den Befragten häufiger verwendeten Methoden (Wertstromanalyse und Ereignisgesteuerte Prozesskette, siehe Abbildung 2), fließen deren Aussagen ein. Die Methoden bilden die Grundlage für die spätere Ableitung von Benchmarks hinsichtlich der Erfüllung der Zielkriterien.

Business Process Modeling Notation (BPMN)

Die BPMN ist eine Modellierungssprache aus der Wirtschaftsinformatik, die in erster Linie zur Darstellung von Geschäftsprozessen verwendet wird und auf dem Flussdiagramm basiert. Dank der zu Grunde liegenden Business Process Execution Language lassen sich die Prozesse in ERP-Systeme überführen [Alo-07]. Sie richtet sich sowohl an den Prozess-Analysten als auch an den Planer oder Manager [Omg-08].

Die Prozessinformationen werden im Business Process Diagram mittels grafischer Symbole erfasst. Diese bilden den Prozess durch Aktivitäten ab, die durch Verknüpfungen mit Entscheidungspunkten (Gateways) und Ereignispunkten (Events) in Beziehung stehen [Omg-08]. Zudem können zwischen den Objekten bzw. Rollen Informationen oder Material, so genannte Artefakte, ausgetauscht werden [Omg-05], [Dub-04].

Ereignisgesteuerte Prozesskette (EPK)

Die EPK basiert auf dem Flussdiagramm, das deshalb an dieser Stelle nicht extra aufgeführt ist. Prozesse werden im Kern durch Ereignisse und Funktionen, die sich gegenseitig auslösen, sowie Verzweigungen und logische Operatoren beschrieben. Pfeile verbinden die einzelnen Elemente ihres zeitlichen und logischen Auftretens. Darüber hinaus gibt es weitere Elemente wie Daten, Informationsträger, Organisationselemente oder Anwendungssysteme für die grafische Prozessabbildung [Kra-07].

In erster Linie wird sie für die Analyse, das Reengineering und die Modellierung von Geschäftsprozessen eingesetzt [Wil-07]. Dabei ist die EPK nicht zuletzt wegen der Abbildung von Referenzprozessen in ERP-Systemen von SAP weit verbreitet [Kra-07]. Bei den Anwendern spielt die EPK für die Ablaufoptimierung eine große Rolle. Eingesetzt wird sie ferner zur transparenten Darstellung der Prozesslogik sowie Präsentation von Prozessen, was in ihrer relativen Einfachheit begründet liegt. Die EPK wird nach Aussage der Anwender für unterschiedlich detaillierte Darstellungen eingesetzt, wobei der Fokus auf Prozessen innerhalb und zwischen einzelnen Funktionsbereichen sowie zwischen Arbeitsplätzen liegt.

Prozessorientierte Analyse (POA)

Wie die UML basiert die POA auf dem Prinzip der objektorientierten Systemdarstellung (z.B. strukturierte Analyse). Dabei werden die darzustellenden Systeme hierarchisiert, um deren Komplexität zu reduzieren [Kie-04]. Darüber hinaus bietet die POA die Möglichkeit, grafische Modelle automatisch in einen textbasierten Code zu übersetzen. Sie dient häufig als Basis für Simulationswerkzeuge, wie sie auch in der Logistik Verwendung finden [Mey-05].

Die Systemdarstellung ist zweigeteilt. Prozesse werden im Sinne der Objektorientierung statisch mit Flussdiagrammen abgebildet, Zustände dynamisch durch Bedingungen und Funktionen [Mey-05], was strenge Regeln voraussetzt. Flussdiagramme sind durch mindestens einen Prozess bzw. eine Transformation sowie In- und Output gekennzeichnet, die durch Elementspezifikationen beschrieben und im Objektverzeichnis gesammelt werden. Die verschiedenen Zustände wiederum sind im Zustandsdiagramm beschrieben und gehen über Konditionen und Aktionen ineinander über.

Sankey-Diagramm

Das Sankey-Diagramm ist ein sehr einfaches, grafisches Verfahren auf Basis des Flussdiagramms, um Materialflüsse gerichtet darzustellen. Die Quantität der Transportbeziehungen, d.h. die Flussmenge, zwischen den einzelnen Funktionsbereichen oder Knoten wird durch die Breite der Pfeile oder Kanten wiedergegeben [Sch-06], [Ber-03]. Die einzelnen Flüsse können sich während eines Prozesses an den Knoten trennen oder aufteilen, wobei die Regel der Massenkonstanz gilt. Auch können verschiedene Kanten oder Flussobjekte gleichzeitig durch

unterschiedliche Schraffuren oder Farben abgebildet werden [Sch-06]. Häufige Einsatzzwecke sind den Anwendern zufolge die Präsentation und Transparenz von Prozessen sowie die Dokumentation von Auslastung und Nutzung von Ressourcen. Dabei wird es zumeist für Prozesse zwischen Funktionsbereichen eingesetzt.

Supply Chain Operations Reference Model (SCOR)

Das SCOR-Modell wurde vom Supply Chain Council als Referenzmodell entwickelt, um Supply Chain Prozesse auf Basis eines Katalogs an Referenzprozessen und eines zugehörigen Kennzahlensystems beschreiben und bewerten zu können. Die Zielsetzung ist dabei die einheitliche Beschreibungen und Bewertungen inner- und überbetrieblicher Prozesse entlang der Supply Chain durch die Verknüpfung von Prozessbewertung, Business Process Reengineering und Benchmarking [Sup-08], [Arn-08].

Das SCOR-Modell verfügt über ein vierstufiges, hierarchisches Referenzmodell, wobei der Abstraktionsgrad auf den höheren Hierarchieebenen zunimmt. Die obersten beiden Ebenen „Prozesstypen“ und „Prozesskategorien“ bilden zusammen eine Matrix, die den jeweiligen Prozess genauer charakterisiert. Jeder dieser so gebildeten Prozesse ist wiederum ein Referenzprozess und ermöglicht es, Abweichungen zu unternehmensspezifischen Prozessen zu erkennen. Hierfür steht dem Anwender ein Leistungskatalog zur Verfügung, der Leistungsattribute und Kennzahlen aufführt [Sup-08].

Systems Modeling Language, Unified Modeling Language (SysML, UML)

Die SysML ist ein open source Standard und baut auf der UML auf, indem sie deren Konzepte und Notationen verwendet und an die Bedürfnisse des Systems Engineering und der Geschäftsprozessmodellierung anpasst [Wei-06]. Zielstellung ist die Analyse, das Design und die Architektur eines Systems sowie die Simulation von Testfällen mittels einer Sprache [Rup-07]. Hierzu verwendet die SysML in Abhängigkeit von der jeweiligen Zielstellung verschiedene Diagramme direkt oder mit leichten Anpassungen von der UML und definiert neue Diagrammtypen im Hinblick auf das Systems Engineering. In der Praxis bilden die aufgenommenen Prozesse somit häufig die Basis für eine nachgelagerte Software-Entwicklung.

Das Verhalten eines Systems wird mit Aktivitäten-, Sequenz- und Use-Case-Diagrammen sowie Zustandsautomaten abgebildet. Daneben gibt es Blockdefinitions-, Paket- und interne Blockdiagramme, die die Struktur sowie Anforderungsdiagramme, die die Anforderungen an ein System beschreiben [Rup-07].

VDI 3300 Materialflussuntersuchungen (VDI 3300)

Die VDI-Richtlinie 3300 besteht aus zwei Teilen. Im VDI/AWF-Materialflussbogen 3300a wird der Prozess als Abfolge einzelner Vorgänge in Form einer matrixartigen Liste beschrieben. Jeder Vorgang wird einer spezifischen Operation zugeordnet und durch vorgegebene Eigenschaften detailliert. In der Materialflussskizze werden die einzelnen Vorgänge in einem maßstäblichen Layout des untersuchten Bereichs angetragen, um bspw. Transportwege zu erkennen. Die beiden Sichten werden über Symbole und Nummerierungen der Vorgänge miteinander verknüpft. Ziel ist die Reduzierung der Prozesskosten auf Basis einer einfachen, schnellen Aufnahme innerbetrieblicher Materialflüsse, die zugleich als übergreifendes Kommunikationsmedium verwendet werden kann [VDI3300].

Sowohl die VDI-Richtlinie 3300 zu Materialflussuntersuchungen als auch der Materialflussbogen 3300a wurde vom VDI-Gremium im Jahr 2004 auf Grund mangelnder Überarbeitung zurückgezogen.

Wertstromanalyse (WSA) bzw. Wertstromdesign (WSD)

Die WSA wird im Englischen als „Value Stream Mapping“ bezeichnet und stellt im eigentlichen Sinn den Strom der Wertschöpfung bzw. Werte in einem Prozess dar. Dabei werden Material- und Informationsflüsse sowie vor- und nachgelagerte Prozesse erfasst. Der Ist-Zustand wird aus der Vogelperspektive durch grobe Abläufe und Zusammenhänge zwischen den einzelnen Bereichen aufgenommen [Kle-07].

Der Ist-Zustand wird für eine bestimmte Produktgruppe getrennt auf Basis von Beobachtungen und Befragungen iterativ aufgezeichnet. Darauf aufbauend wird in mehreren Schritten ein Umsetzungsplan für einen optimalen Soll-Zustand ausgearbeitet, wobei Leitlinien und Fragenkataloge zur Verfügung stehen. Die einzelnen Prozesse werden durch Prozesskästen mit verschiedenen Prozessparametern in frei wählbarer Detaillierung dargestellt [Kle-07]. Der Materialfluss zwischen Prozesskästen wird durch Pfeile symbolisiert. Bestände zwischen Prozesskästen werden ebenfalls betrachtet. Der Informationsfluss wird stark vereinfacht in Form der Information selbst und deren Quelle im Sinne einer Steuerung erfasst.

Einsatzgebiet ist in erster Linie die Optimierung von Produktionssystemen für eine bedarfsgesteuerte Produktion. Auch ist die WSA eine über Abteilungsgrenzen hinweg relativ einfach verständliche Methode [Rot-00]. Darüber hinaus nutzen einige der Befragten nach eigener Angabe die Methode auch für die Darstellung unternehmensübergreifender Logistikprozesse sowie für Prozesse der Administration oder Entscheidung. Dabei sind jedoch zahlreiche Anpassungen vorgenommen worden. Viele sehen den Einsatzzweck und damit die Stärke der Methode in der Ablaufoptimierung, Zuordnung und Auslastung von Ressourcen sowie der Darstellung der Prozesslo-

gik und transparenten Präsentation der abgebildeten Prozesse. In erster Linie werden die damit verbundenen Prozesse zwischen einzelnen Funktionsbereichen dargestellt. Weiterhin wird die WSA auch für überbetriebliche Prozesse sowie innerhalb der Funktionsbereiche verwendet.

Verwendete Methoden im Zusammenhang mit der Expertise der Befragten

Betrachtet man die Anzahl der Nennungen in Abbildung 2, so wird die WSA am häufigsten verwendet. Auch die EPK und Flussdiagramme, die in der Befragung zusammengefasst wurden, werden häufig genutzt. Vier Befragte geben weiterhin an, das Sankey-Diagramm zumindest gelegentlich zu verwenden. Die darüber hinaus genannten Methoden genießen eher Exoten-Status und werden mit Ausnahme der SysML eher selten bis gar nicht für die Prozessdarstellung genutzt. Sie fokussieren oftmals spezifische Anwendungsfälle, bspw. die Software-technische Implementierung der Prozesse bei UML, weshalb sie keine hinreichende und flexible Darstellung logistischer Prozesse ermöglichen. Für diese Methoden liegen für eine Bewertung nicht genügend Aussagen vor, weshalb Einschätzungen hierzu auf Basis der Anwendung des Referenzprozesses (siehe 4.3) erfolgen.

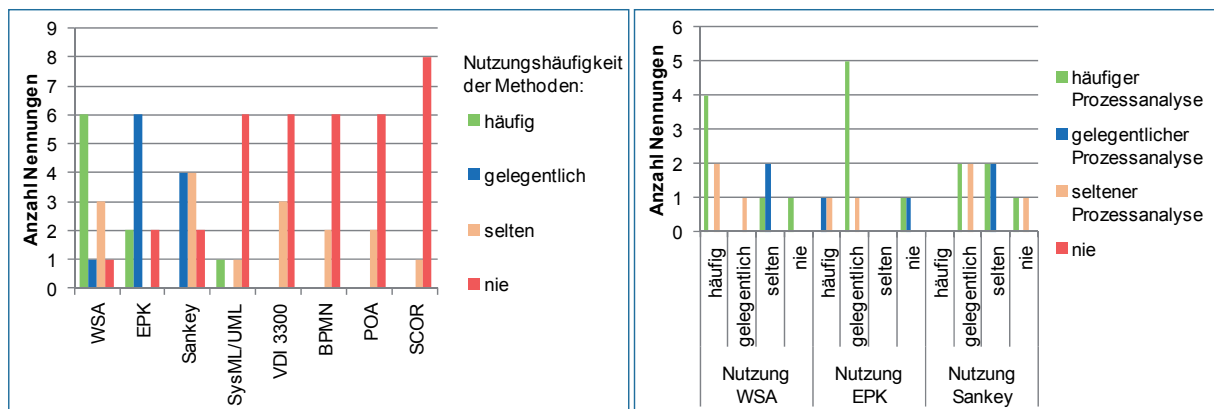


Abbildung 2: Verwendungshäufigkeit von Prozessdarstellungsmethoden (links) nach Anwender-Expertise (rechts)

Ein direkter Zusammenhang zwischen der angegebenen Expertise der Befragten und den verwendeten Methoden lässt sich nach Abbildung 2 zwar nicht feststellen. Jedoch geben die Antworten der Befragten bereits erste Hinweise zur Anwendung der Methoden. So wird die WSA sowohl von Personen, die sich häufig mit der Darstellung und Analyse beschäftigen, als auch von Personen, die dies in ihrem Tagesgeschäft eher selten tun, genutzt. Die EPK wird von Personen, deren Tagesgeschäft die Prozessaufnahme ist, eher gelegentlich verwendet, von Personen mit seltener Prozessaufnahme hingegen häufig. Gründe hierfür sind unter anderem die relativ einfache Anwendbarkeit der Methode. Für spezifische Anwendungen werden hingegen andere Methoden wie die WSA vorgezogen. Das Sankey-Diagramm wird unabhängig von der Expertise der Befragten gelegentlich bis eher selten genutzt. Auf Grund seiner Einfachheit ist es für grobe Überblicke über den Materialfluss oder zur Unterstützung geeignet.

Eine Ausnahme bildet die UML bzw. SysML. Zwar wird sie nur von einer geringen Anzahl der Befragten tatsächlich angewandt, jedoch setzen sich häufig mit der Prozessdarstellung auseinander. Dies ist ein erster Hinweis darauf, dass die Methode für sehr spezifische Einsatzzwecke gedacht wird, wofür ebenfalls ein gewisser Einarbeitungsaufwand erforderlich ist.

Interessant ist auch die Tatsache, dass alle Befragten angeben, generell mehrere Methoden zu nutzen. Im Schnitt werden von jeder Person mehr als drei Methoden genutzt, wobei in jedem Fall genau eine Methode jeweils primär verwendet wird. Lässt man die nur selten angewandten Methoden unberücksichtigt und betrachtet nur die oft sowie gelegentlich gebrauchten Methoden, werden von jeder Person erwartungsgemäß im Schnitt zwei Methoden genutzt. Eine mögliche Ursache hierfür ist, dass jede Methode für bestimmte Anwendungsfälle funktioniert und hingegen bei anderen Schwächen aufweist, es also an Generalität fehlt.

Des Weiteren wurden mögliche Adaptionen, die die Befragten im Hinblick auf eine bessere Anwendbarkeit für ihre Zwecke an den Methoden vorgenommen haben, hinterfragt. Die Ursachen hierfür sowie die Art der Adaption waren Grundlage für die im weiteren Verlauf näher beschriebene Stärken-Schwächen-Analyse. Festzuhalten ist, dass mit Ausnahme des Sankey-Diagramms an jeder der häufig verwendeten Methoden, unabhängig von der Expertise der Befragten, verschiedene Anpassungen vorgenommen wurden, was ein erstes Indiz für gewisse Schwächen der jeweiligen Methoden ist.

3 Definition einer Bewertungsbasis

Für die Bewertung der Methoden werden als erstes auf Basis der Anforderungen der Befragten an eine Prozessaufnahmemethode (siehe Abbildung 3) sowie Prozessbeschreibungsgrößen aus der Fachliteratur geeignete Kriterien definiert. Diese werden gruppiert, hierarchisiert und schließlich gewichtet.

Die Fachliteratur nennt verschiedene Ansätze und Daten, um logistische Prozesse ganzheitlich in Form von Material-, Informationsfluss und Ressourcen zu beschreiben. [Höm-05] bspw. definiert einen Logistikdatensatz auf Basis der Informationsbedarfe verschiedener Simulationswerkzeuge, dem Datenangebot von ERP-Systemen sowie eigener Erfahrung. Weitere Parameter sind in [Arn-98], [VDI3633] und [Jün-89] zu finden. In [Jün-00] werden Güter und Informationen, Personen und Energie als Objekte aufgeführt, die während eines Logistikprozesses transformiert werden, wofür unterschiedliche Ressourcen benötigt werden. Zusätzlich sind nach [Arn-08] Aktivitäten, Prozessergebnisse und Verantwortlichkeiten zu dokumentieren. Eine Aufteilung von Analyse- und Planungsdaten in Mengengerüst, Materialströme, Daten- und Informationsfluss, räumliche Anbindung sowie weitere Randbedingungen ist in [Gün-10a] zu finden. Einen weiteren Aspekt liefert [Sys-90] mit der Bewertung verschiedener Vorgänge durch spezifische Kennzahlen.

Zusammenfassend schaffen diese Daten folgende grundlegende Datenbasis, die eine Methode berücksichtigen muss, was wiederum durch geeignete Kriterien zu bewerten ist.

- Ressourcen: Betriebsmittel; Personal; Flächen, Räumlichkeiten und Infrastruktur
- Objekte: Material (Ware, Gut); Information
- Vorgänge und Aktivitäten: Beschreibung der Inhalte; Bewertung (Qualität, Quantität)

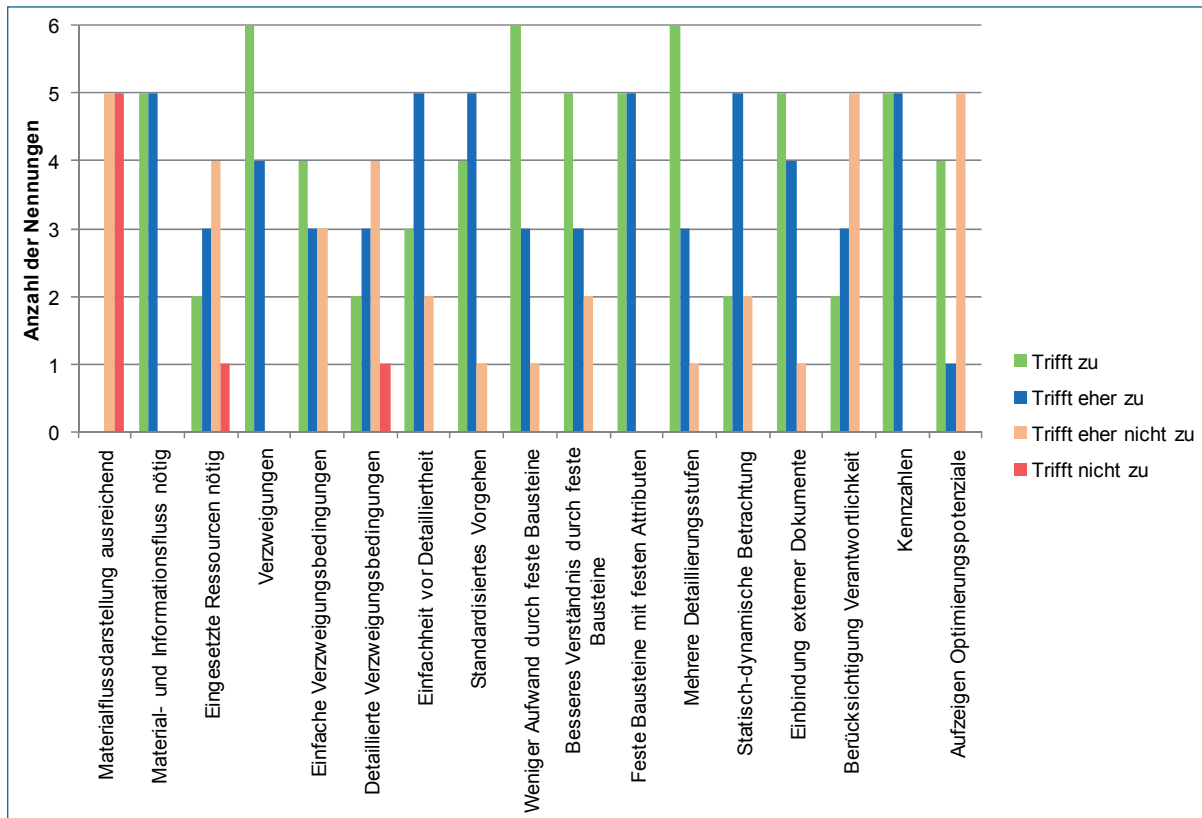


Abbildung 3: Anforderungen an eine Prozessaufnahme

Aufbauend auf dieser Datenbasis, die durch eine Methode abgedeckt werden soll, können vier grundlegende Anforderungsgruppen definiert werden. Essentiell für eine ganzheitliche Methode zur Aufnahme und Darstellung von Logistikprozessen ist die Berücksichtigung von Material-, Informationsfluss und Ressourcen. Diese Fähigkeit wird hier als „Prozessgestaltung“ bezeichnet. Die „Prozesslogik“ als zweite Gruppe der Kriterien beschreibt, ob und wie die Logik eines Prozesses abgebildet werden kann. Die „Prozessleistung“ hilft, die Leistungsfähigkeit eines Prozesses durch Kennzahlen qualitativ und quantitativ zu bewerten. Das „Prozessverständnis“ hingegen gibt ein Urteil darüber ab, wie Anwender und Betrachter die dargestellten Prozesse nachvollziehen können.

Die vier Anforderungsgruppen setzen sich wiederum aus einzelnen Kriterien zusammen. Diese werden empirisch von den Anwendern anhand allgemeiner Aussagen zu Anforderungen an eine Prozessdarstellungsmethode

(siehe Abbildung 3) sowie Einschätzungen zur Wichtigkeit einzelner Anforderungen ermittelt. Durch Erfahrungen aus Prozessaufnahmen in verschiedenen Industrieprojekten wurden weitere, nicht genannte Kriterien ergänzt sowie zu allgemeineren Aussagen zusammengefasste Kriterien vereinzelt und detailliert.

Anforderungen an die Prozessgestaltung

Entscheidend für die Prozessdarstellung ist deren Ganzheitlichkeit. Wie in Abbildung 3 ersichtlich ist die alleinige Darstellung des Materialflusses für eine Prozessabbildung nicht ausreichend, die Berücksichtigung des Informationsflusses wird als ebenso bedeutend erachtet. Die Darstellung der Ressourcen ist auf den ersten Blick von geringerer Bedeutung. Im Sinne einer allgemein gültigen Methode für die Abbildung innerbetrieblicher Logistikprozesse sind jedoch auch die eingesetzten Ressourcen als Kosten- und Effizienzfaktor unbedingt mit einzu-beziehen. Deshalb werden die drei Prozesssäulen gleich gewichtet.

Für die genauere Beschreibung der Säulen sind Kriterien zu definieren. In der Literatur sind hierzu verschiedene Ansätze zu finden, die sich mit der Detaillierung einzelner Vorgänge und des Flusses der Objekte im Material- und Informationsfluss befassen (z.B. Vorgänge in [VDI3300], Transformationsprozesse in [Jün-00], Grundfunktionen der physischen Logistik in [Gün-09]).

- **Vorgänge des Materialflusses:** Verpacken, Lagern, Fördern, Transportieren, Handhaben (Bilden oder Verändern einer Position eines Guts), Kommissionieren, Prüfen
- **Vorgänge des Informationsflusses:** Übermitteln, Transformieren (Umwandlung einer Information, bspw. von einem Lieferschein in ein übergeordnetes System), Verarbeiten (Erzeugen einer neuen Information durch die Veränderung bzw. Auswertung einer eingehenden Information)
- **Flusscharakteristik des Materialflusses:** Flussart (Art der Durchführung von Transport-, Fördervorgängen, z.B. manuell, automatisch), Förderweg, Ladegut (Objekt), Ladehilfsmittel (Objekträger)
- **Flusscharakteristik des Informationsflusses:** Schnittstelle (definierte Verbindung zur Informationsübertragung), Information (Objekt), Informationsträger (Objekträger, z.B. Transponder, Lieferschein)

Die **Ressourcen** werden in Fördermittel, Personal und Räumlichkeiten unterteilt. Bei den Fördermitteln wird zwischen Stetig- und Unstetigförderern unterschieden. Das Personal wird durch dessen Anzahl und Qualifikation beschrieben. Die Räumlichkeiten setzen sich aus deren räumlicher Anordnung und der dafür benötigten Fläche zusammen.

Anforderungen an das Prozessverständnis

Das Verständnis eines Logistikprozesses ist sowohl von der individuellen Fähigkeit des Betrachters als auch vom Umfang und der Komplexität des betrachteten Systems abhängig. Eine gute Darstellung wirkt deshalb positiv auf das Prozessverständnis. In Anlehnung an [Alo-07] können folgende sechs Kriterien für die Beurteilung des Prozessverständnisses abgeleitet werden. Aufbauend auf den Aussagen der Anwender in den Fragebögen wird deren Bedeutung für eine Prozessdarstellungsmethode bemessen.

Die **Eindeutigkeit** bezeichnet die einwandfreie Bedeutung und Unterscheidbarkeit eines Elements von anderen Elementen bspw. durch dessen Erscheinungsbild oder die Semantik und Notation verwendeter Symbole und Bausteine. Sie bildet nach Auffassung der Anwender nicht nur die Grundlage für ein intuitives Verständnis der Prozesse für alle Beteiligten und für eine hohe Aussagekraft der Methode, sondern auch für die Vollständigkeit der Prozessdaten.

Die Beschränkung auf das Wesentliche in Abhängigkeit von der jeweiligen Zielstellung bringt für eine Methode eine **Einfachheit** in der Prozessdarstellung mit sich. Diese wirkt sich auch positiv auf die Einstiegsschwelle für die Anwendung aus. Für die meisten Anwender geht daher die Einfachheit vor einer Detaillierung der Prozesse. Ein guter Ansatz, den Aufwand für die Prozessaufnahme zu reduzieren, wird in der Prozessdarstellung mit festen Bausteinen, die wiederum durch feste Attribute beschrieben werden können, gesehen (siehe Abbildung 3). Weitere diesbezügliche Anforderungen liegen in der schnellen, aufwandsarmen Aufnahme sowie intuitiven Anwendbarkeit einer Methode, die nicht von den abzubildenden Prozessen ablenkt und schnelle Korrekturen zulässt. Sehr geschätzt wird dabei auch die Prozessvisualisierung mit Papier und Bleistift ohne weitere Hilfsmittel, die durch kontextabhängige Vorgaben unterstützt wird.

Eng verbunden mit der Eindeutigkeit und Einfachheit der Prozessdarstellung ist ein klar definiertes Vorgehen für die Anwendung einer Methode. Die **Struktur** definiert ein derartiges Vorgehen nach festen Regeln, bspw. für die Anordnung und den Syntax einzelner Inhalte. Auch die Anwender erachten ein standardisiertes Vorgehen als wichtig bzw. eher wichtig (siehe Abbildung 3).

Weiterhin profitiert das Prozessverständnis von der visuell unterstützten Verknüpfung statischer Vorgänge und dynamischer Zustandsänderungen eines Prozesses. Der **Verknüpfungsgrad** bewertet diesen Bezug und wird von den Anwendern als eher wichtig eingeschätzt (siehe Abbildung 3).

Verfügt eine Methode zur Prozessdarstellung über ein flexibles **Detaillierungsniveau**, kann der Prozess in Abhängigkeit von der jeweiligen Zielstellung in verschiedenen Abstraktionsstufen mit einer Methode dargestellt und skaliert werden. Die Befragten geben diese Eigenschaft als wichtig an (siehe Abbildung 3).

Sichten bezeichnen unterschiedliche Ausschnitte eines Systems, um dieses im Hinblick auf einen spezifischen Sachverhalt zu untersuchen und verschiedene Interessenshintergründe zu berücksichtigen. Für die Betrachtung von Logistikprozessen muss eine Methode insbesondere in der Lage sein, logistikrelevante Parameter abzubilden. Von den Anwendern wird es in diesem Zusammenhang auch als hilfreich angesehen, externe Dokumente einbinden und Verantwortlichkeiten angeben zu können (siehe Abbildung 3).

Anforderungen an die Prozessleistung

Für die Bewertung von Logistikprozessen stehen prinzipiell die drei Zielgrößen Kosten, Zeit und Qualität zur Verfügung [Köp-02], die in Form verschiedener Kenngrößen ins Verhältnis gesetzt werden können, um konkrete Kennzahlen ableiten zu können. Diese helfen, Prozesse objektiv zu beurteilen. Diverse Kennzahlen sind in der Fachliteratur, bspw. in [Sys-90] oder [VDI2689], zu finden. Die Bedeutung, wesentliche Kennzahlen wie bspw. Prozesszeiten durch die Methode bereits bei der Prozessaufnahme zu berücksichtigen, wird von den Anwendern als hoch eingeschätzt (siehe Abbildung 3). Wünschenswert wäre dabei, mögliche Optimierungspotenziale bspw. durch farbliche Kennzeichnungen oder Symbole schon bei der Prozessaufnahme hervorzuheben.

Für die Methodenbewertung wurden zwei grundlegende Gruppen von Kennzahlen definiert, **Kennzahlen** mit Unternehmens- und Prozessbezug. Zur ersten Gruppe werden der Umsatz, die Termintreue, Personalkosten, Lieferzeit, Lieferbereitschaft und Konventionalstrafen gezählt. Die zweite Gruppe setzt sich aus der Bearbeitungs-, Übergangs- und Arbeitszeit sowie der Produktionsmenge, Fördermenge, Förderspiele, Förderstrecke und den Materialflusskosten zusammen.

Anforderungen an die Prozesslogik

Die Prozesslogik bezeichnet die Fähigkeit einer Methodik, den tatsächlichen Ablauf eines Prozesses und damit die Struktur eines Systems abzubilden. Dies beinhaltet insbesondere die Verknüpfung von Teilsystemen durch **Verzweigungen** und deren **Bedingungen** im Falle von alternativen Vorgangsfolgen. Die Darstellung von Verzweigungen wird dabei als eminent erachtet (siehe Abbildung 3). Generell herrscht hierbei Einigkeit darüber, dass die zu Grunde liegenden Bedingungen beschrieben werden müssen. Ob eine einfache, boolesche (z.B. ODER, UND, XODER) oder individuelle, formlos und frei formulierte Beschreibung vorzuziehen ist, ist nicht klar zu sagen, weshalb beide Möglichkeiten als Kriterien definiert werden.

4 Bewertung der Methoden

4.1 Auswahl des Bewertungsverfahrens

Im nächsten Schritt wird ein geeignetes Verfahren zur Durchführung der Bewertung recherchiert. Der zu untersuchende Lösungsspielraum besteht dabei aus den vorgestellten acht Methoden zur Prozessaufnahme und Prozessdarstellung. Die vorgestellten Bewertungskriterien sind meist qualitativer Natur, für einen Vergleich der Methoden ist jedoch ein quantitativer Nutzwert erforderlich. Hierfür stehen bspw. in Form der Nutzwertanalyse (NWA), des analytisch hierarchischen Prozesses (AHP) und des Multikriterienverfahrens nach Ghandforoush (MKV) unterschiedliche Verfahren zur Verfügung.

Für die Nachvollziehbarkeit der Bewertung ist ein paarweiser Vergleich der einzelnen Methoden auf Basis der hierarchischen Kriterien von Vorteil. Insbesondere bei komplexeren Vergleichen kann es dabei jedoch zu Inkonsistenzen in der Bewertung kommen, die es mit dem Verfahren im Sinne eines möglichst objektiven Ergebnisses zu berücksichtigen gilt [Saa-08].

Nach [Oss-96] bietet nur der AHP eine präzise Möglichkeit, Inkonsistenzen eines paarweisen Vergleichs zu ermitteln. Beim MKV werden die Kriterien in quantitativ, qualitativ und kritisch unterteilt und nur innerhalb dieser Gruppen [Gha-85], also nicht im geforderten Sinn hierarchisch gewichtet. Aus diesem Grund wurde für die Bewertung der AHP nach [Saa-08] ausgewählt.

Der AHP bedient sich für den paarweisen Vergleich der Zielkriterien sowie der Erfüllung der Kriterien durch die jeweiligen Methoden einer reziproken Werteskala mit Werten zwischen 1/9 und 9 für eine absolut unterlegene (1/9), gleiche (1) bis dominante (9) Wichtigkeit. Dieser Vergleich ist die Grundlage für die Ermittlung eines eindimensionalen Nutzwerts aus einem mehrdimensionalen Entscheidungsproblem.

Im Sinne der Konsistenz gilt für jeden paarweisen Vergleich die reziproke Bedingung $V_{ij} = 1/V_{ji}$. Um diese Konsistenz zu überprüfen bietet der AHP einen Inkonsistenzfaktor IK, der den Nutzer insbesondere bei umfangreichen Vergleichen entlasten soll. Darin fließen der Eigenwert der quadratischen Vergleichsmatrix, die sich aus dem paarweisen Vergleich der Alternativen bzw. Kriterien ergibt, sowie ein eigens entwickeltes Vergleichsmaß

in Abhängigkeit von der Anzahl der Spalten der Vergleichsmatrix ein. Bei einem $IK > 0,1$ wird von einer inkonsistenten Vergleichsmatrix ausgegangen [Oss-96].

Bei der Durchführung des AHP werden zunächst die Zielkriterien auf Basis des paarweisen Vergleichs gewichtet, in einer Vergleichsmatrix VK dargestellt und auf Inkonsistenzen überprüft. Aus der Normierung des Reihensummenvektors der Vergleichsmatrix berechnet sich der Gewichtungsvektor. Anschließend werden in weiteren Vergleichsmatrizen die einzelnen Methoden hinsichtlich der Erfüllung der Zielkriterien verglichen, diese Matrizen quadriert und wiederum ein Reihensummenvektor gebildet. Dieser wird normiert, um den Erfüllungsvektor der Methoden für das jeweilige Zielkriterium zu erhalten. Darauf aufbauend wird die Erfüllungsmatrix abgeleitet, die mit dem Gewichtungsvektor multipliziert wird.

Ein Nachteil des AHP ist, dass er beim paarweisen Vergleich zweier Alternativen Dominanzen zuordnet. Diese ist in jedem Fall größer Null, selbst wenn bei einer der beiden Alternativen das Kriterium nicht vorhanden ist. Die Alternative erhält diesbezüglich einen Nutzwert größer Null, auch wenn dieser gegen Null geht. Unter der Kenntnis dieser Tatsache wird das Gesamtergebnis mittels des AHP interpretiert.

4.2 Gewichtung der Bewertungskriterien

Basierend auf den Aussagen der empirischen Untersuchung (siehe Abbildung 3) sowie persönlicher Einschätzungen nach fundierter Literaturrecherche und Praxiserfahrung erfolgt eine Gewichtung der Bewertungskriterien. Dazu werden diese auf den verschiedenen Hierarchieebenen nach dem Vorgehen des AHP paarweise miteinander verglichen (siehe Abbildung 4, evtl. Abweichungen zur Gesamtsumme von 100% ergeben sich durch Rundungsfehler).

Prozessgestaltung 52%						Prozessverständnis 20%		Prozessleistung 20%				Prozesslogik 8%																																	
Materialfluss 33%			Informationsfluss 33%			Ressourcen 33%				Unternehmensgrößen 25%		Prozessgrößen 75%																																	
Vorgänge 50%			Flusscharakteristik 50%																																										
Verpacken 4%	Legern 17%	Fördern 17%	Transportieren 17%	Handhaben 15%	Kommissionieren 15%	Prüfen 15%	Flussart 30%	Fördereweg 10%	Ladegut 30%	Ladehilfsmittel 30%	Übermitteln 59%	Transformieren 13%	Verarbeiten 28%	Schnittstelle 37%	Information 17%	Informationsträger 37%	Übergeord. System 9%	Stetigförderer 19%	Unstetigförderer 36%	Anzahl Personal 25%	Qualifikation Personal 6%	Fläche 7%	Räumliche Anordnung 7%	Eindeutigkeit 48%	Einfachheit 15%	Struktur 14%	Verknüpfungsgrad 10%	Detaillierungsniveau 8%	Sichten 5%	Umsatz 34%	Terminfreue 10%	Personalkosten 35%	Lieferzeit 9%	Lieferbereitschaft 7%	Konventionalstrafen 5%	Bearbeitungszeit 27%	Fördermenge 8%	Förderispiele 3%	Förderstrecke 3%	Materialflusskosten 10%	Produktionsmenge 27%	Übergangszeit 22%	Boolesche Bedingungen 14%	Individuelle Bedingungen 43%	Verzweigungen 43%

Abbildung 4: Gewichteter Bewertungskriterienkatalog

Die größte Präferenz der Bewertung gilt der **Prozessgestaltung** (52%), die für die ganzheitliche Prozessdarstellung steht. Jeweils gleich gewichtet mit 33% ist die hierfür relevante Abbildung von Material-, Informationsfluss und eingesetzten Ressource. Ebenfalls von gleicher Bedeutung (50%) ist die Darstellung der Vorgänge und der Flusscharakteristik von Material- und Informationsfluss.

Im **Materialfluss** werden die grundlegenden und häufigsten Vorgänge jeweils im Ergebnis annähernd gleich gewichtet (17% bzw. 15%). Das Verpacken (4%) ist in diesem Vergleich eher sekundär und beinhaltet zudem einzelne bereits berücksichtigte Vorgänge. Am wichtigsten für die Darstellung der Charakteristik des Materialflusses sind die zu Grunde liegenden Objekte in Form von Ladeinheit und Ladehilfsmittel (je 30%), die im Prozess wechseln können, wodurch sich die Bezugseinheit und damit die Beschreibung des Vorgangs ändern. Ebenfalls eminent ist die Angabe der Flussart (30%) (manuell, mechanisiert, automatisch), da diese einen ersten Hinweis auf mögliche Optimierungspotenziale bietet.

Der grundlegende Vorgang des **Informationsflusses** ist die Übermittlung (59%) von Informationen, die beschreibt, wie die Information aufgenommen und übertragen wird. Dadurch wird insbesondere auch dem Einsatz von AutoID-Techniken Rechnung getragen, die die Informationsaufnahme stark beeinflussen können. Das Verarbeiten (28%) von Inputs nach bestimmten Regeln zu Outputs ist ebenfalls höher gewichtet als die den Informationsfluss vervollständigende Transformation (13%). Hinsichtlich der Charakteristik des Informationsflusses haben die Darstellung der Schnittstellen und Informationsträger (je 37%) das größte Gewicht, da diese der Übertragung zu Grunde liegen.

Bei den **Ressourcen** werden die Unstetigförderer mit 36% als am wichtigsten angesehen, da sie gerade für den Einsatz von AutoID-Techniken direkt am Flurfördergerät viele Einsatzmöglichkeiten bieten. Das Personal wird mit 25% berücksichtigt, weil es in der Regel ein hohes Kostenpotenzial darstellt und bei manuellen Vorgängen entscheidend für deren Qualität ist.

Die Basis für das **Prozessverständnis** bildet die Eindeutigkeit der Prozessdarstellung (48%) gemeinsam mit deren Einfachheit (15%) und der damit zusammenhängenden klaren Struktur (14%). Eventuelle Abweichungen zu den Aussagen der Anwender, z.B. bzgl. des Detaillierungsniveaus (siehe Abbildung 4), liegen darin begründet, dass eine Methode zur Berücksichtigung von AutoID-Technologien eine gewisse Detaillierung erfordert. Zudem stehen zu abstrakte Prozesse im Gegensatz zur geforderten Eindeutigkeit.

Im Sinne einer Prozessbewertung liegt der Schwerpunkt der Beurteilung der **Prozessleistung** mit 75% auf der Angabe von Kennzahlen mit direktem Prozessbezug. 25% beträgt die Gewichtung für die Angabe unterneh-

mensbezogener Kennzahlen. Am meisten Aussagekraft für die quantitative Bewertung der Prozessleistung haben die Bearbeitungszeit (27%), Produktionsmenge (27%), Übergangszeit (22%). Die Materialflusskosten fließen in die prozessbezogenen Kennzahlen mit 10% ein, sind jedoch in der Regel schwierig direkt zu ermitteln. Bei den Unternehmensgrößen liegt der Fokus auf der Berücksichtigung von Personalkosten (34%) und Umsatz (34%). Die **Prozesslogik** ist entscheidend von der schlüssigen Darstellung der Verzweigungen (43%) abhängig. Im Gegensatz zur Angabe der Anwender (siehe Abbildung 5) wurden individuelle Bedingungen (43%) deutlich höher gewichtet, als boolesche Bedingungen (14%). Der Grund hierfür ist die Abhängigkeit der Prozesslogik von einer eindeutigen Erklärung der Verzweigungen, die im Zweifelsfall nur mit einer individuellen Beschreibung garantiert werden kann.

4.3 Definition eines beispielhaften Logistikprozesses

Um die einzelnen Methoden hinsichtlich ihrer Anwendung zur Aufnahme und Darstellung von Logistikprozessen bewerten zu können, wird ein beispielhafter Wareneingangs- und Einlagerungsprozess eines Projektpartners herangezogen. Der Wareneingang besteht aus der Anlieferung der Waren inklusive Verladung der Leerpalletten im Tausch und anschließender Qualitätskontrolle. Im darauf folgenden Einlagerungsprozess wird die angelieferte Ware vor der Einlagerung im Hochregal in der Kontur vermessen, evtl. nachgebessert, identifiziert und zum Übergabepunkt transportiert.

4.4 Erfüllungsgrad der einzelnen Zielkriterien

Der gewichtete Zielkriterienkatalog wird nach dem Vorgehen des AHP zur Bewertung der vorgestellten Methoden angewendet. Gegenstand sind die Darstellung des Referenzprozesses, aber auch die Einschätzungen der Anwender aus den Fragebögen. Diese beruhen auf persönlichen, individuellen Meinungen. Auch ist zu berücksichtigen, dass in der Praxis häufig individuell adaptierte Methoden genutzt werden, die sich von der klassischen Form der Methode graduell unterscheiden. Nachfolgend wird die Erfüllung der Zielkriterien durch die einzelnen Methoden nach dem Grad der Erfüllung sortiert wiedergegeben und mit den Aussagen der Anwender verglichen.

Erfüllung der Prozessgestaltung

Die **Darstellung des Materialflusses** durch klar definierte **Standardvorgänge** findet bei SCOR nicht statt. Während die dritte Ebene diesbezüglich zu abstrakt ist, liefert die vierte Ebene hierfür keinerlei Vorgaben. SysML, BPMN, EPK, POA und WSA bieten hierzu ebenfalls keine Vorgaben, stellen dem Anwender jedoch prinzipiell die Definition von Vorgängen frei. Die Konsistenz der Darstellung ist somit vom Anwender abhängig. Das Sankey-Diagramm hebt nur Vorgänge des Bewegens wie Transportieren oder Fördern hervor. Einzig die VDI 3300 unterscheidet explizit spezifische Vorgänge des Handhabens, Transportierens bzw. Förderns, Prüfens, Lagerns, Aufenthalts und Fertigungs, die durch charakteristische Größen beschrieben werden können.

Auch für die einwandfreie Angabe der **Flusscharakteristik** finden sich sowohl bei SCOR, als auch bei BPMN und EPK weder Elemente noch Nomenklatur. Ähnlich verhält es sich bei der POA, bei der jedoch die Spezifikation der Elemente für derartige Angaben anwenderspezifisch genutzt werden kann. Die WSA verlangt streng genommen für jede Produktvariante eine eigene Wertstromdarstellung. Auf Grund des Aufwands werden in der Praxis deshalb ähnliche Prozesse zusammengefasst, was zu Unschärfen führt. Die SysML unterstützt in den verschiedenen Diagrammen die Detaillierung der Flussart, Ladeeinheiten und Ladehilfsmittel, jedoch nicht des Förderwegs. Zwar sind im Sankey-Diagramm leichte Unterschiede der Fördermenge schwer darstellbar. Unterschiedlichen Flussarten, Ladeeinheiten und Ladehilfsmitteln kann allerdings über unterschiedliche Farben Rechnung getragen werden. Auch der Förderweg kann qualitativ gut dargestellt werden. Die VDI 3300 unterscheidet einzelne Fördermittel und Förderarten und beschreibt den Förderweg in Länge und Richtung, die Ladehilfsmittel in Ausprägung und Menge und die Ladeeinheiten anhand von Bemerkungen.

Die Ergebnisse aus den Fragebögen untermauern dieses Bild. Von den Befragten Anwendern sehen viele bei der Darstellung des Materialflusses durch logistikgerechte Vorgänge Vorteile beim WSA und der EPK (siehe Abbildung 5). Sie nutzen dabei die beschriebenen Freiheiten der Methoden, Vorgänge individuell zu definieren und textuell zu beschreiben, geben aber auch ganz klar das Fehlen explizit vorgegebener Logistikvorgänge und von Logistikparametern auf Grund der Produktionslastigkeit als Nachteil an.

Die Darstellung des **Informationsflusses** in Form von **Standardvorgängen** wird weder durch SCOR noch Sankey-Diagramm oder VDI 3300 angeboten. SysML und POA berücksichtigen Vorgänge der Transformation und Verarbeitung der Information durch eigene Prozesselemente, die Übermittlung entspricht gerichteten Kanten. Mit Ausnahme der Übermittlung bei der POA, die gestrichelt dargestellt wird, sind die Vorgänge des Informationsflusses bis auf bspw. Farben nicht klar von denen des Materialflusses unterscheidbar. Die WSA bildet die Übermittlung durch eigene Kanten im Gegensatz zum Verarbeiten und Transformieren eindeutig ab. Auch die BPMN nutzt eindeutige, gestrichelte Kanten für die Übermittlung, während Transformation oder Verarbeiten nur durch Farben grafisch vom Materialfluss zu differenzieren ist. Hingegen werden in der EPK in Form einer Datenverarbeitungsfunktion Transformation und Verarbeitung eigens, die Übermittlung als gerichtete Kante lediglich ohne Unterschied zum Materialfluss dargestellt.

Das Sankey-Diagramm sowie die VDI 3300 stellen die **Flusscharakteristik** des Informationsflusses nicht dar. SCOR berücksichtigt zumindest die In- und Outputinformationen einzelner Prozessschritte. Auch die WSA bietet wie die POA, BPMN und EPK keine Möglichkeit zur Darstellung von Schnittstellen und betrachtet wie die POA die Informationsträger nicht hinreichend. Lediglich Informationen können sowohl bei der WSA als auch bei der POA frei benannt werden. Informationsträger und deren Informationen können bei der BPMN durch die Weiterentwicklung so genannter Artifacts angegeben werden. Die EPK bietet drei Informationsträger (Liste, Datei, Formular) bereits an. Die Informationen werden in den Datenkästen notiert. Als einzige Methode berücksichtigt die SysML die Schnittstelle in Form der Flussrichtung. Informationen werden durch kommentierte Kanten und Informationsträger im Blockdefinitionsdiagramm verzeichnet.

Die POA kann der Integration in Simulationswerkzeuge dienen. Die BPMN stellt für die Integration der Prozesse in übergeordnete Systeme eine XML-basierte Sprache bereit. Auch die EPK und SysML unterstützen eine Überführung.

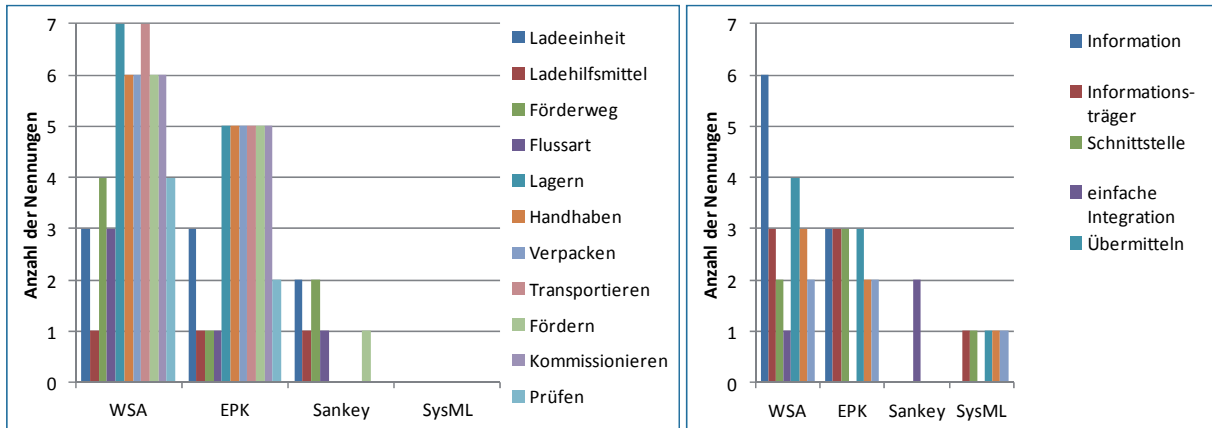


Abbildung 5: Darstellung des Materialflusses (links) und Informationsflusses (rechts) durch ausgewählte Methoden

Zwar wird in der Praxis auch der Informationsfluss mit der WSA grundlegend dargestellt. Dabei werden jedoch Schwächen in der Darstellung des Informationsflusses durch eine zu geringe Detaillierung insbesondere der Informationsverarbeitung gesehen (siehe Abbildung 5). Als Stärken der EPK werden in Analogie zur Auswertung der Darstellung der Informationsflussvorgänge und Informationsträger gewertet. Auf Grund der Freiheiten der Methode werden mitunter auch Schnittstellen grob erfasst. Auch die Einschätzungen zur SysML entsprechen sich. Die Integrierbarkeit der Prozesse in übergeordnete Systeme wird jedoch anders eingeschätzt. Die Anwender haben hierzu eher ihren persönlichen nachträglichen Aufwand statt der prinzipiellen Integrierbarkeit bewertet, wobei sowohl EPK als auch SysML schlecht abschneiden.

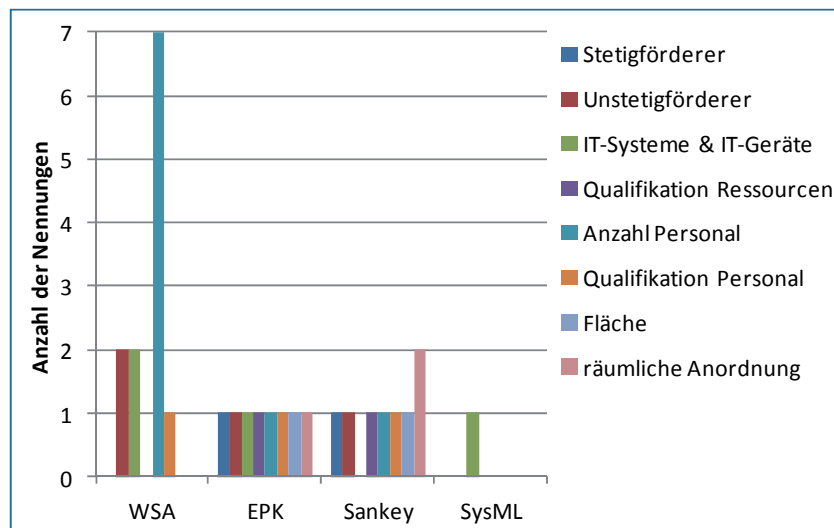


Abbildung 6: Darstellung der Ressourcen durch ausgewählte Methoden

SCOR und EPK erfassen zu den **Ressourcen** keinerlei Informationen, ebenso wenig wie die BPMN, die prinzipiell über Swimlanes das Personal berücksichtigen kann. Die POA sieht die Abbildung von Fördermitteln vor, nicht jedoch von Personal. Die SysML lässt zumindest eine grundlegende Klassifizierung unterschiedlicher Betriebsmittel und des Personals durch farbige Blöcke im internen Blockdiagramm zu. Im Sankey-Diagramm kann der Anwender zur Beschreibung der Betriebsmittel ohne Vorgaben oder eine feste Nomenklatur die Fluss-

kanten frei gestalten. Bei der WSA wird der Materialfluss zwischen den Prozesskästen unabhängig vom Fördermittel dargestellt mit begrenzten Möglichkeiten für eine Modifikation. Das Personal wird hingegen in Anzahl und Art in den Prozesskästen angegeben. Die meisten Informationen zu Betriebsmitteln und Personal liefert die VDI 3300, die sogar die Förderart explizit unterscheidet und die Qualifikation des Personals beschreibt.

Abbildung 6 zeigt, dass die Schwächen der WSA in der Betriebsmitteldarstellung auch in der Praxis ähnlich gesehen werden. Bei der EPK kommt wiederum die Freiheit der Methode zum Tragen, die mitunter auch für die grundsätzliche Angabe von Ressourceninformationen ohne Vorgabe oder Hilfestellung genutzt wird. Die Integration der Ressourcen wird daher auch als ungünstig gesehen.

Die Bewertung der Berücksichtigung der Prozessgestaltung macht deutlich, dass keine der genannten Methoden Logistikprozesse ganzheitlich, d.h. Material-, Informationsfluss und Ressourcen, und umfassend, d.h. die verschiedenen Anforderungen, abbildet. Lediglich einzelne Aspekte werden jeweils beleuchtet. Die Aussagen der Anwender in Abbildung 7 unterstützen dieses Ergebnis. Sowohl bei der WSA als auch bei der EPK und dem Sankey-Diagramm wurde die fehlende Ganzheitlichkeit explizit als Schwäche formuliert sowie bei der SysML der fehlende Logistikbezug. Eine weitere Schwierigkeit wird demnach in der folgerichtigen, logischen Verknüpfung von Material- und Informationsfluss gesehen.

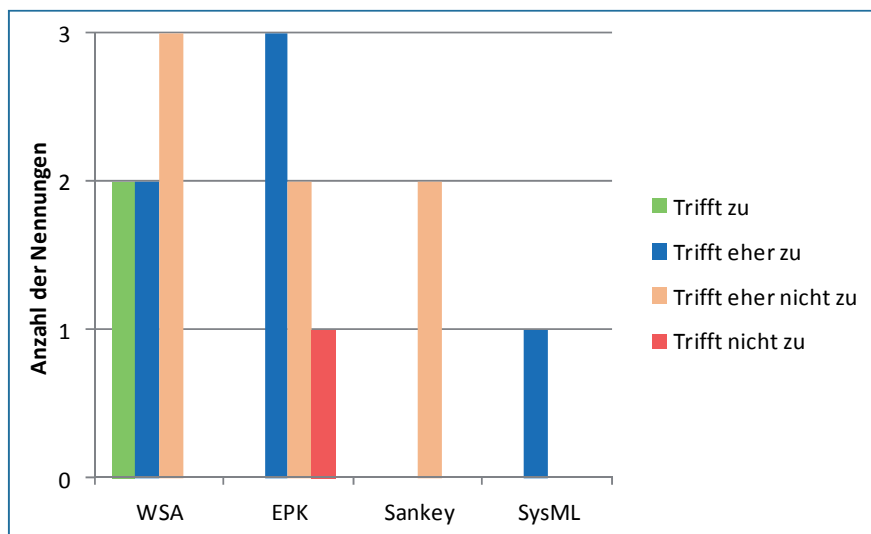


Abbildung 7: Ganzheitliche Prozessdarstellung durch ausgewählte Methoden

Erfüllung des Prozessverständnisses

Die SysML bietet dem Anwender viele Gestaltungsmöglichkeiten der Elemente zu Lasten der **Eindeutigkeit** und mit der Gefahr von Inkonsistenzen. Auch bei der EPK können einzelne Elemente nur im Detail unterschieden und damit verwechselt werden. Das Sankey-Diagramm hat eine eindeutige Notation im Hinblick auf die reine Materialflussdarstellung, wird jedoch insbesondere bei parallelen Flüssen schnell unübersichtlich. Auch die WSA besitzt eine eindeutige, bildreiche Darstellung, erfordert dafür aber eine gewisse Eingewöhnung. Ähnlich verhält es sich mit der VDI 3300. Eine klare Notation mit Unterscheidung zwischen verschiedenen Flusstypen und ergänzenden Symbolen bietet die BPMN, während die Stärke der POA in der Beschränkung auf wenige, nachvollziehbare Elemente liegt. Das Maß der Dinge ist jedoch SCOR dank eindeutiger Semantik, Prozessbenennung und einfacher Nachvollziehbarkeit.

Mit Ausnahme der SysML, die viel Raum für individuelle Erweiterungen und verschiedene Sichten zulässt, wird die Anforderung der **Einfachheit** von nahezu allen Methoden prinzipiell erfüllt. Im paarweisen Vergleich ergeben sich jedoch mitunter deutliche Unterschiede. Die WSA stellt eine sehr praxisorientierte, teilweise recht grobe Methode dar, die einen gewissen Einarbeitungsaufwand erfordert. Ohne tiefe Methodenkenntnis bei ebenfalls einfacher, leicht verständlicher Darstellung kommen die EPK, POA und BPMN aus. Dank der Reduzierung auf das Wesentliche stellt auch das Sankey-Diagramm Prozesse einfach und intuitiv dar, kommt jedoch trotz der höheren Detailtiefe nicht an die VDI 3300 heran. Auf Grund der einfachen Notation und Prozessdarstellung in Folge vielsagender Benennungen und Vorgaben des Prozesskatalogs schneidet SCOR bei der Einfachheit am besten ab.

Die **Struktur** ist primär von einer klaren Syntax der Elemente abhängig. BPMN, POA und WSA bieten kaum Vorgaben für die Prozessgestaltung und Anordnung der Symbole. Die EPK leistet hierzu Hilfe durch den unabhängigen Wechsel von Aktivität und Zustand sowie Verzweigungsregeln. Das Sankey-Diagramm kommt dank seiner Einfachheit ohne umfangreiche Syntax aus. Enge Vorgaben sind im Materialflussbogen der VDI 3300 zu finden, nicht jedoch in der Materialflussskizze. Am besten schneidet auch hier SCOR zusammen mit der SysML wegen der eindeutigen, klar strukturierten, hierarchischen Notation ab.

Der **Verknüpfungsgrad** bezeichnet die zusammen gehörende statische und dynamische Prozessbetrachtung. Sowohl SCOR als auch die BPMN, WSA und VDI 3300 stellen Prozesse nur statisch dar. Das Sankey-Diagramm bietet theoretisch die Möglichkeit, beide Betrachtungen wahlweise ohne Verknüpfung durchzuführen. Die SysML gibt in getrennten Diagrammen beide Betrachtungsformen sehr gut vor, wobei ein zwingender Bezug fehlt. Auch die POA stellt beide Formen nicht zusammen in einer Abbildung dar. Lediglich die EPK beschreibt Prozesse statisch und dynamisch direkt verknüpft in einer Ansicht.

Verschiedene **Sichten** sind weder bei SCOR, noch dem Sankey-Diagramm oder der WSA vorgesehen. Die BPMN und die EPK geben hingegen keine Sichten vor. Deren Darstellung ist folglich vom Anwender abhängig. Die VDI 3300 realisiert mit dem Materialflussbogen und der Materialflussskizze grundsätzlich eine zeitliche und mengenmäßige Sicht. Ebenfalls verschiedene Sichten gewährleistet die POA durch eine statische Ressourcen- und Wertflussdarstellung sowie ein dynamisches Simulationsmodell. Am flexibelsten ist die SysML durch seine verschiedenen Diagramme mit jeweils unterschiedlichen Prozessaspekten.

Die VDI 3300 stellt Prozesse in einem fixen, relativ feinen **Detaillierungsniveau** dar. Die SysML, EPK, WSA und das Sankey-Diagramm treffen diesbezüglich keine Vorgaben unter Umständen zu Lasten der Konsistenz, während die POA die Detaillierungsebene lediglich durch die Nummerierung der einzelnen Prozesse berücksichtigt. Mehr Führung bietet die BPMN, indem für einzelne Prozesse Sub-Prozesse bei freier Wahl der Detaillierung gewählt werden können. Lediglich SCOR gibt eine klare Prozesshierarchie mit definierten Teilprozessen vor und realisiert somit eine Skalierung der Detaillierung.

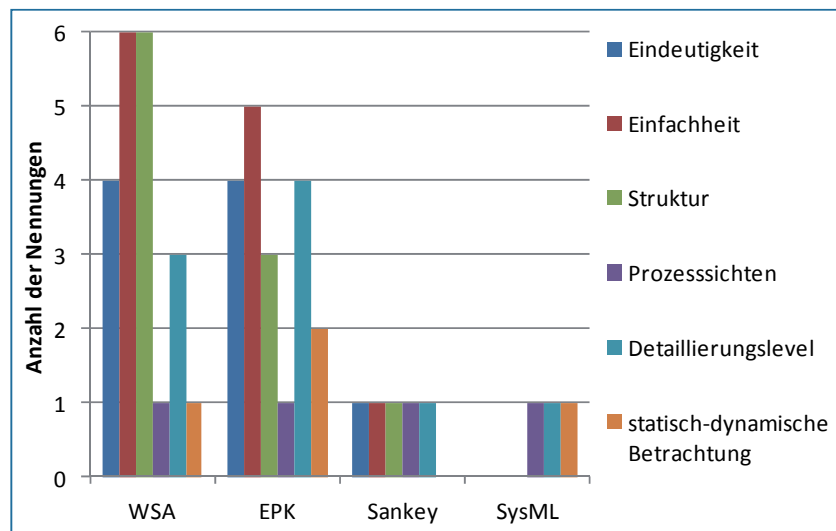


Abbildung 8: Unterstützung des Prozessverständnisses durch ausgewählte Methoden

Abbildung 8 stellt den Bewertungsergebnissen die Einschätzungen der Anwender gegenüber. Auffallend ist bei der WSA das gute Abschneiden der Einfachheit und Struktur im Gegensatz zu den vorgestellten Ergebnissen. Der Grund liegt in der Vereinigung von zwei Aspekten in der Antwort. So wird als ein Vorteil der WSA zwar die Nachvollziehbarkeit der Prozesse durch Dritte angegeben, jedoch als Nachteil zugleich der verhältnismäßig hohe Einarbeitungsaufwand. Auch bei der EPK wird die Eindeutigkeit hoch eingeschätzt. Im Vergleich mit von den Anwendern nicht genutzten Methoden gerät sie jedoch, trotz ihrer vorhandenen Einfachheit, ins Hintertreffen. Kleinere Ungenauigkeiten sind dem Vergleich der qualitativen ja/nein-Abfrage im Fragebogen mit dem quantitativen Nutzwert der Bewertung geschuldet.

Erfüllung der Prozessleistung

Kenngrößen werden mit SCOR nicht konsequent einheitlich erfasst, sondern für jeden Teilprozess spezifisch ermittelt. Die EPK stellt dem Nutzer keinerlei spezifische Elemente zur Bewertung zur Verfügung. Hierfür müssten bestehende Elemente unter Bruch der Nomenklatur adaptiert werden. Während die SysML in ihrer ursprünglichen Form in erster Linie lediglich Prozesszeiten berücksichtigt, nimmt das Sankey-Diagramm die Fördermenge, Förderstrecke sowie räumliche Anordnung und Flächen auf. Die BPMN lässt hierfür Raum für Ergänzungen, wobei eine konsistente Angabe beim Anwender liegt. Zumindest aus Sicht des Materialflusses berücksichtigt die VDI 3300 bereits einige Kennzahlen und erlaubt über das Bemerkungsfeld des Materialflussbogens zusätzliche Größen. Auf eine ähnliche Weise sind bei der POA grundsätzlich alle Messgrößen in den verschiedenen Diagrammen anzugeben, wobei einige Kennzahlen bereits vorgegeben sind. Durch die Fokussierung der Verschwendung schneidet die WSA bei der Prozessleistung am besten ab. Sie bietet sowohl konkrete Kennzahlen als auch Raum für individuelle, einfache Ergänzungen in den Prozesskästen an.

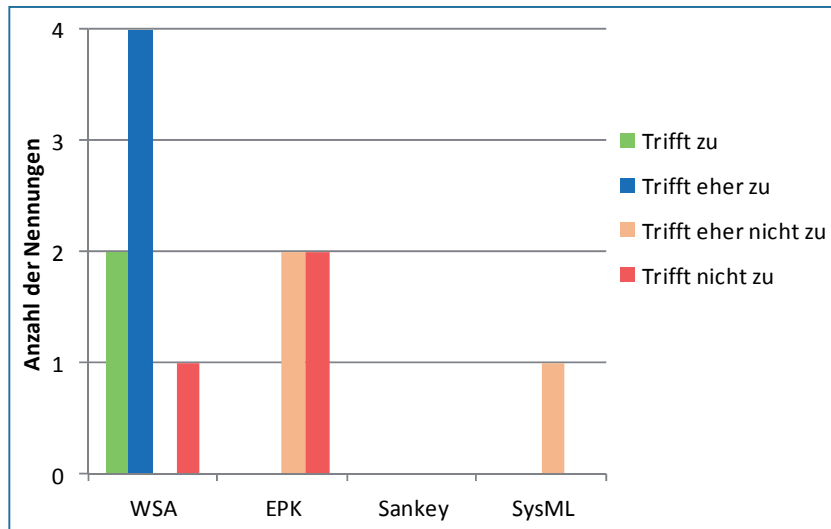


Abbildung 9: Hinreichende Bewertung der Prozessleistung durch ausgewählte Methoden

Auch die Anwender sehen die Stärke der WSA in der Bewertung der Prozessleistung und dem Aufdecken von Schwachstellen, während diese Eigenschaften bei der EPK und SysML als unzureichend ausgeprägt erachtet werden (siehe Abbildung 9).

Erfüllung der Prozesslogik

SCOR verfügt über keine spezifischen Elemente zur Darstellung von **Verzweigungen**. Auch die WSA bietet hierzu wenig, da sie die Abbildung von Hauptvorgangsfolgen postuliert. Alle weiteren Methoden unterstützen Prozessverzweigungen.

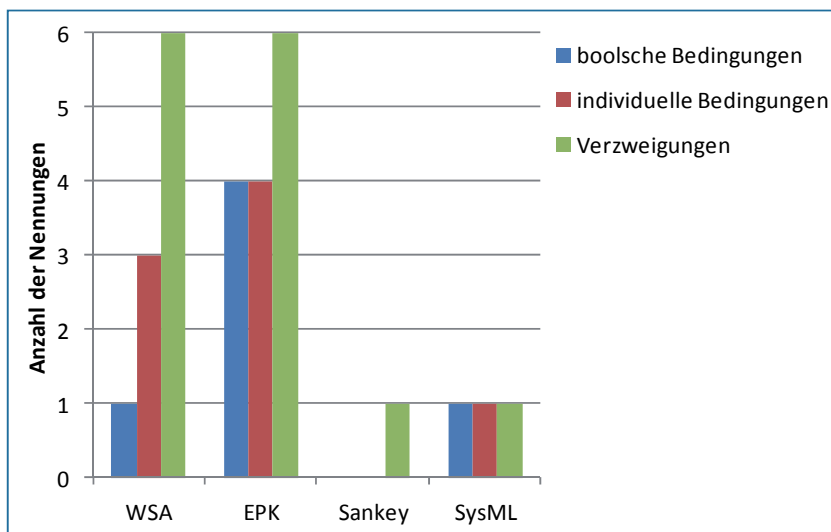


Abbildung 10: Darstellung der Prozesslogik durch ausgewählte Methoden

Die **individuelle Beschreibung** der den Verzweigungen zu Grunde liegenden Bedingungen ist weder Bestandteil der WSA noch des Sankey-Diagramms oder von SCOR. Die EPK verzichtet ebenfalls darauf, da die den Verzweigungsknoten einleitenden Zustände mit boolschen Bedingungen ausreichend beschrieben sind. In der VDI 3300 kann hierfür das Bemerkungsfeld des Materialflussbogens genutzt und bei der BPMN können individuelle Anmerkungen an den Knoten gemacht werden. Im Zustandsdiagramm der POA sind individuelle Beschreibungen der Bedingungen prinzipiell möglich. Allen voraus ist jedoch die SysML, die explizit eine derartige Beschreibung der Knoten vorsieht.

Boolsche Bedingungen, wie UND, ODER, XODER, als andere Möglichkeit der Verzweigungsbeschreibung finden nur in wenigen Methoden Anwendung. Im vorliegenden Fall bieten nur die EPK sowie die BPMN eigene derartige Symbole, die durch Anmerkungen ergänzt werden können.

Auch die befragten Anwender sehen die grundsätzliche Darstellung von Prozessverzweigungen mit der WSA oder dem Sankey-Diagramm eher schwierig. Besser werden hierzu die EPK und die SysML eingeschätzt. Offensichtlich ist auch, dass einige Anwender das WSA und die EPK adaptiert haben, um durch Anmerkungen Verzweigungen zu beschreiben (siehe Abbildung 10).

Zusammenfassung

Abbildung 11 zeigt die quantifizierten Nutzwerte der einzelnen Methoden an. Dabei fällt das gute Abschneiden der VDI 3300 mit großem Abstand zur WSA und POA sowie SysML auf.

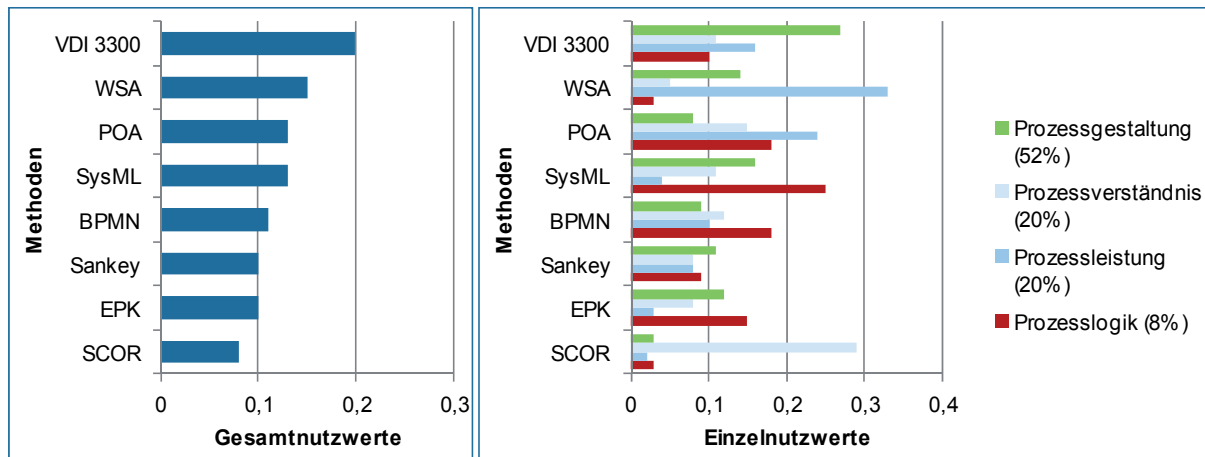


Abbildung 11: Quantifizierte Gesamt- und Einzelnutzwerte der Methoden

Der Grund hierfür liegt in erster Linie im guten Abschneiden der VDI 3300 im Hinblick auf die hoch gewichtete Prozessgestaltung bzw. genauer gesagt auf der Darstellung des Materialflusses und der Betriebsmittel. Mittelmäßig ist sie hingegen in der Beschreibung der Prozesseleistung und des Prozessverständnisses. Die WSA sammelt Punkte durch die Berücksichtigung des Personals und einzelner Betriebsmittel sowie die Prozesseleistung, wohingegen die Stärken der POA in der Prozesseleistung und Prozesslogik liegen. Die Vorteile der SysML wiederum liegen in der Prozesslogik.

4.5 Ableitung von Benchmarks

Auf Basis der Ergebnisse der Methodenbewertung wurde ein Benchmark aufgestellt (siehe Tabelle 1). Dieses stellt die Stärken der verschiedenen Methoden den Zielkriterien gegenüber, um die jeweils besten Methoden zu ermitteln. Die eingeklammerten Methoden erfüllen neben dem jeweiligem Benchmark das Zielkriterium ebenfalls relativ gut. Durch deren Berücksichtigung können weitere sinnvolle Aspekte in die Erarbeitung einer neuen Methode für die Aufnahme und Darstellung von Logistikprozessen einfließen.

Tabelle 1: Benchmark der Erfüllung der Zielkriterien

Zielkriterium	Benchmark
Prozessgestaltung	
Materialfluss-Vorgänge	
Lagern, Handhaben, Transportieren, Fördern	VDI 3300
Materialflusscharakteristik	
Flussart, Ladehilfsmittel	VDI 3300
Ladeinheit	VDI 3300, (Sankey-Diagramm)
Förderweg	Sankey-Diagramm, (VDI 3300)
Informationsfluss-Vorgänge	
Verarbeiten, Transformieren	EPK
Übermitteln	EPK, BPMN, WSA
Informationsfluss-Charakteristik	
Integration in übergeordnete Systeme	SysML, (BPMN, EPK, POA)
Informationsträger	SysML, EPK
Schnittstelle	SysML
Information	SysML, WSA, EPK, BPMN
Ressourcen: Betriebsmittel	
Stetig- und Unstetigförderer	VDI 3300
Ressourcen: Personal	
Anzahl Personal	WSA, (VDI 3300)
Qualifikation Personal	VDI 3300, (WSA)
Ressourcen: Räumlichkeiten	
Fläche, räumliche Anordnung	VDI 3300, Sankey-Diagramm

Prozessverständnis		
	Eindeutigkeit	SCOR
	Einfachheit	SCOR, (VDI 3300)
	Struktur	SCOR, SysML
	Verknüpfungsgrad	EPK, (SysML, POA)
	Sichten	SysML, (POA)
	Verschiedene Detaillierungsniveaus	SCOR, (BPMN)
Prozessleistung		
	Prozessgrößen	
	Prozesszeiten, Produktionsmenge	WSA, (POA)
	Materialflusskosten	POA, (WSA, VDI 3300)
	Fördermenge, Förderstrecke	Sankey-Diagramm, (VDI 3300)
	Förderspiele	WSA, (POA, VDI 3300)
	Unternehmensgrößen	
	Lieferzufriedenheit, Umsatz	WSA
	Personalkosten	VDI 3300, (POA, WSA)
Prozesslogik		
	Verzweigungen	EPK, SysML, POA
	Individuelle Bedingungen	SysML, (POA)
	Boolsche Bedingungen	EPK, BPMN

5 Ausblick

Die Bewertung der verschiedenen Methoden durch den AHP sowie die systematische Befragung der Anwender hat offengelegt, dass aktuell keine Methode in der Lage ist, Logistikprozesse ganzheitlich vor dem Hintergrund der zunehmenden Vernetzung von Material- und Informationsfluss durch den wachsenden Einfluss von AutoID-Techniken abzubilden. Durch die Konzentration auf Einzelaspekte wie die Prozessmodellierung sind die Methoden in der Anwendung zur Prozessaufnahme aufwändig und die Prozesse ohne tiefe Methodenkenntnis fehleranfällig. Andere Methoden wiederum sind zu grob oder gewähren zu viele Freiheiten, um eine konsistente Prozessdarstellung im Sinne des Einsatzes von AutoID-Techniken zu gewährleisten. Die Aussagen der Anwender, die Prozessdaten mit den erwähnten Methoden durch nachträgliche Iterationsschleifen zeitaufwändig vervollständigen und überarbeiten zu müssen, passt hier gut ins Bild.

Das Forschungsprojekt 16187 N/1 greift diese Forschungslücke auf und definiert darauf aufbauend eine neue Prozessaufnahmemethode. In Anbetracht der Bedeutung einer einfachen Handhabung für die Anwender sieht die Methode ein zweistufiges Vorgehen vor. Die erste Stufe stellt den Prozess durch vorgegebene Grundfunktionen für Material- und Informationsfluss grafisch dar und gibt nur für das Verständnis und die Einschätzung der Leistungsfähigkeit wichtige Prozessparameter vor. Die beiden Flüsse werden in einer Swimlane-Darstellung miteinander gemäß ihrer logischen Abhängigkeit verknüpft. In einer weiteren Swimlane können unterstützende Prozesse sowie verwendete Ressourcen abgebildet werden.

Für die anwendungsgerechte Darstellung wurde im Rahmen des Projekts ein hierarchisches Gliederungsschema für Logistikprozesse in Haupt- und Teilprozesse definiert. Die einzelnen Teilprozesse werden durch die Grundfunktionen beschrieben und können durch spezifische Elemente miteinander verbunden werden.

In der zweiten Stufe werden die Grundfunktionen des Informationsflusses mit fest vorgegebenen Attributen beschrieben. Diese erläutern das zu Grunde liegende Objekt, die Durchführung der Grundfunktion, verschiedene zu beachtende Restriktionen und die eingesetzten Ressourcen und bieten grundsätzliche Bewertungsgrößen zur Abschätzung der Prozesseffizienz. Dabei wird besonderes Augenmerk auf die Berücksichtigung der möglichen Anwendung von AutoID-Techniken gelegt [Gün-10b].

6 Literatur

- [Alo-07] Alonso, G.; Dadam, P.; Rosemann, M.: Business process management; Springer, Berlin, BPM, 2007
- [Arn-98] Arnold, D.: Materialflusslehre; Vieweg, Braunschweig ;, Wiesbaden, 1998
- [Arn-08] Arnold, D.; Isermann, H.; Kuhn, A.; Tempelmeier, H.; Furmans, K.: Handbuch Logistik; Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, 2008
- [Ber-03] Bernhard, J.; Dragan, M.; Wenzel, S.: Klassifizierung von Visualisierungsverfahren für GNL, 2003
- [Dub-04] Dubray, J.-J.: Business Process Modeling Notation (BPMN); <http://www.ebpm.org/bpmn.htm>; Aufruf am 20.09.2011
- [Gha-85] Ghandforoush, P.; Huang, P.; Taylor, B.: A multi-criteria decision model for the selection of a computerized manufacturing control system; In: International Journal of Production Research, Jahrgang 23 (1985) 1, S. 117–128
- [Gro-83] Grochla, E.: Erfolgsorientierte Materialwirtschaft durch Kennzahlen; FBO-Verl., Baden-Baden, 1983
- [Gün-07] Günthner, W. A.: Abschlussbericht 2007, Bayerischer Forschungsverbund Supra-Adaptive Logistiksysteme; ForLog, München, Bayerische Forschungstiftung, 2007
- [Gün-09] Günthner, W. A.: Materialfluss und Logistik, Vorlesungsskript, Lehrstuhl für Fördertechnik Materialfluss Logistik, Technische Universität München, München, 2009
- [Gün-10a] Günthner, W. A.: Planung technischer Logistiksysteme, Vorlesungsskript, Lehrstuhl für Fördertechnik Materialfluss Logistik, Technische Universität München, München, 2010
- [Gün-10b] Günthner, W. A.; Schneider, O.: Ganzheitliche Prozessaufnahme unter Berücksichtigung von RFID; In: ISIS AutoID/RFID Special (2010)3, S. 102–103
- [Höm-05] Hömberg, K.; Jodin, D.; Kellner, C.; Langenbach, M.: Konzept einer logistischen Informationsbedarfsanalyse mit Hilfe von Basisprozessen und standardisierten Logistikdaten, Universität Dortmund, 2005
- [Höm-07] Hömberg, K.; Hustadt, J.; Jodin, D.; Kochsiek, J.; Nagel, L.; Riha, I.: Basisprozesse für die Modellierung in großen Netzen der Logistik, Universität Dortmund, 2007
- [Hoh-09] Hohenstein, F.: Evaluierung bestehender Prozessaufnahme Methoden zur Ermittlung des Handlungsbedarfs und Erstellung eines Anforderungskatalogs für die Entwicklung einer neuen ganzheitlichen Aufnahmemethode, Diplomarbeit, Lehrstuhl für Fördertechnik Materialfluss Logistik, Technische Universität München, München, 2009
- [Jün-89] Jünemann, R.: Materialfluß und Logistik; Springer, Berlin, 1989
- [Jün-00] Jünemann, R.; Schmidt, T.: Materialflußsysteme; Springer, Berlin, 2000 erschienen 1999
- [Käp-02] Käppner, M.; Laakmann, F.; Stracke, N.: Dortmunder Prozesskettenparadigma - Grundlagen, 2002
- [Kie-04] Kieß, A.: Tom DeMarco Strukturierte Analyse und System Spezifikation; <http://ebus.informatik.uni-leipzig.de/www/media/lehre/seminar-pioniere04/kiess-ausarbeitung-demarco.pdf>; Aufruf am 20.09.2011
- [Kle-07] Klevers, T.: Wertstrom-Mapping und Wertstrom-Design; mi Wirtschaftsbuch, Landsberg am Lech, 2007
- [Kra-07] Krallmann, H.; Schönherr, M.; Trier, M.: Systemanalyse im Unternehmen Prozessorientierte Methoden der Wirtschaftsinformatik; Oldenbourg Wissenschaftsverlag GmbH, s.l., 2007
- [Log-11] Logistik Heute: Umfrage: die BME Supply-Chain-Studie 2011; <http://www.logistik-heute.de/Logistik-Umfrage/8369/Umfrage-zu-Komplexitat-die-BME-Supply-Chain-Studie-2011>; Aufruf am 28.09.2011
- [Mey-05] Meyer, U. B.; Creux, S. E. M.; Weber Marin Silva, A. K.: Grafische Methoden der Prozessanalyse; Hanser, München, 2005

- [OMG-05] OMG Object Management Group: Core Set of BPMN Elements; http://www.bpmn.org/Samples/Elements/Core_BPMN_Elements.htm; Aufruf am 20.09.2011
- [OMG-08] OMG Object Management Group: Business Process Model and Notation, V1.1; <http://www.omg.org/spec/BPMN/1.1/PDF>; Aufruf am 20.09.2011
- [Oss-96] Ossadnik, W.: Controlling; Oldenbourg, München, 1996
- [Rot-00] Rother, M.; Shook, J.: Sehen lernen; LOGöX, Stuttgart, 2000
- [Rup-07] Rupp, C.; Queins, S.; Zengler, B.; Rupp-Queins-Zengler: UML 2 glasklar; Hanser, München, 2007
- [Saa-08] Saaty, T.: Relative Measurement and Its Generalization in Decision Making, The Analytic Hierachy/Network Process; In: RACSAM (2008)10, S. 251–318
- [Sch-06] Schmidt, M.: Der Einsatz von Sankey-Diagrammen im Stoffstrommanagement; In: Beiträge der Hochschule Pforzheim, Hochschule Pforzheim, 2006
- [Spi-06] Spitta, T.: Grafische Modellierung, Vorlesungsskript, Fakultät für Wirtschaftswissenschaften, Universität Bielefeld, Bielefeld, 2006
- [Sup-08] Supply-Chain Council: SCOR; <http://supply-chain.org/f/SCOR%209.0%20Metrics.pdf>; Aufruf am 20.09.2011
- [Sys-90] Syska, A.: Kennzahlen für die Logistik; Springer, Berlin, 1990
- [Thu-04] Thurner, V.: Formal fundierte Modellierung von Geschäftsprozessen; Logos-Verl., Berlin, 2004
- [VDI3300] Richtlinie , VDI 3300:August 1973: Materialfluß-Untersuchungen, Verein Deutscher Ingenieure
- [VDI3633] VDI-Richtlinie 3633:1996: Simulation von Logistik-, Materialfluss- und Produktionssystemen, Verein Deutscher Ingenieure
- [VDI2689] VDI-Richtlinie 2689:2010: Leitfaden für Materialflussuntersuchungen, Verein Deutscher Ingenieure
- [Wei-06] Weikiens, T.: Systems engineering mit SysML/UML; dpunkt.verl., Heidelberg, 2006
- [Wil-05] Wildemann, H.: Die Quantifizierung des logistischen Nutzens; In: Zukunft im Brennpunkt (2005)4, S. 19–24
- [Wil-07] Wilhelm, R.: Prozessorganisation; Oldenbourg, München, 2007