

Smart Production Systems

- Intelligente Konzepte zur Gestaltung von Produktionssystemen -

**Vom Fachbereich Maschinenbau und Verfahrenstechnik
der Technischen Universität Kaiserslautern
zur Verleihung des akademischen Grades
Doktor-Ingenieur (Dr.-Ing.)
genehmigte Dissertation**

**vorgelegt von
Diplom-Wirtschafts-Ingenieur / diplôme d'ingénieur**

Constanze Birkhahn

aus Heidelberg

Tag der mündlichen Prüfung: 18. Dezember 2007

Promotionskommission:

- Vorsitzender: Prof. Dr.-Ing. Jan C. Aurich
1. Berichterstatter: Prof. Dr.-Ing. Günter Warnecke
2. Berichterstatter: Prof. Dr.-Ing. Konrad Wegener
3. Berichterstatter: Prof. Dr.-Ing. Detlef Zühlke

Kaiserslautern, 2007

V o r w o r t

Technische Produkte müssen heute umfassenden und vielfältigen Ansprüchen der Kunden gerecht werden. Dabei erfüllen sie ein breites Spektrum von Anforderungen hinsichtlich Funktion und Funktionssicherheit, Ressourceneinsatz und Design. Die Globalisierung mit einem weltweiten Wettbewerb der Kosten, Technologien und Kompetenzen hat zu einer kaum noch überschaubaren Produkt-, Modell- und Variantenvielfalt geführt, so dass Innovationen und Technologiebeherrschung sowie Wandlungsfähigkeit und Vernetzungen industrieller Prozesse im Produktlebenszyklus entscheidende Wettbewerbsfaktoren darstellen. Damit verbunden ist eine Zunahme der Komplexität, die einerseits durch zunehmende Unsicherheiten zwischen Planung und Realisierung von Projekten und Prozessen sowie andererseits durch Grenzen der Realisierbarkeit markiert wird, so dass die Risiken von Veränderungen und Entscheidungen zunehmend unkalkulierbarer werden.

Managementmethoden zur Verbesserung und Sicherung von Produktqualität und Liefertermin, Flexibilität und Anpassungsfähigkeit in der Produktion, in Verbindung mit Projekten zur Produktionsgestaltung und Fabrikplanung zeigen innovative Entwicklungen sowie grundlegende Veränderungen von Strategie und Unternehmenskultur. Vor diesem Hintergrund hat Frau Dr.-Ing. Constanze Birkhahn das Thema ihrer wissenschaftlichen Arbeit *Smart Production Systems – intelligente Konzepte zur Gestaltung von Produktionssystemen* – gewählt und bei BOSCH in verschiedenen Anwendungsprojekten, insbesondere im Werk Eisenach an einem Konzept und der Einführung einer neuen Steuerungssystematik in der Produktion, mitgearbeitet.

Smart Production oder auch *Smart Factory* kennzeichnen ein neues Produktionskonzept einer umfassend wertschöpfungsorientierten Prozessgestaltung mit einem integrierten, zeitnahen Informationsmanagement von der Planung bis zur Ergebnisdokumentation, unter Anwendung der RFID-Technik. Mit ihrem Modellansatz *Smart Cube* [SC] skizziert die Autorin eine Methodik und Vorgehensweise, Produktionssysteme vom einzelnen Bereich zu verteilten Netzwerken komplexitätsfokussiert strategisch zu planen und konzeptionell zu modellieren.

Prof. Dr.-Ing. Günter Warnecke

Januar 2008

Vorwort der Verfasserin

„Der Verstand kann uns sagen, was wir unterlassen sollen. Aber das Herz kann uns sagen, was wir tun müssen.“

Joseph Joubert, französischer Schriftsteller, 1754 - 1824

Die vorliegende Dissertation entstand während meiner Tätigkeit als Doktorandin und Mitarbeiterin bei der Robert Bosch GmbH in Schwieberdingen und der Robert Bosch Fahrzeugelektrik Eisenach GmbH.

Für die besondere Chance, meine Dissertation im Zusammenwirken zwischen der Technischen Universität Kaiserslautern und Bosch anzufertigen, danke ich besonders Herrn Prof. Dr.-Ing. G. Warnecke. Durch seine von Anfang an vorhandene und bis heute ungebrochene Diskussionsbereitschaft entstand in dreieinhalb Jahren ein über ein normales Betreuungsverhältnis hinausgehender Kontakt, den ich schätzen gelernt habe und nicht mehr missen möchte.

Herrn Prof. Dr.-Ing. Konrad Wegener und Herrn Prof. Dr.-Ing. Detlef Zühlke danke ich für das meiner Arbeit entgegengebrachte Interesse und für die Übernahme der Berichterstattung. Herrn Prof. Dr.-Ing. Jan C. Aurich gilt mein Dank für den Vorsitz der Prüfungskommission.





Mein besonderer Dank gilt Herrn Dipl.-Ing. Carsten Frost, der mir als Vorgesetzter die Möglichkeiten und Freiräume eingeräumt hat und mich als Vertrauter und Bosch-Dissertationsbetreuer hilfsbereit und engagiert unterstützt hat.

Meinen Eltern, die mich während meines gesamten Ausbildungsweges unterstützt, mich in meinen Entscheidungen bestätigt und ermutigt haben, danke ich von Herzen für den bedingungslosen Rückhalt.

Eisenach, im Januar 2008

Constanze Birkhahn

Inhaltsverzeichnis

<i>English Summary</i>	<i>III</i>
<i>Nomenklatur</i>	<i>V</i>
<i>Abbildungen und Tabellen</i>	<i>VII</i>
1 Einleitung	1
2 Motivation	3
3 Situationsanalyse und Vorüberlegungen	5
3.1 Herausforderungen und Strategie von Unternehmen	6
3.1.1 Herausforderungen an Unternehmen	6
3.1.2 Unternehmensziele und -strategie	7
3.2 Grundlagen und Begriffsdefinitionen.....	11
3.2.1 Zeichen, Daten, Information, Wissen und Kompetenz.....	11
3.2.2 Technologien.....	13
3.2.3 Prozesse.....	16
3.3 Ansätze der Produktionsgestaltung	20
3.3.1 Datenorientierte Ansätze.....	20
3.3.2 Technologieorientierte Ansätze	23
3.3.3 Prozessorientierte Ansätze	27
3.4 Definition und Potenziale von „Smart Production Systems“	31
3.4.1 Definition „Smart Production Systems“	31
3.4.2 Qualität	33
3.4.3 Flexibilität	35
3.4.4 Effizienz	35
4 Zielsetzung und Aufgabenstellung	36
4.1 Potenziale aus der Situationsanalyse und Vorüberlegungen.....	36
4.2 Zielsetzung.....	36
4.3 Aufgabenstellung.....	37
4.4 Aufbau der Arbeit.....	38
5 Gestaltungswürfel „Smart Cube“ 	40
5.1 Modellstruktur	40
5.2 Organisationsmodell „Smart Production Systems“	42
5.3 Referenzmodell „Smart Cube“ 	44
5.3.1 x-Achse: Wirkungsstruktur wissensinkorporierter Objekte: „Von Daten zu Wissen“	44
5.3.2 y-Achse: Objekt- und Prozessstruktur: „Vom Teil zum Ganzen“	48
5.3.3 z-Achse: Informationsstruktur: „Von Mono zu Multi“	50
5.3.4 Struktur und Prinzip des Referenzmodells.....	52
5.3.5 Komplexitätsdimensionen innerhalb des Gestaltungswürfels „Smart Cube“ 	54
5.3.6 Die „smarte“ Forschungslandschaft im Referenzmodell „SmartCube“ 	57

5.4	Anwendungsmodelle	58
5.4.1	Einordnen und Bestimmen von Anwendungsmodellen anhand des Referenzmodells.....	59
5.4.2	Anwendungsmodell Elementarwürfel {1 - 1 - 1} „Daten am Objekt – Produktionselement – mobil“	63
5.4.3	Anwendungsmodell {1 - 1 - 2} „Daten am Objekt – Produktionselement – systemgebunden“	66
5.4.4	Anwendungsmodell {1 - 2 - 2} „Daten am Objekt – Fabriksystem – systemgebunden“	68
5.4.5	Anwendungsmodell {1 - 2 - 3} „Daten am Objekt – Fabriksystem – vernetzt“	70
5.4.6	Anwendungsmodell {1 - 3 - 3} „Daten am Objekt – Produktionsnetzwerk – vernetzt“	72
5.4.7	Anwendungsmodell {3 - 3 - 3} „Situative Reaktion – Produktionsnetzwerk – vernetzt“	74
5.4.8	Gesamtheit aller Anwendungsmodelle	76
5.5	Umsetzungsmodell.....	82
5.5.1	Umsetzungsmodell und Projektmanagement.....	83
5.5.2	Analyse	83
5.5.3	Konzeption	84
5.5.4	Bewertung.....	84
5.5.5	Implementierung	85
5.5.6	Sicherung.....	85
6	Anwendungsfall	86
6.1	Ausgangssituation und Projektziele des Anwendungsfalls	86
6.2	Objekt- und Systemdefinition.....	90
6.3	Vorgehen.....	92
6.4	Prozessveränderungen	97
6.5	Erfahrungen und Ergebnisse des Anwendungsfalls	99
7	Zusammenfassung und Ausblick.....	101
8	Literaturverzeichnis.....	103
9	Anhang	108
9.1	Glossar	108
9.2	Darstellungen der Anwendungsmodelle.....	113
9.3	Formulare Prozessbeschreibung	127

English Summary

Companies act in global competition with a great number of competitors and competing products. Therefore companies have to cope with short product and production life cycles and to comply with high quality and safety requirements.

A plenty of data driven, technology driven and process based approaches of factory organization try to develop solutions for production systems to accomplish these challenges and to make use of chances in the global competition. Each approach has benefits and disadvantages.

“Smart Production Systems” are a new approach joining the ideas of data driven, technology driven and process based approaches. Singular deficiencies will be balanced without abandoning advantages. The fundamental idea of “Smart Production Systems” is to deploy “knowledge incorporated objects” in production processes to make work flows traceable at any time. Knowledge incorporated objects are production elements featured with a data processing module in addition to its primary function.

The application of knowledge incorporated objects in production systems may be analysed, planned, structured, designed, evaluated, implemented and ensured with support of the concept “Smart Cube”.

The concept “Smart Cube” is characterized by several models with different levels of specification and details:

- The organization model
- The reference model
- 27 application models
- The implementation model.

The organization model interprets the impact of the information flow in a production organization and explains the relation and context between data and the scope of decisions.

The reference model is built up by three spatial axis:

- The progress structure as x axis
- The object-/ process structure as y axis
- The information structure as z axis.

The reference model contains the structures’ valid characteristics and the possible combinations of these characteristics.

Every axis has three successive sections and every section contains its preceding sections.

Technology-, logistics- and communication complexity represent particular characteristics on the three axis. Therefore production systems and their peculiar complexities can be classified by means of the reference model.

The reference model is shown in Abb. 0-1.

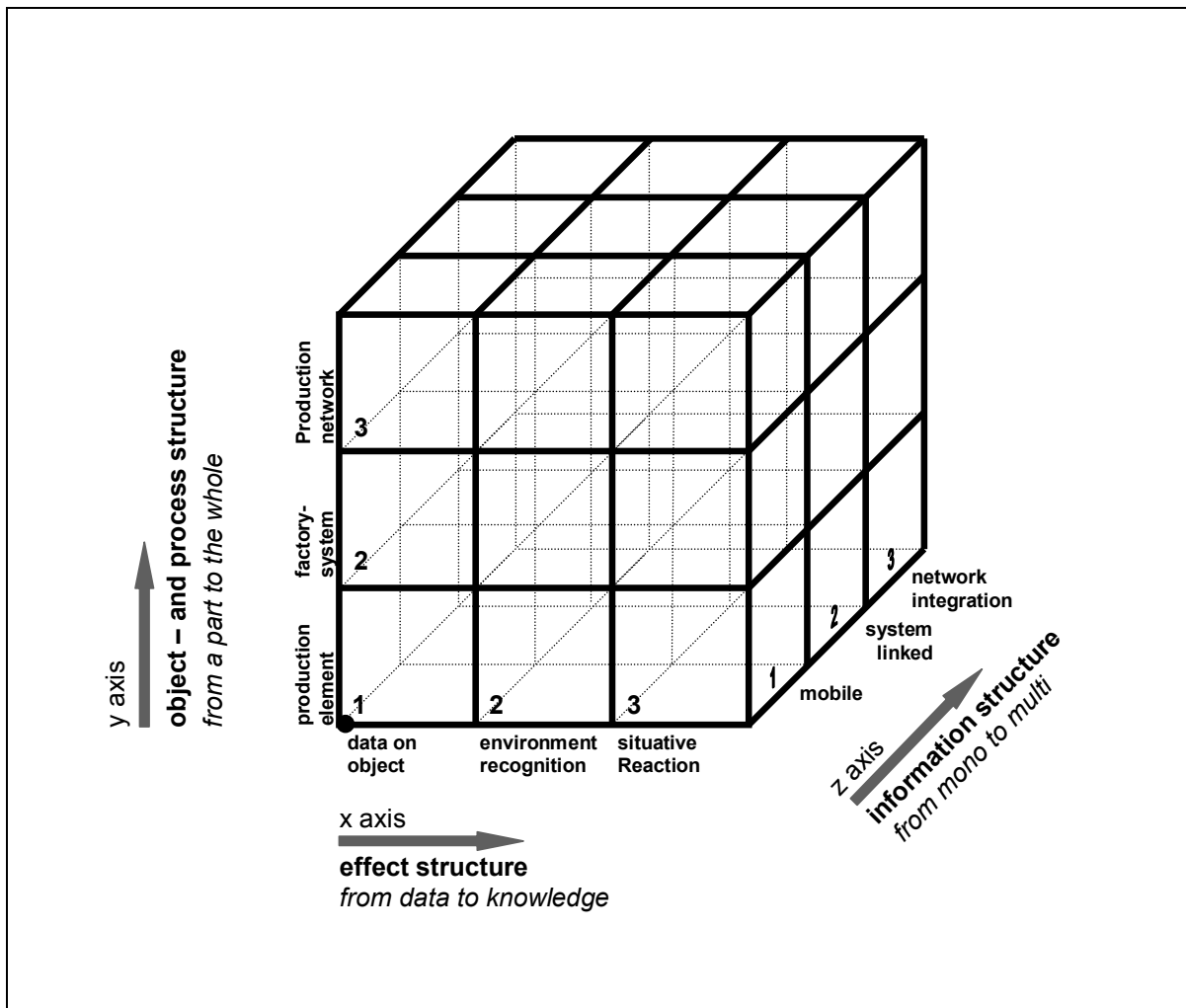


Abb. 0-1: reference model “Smart Cube”

The application models concretize the reference model for the objects and processes of a certain production system. Due to the structures' different possible combinations, there are 27 different application models within the “Smart Cube” $\boxed{\text{SC}}$. Every application model can be called by its coordinates $\{x - y - z\}$, e.g. $\{1 - 1 - 3\}$.

The choice of the application model is influenced by the available und suitable technologies for knowledge incorporated objects, the objects and processes within the production system and the involved information systems.

The implementation model describes the approach to (re)design production systems by means of the “Smart Cube” $\boxed{\text{SC}}$ from the first analysis to stabilization and safeguarding. It gives a short guideline for the different steps analysis, conception, evaluation, implementation and stabilization.

The concept “Smart Cube” $\boxed{\text{SC}}$ was evaluated and proved in a pilot project within the automotive industry. The project goal was the reorganization of manufacturing and logistic processes within a factory according to “Lean Production“ without generating non value adding effort. To realize short control loops, the production is controlled and visualised by Kanban cards. These Kanban cards are equipped with RFID tags to automate bookings in the corresponding ERP-System, because manual booking is regarded as non value adding effort.

Nomenklatur

Allgemeine Abkürzungen

Abb.	Abbildung
bzw.	beziehungsweise
ca.	circa
etc.	et cetera
e. V.	eingetragener Verein
evtl.	eventuell
GmbH	Gemeinschaft mit beschränkter Haftung
Kap.	Kapitel
KFZ	Kraftfahrzeug
MHz	Megahertz
NKW	Nutzkraftwagen
PC	Personal Computer
PKW	Personenkraftwagen
Tab.	Tabelle
USA	United States of America
z. B.	zum Beispiel

Spezifische Abkürzungen

Auto-ID	Automatische Identifikation
BPS	Bosch Production System
CAD	Computer Aided Design
CAE	Computer Aided Engineering
CAM	Computer Aided Manufacturing
CAP	Computer Aided Planning
CAQ	Computer Aided Quality Assurance
CIM	Computer Integrated Manufacturing
CIP	Continous Improvement Process (= kontinuierlicher Verbesserungsprozess)
DIN	Deutsches Institut für Normung e.V.
EA	Erstausrüstung
EPEI	Every Part Every Intervall
ERP	Enterprise Resource Planning
F&E	Forschung und Entwicklung
FIFO	First in, first out

GPS	Global Positioning System
IC	Integrated Circuit (integrierter Schaltkreis)
ID	Identifikation
ISO	International Organization for Standardisation
IT	Informationstechnologie
IuK	Information und Kommunikation
KLT	Kleinladungsträger
LVS	Lagerverwaltungssystem
MPS	Mercedes-Benz Production System
OCR	Optical Character Recognition (= Klarschrifterkennung)
OEM	Original Equipment Manufacturer (= Erstausrüster)
PDA	Personal Digital Assistant
PPS	Produktionsplanung und -steuerung
PLZ	Produktlebenszyklus
RFID	Radio Frequency Identification
TPM	Total Productive Maintenance
TPS	Toyota Production System
UMTS	Universal Mobile Telecommunications System
VDA	Verband deutscher Automobilhersteller e. V.
VDI	Verein deutscher Ingenieure e. V.
WIKO	wissensinkorporiertes Objekt
WLAN	Wireless Local Area Network

Abbildungen und Tabellen

Abbildungen



Abb. 0-1: reference model "Smart Cube"	IV
Abb. 3-1: Aufbau der Situationsanalyse	5
Abb. 3-2: Unternehmerische Zielstruktur	8
Abb. 3-3: Begriffshierarchie Zeichen, Daten, Information, Wissen und Kompetenz (in Anlehnung an GISSLER [Giss99])	11
Abb. 3-4: Ubiquitous Computing [Münc03]	14
Abb. 3-5: Y-Modell [Sche90]	21
Abb. 3-6: Schließen der Lücke zwischen realer und digitaler Welt [Flei01]	24
Abb. 3-7: Ressourcenmanagement in der „Smart Factory“ [Baue03]	25
Abb. 3-8: Aufbau des Mercedes-Benz Produktionssystems (MPS) [DCAG00]	29
Abb. 3-9: Ziele und Prinzipien des Bosch Production Systems (BPS) [Bosc02]	30
Abb. 3-10: Entwicklung der Produktionsgestaltung	32
Abb. 3-11: Durchgängige Rückverfolgung über die Prozess- und Lieferkette	33
Abb. 3-12: Potenziale durch Wissensintegration und -explikation im Objektlebenszyklus	34
Abb. 4-1: Zielsetzung der Arbeit	37
Abb. 4-2: Aufbau der Arbeit	39
Abb. 5-1: Modellstruktur (in Anlehnung an [Warn03])	41
Abb. 5-2: Organisationsmodell „Smart Production Systems“	43
Abb. 5-3: Aufbau der x-Achse	45
Abb. 5-4: Wirkungsstruktur am Beispiel Temperaturverlauf	48
Abb. 5-5: Aufbau der y-Achse	49
Abb. 5-6: Aufbau der z-Achse	51
Abb. 5-7: Informationsstruktur	52
Abb. 5-8: Aufbau des Referenzmodells	53
Abb. 5-9: Referenzmodell Gestaltungswürfel „Smart Cube“ 	54
Abb. 5-10: Systemkomplexität im Gestaltungswürfel „Smart Cube“ 	55
Abb. 5-11: Einordnung der „smarten“ Forschungslandschaft in das Referenzmodell	58
Abb. 5-12: Koordinaten eines Anwendungsmodells (Beispiel)	60
Abb. 5-13: Vergleich der Systemkomplexität in den Anwendungsmodellen {3 - 2 - 1} und {3 - 3 - 3}	61

Abb. 5-14: Elementarwürfel {1 - 1 - 1}	63
Abb. 5-15: Anwendungsmodell {1 - 1 - 2}	66
Abb. 5-16: Anwendungsmodell {1 - 2 - 2}	68
Abb. 5-17: Anwendungsmodell {1 - 2 - 3}	70
Abb. 5-18: Anwendungsmodell {1 - 3 - 3}	72
Abb. 5-19: Anwendungsmodell {3 - 3 - 3} (kompletter Würfel)	74
Abb. 5-20: Vernetzung in Produktionsnetzwerken mittels wissensinkorporierter Objekte	75
Abb. 5-21: Umsetzungsmodell	82
Abb. 6-1: Konsequenzen aus der Einführung der „Lean Production“	87
Abb. 6-2: Steuerungskonzept des Anwendungsfalls	88
Abb. 6-3: Zielkonflikt „Lean Production“ und Rückverfolgung	89
Abb. 6-4: Zielobjekt Produktions-Kanbankarte mit Transponder	90
Abb. 6-5: Systemgrenze des Anwendungsfalls	91
Abb. 6-6: Anwendungsmodell des Anwendungsfalls	92
Abb. 6-7: Angepasstes Umsetzungsmodell	93
Abb. 6-8: Produktions-Kanbanumlauf	98
Abb. 6-9: Materialanforderung	99
Abb. 6-10: Effekte durch den Einsatz von WIKO zur Unterstützung von „Lean Production“	100
Abb. 9-1: Anwendungsmodell {1 - 1 - 1}	113
Abb. 9-2: Anwendungsmodell {1 - 1 - 2}	113
Abb. 9-3: Anwendungsmodell {1 - 1 - 3}	114
Abb. 9-4: Anwendungsmodell {1 - 2 - 1}	114
Abb. 9-5: Anwendungsmodell {1 - 2 - 2}	115
Abb. 9-6: Anwendungsmodell {1 - 2 - 3}	115
Abb. 9-7: Anwendungsmodell {1 - 3 - 1}	116
Abb. 9-8: Anwendungsmodell {1 - 3 - 2}	116
Abb. 9-9: Anwendungsmodell {1 - 3 - 3}	117
Abb. 9-10: Anwendungsmodell {2 - 1 - 1}	117
Abb. 9-11: Anwendungsmodell {2 - 1 - 2}	118
Abb. 9-12: Anwendungsmodell {2 - 1 - 3}	118
Abb. 9-13: Anwendungsmodell {2 - 2 - 1}	119

Abb. 9-14: Anwendungsmodell {2 - 2 - 2}.....	119
Abb. 9-15: Anwendungsmodell {2 - 2 - 3}.....	120
Abb. 9-16: Anwendungsmodell {2 - 3 - 1}.....	120
Abb. 9-17: Anwendungsmodell {2 - 3 - 2}.....	121
Abb. 9-18: Anwendungsmodell {2 - 3 - 3}.....	121
Abb. 9-19: Anwendungsmodell {3 - 1 - 1}.....	122
Abb. 9-20: Anwendungsmodell {3 - 1 - 2}.....	122
Abb. 9-21: Anwendungsmodell {3 - 1 - 3}.....	123
Abb. 9-22: Anwendungsmodell {3 - 2 - 1}.....	123
Abb. 9-23: Anwendungsmodell {3 - 2 - 2}.....	124
Abb. 9-24: Anwendungsmodell {3 - 2 - 3}.....	124
Abb. 9-25: Anwendungsmodell {3 - 3 - 1}.....	125
Abb. 9-26: Anwendungsmodell {3 - 3 - 2}.....	125
Abb. 9-27: Anwendungsmodell {3 - 3 - 3}.....	126
Abb. 9-28: Formular Prozessbeschreibung.....	127

Tabellen

Tab. 5-1: Übersicht der 27 Anwendungsmodelle.....	77
Tab. 6-1: Alternative Szenarios des Anwendungsfalls.....	95

1 Einleitung

Unternehmen agieren im globalen Wettbewerb: Die Anzahl der Wettbewerber und die Anzahl der angebotenen Produkte sind hoch. Um in diesem Wettbewerb Chancen nutzen und langfristig auf dem Markt bestehen zu können, müssen Unternehmen ihre Produkte in immer kürzeren Zeitabständen den Änderungen der Marktentwicklung anpassen und mit neuen, technologisch weiterentwickelten und qualitativ hochwertigeren Produkten Marktpositionen halten und ausbauen.

Diese Entwicklung hin zu immer kürzeren Produktlebenszyklen führt zu kürzeren Produktionslebenszyklen. Das bedeutet, Unternehmen müssen ihre Produktion flexibel und adaptiv gestalten, um innerhalb kürzester Zeit auf neue Kundenwünsche reagieren zu können. Gleichzeitig muss das Qualitätsniveau der Produkte und Prozesse sichergestellt bzw. weiter verbessert werden, um der steigenden Nachfrage nach qualitativ hochwertigeren Produkten gerecht zu werden und somit im globalen Wettbewerb langfristig bestehen zu können.

Des Weiteren erhalten die Produkte immer mehr Funktionen, um Kundenwünsche zu erfüllen. Ein Beispiel ist das Kraftfahrzeug (KFZ): Neben der ursprünglich alleinigen Transportfunktion erwarten Kunden mittlerweile Sicherheitsfunktionen, z. B. Airbags, Energiesparfunktionen, z. B. Einspritzsysteme, Unterhaltungsfunktionen, z. B. Radio, und Verkehrsleitfunktionen, z. B. Navigationsgerät.

Diese zusätzlichen, neuen Funktionen machen die Produkte und deren Produktionsprozesse technisch anspruchsvoller und komplexer, da nun eine Vielzahl verschiedener Technologien zum Einsatz kommt. Für ein einzelnes Unternehmen ist es meist nicht wirtschaftlich, Kompetenzen in allen erforderlichen Bereichen aufzubauen und zu pflegen. Deshalb kooperieren Unternehmen mit anderen Unternehmen und bilden so Entwicklungsallianzen und Produktionsnetzwerke. Jeder einzelne Partner einer solchen Kooperation bringt dabei seine Kernkompetenzen ein, um die Herstellung und (Weiter-) Entwicklung eines Produkts sicherzustellen.

Durch Produktionsnetzwerke entstehen neue Anforderungen an Unternehmen hinsichtlich unternehmensübergreifender Logistik, Qualitätsmanagement und Koordination der Zusammenarbeit mit anderen Unternehmen.

Eine Lösungsphilosophie für diese Herausforderungen an Unternehmen und Produktionsnetzwerke ist „Lean Production“. Statt das Produktionsprogramm wie bisher kapazitätsoptimiert auszulegen, soll nur noch das produziert werden, was der Kunde tatsächlich abnimmt. Dieser Paradigmenwechsel vom Denken in Funktionen und Zuständigkeiten zu einem ganzheitlichen, ergebnisorientierten Prozessdenken erfordert ein Umdenken aller Mitarbeiter eines Unternehmens, eine Anpassung der etablierten Organisation, Prozesse und Anlagen.

Um kurzfristig auf Änderungen der Kundenwünsche reagieren zu können, werden in Produktion und Logistik Prozessketten mit kleinstmöglichen Regelkreisen eingeführt, die ein tolerantes Prozessverhalten ermöglichen. Gleichzeitig werden Losgrößen reduziert und An- und Ablieferfrequenz von Material und Zuliefersystem erhöht, um die notwendige Flexibilität und Reaktionsgeschwindigkeit zu erreichen.

Diese Entwicklung wurde in den bisherigen datengetriebenen Ansätzen, wie z. B. CIM und digitale Fabrik nicht berücksichtigt. Material- und Informationsfluss sind bei diesen Modellen lediglich lose miteinander gekoppelt.

Ein neuer Lösungsansatz, der Material- und Informationsfluss fest miteinander verbindet ohne unnötig hohen Administrationsaufwand hervorzurufen, sind „Smart Production Systems“. „Smart“ bedeutet in diesem Zusammenhang eine große Sicherheits- und Qualitätsorientierung

durch kleinstmögliche Regelkreise ohne einen nutzlosen, nicht-wertschöpfenden Verwaltungsaufwand zu verursachen. Dies wird ermöglicht, indem relevante Daten automatisiert dokumentiert werden, um später an der Stelle zur Verfügung zu stehen, an der sie benötigt werden. Dadurch wird es möglich, qualitätsgetriebene Regelkreisketten einzuführen, ohne den Anteil der nicht-wertschöpfenden Aufgaben der Mitarbeiter zu erhöhen.

2 Motivation

Zur Motivation werden Situationen in einem Unternehmen geschildert, die beispielhaft die Herausforderungen an Produktionssysteme nachvollziehbar und die Notwendigkeit nach einem Lösungsansatz im Sinne von „Smart Production Systems“ deutlich machen.

Die Ausgangssituation des Unternehmens, das Fahrzeugelektrikteile entwickelt, produziert und als „first“ und „second tier“ Lieferant weltweit vertreibt, ist durch einen globalen Wettbewerb mit anderen Unternehmen und weiteren konzerninternen Standorten geprägt. Das Unternehmen mit verschiedenen Produktionsstandorten in Deutschland muss sich insbesondere gegen Niedriglohnstandorte behaupten. Trotz erwarteter steigender Stückzahlen wird der Umsatz wegen eines rapiden Preisverfalls am Markt in den kommenden Jahren gleich bleiben.

Vom Mutterkonzern ist als Produktionsstrategie „Lean Production“ gesetzt: Statt der bisherigen kapazitätsoptimierten Auslegung des Produktionsprogramms soll nur noch das produziert werden, was der Kunde tatsächlich abnimmt. Die externen Regelkreise zu Kunden und Lieferanten sowie die internen Regelkreise in Produktion und Logistik werden durch Einführung des Ziehprinzips mittels Kanbansteuerung drastisch verkürzt. Losgrößen werden massiv reduziert und An- und Ablieferfrequenz von Material stark erhöht, um die durch Zielvereinbarungen geforderte Flexibilität zu erreichen.

Gleichzeitig steigen insbesondere in europäischen und nordamerikanischen Ländern die Qualitätsanforderungen: Neue Produkthaftungsgesetze zwingen Unternehmen dazu, ihre Produktionsprozesse sicher durchzuführen und lückenlos zu dokumentieren, damit ihre Ergebnisse in der Zukunft nachvollziehbar sind.

Beide Einflüsse, hohe Frequenzen in der Produktion und Dokumentationspflicht, tragen zu einer Steigerung der Buchungen in den unterschiedlichen Informationssystemen des Unternehmens bei.

Diese Informationssysteme, z. B. Enterprise Resource Planning (ERP), Lagerverwaltungssystem (LVS) etc., sind erforderlich, um interne, gesetzliche und von Kunden geforderte Anforderungen zu erfüllen, wie z. B. Inventur, Entlohnung, Dokumentation von Qualitätssicherungsmaßnahmen.

Die Informationssysteme werden bislang in der Regel manuell und parallel zum Produktionsprozess bedient. Das heißt die Mitarbeiter führen neben ihren wertschöpfenden Tätigkeiten auch nicht-wertschöpfende Aufgaben durch. Dabei können Fehler bei der Dateneingabe entstehen. Eine lückenlose und automatisierte Verknüpfung von Material- und Informationsfluss gibt es nicht.

Die Erhöhung des Buchungsaufkommens würde die Anzahl der Fehlermöglichkeiten weiter vergrößern. Außerdem steigt der Anteil der nicht-wertschöpfenden Tätigkeiten der Mitarbeiter massiv. Eine fatale Konsequenz für Unternehmen, die an Hochlohnstandorten produzieren und den Anteil der nicht-wertschöpfenden Tätigkeiten am Lohn gering halten müssen.

Um diesen Konflikt zu lösen, wurde das Produktionssystem im Sinne eines „Smart Production Systems“ neu gestaltet: Der Informationsfluss ist dabei mit dem Materialfluss fest gekoppelt, indem Systembuchungen automatisiert werden: Statt die nötigen ERP-Buchungen zum Fertigungsauftrag manuell durchzuführen, wird die Kanbankarte beim Auftragsstart und –ende automatisch gescannt und dadurch werden die verschiedenen zugehörigen Systembuchungen angestoßen.

Das Informationssystem tritt dabei für den Mitarbeiter in den Hintergrund. Es wird sozusagen unsichtbar, da die Produktion allein durch die physische Kanbankarte gesteuert wird.

Durch Automatisieren von Buchungsvorgängen wird der Mitarbeiter von nicht-wertschöpfenden Tätigkeiten entlastet und kann sich entsprechend seiner Kompetenz auf seine wertschöpfenden Aufgaben konzentrieren. Der Administrationsaufwand bleibt minimal.

3 Situationsanalyse und Vorüberlegungen

Die Situationsanalyse stellt die Anforderungen, Grundlagen und Ansätze dar, die zum Lösungsansatz „Smart Production Systems“ führen.

Die Situationsanalyse gliedert sich in vier Teile (Abb. 3-1):

- In Kap. 3.1 werden die Herausforderungen an Unternehmen sowie die daraus abgeleiteten Unternehmensziele und die zugehörige Strategie vorgestellt.
- In Kap. 3.2 werden die Grundlagen und Begrifflichkeiten zu Daten, Technologien und Prozessen in Unternehmen dargestellt und definiert.
- In Kap. 3.3 werden die verschiedenen Ansätze der Produktionsgestaltung dargestellt, die „Smart Production Systems“ nachhaltig beeinflussen.
- In Kap. 3.4 werden die Potenziale von „Smart Production Systems“ aufgezeigt, die sich durch eine ganzheitliche Betrachtung der in Kap. 3.3 dargestellten Ansätze und durch den Lösungsansatz Wissensintegration und –explikation im Sinne von „Smart Production Systems“ ergeben.

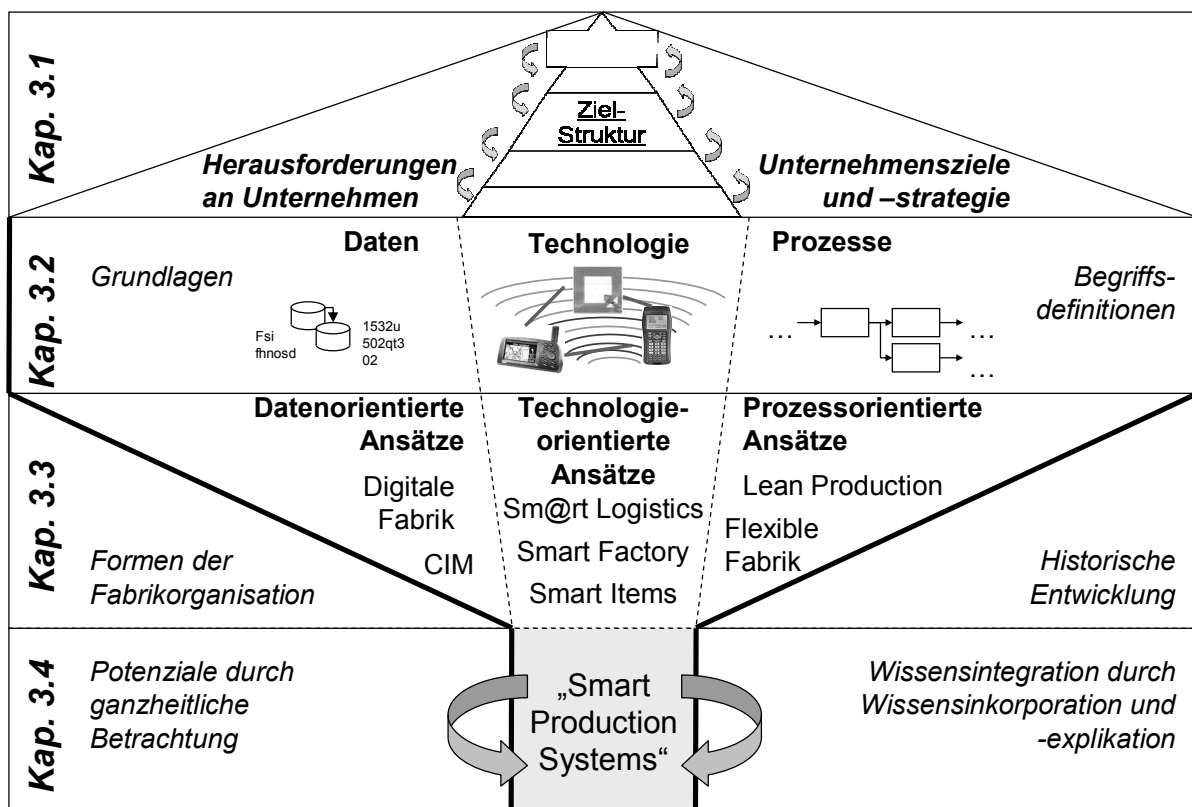


Abb. 3-1: Aufbau der Situationsanalyse

3.1 Herausforderungen und Strategie von Unternehmen

3.1.1 Herausforderungen an Unternehmen

Weltweit verteilte Märkte, hoher Innovationsdruck sowie die Forderung nach mehr sozialer und ökologischer Verantwortung durch Unternehmen bilden ein hochdynamisches Umfeld und stellen große Anforderungen an die zugehörigen und zukünftigen Produktionssysteme.

Die größten Herausforderungen sind dabei:

- Globalisierung
- Kurze Produktlebenszyklen
- Gesellschaftliche Forderungen

Globalisierung

Die Globalisierung wird geprägt durch weltweit verteilte Märkte und einem internationalen Wettbewerb um Produkte, Technologien, Kosten und Innovationen. Neben den sehr großen Unterschieden zwischen den Lohnkosten in verschiedenen Ländern gehören die Liberalisierung der Güter- und Finanzmärkte durch den Abbau von Handelsschranken, der technische Fortschritt in der Transportindustrie, z. B. durch die Entwicklung von schnelleren und günstigen Transportmitteln, sowie die rasante Entwicklung der IuK-Technologien zu den Triebkräften der Globalisierung [Budz03].

Europäische und nordamerikanische Unternehmen konkurrieren im globalen Wettbewerb insbesondere mit osteuropäischen und asiatischen Produktionsstandorten, die sich hauptsächlich durch geringe Lohn- und damit geringe Produktionskosten auszeichnen.

Durch die verteilten Märkte entstehen neue logistische Anforderungen an Unternehmen, da ihre Produkte rechtzeitig zu weit entfernten Kunden geliefert werden müssen und Lieferanten über große Distanzen die Rohstoffe anliefern.

Das Spannungsfeld der Globalisierung wird durch folgende Merkmale charakterisiert [Warn05]:

- Wettbewerb und Transfer
- Mobilität und Anpassung
- Information und Kommunikation in medialer Vernetzung
- Exklusivprodukte versus Billigprodukte
- Urheberschutz versus Imitation und „Blaupausen“
- Regulierung durch Weltorganisationen versus Spekulation
- Nationale Egoismen versus Internationaler Pluralismus
- Kurze Produktlebenszyklen

Neben der Forderung nach zunehmenden Produktfunktionalitäten steigen auch die Qualitätsanforderungen der Kunden an die Produkte. Unternehmen versuchen, Kundenwünsche stetig durch neue, innovative Produkte zu befriedigen. Um diese Kundenorientierung zu erreichen, streben Unternehmen eine variantenreiche, individualisierte Produktion an.

Die einzelnen Produktlebenszyklen werden durch die wachsenden Innovationserwartungen immer kürzer und bewirken kurze Lebenszyklen der individuellen, spezifischen Produktionssysteme.

Gesellschaftliche Forderungen

Neben der schnellen kundenorientierten Entwicklung von Produkten und zugehörigen Produktionssystemen müssen Unternehmen auch die langfristigen wirtschaftlichen, sozialen und ökologischen Wirkungen ihrer Produktion berücksichtigen, um ein nachhaltig einträgliches Produktionsergebnis zu erreichen.

Abgesehen vom Eigeninteresse an einem nachhaltigen Produktionserfolg werden Unternehmen vor allem durch Gesetze und Verordnungen angehalten, ihre Produkte und Produktion sicher und sozial bzw. ökologisch verträglich zu gestalten [Mori04, EU01, GPSG04].

Insbesondere durch Selbstverpflichtungen, z. B. durch ISO 9000ff [ISO00], und gesetzliche Haftung, z. B. durch das Geräte- und Produktsicherheitsgesetz [GPSG04], für ihre Produkte und Prozesse, sind Unternehmen gezwungen, ihre Produktionsprozesse selbst zu kontrollieren, zu dokumentieren und zu beherrschen.

3.1.2 Unternehmensziele und -strategie

Um die in Kap. 3.1.1 geschilderten Herausforderungen zu meistern, entwickeln Unternehmen eine zielorientierte Strategie und setzen diese um.

Die Unternehmensstrategie wird bestimmt durch Unternehmensziele und Ergebnisse. Diese Ziele und Ergebnisse werden innerhalb der Strategie herunter gebrochen auf Ziel- und Ergebnisfaktoren, aus denen sich Voraussetzungen ergeben. Erst die Erfüllung der Voraussetzungen gewährleistet die Erreichung der Ziel- und Ergebnisfaktoren, die wiederum zur Erreichung der Unternehmensziele und -ergebnisse beitragen. Diese Top-Down- und Bottom-Up-Zusammenhänge werden durch die Zielstruktur (Abb. 3-2) dargestellt.

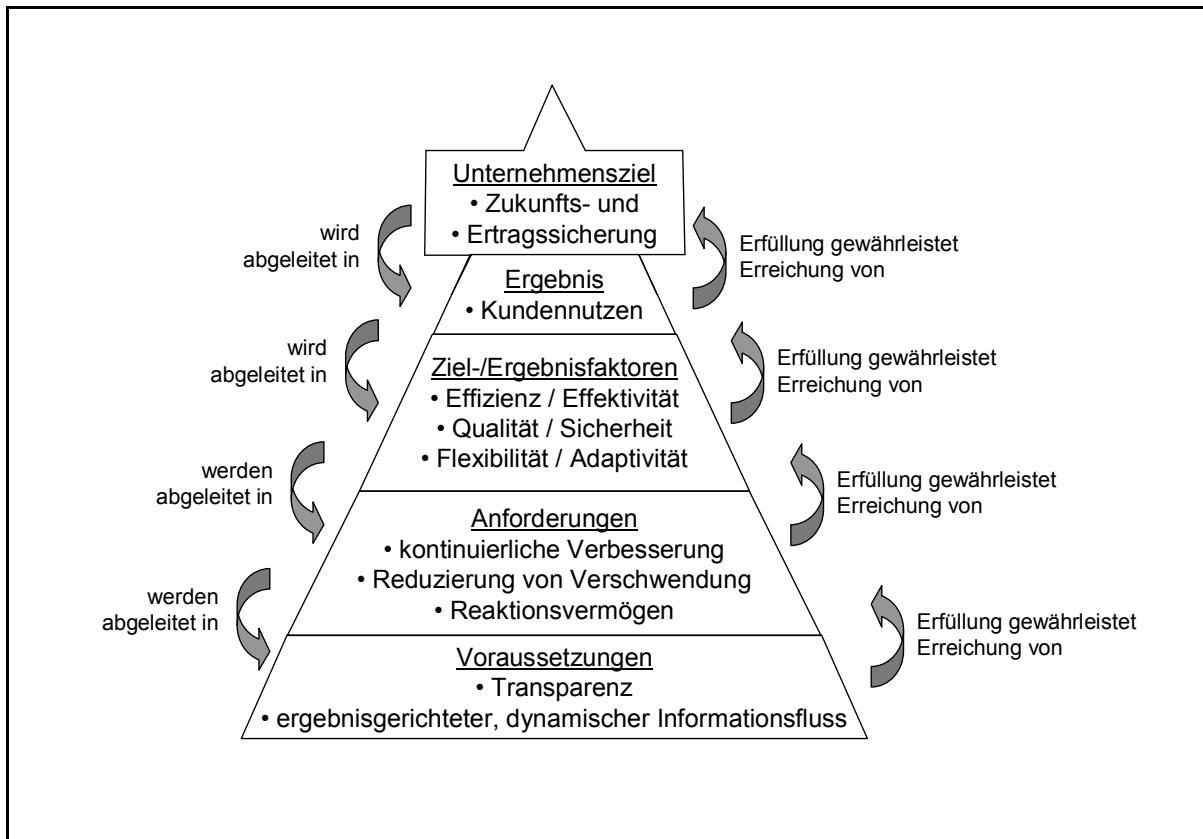


Abb. 3-2: Unternehmerische Zielstruktur

Unternehmensziel und Ergebnis

Das nachhaltige Unternehmensziel ist die Zukunfts- und Ertragssicherung.

Ertragssicherung bedeutet, dass Unternehmen ihre Aktivitäten so ausrichten, dass innerhalb einer Periode, z. B. innerhalb eines Geschäftsjahres, die Einnahmen höher sind als die zu erwartenden Ausgaben und infolgedessen ein Gewinn erwirtschaftet wird.

Zukunftssicherung bedeutet, dass Unternehmen ihre Aktivitäten nicht nur kurzfristig für die aktuelle Periode auf Ertragssicherung ausrichten, sondern langfristig. Durch Investitionen, die erst in kommenden Perioden Gewinn erzielen, kann der Ertrag der aktuellen Periode gemindert werden, aber der Ertrag von sehr viel weiter in der Zukunft liegenden Perioden damit gesichert werden. Ein Beispiel sind F&E-Aufwendungen für neue Produkte, die in der Zukunft auf den Markt gebracht werden.

Die Ziele „Zukunfts- und Ertragssicherung“ können auf das messbare und erreichbare Ergebnis „Kundennutzen“ herunter gebrochen werden. Denn nur wenn die Kunden eines Unternehmens zufrieden gestellt werden, kann das Unternehmen langfristig Produkte an den Kunden verkaufen und damit den Ertrag nachhaltig sichern. Umgekehrt trägt die Erfüllung des Kundennutzens zur Erreichung der Unternehmensziele bei.

Ziel- und Ergebnisfaktoren

Zur Erreichung des Ergebnisses „Kundennutzen“ tragen die Ziel- und Ergebnisfaktoren „Effektivität / Effizienz“, „Qualität / Sicherheit“ und „Flexibilität / Adaptivität“ bei.

▪ Effektivität / Effizienz

Umgangssprachlich formuliert, bedeutet Effektivität, „das Richtige zu tun“, Effizienz, „es richtig zu tun“.

Effektivität beschreibt die absolute Wirksamkeit, Durchschlagskraft, Leistungsfähigkeit eines Objektes oder Prozesses. Im Gegensatz zur Effizienz wird sie absolut betrachtet und nicht ins Verhältnis zum Input gesetzt.

Die **Effizienz** beschreibt allgemein Wirksamkeit, Wirtschaftlichkeit (Beziehung zwischen Kosten und Nutzen) und Grad der Eignung von Objekten oder Prozessen, um geplante Ergebnisse (z. B. hinsichtlich Qualität, Kosten und Zeit) zu erreichen. Die Effizienz wird beschrieben durch die Relation zwischen Output und Input. Erstrebenswert im Sinne von Effizienz ist ein optimaler Aufwand zur Erzielung von geplanten Ergebnissen.

▪ Sicherheit / Qualität

Sicherheit bezeichnet die Gewissheit und Zuverlässigkeit, mit der ein geplantes Produkt- oder Produktionsergebnis erreicht wird, das durch funktionsbestimmte Eigenschaftsgrößen und Toleranzen beschrieben wird.

Es wird unterschieden in Produkt- und Prozesssicherheit:

- **Produktsicherheit** ist die Feststellung und Dokumentation geplanter Produkt- und Produktionsergebnisse.
- **Prozesssicherheit** setzt sich zusammen aus Prozessbeherrschung und Prozessfähigkeit [Eich03]. Ein beherrschter Prozess ist ein Prozess, bei dem sich die Parameter der Verteilung der Merkmalswerte des Prozesses bezüglich der Prozesswirkungen, insbesondere der Prozessausgangsgrößen, nur innerhalb eines definierten Toleranzbereichs ändert [DIN93]. Die Prozessfähigkeit drückt die Qualitätsfähigkeit des Prozesses im Sinne der Erfüllung von Qualitätsanforderungen an das Produkt aus [DIN93].
Die Prozesssicherheit trägt unmittelbar zur Produktsicherheit bei.

Qualität beschreibt die Gesamtheit von Merkmalen eines Objektes oder eines Prozesses hinsichtlich ihrer Beschaffenheit, ihrer definierten und geplanten Güte sowie ihres nachhaltigen Wertes, um festgelegte und vorgegebene Anforderungen zu erfüllen. Qualität ist dementsprechend direkt nicht messbar, sondern nur über abgeleitete Messgrößen, die in Bezug zu definierten Kenngrößen (Toleranzen) gesetzt werden.

▪ Flexibilität / Adaptivität

Flexibilität eines Unternehmens ist die Fähigkeit, Produktionsprogramm und -prozess allein durch Verändern der Prozessparametereinstellungen anzupassen, z. B. durch Umrüsten der Fertigungseinrichtungen.

Adaptivität ist die Fähigkeit eines Unternehmens, das Produktionsprogramm durch eine Veränderung des Produktionssystems (z. B. Umbau der Fertigungseinrichtungen) an neue Erfordernisse und Einflüsse anzupassen.

Anforderungen

Diese Ziel- und Ergebnisfaktoren werden in Anforderungen an die physischen Prozesse abgeleitet:

- **Kontinuierliche Verbesserung** wird erreicht durch konsequente Prozessanalyse, daraus optimierten Abläufen und **Reduzierung von Verschwendung**.
- Ein **hohes Reaktionsvermögen** wird gewährleistet, indem kurze Regelkreise in den Prozessen und Abläufen eines Unternehmens implementiert werden.

Voraussetzungen

Voraussetzungen für die Erfüllung von Anforderungen, sind Transparenz sowie ein ergebnisgerichteter, dynamischer Informationsfluss:

- **Transparenz** ist vorhanden, wenn die Prozesse sowie deren Parameter und Ursache-Wirkungs-Beziehungen genauestens bekannt sind.
- Der **Informationsfluss** muss ergebnisgerichtet und dynamisch sein: Die für die Ergebnissicherung bedeutenden Prozessparameter müssen ereignisorientiert und unmittelbar sowie sicher und genau dokumentiert werden, um in den folgenden Prozessschritten genutzt werden zu können.

3.2 Grundlagen und Begriffsdefinitionen

Die Transparenz und ein ergebnisgerichteter, dynamischer Informationsfluss als Voraussetzungen der Unternehmensstrategie (Kap. 3.1.2) werden durch Daten, Technologien und Prozesse in einem Unternehmen gestaltet.

Im folgenden Unterkapitel werden die Grundlagen und Definitionen zu Daten, Prozessen und Technologien erarbeitet.

3.2.1 Zeichen, Daten, Information, Wissen und Kompetenz

In der Informatik hat sich eine Begriffshierarchie zu den Definitionen von „Zeichen“, „Daten“, „Informationen“ und „Wissen“ etabliert. GISSLER ergänzte diese Hierarchie um den Begriff Kompetenz [Giss99], so dass sich folgende Hierarchie ergibt:

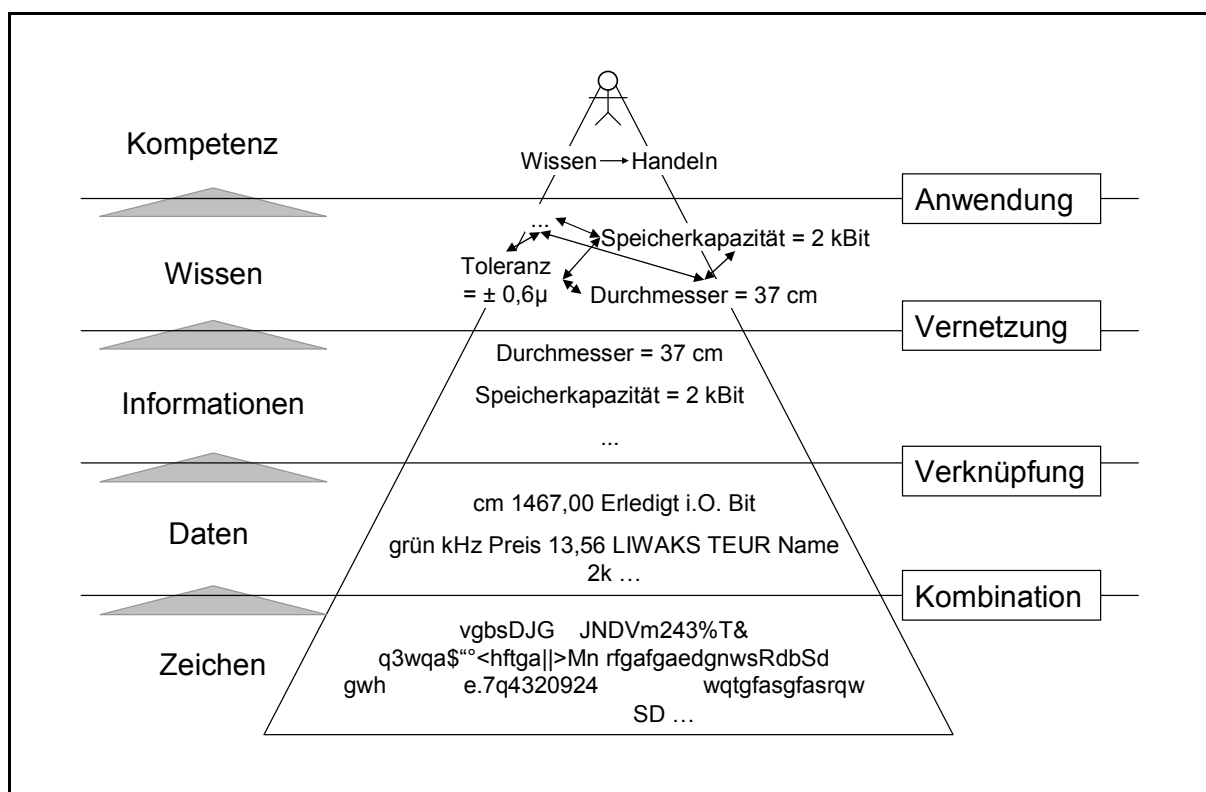


Abb. 3-3: Begriffshierarchie Zeichen, Daten, Information, Wissen und Kompetenz (in Anlehnung an GISSLER [Giss99])

Zeichen

Zeichen sind Elemente zum Darstellen von Daten [Gabl04], wie z. B. Buchstaben, Ziffern, Sonderzeichen. Die Bedeutung von Zeichen wird durch Normen und Konventionen festgelegt, in der Sprache z. B. erhält ein „O“ in der kyrillischen Schrift eine andere Bedeutung und Aussprache als in der lateinischen.

Daten

Daten werden aus einzelnen Zeichen zusammengesetzt, z. B. bestehen Wörter (= Daten) aus einzelnen Buchstaben (= Zeichen) oder Zahlen aus einzelnen Ziffern. Diese Kombination von Zeichen hat noch keinen besonderen Verwendungshinweis, das heißt der Nutzen ist noch nicht erkennbar.

Nach Herkunft der Daten unterscheidet man diese in Stammdaten, Bewegungsdaten, Eingabedaten, Ausgabedaten.

Informationen

Informationen sind Verknüpfungen von Daten, die durch eine ergebnisorientierte Aufbereitung und Darstellung für eine Zielgruppe nutzbar gemacht werden. Ein Beispiel sind Zahlen (= Daten, in der Regel zusammengesetzt aus Ziffern) und Einheiten (= Daten, zusammengesetzt aus Buchstaben und/oder Sonderzeichen). Erst in dieser Kombination sind Daten in einer bestimmten Situation nutzbar und aussagefähig.

Der **Informationsfluss** eines Unternehmens bezeichnet die Gesamtheit der Informationen, die ein Unternehmen auf Informationswegen und –kanälen durchlaufen. Er erstreckt sich von den Informationsquellen ausgehend über verschiedene Sender und Empfänger auf das gesamte Unternehmen [Gabl04]. Informationsquellen sind alle Personen, Gegenstände oder Prozesse, die Informationen liefern.

Informationsempfänger sind alle Personen, Gegenstände oder Prozesse, die Informationen erhalten.

Wissen

Wissen entsteht durch zweckorientiertes Vernetzen von Informationen. Wissen bezeichnet die Gesamtheit der Informationen, die Individuen zur Lösung von Aufgaben einsetzen.

Der Begriff „Intelligenz“ stammt aus der Biologie/Psychologie und definiert die Fähigkeit, Wissen zu erzeugen, indem Informationen, Wahrnehmungsinhalte und Gedächtnisspuren auf gegenstands- und problemgerechte Weise neu kombiniert und gegebenenfalls entsprechend verknüpft werden [LexB06]. Diese Fähigkeit wird allein dem Menschen zugeschrieben.

Leblose Gegenstände, Objekte, Dinge und Prozesse sind demnach nicht intelligent.

Ausgehend vom Qualitätsgedanken können sie den Informationsfluss unterstützen, ohne den manuellen Administrationsaufwand zu erhöhen und werden deshalb als „smart“ bezeichnet. Um den Informationsfluss unterstützen zu können, besitzen smarte Objekte eine Daten verarbeitende Komponente, z. B. einen Datenspeicher.

Kompetenz

Kompetenz bezeichnet die Fähigkeit eines Individuums, sein Wissen auf konkrete Aufgabenstellungen anzuwenden sowie die Fähigkeit, unterschiedliche Informationen so miteinander zu kombinieren, dass Wissen entsteht [Giss99]. Kompetenz ist somit die Grundlage des Handelns eines menschlichen Individuums, um in und auf komplexe Situationen und Aufgaben- und Fragestellungen reagieren zu können.

3.2.2 Technologien

Technologien bezeichnen Wissenschaft und Grundprinzipien von Funktion, Wirkung, Gestaltung und Herstellung technischer Systeme sowie von Gewinnung, Ver- und Bearbeitung von Stoffen [Warn05]. Es wird zwischen mechanischen, elektronischen und informationstechnischen Technologien unterschieden.

In diesem Kapitel werden insbesondere informationstechnische Technologien vorgestellt, mittels deren Einsatz die Datenintegration in „Smart Production Systems“ ermöglicht wird.

Ubiquitous Computing

Nach MOORE's Law verdoppelt sich die Integrationsdichte auf ICs etwa alle 18 Monate [Moor65]. Durch diese Entwicklung wird die Rechenleistung von Mikroprozessoren preiswerter und es wird möglich, viele Geräte mit Mikroprozessoren auszustatten.

WEISER entwickelte basierend auf MOORE's Law die Vision des Ubiquitous Computing [Weis91]. Die Informationsverarbeitung wird darin umfassend, allgegenwärtig und voll integriert (lat.: *ubique* = überall), das heißt viele Gegenstände erhalten einen Mikroprozessor, der für den Nutzer nicht sichtbar ist.

Die ersten Computer waren großvolumig in der Größenordnung von Schränken oder Häusern. Sie wurden von mehreren Menschen bedient und genutzt, das heißt die Anzahl der Benutzer war pro Computer größer als Eins. Mit dem PC wurde ein Computer entwickelt, der gleichzeitig nur einem Benutzer dient. Bis Mitte der 1990er Jahre war ein PC in der Regel der einzige Computer, den ein Mensch nutzte. Mittlerweile hat jeder Mensch viele unterschiedliche, kleine Computer in Gebrauch, wie z. B. das Mobiltelefon, den Handheld, diverse programmierbare Haushalts- und Unterhaltungsgeräte wie Videorekorder, Waschmaschine, Mikrowelle, etc. Die Größe eines jeden einzelnen Computers ist nur ein Bruchteil von der eines ursprünglichen Computers. Zusätzlich sind diese Computer meist nicht mehr als „Standalone“-Applikation ausgelegt, sondern sie verfügen über Schnittstellen, um mit anderen Computern über Netzwerke kommunizieren zu können. Diese Entwicklung ist grafisch in Abb. 3-4 dargestellt.

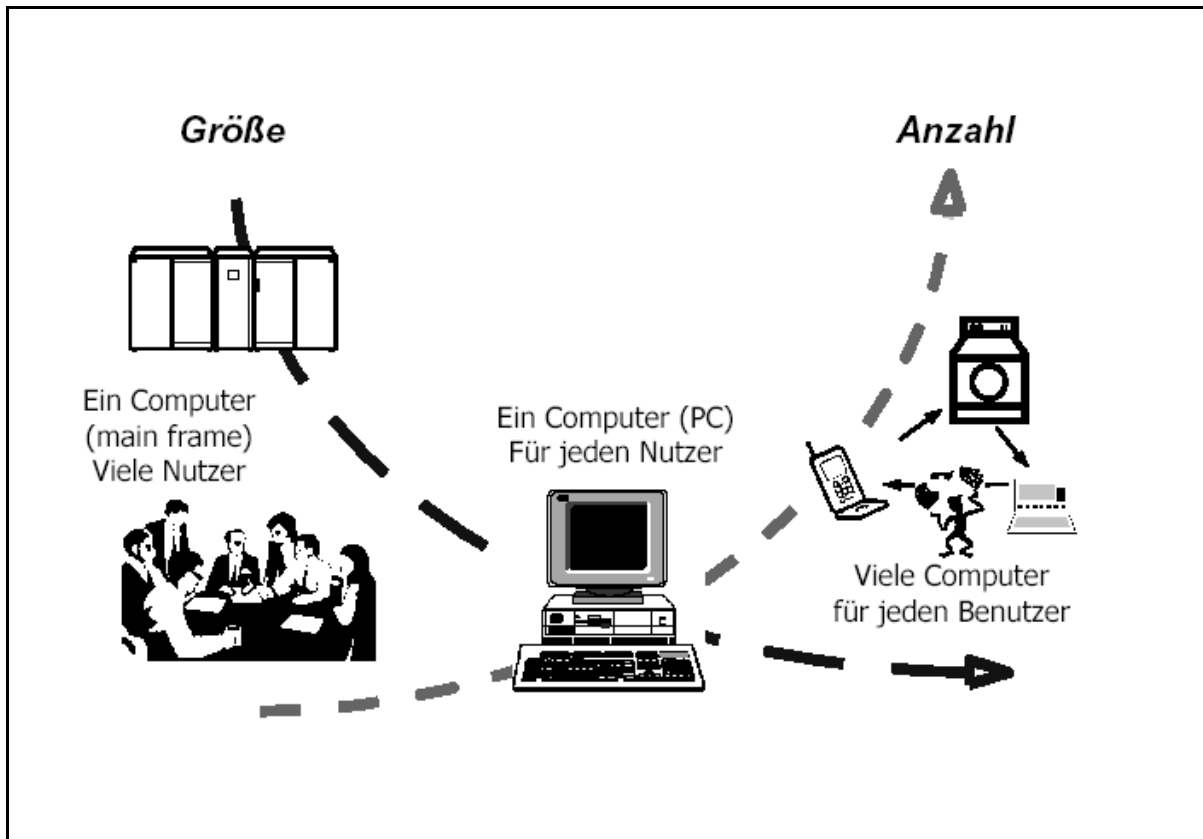


Abb. 3-4: Ubiquitous Computing [Münc03]

Sensornetzwerke

Sensoren ermöglichen das Messen von physikalischen Größen, wie z. B. Temperatur, Feuchte, Druck, Beschleunigung, Licht, etc.

Sensoren werden ähnlich wie Computer immer kleiner und preiswerter und können deshalb in viele Geräte und Gegenstände integriert werden. Durch die Schnittstellen zu IuK-Technologien können sie mit vielen Anwendungen vernetzt werden. Sie werden dadurch quasi allgegenwärtig, ähnlich dem Computer in der Vision des Ubiquitous Computing. Während beim Ubiquitous Computing der Schwerpunkt auf der Datenverarbeitung liegt, liegt der Schwerpunkt von Sensornetzwerken auf der Aufnahme von Prozess- und Umgebungsdaten.

Aktorik und Adaptronik

Aktoren sind Elemente, die eine Eingangsgröße in eine andersartige Ausgangsgröße umsetzen. In der Steuer- und Regelungstechnik bezeichnen Aktoren die wandlerbezogenen Gegenstücke zu Sensoren: Aktoren bilden das Stellglied in einem Regelkreis, indem sie Signale in (meist) mechanische Arbeit umsetzen, wie z. B. ein Ventil, das angesteuert wird und je nach Signal öffnet oder schließt.

In der Materialwissenschaft wird der Begriff „Adaptronik“ verwendet: Adaptive, aktive Strukturen („intelligente Strukturen“ / „smart structures“) sind Materialanordnungen, die mit strukturintegrierter Sensorik, Aktorik und Regelungstechnik ausgestattet sind und damit eine Anpassung an sich ändernde Rahmenbedingungen erlauben.

Im Gegensatz zur Mechatronik verfolgt die Adaptronik einen bionischen Ansatz: Statt aktive Funktionen bestehender Strukturen mechatronisch zu ergänzen, werden aktive Funktionen direkt in die Lastpfade passiver mechanischer Strukturen integriert, ähnlich den Nerven und Muskeln im menschlichen Körper. Technische Basis dafür sind so genannte Wandlermaterialien, die eine Energieform in eine andere überführen können und idealer Weise gleich mehrere sensorische, aktorische oder mechanisch Last tragende Funktionen übernehmen. Ein Beispiel sind piezokeramische Systeme [Buss06].

Kommunikation und Vernetzung

Die Globalisierung der Märkte führt zu einer stärkeren Verteilung von Daten, Applikationen und Nutzern, die den Einsatz von leistungsfähigen IuK-Technologien erfordert. Die Anzahl der Komponenten vernetzter Systeme wächst stetig [Feld05].

Für mobile Anwendungen werden vor allem drahtlose Funktechnologien eingesetzt, mit denen Daten mittels elektromagnetischen Wellen übertragen werden.

Wichtig für eine Möglichkeit der Vernetzung verschiedener Systeme und Objekte sind dabei offene Standards hinsichtlich Frequenzen und Protokollen mit einer ausreichenden Sicherheit gegen Manipulation oder Abhören.

Der FELDAFINGER KREIS stellt ferner den Bedarf einer „Self- and context-aware Communication“ fest: Nachrichten sollen als gesteuerte Handlung übermittelt werden, indem Zustellungszeitpunkt, Wichtigkeit und Inhalte der Nachrichten auf die vorliegenden Gegebenheiten und die aktuelle Situation des Kommunikationspartners eingestellt werden [Feld05].

Auch eine „Ad-hoc“-Vernetzung und sich selbst organisierende Systeme gewinnen eine erhebliche strategische Bedeutung für die Entwicklung der Technologie und Anwendungen in Unternehmen. Priorisierte Handlungsfelder sind insbesondere. Logistik und Industrieautomatisierung [Feld05].

Energiemanagement

Die vorgestellten Technologien Ubiquitous Computing, Sensorik, Adaptronik und Aktorik sowie Kommunikation und Vernetzung benötigen elektrischen Strom. Die elektrische Spannungsversorgung kann auf unterschiedliche Arten erfolgen:

- Nutzung und Umwandlung von Energie aus der Umgebung, z. B. Nutzung eines zugänglichen Stromnetzes
- Lichtenergie, z. B. durch Solarzellen
- Bewegungsenergie, z. B. durch Gezeitenkraftwerke
- Wärme, z. B. durch Wärmekraftwerke
- Energiespeicher, z. B. Akku
- Chemisch, z. B. Brennstoff oder Batterie
- Thermisch, z. B. Wärmespeicher
- Mechanisch, z. B. Federenergie
- Induktion

Herausforderungen und Auswahlkriterien für das Energiemanagement in Systemen sind:

- Baugröße und Bauform der spannungsversorgenden Einheit, vor allem in kleinen Objekten und Systemen
- Preiswerte und kostengünstige Anschaffung und Gebrauch
- Situationsbezogener Energieeinsatz, um Energieverbrauch in Ruhephasen zu vermeiden
- Lebensdauer und ggf. Aufladezyklen: Die nötige Lebensdauer der energieversorgenden Komponente wird durch die Lebensdauer des Objektes bzw. Systems bestimmt.
- Umweltfreundlichkeit, z. B. durch erneuerbare Energien und unschädliche Rückstände

In kleinen mobilen Systemen sind Batterie und Induktion die verbreitetste Art der Spannungsversorgung.

3.2.3 Prozesse

Begriffsdefinition „Prozess“

Es existieren verschiedene Definitionen für den Begriff „Prozess“ im technischen Verständnis:

- Umgangssprachlich versteht man unter einem Prozess einen Ver- oder Ablauf, einen Hergang oder eine Entwicklung. Oftmals werden diese Begriffe auch als Synonym für „Prozess“ verwendet.
- Aus Sicht des Qualitätsmanagements ist ein Prozess „ein Satz von in Wechselbeziehung stehenden Mitteln und Tätigkeiten, die Eingaben in Ergebnisse umgestalten. Zu den Mitteln können Personal, Einrichtungen, Anlagen, Technologien und Methodologie gehören“ [DIN92].
- Nach DIN 66021 versteht man unter einem Prozess eine Zustandsänderung in Form einer Transformation von Input (Zustandseingangsgrößen) zu Output (Zustandsausgangsgrößen), z. B. durch Umformung, Speicherung und/oder Transport von Materie, Energie und/oder Informationen [DIN77].
- DAENZER betrachtet den Prozess systemtechnisch und definiert diesen als den Vorgang der Zustandsänderung in einem System. Die Zustandsänderung kann dabei Elemente des Systems und deren Beziehung untereinander umfassen [Daen94].

In dieser Arbeit werden Prozesse als *zeitabhängige Zustandsänderungen eines Objektes oder Systems* verstanden, das dem Prinzip der Veränderung unterliegt. Die Parameter eines Objektes oder Prozesses werden derart verändert, dass sich die Ausgangs-/Outputparameter von den Eingangs-/ Inputparameter unterscheiden.

Prozesse und Wertschöpfung

Wertschöpfung ist das originäre Ziel von Produktionsprozessen. Durch Wertschöpfung werden vorhandene Produktionsobjekte in Güter mit größerem (Kunden-) Nutzen transformiert.

Die Wertschöpfung misst den Ertrag von Produktionsprozessen als Differenz zwischen dem Output (Produktwert) und dem Input (Vorleistung) eines Produktionsprozesses, so dass gilt:

Wertschöpfung = Produktwert – Vorleistung

- Der Produktwert ist der bewertete Produktionsoutput (Umsatzerlös +/- Bestandsveränderung).
- Vorleistungen sind fremdbezogene Güter und Dienste, die im Produktionsprozess verbraucht werden. Hierzu zählen zugelieferte Materialien und bezogene Serviceleistungen, nicht aber der Faktor Arbeit, der die Veränderung zwischen Output und Input darstellt.

Der durch Wertschöpfung erzielte höhere Nutzen ist messbar durch den Geldwert der Veränderung, die durch die Produktionsprozesse bewirkt wird [Gabl04].

Produktionsprozesse und Produktionssystem

Ein Produktionssystem umfasst alle Elemente und Relationen zwischen diesen, die zur vollständigen Erstellung eines Produktes erforderlich sind [Ever92]. Es beschreibt die Zusammenhänge und Strukturen zwischen einzelnen Produktionsobjekten und –prozessen.

Jedes System ist durch seine Systemgrenze von seiner Umwelt und seinen Nachbarsystemen getrennt. Um dennoch einen Austausch zu ermöglichen, müssen Schnittstellen eingerichtet werden, über die der Kontakt mit der Umwelt und Nachbarsystemen abgewickelt werden kann.

Ein Produktionssystem wird maßgeblich durch Fertigungs-, Informationsverarbeitungs- und Logistikprozesse aufgebaut. Unterstützt und vorbereitet werden diese Abläufe durch Gestaltungs-, Entwicklungs-, Planungs- und Serviceprozesse.

Jeder Produktionsprozess beinhaltet eine spezifische logische Kette.

In **Fertigungsprozessen** unterliegen Objekte einer Veränderung durch Aktionen. Die Veränderung in Fertigungsprozessen wird durch die Wertschöpfung beschrieben, die direkt zum Kundennutzen eines Produktes beiträgt. Fertigungsprozesse können zeitlich und räumlich sowohl parallel als auch hintereinander angeordnet werden.

Fertigungsprozesse F_i werden unterschieden in

- Teilefertigungsprozesse (TF_i) und
- Montageprozesse (M_i).

Typische Änderungen eines Teilefertigungsprozesses sind Modifikationen der Bauteilgeometrie oder der Materialeigenschaften, z. B. in spanenden Bearbeitungsprozessen oder in Wärmebehandlungsverfahren.

In einem Montageprozess werden mehrere Bauteile zusammengebaut. Dadurch werden die Parameter Bauteilanzahl und -zusammensetzung (und damit auch die Funktionalität) verändert.

Fertigungsprozesse lassen sich weiter spezifizieren in die Teilprozesse

- Rüsten (R_i),
- Bearbeiten (B_i)
- Prüfen (P_i).

Diese Prozesskette unterliegt dem Prinzip der logischen Kette

- Planen – Durchführen – Sichern.

Die Hauptaufgabe von **Logistikprozessen** ist die Steuerung des Materialflusses innerhalb eines Unternehmens oder eines Produktionsnetzwerkes. Durch den Materialfluss werden Fertigungsprozesse in einer Weise gelenkt, ver- und entsorgt, die sicherstellt, dass das Ergebnis dem Kunden zum richtigen Zeitpunkt, am richtigen Ort, in der richtigen Menge und in der richtigen Qualität zur Verfügung steht.

Logistikprozesse verändern folgende Parameter:

- Ort,
- Lage oder
- Menge eines Objektes

Logistikprozesse sind nicht wertschöpfend. Sie sind am Produkt selbst nicht erkennbar.

Man unterscheidet Logistikprozesse in

- Handhabungsprozesse (H_i),
- Transportprozesse (T_i) und
- Lagerprozesse (L_i).

Handhabungsprozesse dienen zur Vorbereitung von Fertigungs- und Logistikprozessen, z. B. durch Vereinzeln, Ausrichtung oder Zusammenführung von Objekten.

Lagerprozesse dienen der Pufferung (Sicherheitsbestand) oder Veredelung (Reifung

Logistikprozesse unterliegen der logischen Kette

- Planen – Disponieren – Dokumentieren

Schnittstelle Fertigung / Logistik

Die Schnittstelle zwischen Produktions- und Logistikprozessen sind definierte Übergabe-/Übernahmepunkte und -termine, die durch Liefer- und Materialbereitstellungskonzepte beschrieben werden. Durch diese Konzepte werden Produktions- und Logistikplanung aufeinander abgestimmt.

Informationsverarbeitungsprozess

Ein Informationsverarbeitungsprozess dient in einem Produktionssystem dazu, Informationen von einem Prozess in einen anderen zu transferieren. Durch Informationsverarbeitungsprozesse können Daten mündlich, schriftlich oder elektronisch weitergeben oder gespeichert werden. Sie unterliegen der logischen Kette

- Daten ermitteln – Verknüpfen – Verarbeiten

Planungs- und Gestaltungsprozess

Ein Gestaltungsprozess dient der Definition und dem Aufbau eines Systems, eines Objektes oder eines Prozesses, indem die Parameter, die Grenzen, die Struktur und die Schnittstellen festgelegt werden.

Ein Planungsprozess definiert die zeitliche Reihenfolge der Gestaltung.

Planungs- und Gestaltungsprozesse werden in folgenden Schritten entwickelt:

- Idee – Entwerfen – Detaillieren

Serviceprozess

Ziel eines Serviceprozesses ist die Unterstützung von Produktions- oder Logistikprozessen durch präventive Maßnahmen oder akute Fehlerbehebung. Er kontrolliert und verändert (im Sinne von Regenerieren oder Aufwerten) die betroffenen Parameter eines Objektes oder Prozesses, um die Funktion des Objektes oder Prozesses sicherzustellen.

Serviceprozesse (S_i) unterliegen der logischen Kette:

- Diagnose – Ausführen – Überprüfen

3.3 Ansätze der Produktionsgestaltung

In diesem Unterkapitel werden die verschiedenen wissenschaftlichen Ansätze der Produktionsgestaltung dargestellt, die „Smart Production Systems“ nachhaltig beeinflussen. Dabei wird zwischen datenorientierten (Kap. 3.3.1), technologieorientierten (Kap. 3.3.2) und prozessorientierten Ansätzen (Kap. 3.3.3) unterschieden.

3.3.1 Datenorientierte Ansätze

Computer Integrated Manufacturing (CIM)

Der Begriff des Computer Integrated Manufacturing (CIM) wurde 1973 in den USA von HARRINGTON geprägt [Harr73]. In Deutschland wurde der Begriff erstmals 1985 während der Hannover Messe eingeführt [Geit91].

CIM bezeichnet ein Integrationskonzept für Informationsverarbeitung in Produktionsunternehmen i.S. eines computergestützten Informationsflusses. Dieses beinhaltet insbesondere die anfänglichen Ansätze, die sich auf die Bereiche Entwicklung/Konstruktion (CAE, CAD), Arbeitsplanung (CAP) und Fertigungsprozesse (CAM, CAQ) konzentrierten. Es wurde schnell um die betriebswirtschaftlich-dispositiven Aufgaben Produktionsplanung und -steuerung (PPS) erweitert und somit ein ganzheitliches Konzept von der Steuerung eines Kundenauftrags aus dem Vertriebssystem über den Fertigungsauftrag, Kapazitätsplanung und Materialwirtschaft bis zur Versandsteuerung erstellt.

Neben dem CIM-Ansatz im engeren Sinne (Manufacturing) schließt ein umfassenderes CIM-Verständnis die zwischen- und überbetrieblichen Informationsflüsse in Produktionsnetzwerken mit ein. Dieser weiterentwickelte Ansatz wird auch als Computer Integrated Business bezeichnet (CIB) [Beck93, Geit91].

Der Grundgedanke von CIM besteht darin, die Konsistenz, Aktualität und Qualität von Unternehmensdaten mittels eines computergestützten Netzwerkes zu verbessern, um zur Prozessverbesserung im Unternehmen beizutragen. Die Stammdatenhaltung spielt dabei eine Schlüsselrolle. Stammdaten stehen zentral den unterschiedlichen technischen und betriebswirtschaftlich-dispositiven Funktionsbereichen eines Unternehmens zur Verfügung ohne dass diese an verschiedenen Stellen mehrfach erfasst und gepflegt werden müssen. SCHEER hat diese Verknüpfungen und Zusammenhänge zwischen den Daten der verschiedenen Funktionsbereiche im Y-Modell dargestellt [Sche90] (Abb. 3-5).

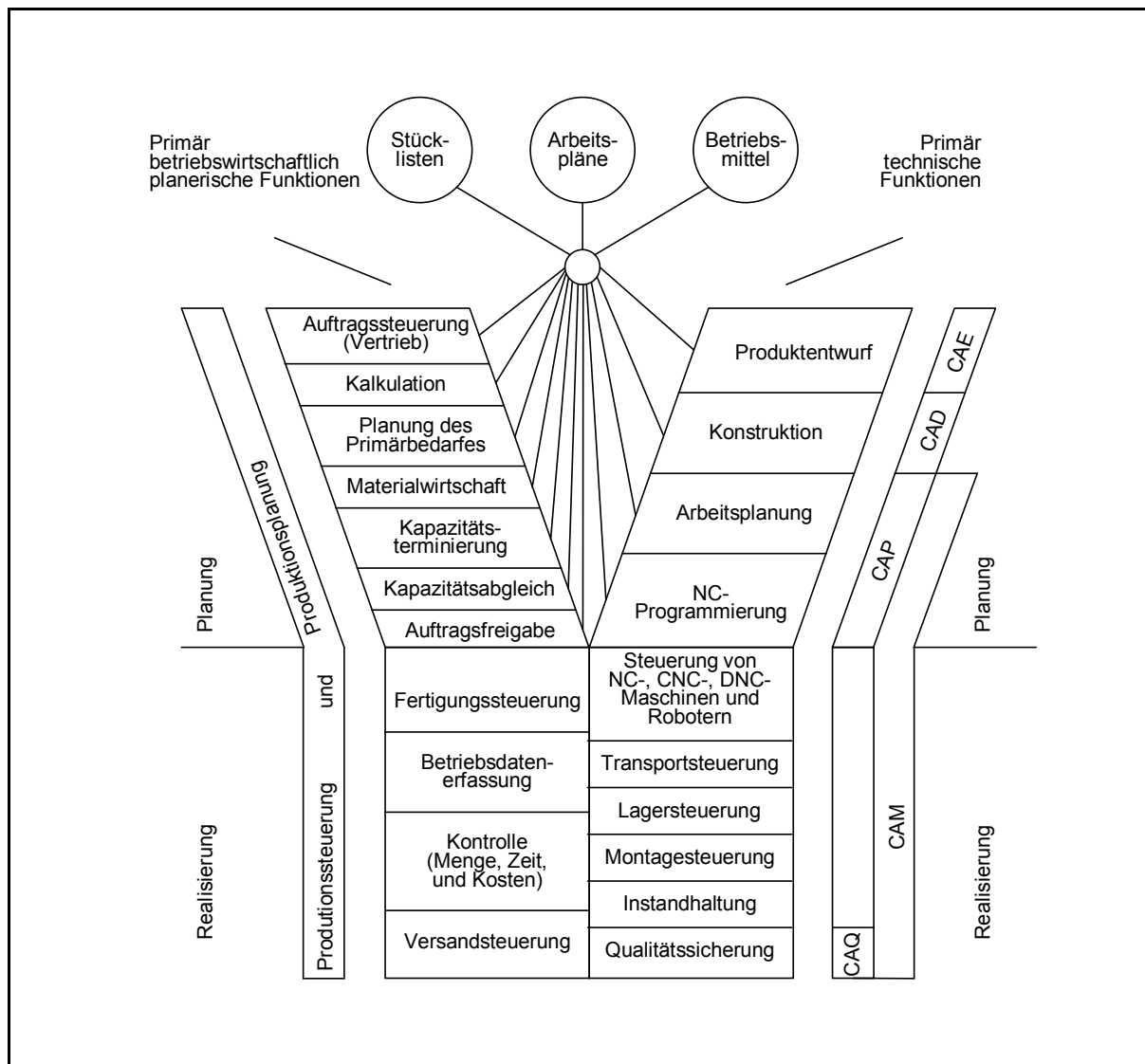


Abb. 3-5: Y-Modell [Sche90]

Die Einführung von CIM führte bisher allerdings nicht zu den erhofften Erfolgen: Die „CIM-Ziele“, z. B. Verkürzung der Auftragsdurchlaufzeiten, Steigerung der Produktqualität, Personaleinsparung im Fertigungs- und Verwaltungsbereich, etc. wurden nicht in zufrieden stellender Weise erreicht [Büri97]. CIM-Systeme sind oftmals bedienerunfreundlich. Ein hoher Schulungsaufwand ist notwendig [Beck93], die Akzeptanz bei den Mitarbeitern eines Unternehmens sinkt dadurch. Oftmals ist die Technik nicht ausreichend vorhanden/eingeführt bzw. leistungstark, so dass Fehler bei der Datenverarbeitung entstehen, die mit hohem Aufwand bereinigt werden müssen. Die betriebliche Organisationsstruktur ist nicht auf integrationsinduzierten Informationsfluss ausgerichtet [Fied91].

Digitale Fabrik

Die digitale Fabrik wird in der VDI-Richtlinie 4499 wie folgt definiert:

„Die digitale Fabrik ist der Oberbegriff für ein umfassendes Netzwerk von digitalen Modellen, Methoden und Werkzeugen – unter anderem der Simulation und 3D-Visualisierung – die durch ein durchgängiges Datenmanagement integriert werden. Ihr Ziel ist die ganzheitliche Planung, Evaluierung und laufende Verbesserung aller wesentlichen Strukturen, Prozesse und Ressourcen der realen Fabrik in Verbindung mit dem Produkt.“ [VDI06]

Die digitale Fabrik liefert ein digitales Datenmodell einer Fabrik und eine Methodik für die rechnergestützte Fertigungsplanung. Der Grundgedanke ist, dass mittels einer Softwareunterstützung alle am Planungsprozess Beteiligten auf das digitale Modell und die hinterlegte gemeinsame Datenbasis zugreifen können. Somit wird die Qualität von Planungsprozessen mittels Datenintegration verbessert [West06].

Gleichzeitig beinhaltet die digitale Fabrik die Simulation von Produktionslogistik und Produktionsprozessen, um frühzeitig und ohne Risiko verschiedene Szenarien durchzutesten, eventuell zu erwartende Engpässe vorab zu erkennen sowie Steuerungsstrategien vorab testen und optimieren zu können [Kueh06].

Erkenntnisse und Erfahrungen der datenorientierten Ansätze

Folgende Erkenntnisse konnten aus den Erfahrungen mit datenorientierten Ansätzen der Produktionsgestaltung gewonnen werden:

- Datenintegration sowie die Vernetzung unterschiedlicher Informationssysteme trägt zur Steigerung der Datenqualität und Planungssicherheit bei.
- Die manuelle Bedienung von Informationssystemen erfordert neue Kompetenzen und einen hohen Schulungsaufwand der informationstechnischen Prozesse in Unternehmen.
- Datenerfassung und -pflege stellen einen hohen, nicht-wertschöpfenden Aufwand dar.

3.3.2 Technologieorientierte Ansätze

Die Neu- und Weiterentwicklung von Technologien, wie z. B. IuK-Technologien, Sensorik und Aktorik, sowie deren Chancen beim Einsatz in Produktionssystemen und industriellen Informationssystemen wurden von der Wissenschaft erkannt. Verschiedene Autoren und Forschungsgruppen initiierten Forschungsarbeiten.

Einen einheitlichen Titel für dieses Thema gibt es aktuell nicht. Es wurde eine Vielzahl von Forschungsprojekten initiiert, z. B. „Smart Factory“, „Smart Logistics“, „Smart Items“, mit einer Vielzahl von Definitionen von „intelligenten Objekten“, „intelligenten Dingen“, „intelligenten Geräten“ oder „smarten Produkten“. Diese Ansätze werden hier unter dem Begriff technologieorientierte Ansätze zusammengefasst. Innerhalb der technologieorientierten Ansätze wird zwischen „Smart Objects“, „Smart Factory“ und „Smart Logistics“ unterschieden.

Die derzeit bekanntesten Wissenschaftler auf diesem Gebiet sind FLEISCH, MATTERN, PFLAUM, SCHOLZ-REITER, SCHUH, WESTKÄMPER und ZÜHLKE.

„Smart Objects“

Es existieren verschiedene Begriffe mit unterschiedlichen Definitionen zum Themengebiet „Smart Objects“. Dabei werden die Begriffe „smart“ und „intelligent“ in ähnlicher Bedeutung verwendet. Nach FLEISCH sind „*intelligente Dinge*“ hybride Produkte, die sich aus einer physischen (Atome) und einer Daten verarbeitenden (Bits) Komponente zusammensetzen [Flei01; Flei02a]. Der Daten verarbeitende Teil eines „intelligenten Dinges“ verbirgt sich im Hintergrund, das heißt er wird vom Nutzer nicht offensichtlich wahrgenommen. Mittels der Daten verarbeitenden Komponente wird die Lücke zwischen realer und digitaler Welt geschlossen, indem Daten des „intelligenten Dinges“ direkt in Informationssysteme übertragen werden und damit manuelle Eingaben vermieden werden. Die verschiedenen erforderlichen Technologien sind in Abb. 3-6 dargestellt.

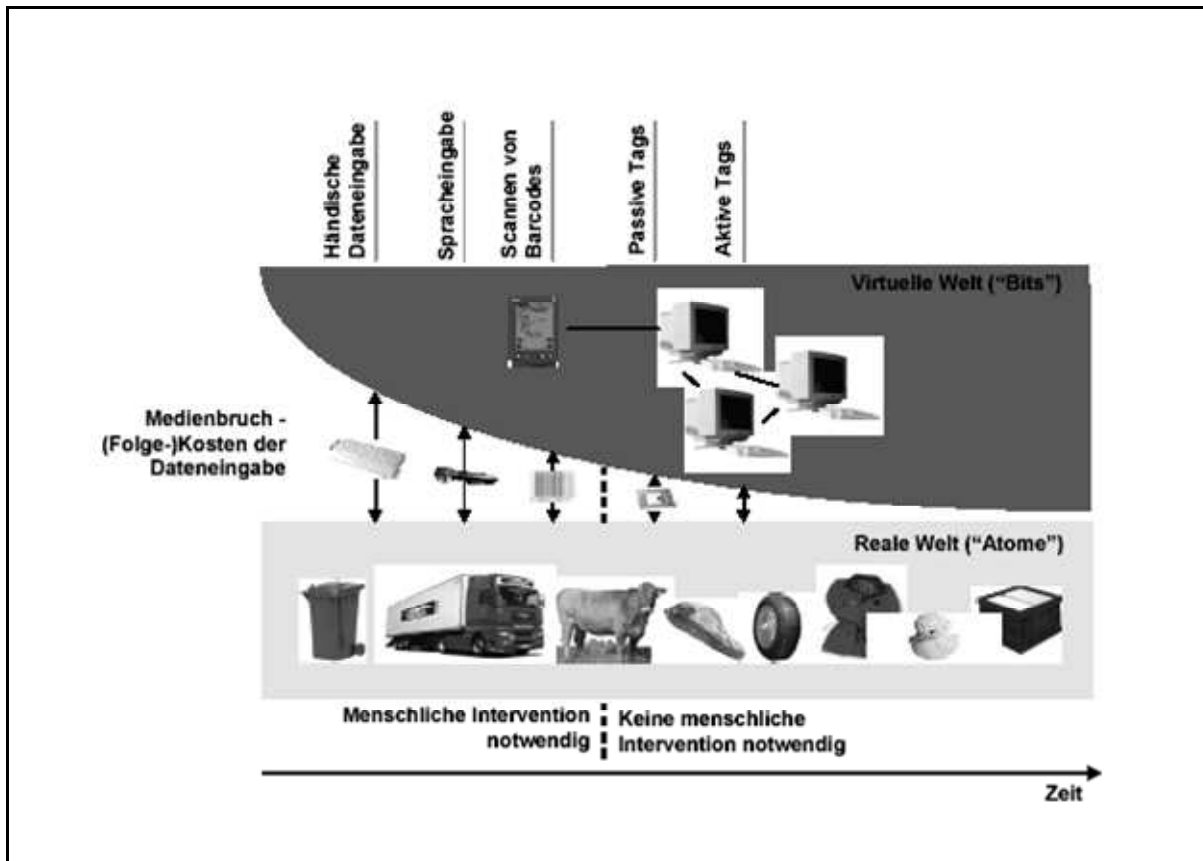


Abb. 3-6: Schließen der Lücke zwischen realer und digitaler Welt [Flei01]

- MATTERN baut den Begriff der „intelligenten Dinge“ aus, indem er die Funktionen der Daten verarbeitenden Komponente weiter spezifiziert. Er definiert den Begriff „**Smart Objects**“ wie folgt:
- „Smart Objects“ können sich an Ereignisse erinnern: Sie besitzen einen Datenspeicher
- „Smart Objects“ zeigen kontextbezogenes Verhalten: Sie können Sensoren und Raum- oder Situationsbewusstsein haben
- „Smart Objects“ können antworten: Sie kommunizieren mit ihrer Umwelt und sind mit anderen „Smart Objects“ in Netzwerken verknüpft [Matt01].

Ein Prototyp „Smarter Objekte“ ist beispielsweise der „Smarte Schinken“: Jeder einzelne „Smarte Schinken“ erhält bei Produktionsbeginn einen Mikrochip, mit dessen Hilfe während der mehrmonatigen Reifezeit laufend automatisch prozessrelevante Messdaten wie Gewicht, Temperatur sowie Wasser- und Fettgehalt gesammelt werden [Flei02b].

Als weitere Prototypen für „Smarte Objekte“ nennt Fleisch neben dem „Smarten Schinken“, „Smarte Mehrwegbehälter“, „Smarte Mülltonnen“, „Smarte Kleinteileboxen“ und „Smartes Inventar“ [Flei02a, Flei02c, Flei05, Scho03].

- PFLAUM definiert den Begriff „**Smart Items**“ in der Logistik“:

„Das ideale logistische Smart Item muss ... so konstruiert sein, dass die Lücke zwischen informatorischer und physischer Welt möglichst vollständig geschlossen wird. Eine intensivere Verknüpfung beider Welten ist dann gegeben, wenn physische Objekte und überlagerte Informationssysteme in der Lage sind, jederzeit miteinander zu kommunizieren, die Identität eines Objektes in der überlagerten IT bekannt und eindeutig, der Zustand eines Objektes dem Informationssystem jederzeit transparent und die Position des Objektes ebenfalls aktuell in den Datenstrukturen hinterlegt ist“ [Bern04, Gerh04, Pfla04, Pfla05].

Diesen drei Definitionen ist gemeinsam, dass Objekte neben ihrer primären Funktion, dem Produktnutzen, eine zusätzliche, Daten verarbeitende Funktionen erhalten.

„Smart Factory“

Nach WESTKÄMPER schließt „**Smart Factory**“ die Lücke zwischen digitaler Planung und Realität [West03, Baue03]. Ziel von „Smart Factory“ ist es, ein transparentes, optimiertes Produktionsressourcenmanagement zu realisieren, in dem hochdynamische Sensorinformationen in das kontextbezogene Umgebungsmodell von „Smart Factory“ integriert werden [Baue03] (Abb. 3-7). Unterstützende Technologien sind dabei Navigationssysteme, Ubiquitous Computing, Situated Information Spaces, Smart Label Transponder, Sentient Computing, Wireless Communication, Data Management und Ad hoc Networking [West03, West05b].

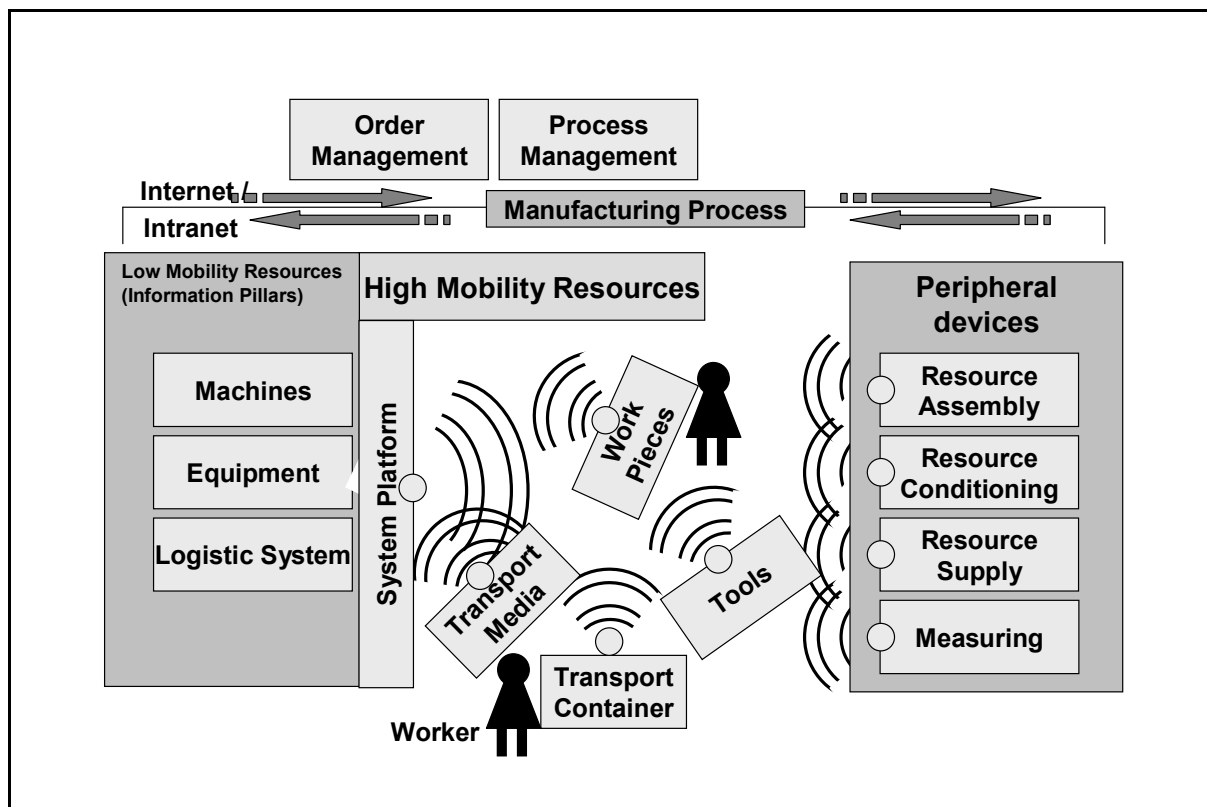


Abb. 3-7: Ressourcenmanagement in der „Smart Factory“ [Baue03]

POHLMANN und ZÜHLKE definieren „*SmartFactoryKL*“ als intelligente Fabrik der Zukunft mit folgenden Eigenschaften:

- Flexibel: „Smart Factory“ ist beliebig modifizierbar und erweiterbar.
- Vernetzt: „Smart Factory“ verbindet Komponenten verschiedener Hersteller
- Selbstorganisierend: „Smart Factory“ ermöglicht ihren Komponenten, kontextbezogene Aufgaben selbstständig zu übernehmen
- Nutzerorientiert: „Smart Factory“ legt Wert auf die Nutzerfreundlichkeit der Systeme [Pohl05a, Pohl05b].

POHLMANN weist darauf hin, dass die zur Umsetzung von „Smart Factory“ erforderlichen Technologien, z. B. Identifikationstechnologien, Sensorik und Aktorik, durch den Einsatz im Konsumbereich, z. B. im „Smart Home“ zu einer Reife entwickelt wurden, die einen industriellen Einsatz ermöglichen.

„Smart Logistics“

SCHUH, RIPP und KAMPKER definieren „*Sm@rt Logistics*“ als vernetzte intelligente Systeme in der Produktionslogistik [Schu05]. Mittels betriebswirtschaftlich sinnvoller Nutzung innovativer IuK-Technologien, wie z. B. Transponder- oder Multiagentensysteme, soll eine flexible und termingerechte Materialver- und -entsorgung bei optimierten Ressourceneinsatz sichergestellt werden.

Nach SCHOLZ-REITER bedarf es neuer Steuerungsparadigmen für eine verteilte Logistik, um selbststeuernde logistische Prozesse zu modellieren und Methoden und Werkzeuge zu deren Einsatz zu entwickeln [Scho04]. Dieser Bedarf resultiert aus dem Aufbau von virtuellen Unternehmen und logistischen Verbänden und Allianzen, die eine Zunahme von komplexen unternehmensinternen und -übergreifenden logistischen Prozessen bewirken [Frei04]. Die Idee für selbststeuernde logistische Prozesse basiert auf dem Ansatz, Entscheidungsfunktionen direkt auf logistische Objekte zu verlagern. Zur Realisierung dieser autonomen, dezentralen und skalierbaren Steuerungssysteme sollen Identifikationstechnologien, wie z. B. RFID, Kommunikationstechnologien, wie z. B. UMTS und WLAN und Lokalisierungstechnologien, wie z. B. GPS eingesetzt werden [Frei04; Böse05].

Erkenntnisse und Erfahrungen der technologieorientierten Ansätze

Die Erkenntnisse der technologieorientierten Ansätze lassen sich wie folgt zusammenfassen:

- Die Daten in Informationssystemen werden als unvollständig oder nicht aktuell beurteilt.
- Die Lücke zwischen physischen und informationstechnischen Prozessen kann mittels IuK-Technologien geschlossen werden.
- „Smart Objects“ umfassen neben ihrer primären Funktion eine Daten verarbeitende Funktion und können in Produktionssystemen eingesetzt werden.
- IuK-Technologien sind weitestgehend so miniaturisiert und so preisgünstig geworden, dass Objekte innerhalb einer Fabrik und eines Produktionsnetzwerkes zu „Smart Objects“ ausgestattet werden können.

3.3.3 Prozessorientierte Ansätze

Flexible, wandlungsfähige Fabrik

Um die sich ständig ändernden Anforderungen bewältigen und um in einer immer schwieriger prognostizierbaren Umwelt agieren zu können, sind Unternehmen darauf angewiesen, ihre Fabrikstrukturen flexibel und wandlungsfähig zu gestalten.

Eine „*wandlungsfähige Fabrik*“ besitzt nach WIRTH die Fähigkeit, notwendige funktionale, dimensionale und strukturelle Wandlungs- und Gestaltungsprozesse in den Betrachtungsebenen Prozess, Arbeits-/Produktionssystem, Gebäudetechnik und Gebäude durchzuführen [Wirt00]. Dafür werden bereits während der Phase der Fabrikplanung Mobilität, Schnelligkeit und Umrüstbarkeit von Anlagen, Maschinen und Infrastruktur mit einer hohen Priorität beachtet.

Als wesentliche Gestaltungsmerkmale der wandlungsfähigen Fabrik werden folgende Eigenschaften gefordert [Hild05]:

- Mobilität
- Modularität
- Kompatibilität
- Universalität
- Skalierbarkeit

Produktionsnetzwerke und virtuelle Unternehmen

Um eine hohe Reaktionsschnelligkeit und Innovationskraft zu verwirklichen, bringen Unternehmen ihre individuellen Kompetenzen in temporäre, z. B. kunden- oder auftragsbezogene Kooperationen ein [Wirt00]. Auf diese Weise werden Kompetenznetzwerke gebildet.

Der Begriff „*virtuelles Unternehmen*“ steht für einen Verbund mehrerer Unternehmen, die zusammen alle Eigenschaften eines größeren Unternehmens abdecken, welches als einzelnes real nicht existiert [Davi93]. Dazu wird unter den beteiligten Unternehmen eine Vernetzung hergestellt, die vertraglich auf eine bestimmte Zeit befristet ist. Ziel ist es, den Informationsfluss zwischen den beteiligten Unternehmen zu verbessern, damit die einzelnen Ressourcen des Verbundes optimal genutzt werden können und das virtuelle Unternehmen Marktchancen nutzen kann, die jedes Einzelunternehmen allein nicht wahrnehmen könnte [Warn99].

„Lean Production“ / Systemkonzepte aus der Automobilindustrie

„Lean Production“ ist eine Produktionsphilosophie, die insbesondere vom japanischen Automobilhersteller Toyota geprägt wurde und mit dem *Toyota Production System* (TPS) bekannt wurde. Vor allem in der Automobilindustrie haben auch deutsche Unternehmen nach dem Vorbild von Toyota eigene Produktionssysteme entwickelt, wie zum Beispiel das *Mercedes Production System* (MPS) innerhalb der DaimlerChrysler AG oder das *Bosch Production System* (BPS) innerhalb der Robert Bosch GmbH. In beiden Produktionssystemen sind viele Parallelen zum TPS erkennbar.

Die Erfolgskriterien sowie die Unterschiede zu den in Europa und USA etablierten Ansätzen sind durch WOMACK, ROOS und JONES dokumentiert [Woma92].

Toyota Production System (TPS)

Toyota entwarf bereits in den 1950er Jahren die Ideen des „Lean Production“ im Toyota Production System (TPS), das seitdem innerhalb des Toyota-Konzerns konsequent umgesetzt und weiterentwickelt wird.

Im Toyota Production System, das ursprünglich als Rationalisierungsstrategie gestartet wurde, lautet das oberste Ziel: Vermeidung von Verschwendung, um eine optimale Produktion zu realisieren. [Ohno89, Shin89, Woma92, Beck06].

OHNO identifiziert sieben Arten der Verschwendung, die es zu vermeiden gilt:

- Produktionsmenge (Überproduktion),
- Lagermenge (Bestände),
- Teiletransport (Transportwege),
- Bearbeitungszeit (Wartezeiten, Arbeitskosten),
- Materialumlauf,
- Bewegungsablauf/Arbeitsmethode,
- Fehlstücke [Ohno89].

Um dieses Ziel zu erreichen, entwickelt OHNO zwei Säulen des Toyota Production System:

- *Just-in-Time*, das heißt Produkte werden so eingeplant, dass sie unmittelbar bevor der Kunde sie braucht produziert werden.
- „*Autonomation*“ im Sinne einer Automatisierung mit menschlichem Touch: Anlagen und Maschinen sollen so gestaltet werden, dass sie Fehler erkennen und stoppen.

Mercedes-Benz Production System (MPS)

Das Mercedes Benz Produktionssystem (MPS) wird innerhalb aller Mercedes Benz PKW-Werke als ein integriertes System verstanden, das beschreibt, wie Prozesse innerhalb der Produktion gestaltet, implementiert und aufrechterhalten werden [DCAG00].

Das Mercedes Benz Produktionssystem besteht aus fünf Subsystemen:

- Arbeitsstrukturen und Gruppenarbeit
- Standardisierung, Qualität und robuste Prozesse / Produkte
- Just-in-time
- Kontinuierliche Verbesserung

sowie 15 dazugehörige Produktionsprinzipien (so genannte Operating Principles) mit 92 verschiedenen Werkzeugen (Abb. 3-8).

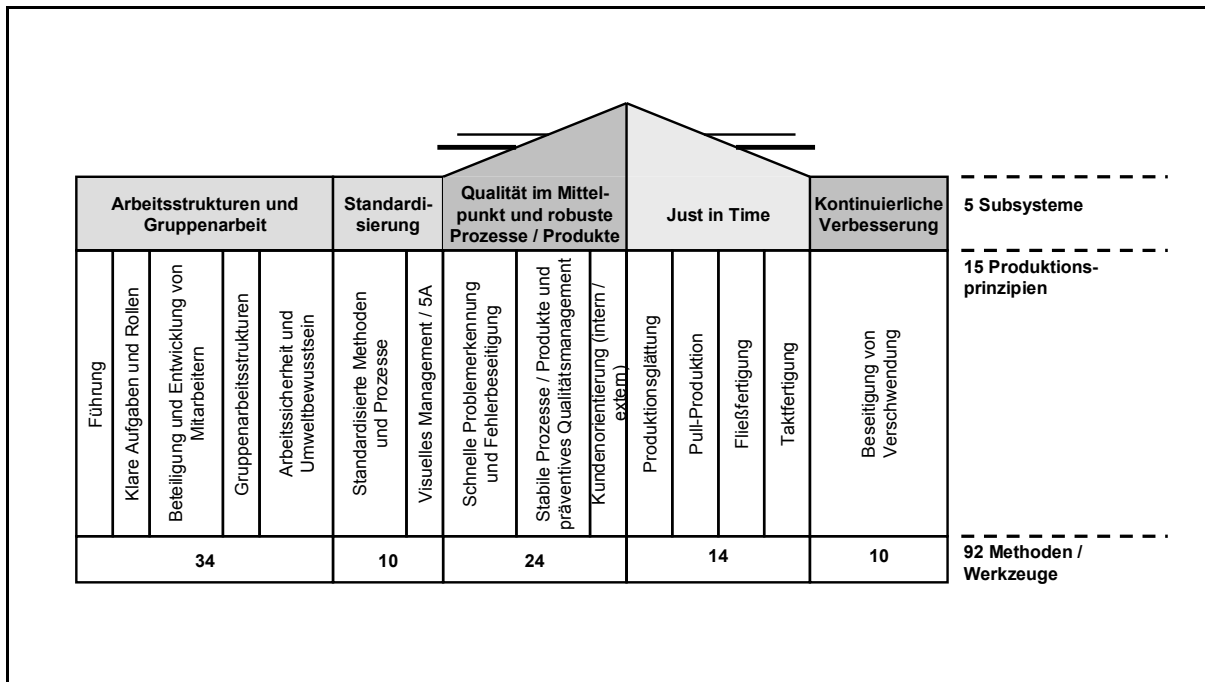


Abb. 3-8: Aufbau des Mercedes-Benz Produktionssystems (MPS) [DCAG00]

Bosch Production System (BPS)

Der Ansatz des Bosch Production Systems (BPS) lautet: Das richtige Teil, in der richtigen Menge, im richtigen Moment, in der richtigen Qualität, am richtigen Ort einzuplanen, zu fertigen, zu montieren und zu transportieren [Bosc02]. „Mehr“ oder „weniger“ wird als Verschwendung und als Zeichen für eine geringe Prozessstabilität verstanden.

Das Bosch Production System ist ein verbindliches, durchgängiges, ganzheitliches und nachhaltiges System, das einzelne Lean-Projekte, wie Total Productive Maintenance (TPM) oder Poka Yoke in Teilbereichen ablösen bzw. auffangen soll.

Das Bosch Production System ist definiert über

- drei **Ziele**:
 - Qualität
 - Kosten
 - Lieferung
- acht **Prinzipien**:
 - Prozessorientierung
 - Ziehprinzip
 - Standardisierung
 - Transparenz
 - Fehlervermeidung
 - Flexibilität
 - Vermeidung von Verschwendung
 - ständige Verbesserung,
- eine wachsende Zahl von **Bausteinen**, die in Projekten angewandt werden.

Die Prinzipien gelten als Leitlinien, die dazugehörigen Bausteine als Befähiger der Prinzipien. Die Zusammenhänge zwischen Zielen und Prinzipien im Bosch Production System sind in Abb. 3-9 dargestellt.

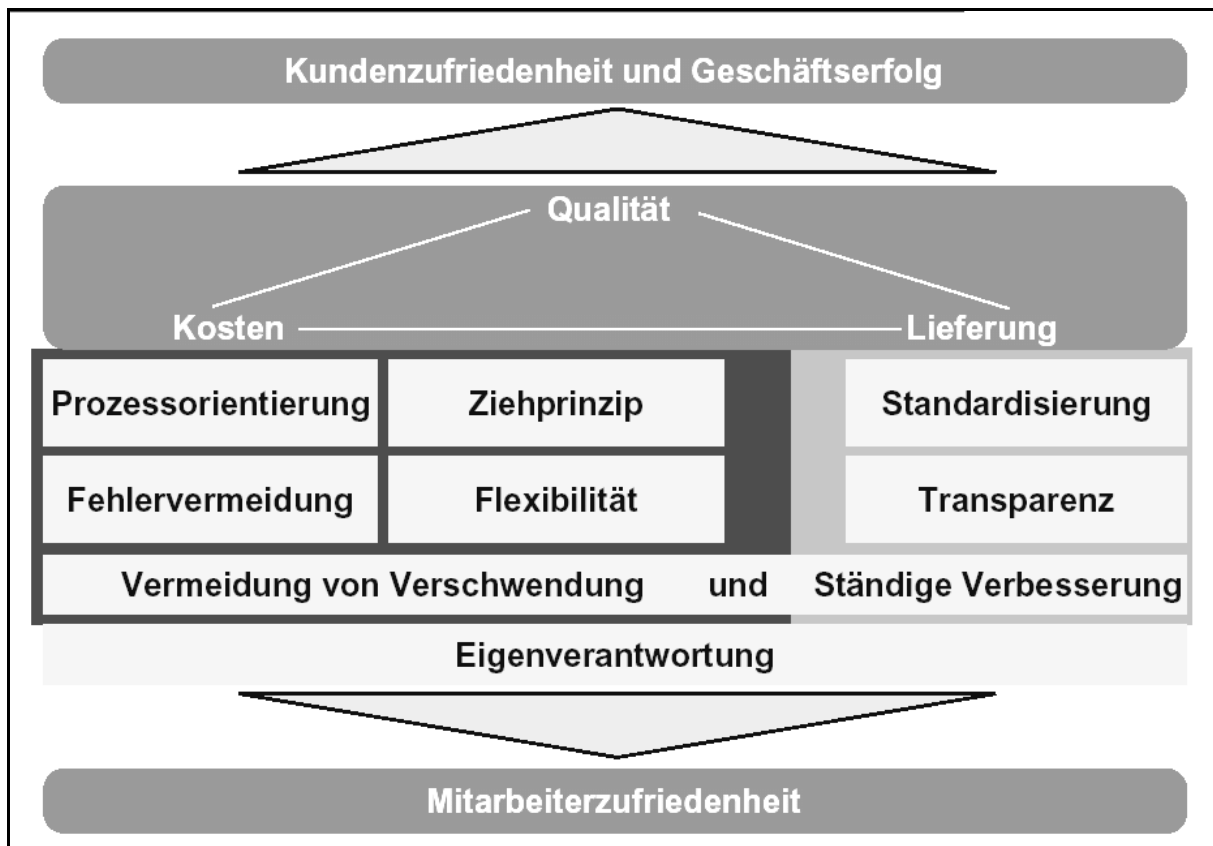


Abb. 3-9: Ziele und Prinzipien des Bosch Production Systems (BPS) [Bosc02]

Erkenntnisse und Erfahrungen der prozessorientierten Ansätze

- Die Philosophie von „Lean Production“ bietet neue Lösungsansätze zur physischen Prozessgestaltung. Die Veränderungen durch „Lean Production“ sind teilweise so weit reichend, dass sie vor allem in europäischen und amerikanischen Produktionen einen Paradigmenwechsel bedeuten, da hier andere Anforderungen und Rahmenbedingungen hinsichtlich Entlohnung, Produkthaftung, etc. gelten als im japanischen Ursprungssystem.
- Die informationstechnischen Prozesse einer Fabrik werden in den verschiedenen prozessorientierten Ansätzen bisher nicht betrachtet. Systembuchungen sind nicht Bestandteil des Konzepts von „Lean Production“ oder der flexiblen, wandlungsfähigen Fabrik.
- Die Auswirkungen der physischen Prozessänderungen auf die Informationssysteme stellen für Unternehmen neue, ungelöste Herausforderungen dar.
- Der Einsatz von prozessorientierten Technologien, wie z. B. automatische Identifikation (Auto-ID) wird in den prozessorientierten Ansätzen nicht thematisiert, das heißt weder befürwortet noch ausgeschlossen.

3.4 Definition und Potenziale von „Smart Production Systems“

Die Grundlage der Potenziale für neue Ansätze sind die Erfahrungen aus den Prozessen der Gegenwart und der Vergangenheit.

Insbesondere Unternehmen, die einen Wandel und Veränderung aktiv betreiben, fällt es leicht, neue Potenziale zu erschließen.

Oftmals werden datengetriebene, technologiegetriebene und prozessorientierte Ansätze untereinander als nicht vereinbar gesehen. Da OHNO sich stark von der Automatisierung abwendet [Ohno89], gelten beispielsweise „Lean Production“ und Ideen von „Smart Factory“ als gegensätzlich und nicht kompatibel. 1989 weist er darauf hin, dass Computer nicht über die erforderliche Rechenleistung und Intelligenz im Sinne von Daten verarbeitenden Algorithmen verfügen, um den Menschen Arbeit abnehmen zu können [Ohno89]. Die Rechenleistung von Computern und die Fähigkeiten der Software sind jedoch seitdem rapide gewachsen, so dass die Ideen und die Grundgedanken beider Ansätze in „Smart Production Systems“ einfließen können.

3.4.1 Definition „Smart Production Systems“

„Smart Production Systems“ sind ein Lösungsansatz, um aktuelle Herausforderungen an die heutige Produktion zu meistern, in dem die Lücke zwischen daten-, technologie- und prozessorientierten Produktionsgestaltungsformen geschlossen wird.

Produktion bedeutet im Sinne von „Smart Production Systems“ das Zusammenspiel von Fertigungs-, Informationsverarbeitungs- und Logistikprozessen, die durch Gestaltungs-, Entwicklungs-, Planungs- und Serviceprozesse unterstützt werden.

Die Potenziale von „Smart Production Systems“ resultieren aus der wirksamen Verbindung von datengetriebenen, technologiegetriebenen und prozessorientierten Ansätzen. Jeder einzelne Lösungsansatz besitzt Vorteile und Defizite. Durch die Verknüpfung aller drei Ansätze lassen sich Defizite der einzelnen Ansätze ausgleichen ohne auf die jeweiligen Vorzüge verzichten zu müssen.

Die Einflüsse der verschiedenen Ansätze sowie die Entwicklung des Ansatzes „Smart Production Systems“ sind in Abb. 3-10 dargestellt.

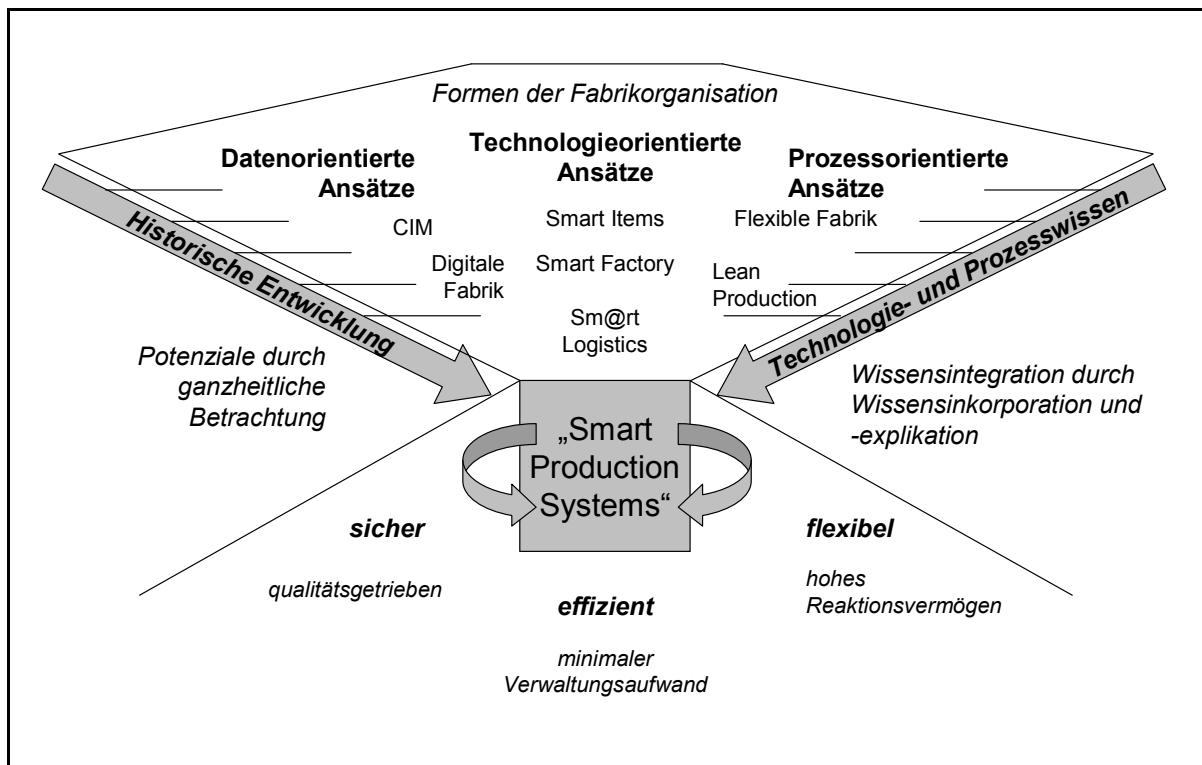


Abb. 3-10: Entwicklung der Produktionsgestaltung

In „smarten“ Produktionsprozessen werden IuK-Technologien (siehe Kap. 3.2.2) eingesetzt, mit deren Hilfe Systembuchungen automatisiert durchgeführt werden können, ohne dass manuelles Bedienen notwendig ist. Das Informationssystem gerät für den Anwender in den Hintergrund. Gleichzeitig werden System und Prozess eng miteinander gekoppelt, Informations- und Materialfluss werden miteinander verbunden. Dadurch erfolgen

- Wissensintegration durch Dokumentation,
- Wissensexplikation durch Rückverfolgung und Nachvollziehbarkeit.

„Smart Production Systems“ zeichnen sich durch folgende Eigenschaften aus:

- Daten werden mittels IuK-Technologien in Produktionsprozessen automatisiert ermittelt. Dadurch kann die Datendichte erhöht werden.
- Informationstechnische und physische Prozesse sowie Material- und Informationsfluss werden fest miteinander gekoppelt. Dadurch wird die Datenqualität in Bezug auf Genauigkeit und Aktualität zu einer Echtzeitplanung und –analyse erhöht.
- Informationssysteme sind miteinander vernetzt, dadurch wird ein schnellerer und sicherer Datenaustausch ermöglicht.
- Produktionsprozesse werden in kleinen Regelkreisen gesteuert, wodurch die Frequenz erhöht wird.
- Aktivitäten, wie z. B. die Datenadministration, regeln sich selbst und erfordern keinen Verwaltungsaufwand.
- Totzeiten und Vorlaufzeiten werden minimiert. Dadurch sowie durch die erhöhte Datenqualität ist eine Echtzeitanalyse und –planung möglich.
- Durch die Echtzeitplanung und –analyse wird die Sicherheit von Planung und Betrieb gesteigert.

- Prozessauswirkungen und –veränderungen werden frühzeitig bemerkt und erlauben dadurch einen schnellen Eingriff an der Stelle, die verantwortlich für den Prozessschritt ist.

Das Zielkonzept von „Smart Production Systems“ leitet sich aus der Strategie von Unternehmen (Kap. 3.1.2) ab, woraus sich die drei größten Potenziale ergeben:

- Qualität durch Sicherheit,
- Flexibilität durch kleine Regelkreise,
- Effizienz durch minimalen Administrationsaufwand.

3.4.2 Qualität

Die Qualität von Produkten und Prozessen wird durch die Prozesssicherheit bestimmt.

Um Prozesse sicher und nachvollziehbar zu gestalten, wird in „Smart Production Systems“ eine lückenlose Dokumentation entlang der Prozesskette etabliert.

Ein Beispiel für eine Lieferkette sowie den Dokumentationsmöglichkeiten und den daraus resultierenden Potenzialen ist in Abb. 3-11 dargestellt.

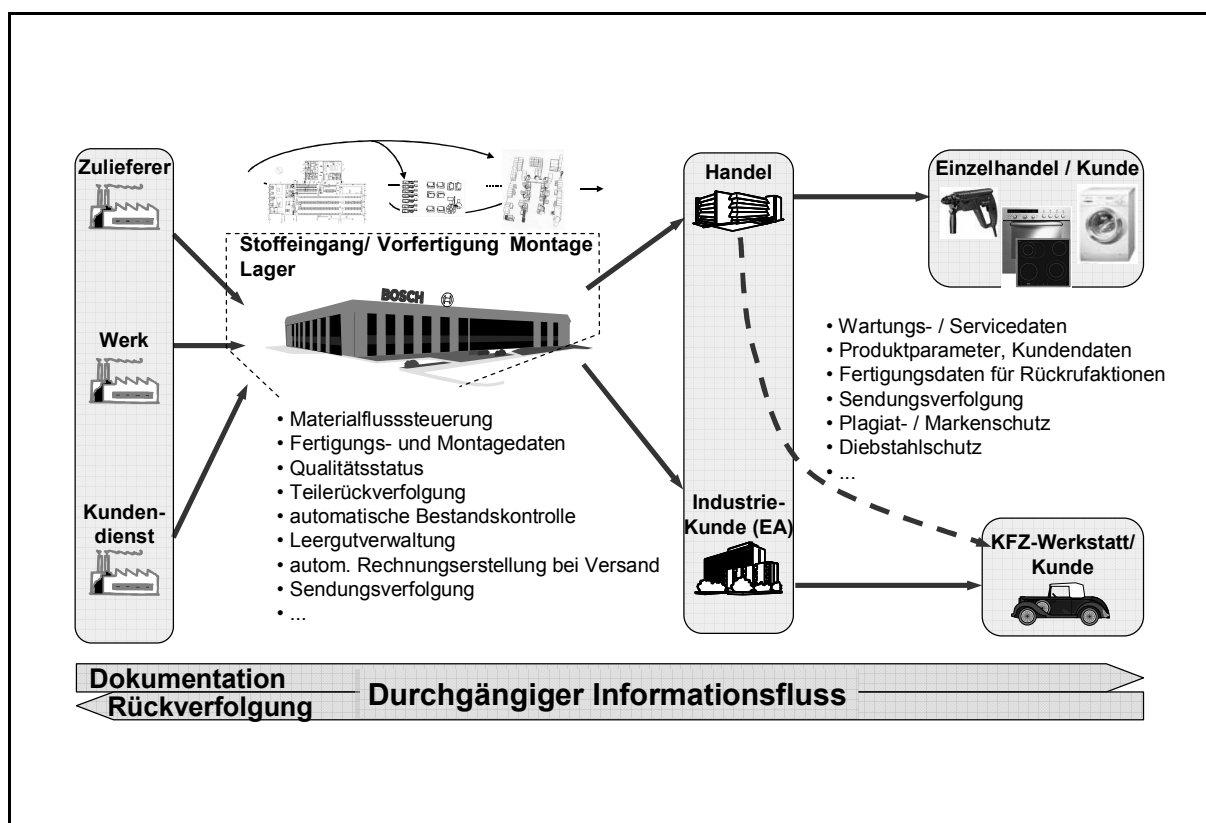


Abb. 3-11: Durchgängige Rückverfolgung über die Prozess- und Lieferkette

Auch in den späteren Phasen des Objektlebenszyklus, z. B. Handel, Gebrauch, Service und Wartung sowie Recycling, unterliegen Unternehmen einer Produktbeobachtungspflicht [Klin06]. Vor allem die durch den Produktgebrauch gesammelten Erfahrungen können wichtige Beiträge zur Weiter- oder Neuentwicklung von Produkten liefern.

Anhand der Dokumentation kann auf die Erfahrungen und das Wissen aus einzelnen Phasen der Prozesskette und des Objektlebenszyklus in späteren und vorangegangenen Schritten zu-

rückgegriffen werden. Die dokumentierten positiven und negativen Ergebnisse können ausgewertet werden, zu Lernprozessen führen und dadurch helfen, das Produktionssystem an die Bedürfnisse anzupassen.

Die Erfassung und Dokumentation von Objektdaten während der einzelnen Phasen stellt Wissensinkorporation dar. Durch die Rückverfolgung und Verknüpfung von Daten zwischen den einzelnen Abschnitten des Objektlebenszyklus können diese Daten aufbereitet und genutzt werden. Es liegt Wissensexplikation vor.

Die einzelnen Potenziale durch Wissensintegration und –explikation sind in Abb. 3-12 dargestellt.

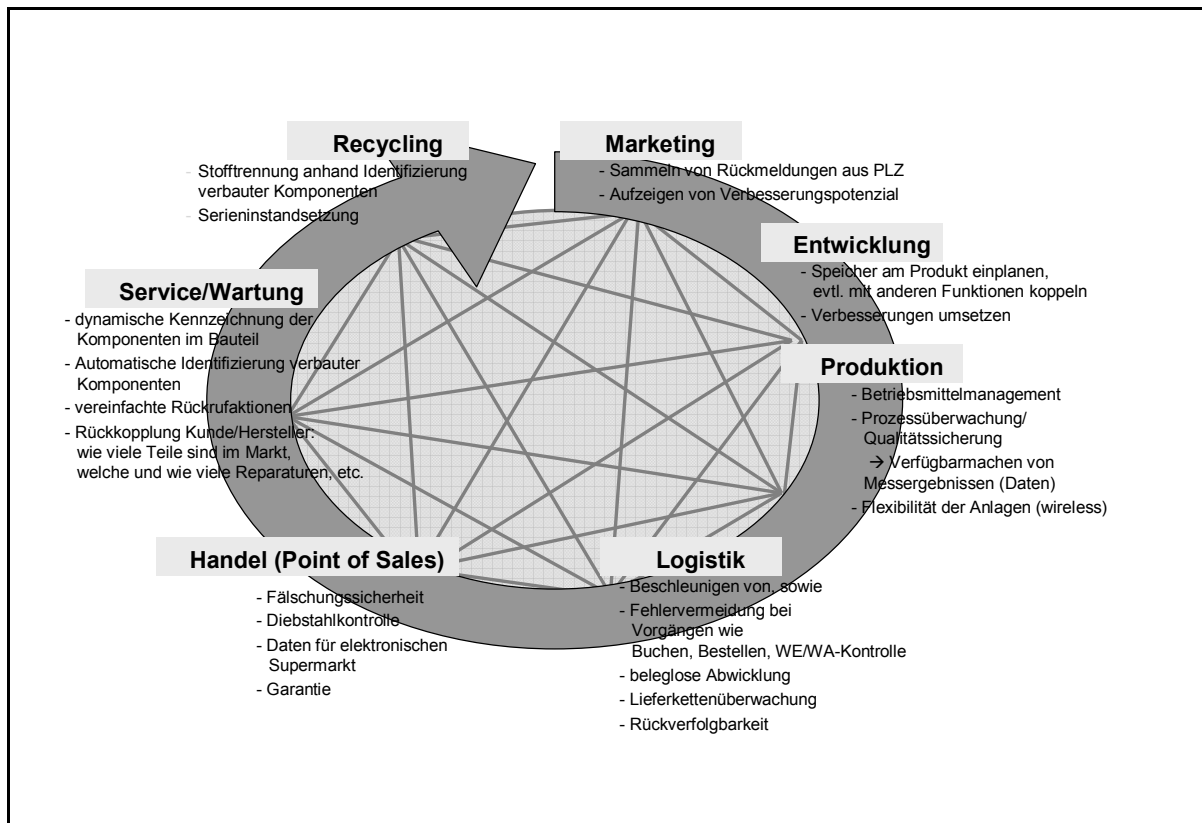


Abb. 3-12: Potenziale durch Wissensintegration und -explikation im Objektlebenszyklus

Die Potenziale von „Smart Production Systems“ hinsichtlich Qualität lassen sich wie folgt zusammenfassen:

- Die Kopplung und Synchronisierung von Material- und Informationsfluss ermöglicht eine lückenlose Dokumentation.
- Die genaue und lückenlose Dokumentation macht eine vollständige Rückverfolgung möglich: Wissen aus zeitlich späteren Phasen des Objektlebenszyklus kann in vorangegangene Phasen zurückfließen und dort für verbesserte sowie neue Produkte und Prozesse genutzt werden.

3.4.3 Flexibilität

Die Flexibilität eines Unternehmens ist die Fähigkeit, das Produktionsprogramm allein durch Verändern der vorhandenen Prozesse (z. B. Umrüsten der Fertigungseinrichtungen) anzupassen. Sie drückt das zeitliche Reaktionsvermögen aus, mit neuen oder geänderten Anforderungen umgehen zu können.

Durch kurze Produktlebenszyklen und durch kundenorientierte, variantenreiche Produktion sind Produktionssysteme mit neuen oder veränderten Anforderungen in immer kürzeren Abständen konfrontiert. Die erforderliche Flexibilität ist demnach hoch.

Um eine hohe Flexibilität gewährleisten zu können, bieten „Smart Production Systems“ die Möglichkeit, kleine Regelkreise mit einer minimalen Reaktionszeit zu verwirklichen:

Störungen und Fehler werden direkt frühzeitig durch die Verantwortlichen erkannt und können somit schnellstmöglich behoben werden.

Die Potenziale von „Smart Production Systems“ hinsichtlich Flexibilität lassen sich wie folgt zusammenfassen:

- Die genaue und lückenlose Dokumentation reduziert die Zeiteile für evtl. Fehler- und Informationssuche.
- Kleine Regelkreise verkürzen die Reaktionszeiten.
- Eine klar zugeordnete Prozessverantwortung minimiert die Entscheidungszeiten.

3.4.4 Effizienz

Effizienz bedeutet im Sinne von „Smart Production Systems“ vor allem die Vermeidung oder Reduzierung von nicht-wertschöpfenden Tätigkeiten, insbesondere von Administrationsaufwand, Datenpflege und manuellen Buchungsvorgängen in Informationssystemen.

Damit ist eine Konzentration auf Kernkompetenzen und deren Pflege und Ausbau möglich.

Durch die Effizienz von „Smart Production Systems“ können die Potenziale hinsichtlich Qualität (Kap. 3.4.2) und Flexibilität (Kap. 3.4.3) erschlossen werden.

Die Potenziale von „Smart Production Systems“ hinsichtlich Effizienz lassen sich wie folgt zusammenfassen:

- Der Einsatz von Auto-ID- und IuK-Technologien in Verbindung mit Sensorik und Aktorik trägt dazu bei, den Administrationsaufwand gering zu halten.
- Der geringere Administrationsaufwand ermöglicht eine Konzentration auf wertschöpfende Prozesse.
- Die Konzentration auf wertschöpfende Prozesse kann zur Pflege und zum Ausbau von Kernkompetenzen beitragen.

4 Zielsetzung und Aufgabenstellung

4.1 Potenziale aus der Situationsanalyse und Vorüberlegungen

In Einleitung (Kap. 1), Motivation (Kap. 2) sowie Situationsanalyse und Vorüberlegungen (Kap. 3) wurden wichtige Erkenntnisse gewonnen, die zu folgenden Kernaussagen zusammengefasst werden können:

- Das dynamische Produktionsumfeld des globalen Wettbewerbs und die kurzen Produkt- und Produktionslebenszyklen erfordern flexible Produktionssysteme.
- Die Zielsetzung der daten-, technologie- und prozessorientierten Ansätze ist ähnlich: Produkt- und Prozesssicherheit, Effizienz und Flexibilität eines Produktionssystems sollen erhöht werden.
- Die Anforderungen und Konsequenzen der erfolgreichen japanischen „Lean Production“-Philosophie sind mit den für den europäischen und nordamerikanischen Raum gültigen Qualitäts- und Gesetzesanforderungen nur bedingt vereinbar.
- Eine wissenschaftliche Zusammenführung sowie eine ganzheitliche Betrachtung der daten-, prozess- und technologiegetriebenen Ansätze sind bisher nicht erfolgt.
- Die Implementierung von kleinen Regelkreisen und die lückenlose Dokumentation erhöhen das Buchungsaufkommen in betroffenen Informationssystemen.
- Die lückenlose Dokumentation über die Prozesskette gewährleistet die Rückverfolgung und trägt zur Erzeugung von Prozesswissen bei.
- Technologien, wie z. B. Sensorik, Aktorik, IuK-Technologien, sind einsatzbereit für dezentrale industrielle Anwendungen, aber bisher ausschließlich in Anlagen und Maschinen implementiert.
- Eine stärkere Konzentration auf Kernkompetenzen kann erreicht werden, indem Administrationsaufwand (= Verschwendung) vermieden wird.

4.2 Zielsetzung

In dieser Arbeit wird gezeigt, dass „Smart Production Systems“ die Lücke zwischen daten-, technologie- und prozessorientierten Produktionsgestaltungsformen schließen können:

Aufbauend auf der Definition von „Smart Production Systems“ (Kap. 3.4.1) wird als Hauptziel die Entwicklung einer Systematik mit verschiedenen Konzepten zur Gestaltung von intelligenten Produktionssystemen verfolgt.

Dies geschieht über die Entwicklung von drei Teilzielen (Abb. 4-1):

- Entwickeln einer Systematik über Einsatzmöglichkeiten von wissensinkorporierten Objekten
- Erarbeiten eines Leitfadens oder Masterplans zur Gestaltung von „Smart Production Systems“
- Nachweis, dass „Smart Production Systems“ einen Beitrag zur Produkt- und Prozesssicherheit, zur Flexibilität sowie zur Effizienz von Produktionsprozessen leisten im Sinne unternehmerischer Zielstrukturen, die zukunfts- und ertragsorientiert ausgerichtet sind.

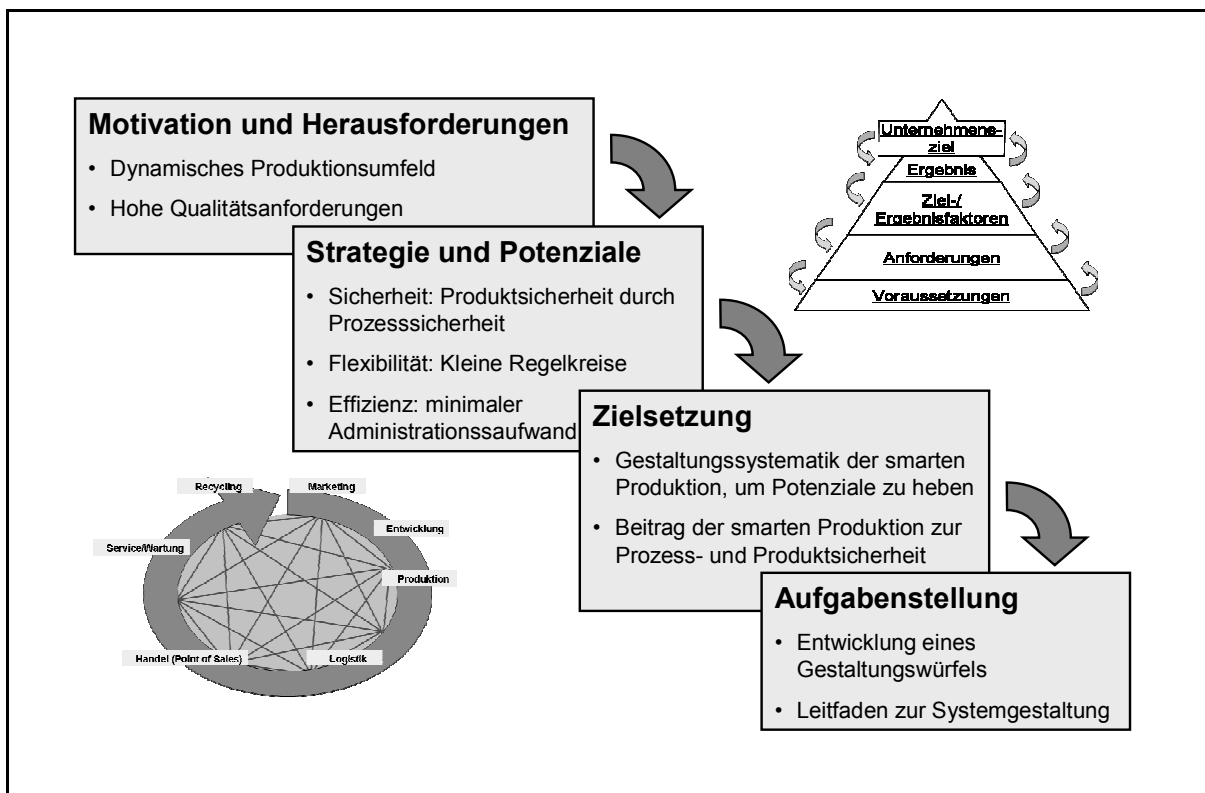


Abb. 4-1: Zielsetzung der Arbeit

4.3 Aufgabenstellung


Die Aufgabenstellung wird abgeleitet aus den in Kap. 4.2 definierten Zielen der Arbeit:


- Entwicklung eines Organisationsmodells, um die Stellung und Bedeutung des Informationsflusses als Ansatzpunkt von „Smart Production Systems“ innerhalb eines Unternehmens darzustellen.
- Entwicklung eines Referenzmodells zur Systematisierung von Einsatzmöglichkeiten wissensinkorporierter Objekte in „Smart Production Systems“ hinsichtlich
 - Objekt- und Prozessstruktur
 - Informationsstruktur
 - Wirkungsstruktur.


- Entwicklung von Anwendungsmodellen mit den Zielen:
 - Darstellung von Zusammenhängen und Beziehungen im Referenzmodell
 - Einordnung von Anwendungsmodellen in das Referenzmodell
 - Gestaltungshinweise und Festlegungen für Produktionssysteme hinsichtlich Wirkungsstruktur, Objekt- und Prozesstruktur sowie Informationsstruktur
 - Entwerfen eines Umsetzungsmodells als Leitfaden oder Masterplan zur Gestaltung von „Smart Production Systems“ mittels Einsatz von wissensinkorporierten Objekten.
 - Überprüfen der Umsetzbarkeit der entwickelten Systematik in der Praxis anhand eines Anwendungsfalls.

4.4 Aufbau der Arbeit

Aufbauend auf der Einleitung (Kap. 1) und der Motivation (Kap. 2) zu dieser Arbeit wurden in der Situationsanalyse (Kap. 3) vor allem die Potenziale von „Smart Production Systems“ ermittelt. Daraus abgeleitet wurde die in Kap. 4.2 beschriebene Zielsetzung sowie die in Kap. 4.3 beschriebene Aufgabenstellung.

Zur Erfüllung der Aufgabenstellung wird in Kap. 5 das Modell des Gestaltungswürfels „Smart Cube“  entwickelt.

Hierfür wird in Kap. 5.1 die dem Gestaltungswürfel „Smart Cube“  zugrunde liegende Modellstruktur dargestellt. Der Gestaltungswürfel selbst wird durch vier aufeinander aufbauende Modelle beschrieben:

- Das Organisationsmodell, das die Stellung und die Bedeutung von Informations- und Materialfluss innerhalb der Organisation eines Produktionssystems erläutert (Kap. 5.2),
- das Referenzmodell, das die Objekt- und Informationsstruktur sowie die Wirkungsstruktur wissensinkorporierter Objekte erklärt (Kap. 5.3),
- die verschiedenen Anwendungsmodelle, die Objekte und Prozesse, sowie Systemgrenzen und die Datenstruktur konkretisieren (Kap. 5.4), sowie
- das Umsetzungsmodell, das das Vorgehen bei der Implementierung des Gestaltungswürfels „Smart Cube“  in der Praxis beschreibt (Kap. 5.5).

Die beispielhafte Umsetzung in einem Unternehmen der Automobilzulieferindustrie sowie die daraus gewonnenen Erkenntnisse werden in Kap. 6 beschrieben.

Die Arbeit schließt mit einer Zusammenfassung und einem Ausblick (Kap. 7).

Der Aufbau der Arbeit ist dargestellt in Abb. 4-2.

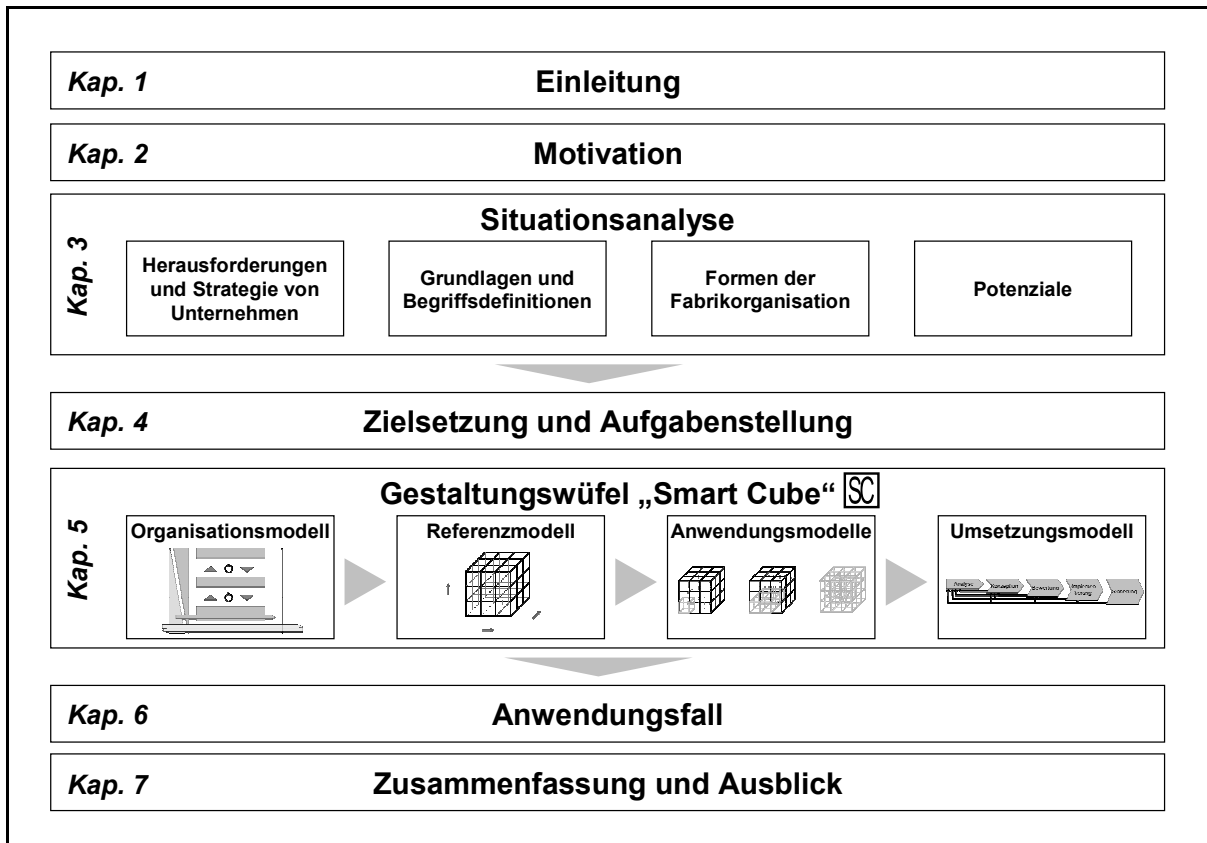




Abb. 4-2: Aufbau der Arbeit

5 Gestaltungswürfel „Smart Cube“

In diesem Kapitel wird der Gestaltungswürfel „Smart Cube“  entsprechend der in Kap.3 erarbeiteten Definitionen und der Kap. 4 beschriebenen Zielsetzung und Aufgabenstellung entwickelt.

Das Konzept des Gestaltungswürfels „Smart Cube“  wird anhand einer Modellstruktur (Kap. 5.1) beschrieben.

Anschließend werden die vier verschiedenen Modelle, die die Modellstruktur bilden, detailliert dargestellt:

- Das Organisationsmodell (Kap. 5.2)
- das Referenzmodell (Kap. 5.3)
- die Anwendungsmodelle (Kap. 5.4)
- das Umsetzungsmodell (Kap. 5.5)

5.1 Modellstruktur

WARNECKE verwendet eine Modellstruktur, um komplexe Produktionssysteme beschreiben zu können. Die Modellstruktur setzt sich aus der Strategie, dem Referenz-, dem Anwendungs-, dem Umsetzungsmodell und dem Anwendungsfall zusammen [Warn03].

Diese Modellstruktur wird hier leicht modifiziert verwendet. Die Strategie wird dabei durch das Organisationsmodell ersetzt. Die vier verschiedenen Modelle und der Anwendungsfall befinden sich auf unterschiedlichen Abstraktionsebenen mit unterschiedlichen Detaillierungs- und Spezifikationsgrad:

- **Organisationsmodell**

Das Organisationsmodell beschreibt die Zusammenhänge und Wechselwirkungen zwischen Daten und Entscheidungstragweite innerhalb einer Produktionsorganisation. Es erläutert den Stellenwert des Informationsflusses innerhalb eines Produktionssystems und wird insbesondere durch die Strategie, die Ziele und die Führung eines Unternehmens bestimmt.

Das Organisationsmodell wird beschrieben in Kap. 5.2.

- **Referenzmodell**

Das Referenzmodell strukturiert „Smart Production Systems“. Es stellt die Gesamtheit aller möglichen Anwendungen wissensinkorporierter Objekte dar und bildet deren gemeinsame Prinzipien und Zusammenhänge zwischen Objekten, Informationen und Wirkungsstruktur ab.

Das Referenzmodell wird begründet aus dem Organisationsmodell. Es wird beschrieben in Kap. 5.3.

- **Anwendungsmodell**

Ein Anwendungsmodell konkretisiert einzelne Teile des Referenzmodells bezüglich ähnlicher Anwendungen. Jedes Anwendungsmodell definiert ein Produktionssystem hinsichtlich erkennbarer Muster und Anforderungen.

Anwendungsmodelle werden im Kap. 5.4 beschrieben.

- **Umsetzungsmodell**

Das Umsetzungsmodell wird aus den Anwendungsmodellen und dem Organisationsmodell abgeleitet. Es definiert das Vorgehen für die Projektdurchführung zur Umsetzung eines Anwendungsmodells in einen Anwendungsfall von den Erwartungen bis hin zu einem konkreten Konzept.

Das Umsetzungsmodell ist für alle Anwendungsmodelle gültig und wird beschrieben in Kap 5.5.

- **Anwendungsfall**

Der Anwendungsfall beschreibt die Maßnahmen und Ergebnisse einer konkreten Aufgabe. Er wird auf der Grundlage des Umsetzungsmodells geplant.

In Kap. 6 wird beispielhaft ein Anwendungsfall beschrieben, der auf der Motivation (Kap. 2) aufbaut.

Die Zusammenhänge und Beziehungen zwischen den verschiedenen Modellen und einem Anwendungsfall sind in Abb. 5-1 dargestellt.

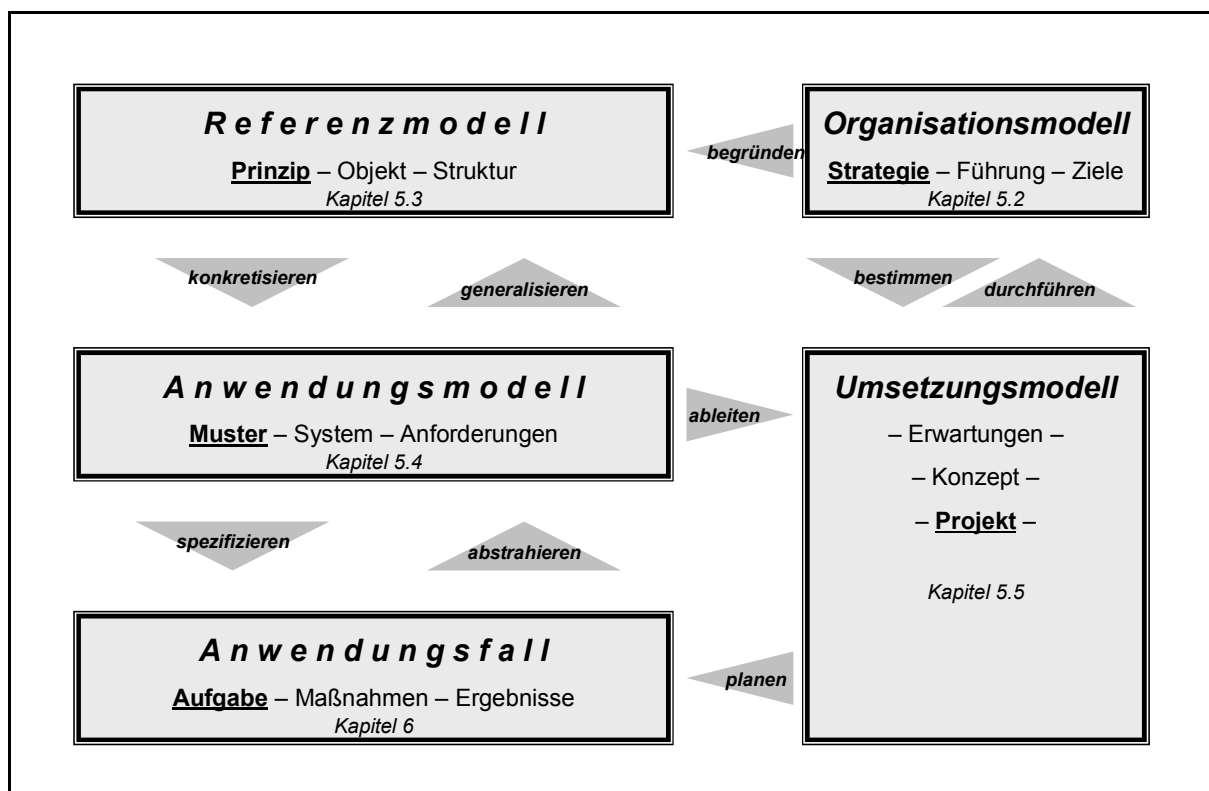


Abb. 5-1: Modellstruktur (in Anlehnung an [Warn03])

5.2 Organisationsmodell „Smart Production Systems“

Das Organisationsmodell „Smart Production Systems“ erläutert die Stellung und das Zusammenspiel zwischen dem Informationsfluss und der Entscheidungstragweite innerhalb der organisatorischen Struktur eines Produktionssystems.

Die Organisation eines Produktionssystems gliedert sich in die drei Ebenen:

- Produktionsprogrammplanung
- Produktionssteuerung
- Fertigung.

Produktionsprogrammplanung

Die Produktionsprogrammplanung legt für einen längerfristigen Zeitraum das Produktionsprogramm hinsichtlich Produkttypen und zu produzierender Mengen fest [Ever96]. Sie beinhaltet die Entscheidung Eigenfertigung oder Fremdbezug („Make or Buy“) sowie die Ressourcen- und Kapazitätsplanung bzw. Anpassung der Fabrikplanung an das Produktionsprogramm: Hinsichtlich des festgelegten Produktionsprogramms werden die vorhandenen Ressourcen überprüft und ggf. angepasst.

Die Produktionsprogrammplanung wird durch folgende Einflussgrößen bestimmt:

- Zu fertigende Produkttypen (abgeleitet aus Kundenwünschen)
- Zu erwartende Absatz- und Verkaufszahlen
- Investitionsmittel
- Unternehmensstrategie

Die Produktionsprogrammplanung besitzt einen langfristigen strategischen Charakter mit großer Entscheidungstragweite. Sie bildet die Vorgabe für die Produktionssteuerung bezüglich der zu fertigenden Produkte und Rahmenmengen.

Produktionssteuerung

In der Produktionssteuerung werden die Vorgaben aus der Produktionsprogrammplanung in Fertigungsaufträge umgesetzt. Die einzelnen Fertigungsaufträge werden terminiert und die zur Verfügung stehenden Produktionsressourcen, z. B. Anlagen, Maschinen und Personal, für die Umsetzung beplant.

Einflussgrößen auf die Produktionssteuerung sind:

- Rüstzeiten
- Liefertermine
- Zur Verfügung stehende Ressourcen und Kapazitäten
- Durchlaufzeiten
- Schichtmodell

Durch die Terminierung der Fertigungsaufträge wird die Fertigungsreihenfolge geplant.

Die Produktionssteuerung besitzt in ihrer Bedeutung einen mittelfristigen taktischen Charakter.

Fertigung

Die Fertigung setzt die Fertigungsaufträge aus der Produktionssteuerung um: In Fertigungsprozessen entlang des Materialflusses werden die Rohstoffe in Produkte transformiert. Die Fertigung besitzt damit einen kurzfristigen, operativen Charakter mit sehr spezifischer Entscheidungsstragweite.

Der parallel zum Materialfluss verlaufende Informationsfluss innerhalb der operativen Ebene besteht aus der Dokumentation von Betriebsdaten und deren Rückverfolgung: Die Ergebnisse der Fertigungsprozesse werden dokumentiert und an die Produktionssteuerung rückgemeldet. Die Rückverfolgung von Fertigungsergebnissen erfolgt in entgegengesetzter Richtung zur Dokumentation.

Die „Top-Down-“ und „Bottom-Up-“Beziehungen zwischen den drei Ebenen Produktionsprogrammplanung, Produktionssteuerung und Fertigung sind in Abb. 5-2 dargestellt.

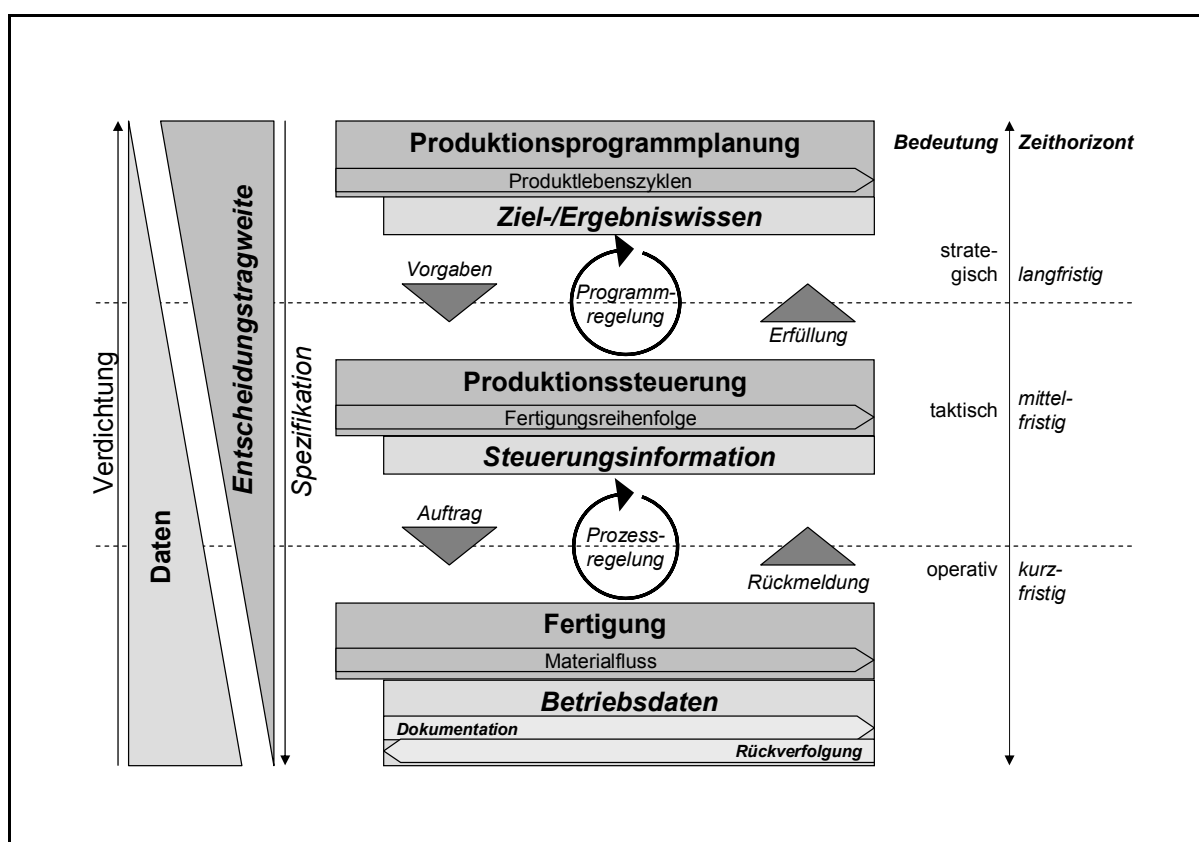


Abb. 5-2: Organisationsmodell „Smart Production Systems“

Die Betriebsdaten aus der Fertigung werden zu Steuerungsinformationen für die Produktionssteuerung verdichtet. Die Produktionssteuerung wiederum nutzt diese Informationen, um die Fertigungsreihenfolge zu planen. Anhand dieser Informationen wird der Prozessregelkreis zwischen Produktionssteuerung und Fertigung organisiert.


Die Steuerungsinformationen der Produktionssteuerung werden zu Ziel- und Ergebniswissen für die Produktionsprogrammplanung verdichtet. Die Produktionsprogrammplanung nutzt dieses Wissen, um den Programmregelkreis zur Produktionssteuerung zu gestalten.

Der operative Informationsfluss der Betriebsdaten bildet im Organisationsmodell die Basis für die Entscheidungen auf den Ebenen Fertigung, Produktionssteuerung und Produktionsprogrammplanung. Sowohl dieser horizontale Informationsfluss entlang der Prozesskette als auch der vertikale Informationsfluss über die Verdichtung der Daten zwischen den verschiedenen Organisationsebenen bilden den Ansatzpunkt von „Smart Production Systems“, um die in Kap. 3.4 beschriebenen Potenziale umzusetzen.


5.3 Referenzmodell „Smart Cube“

Das Referenzmodell wird durch drei Dimensionen beschrieben, denen im Räumlichen drei Achsen zugeordnet werden:

- Die Wirkungsstruktur der wissensinkorporierten Objekte auf der x-Achse (Kap. 5.3.1),
- die Objekt- und Prozessstruktur auf der y-Achse (Kap. 5.3.2),
- die Informationsstruktur auf der z-Achse (Kap. 5.3.3).

Aus diesen drei Achsen lässt sich der Gestaltungswürfel „Smart Cube“ aufbauen, der im Folgenden auch durch das Symbol  benannt wird.

5.3.1 x-Achse: Wirkungsstruktur wissensinkorporierter Objekte: „Von Daten zu Wissen“

Die x-Achse des Gestaltungswürfels „Smart Cube“  beschreibt die Wirkungsstadien „wissensinkorporierter Objekte“. Wissensinkorporierte Objekte stellen Produktionsobjekte dar, die neben ihrer eigentlichen Hauptfunktion eine Daten verarbeitende Komponente besitzen, mit der Daten dokumentiert werden können. Wissensinkorporierte Objekte können sein:

- Produktionselemente
- Fabrikssysteme
- Produktionsnetzwerke.

Diese Objekte werden durch die Objekt- und Prozessstruktur (Kap. 5.3.2) klassifiziert.

Die Stadien der x-Achse bauen aufeinander auf, das heißt: Um die nächste Stufe zu erreichen, muss das wissensinkorporierte Objekt die Funktionalitäten der Vorgängerstufe enthalten. Der Aufbau der x-Achse ist dargestellt in Abb. 5-5.

Begriffsdefinition und Herleitung wissensinkorporierter Objekte

Der Begriff „Intelligenz“ stammt aus der Biologie und Psychologie. Intelligenz wird als Fähigkeit definiert, Wahrnehmungsinhalte und Gedächtnisspuren auf gegenstands- und problemgerechte Weise neu zu kombinieren und gegebenenfalls entsprechend zu verknüpfen. Diese Fähigkeit wird allein dem Menschen zugeschrieben, Tiere besitzen lediglich eine Vorstufe der Intelligenz, die Einsichtfähigkeit, die in der Verhaltensforschung (Ethologie) mit Intelligenz gleichgesetzt werden kann [LexB06].

Aus biologischer und psychologischer Sicht sind Objekte und leblose Gegenstände demnach nicht intelligent. Sie können jedoch in der Lage sein, Informationen nach definierten Algorithmen zu verarbeiten. Analog zur Definition in Kap. 3.2.1 stellen diese Informationen Wissen dar, da sie direkt an das Objekt gebunden sind. Aus diesem Grund wird in dieser Arbeit der Begriff „wissensinkorporierte Objekte“ (WIKO) verwendet.

Wissensinkorporierte Objekte besitzen neben ihrem Primärnutzen, d.h. ihrer eigentlichen Funktion, folgende Eigenschaften:

- Sie können Daten aufnehmen und speichern.
- Sie können entsprechend ihrer Wirkungsstufe ihre Umgebung erkennen und situativ auf Ereignisse reagieren.

Es werden drei Wirkungsstadien unterschieden, die die verschiedenen Stufen von einzelnen Daten bis zum Wissen beschreiben:

- Daten am Objekt
- Erkennen der Umgebung
- Situative Reaktion.

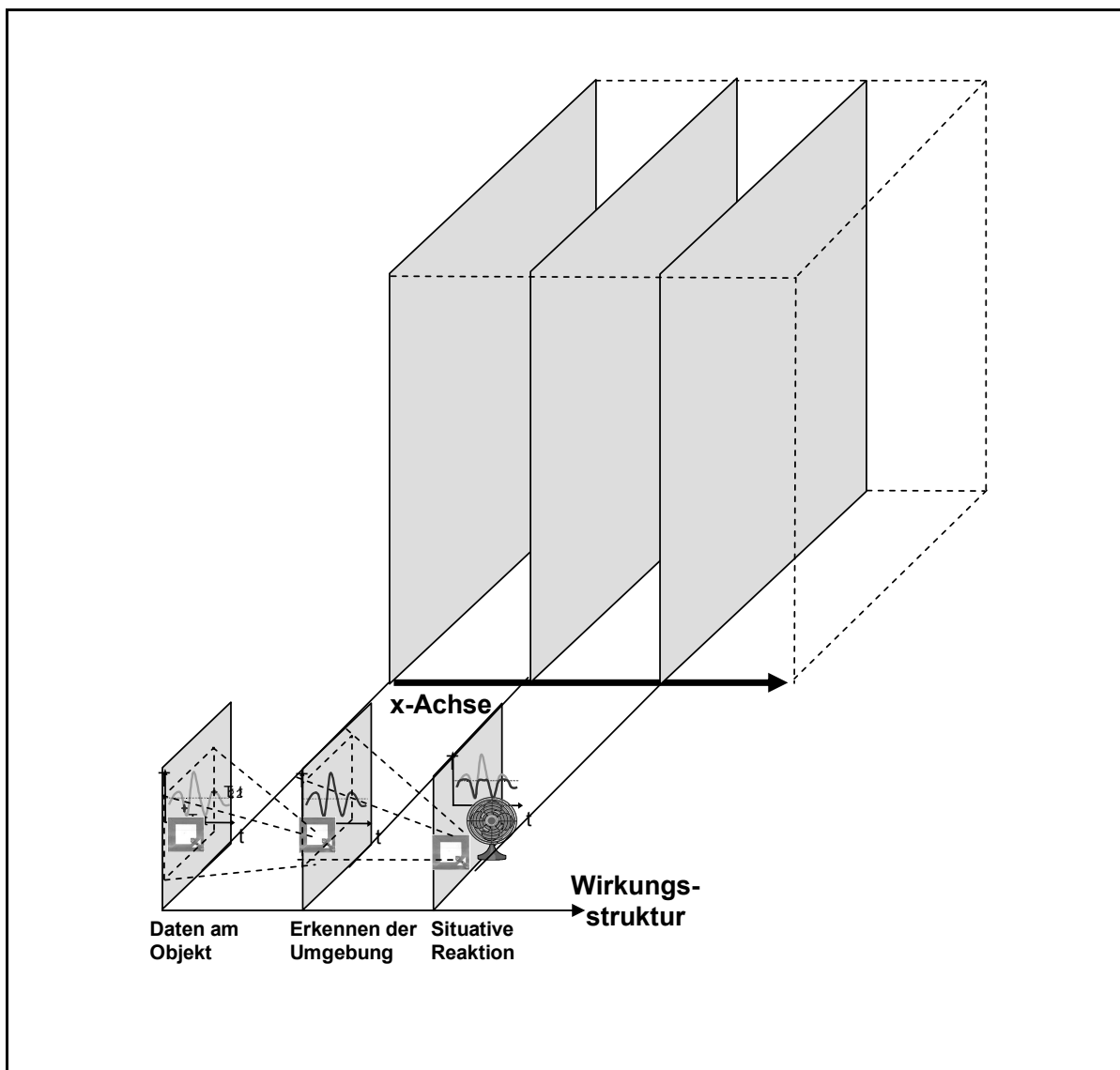


Abb. 5-3: Aufbau der x-Achse

Daten am Objekt

In der ersten Stufe auf der x-Achse erhält ein Objekt einen dezentralen Datenspeicher, auf dem objektrelevante Daten abgelegt werden können. Die Aktualisierung der Daten erfolgt mittels externer Schreib-Lesevorrichtungen. Das Objekt selbst kann keine Daten ermitteln oder aktualisieren. Die Daten am Objekt können in nachfolgenden Prozessen genutzt werden, ohne dass ein Zugriff auf ein zentrales System oder eine Datenbank erfolgen muss. Dafür ist in diesen Prozessen wiederum eine Schreib-Lesevorrichtung erforderlich, die die am Objekt gespeicherten Daten auslesen kann.

Die Wirkung wird in diesem Stadium extern und punktuell ausgelöst, da die Daten nur zu bestimmten Zeitpunkten und an bestimmten Orten durch externe Wirkung auf das wissensinkorporierte Objekt gespeichert oder gelesen werden können.

Erkennen der Umgebung

In der zweiten Stufe auf der x-Achse erhält das Objekt weitere Funktionalitäten: Es erkennt selbstständig und situativ seine Umgebung und seinen Zustand. Die Daten über seine Umgebung und seinen Zustand werden intrinsisch, das heißt vom Objekt selbst ohne expliziten äußeren Anstoß, aktualisiert.

Die Wirkung auf das wissensinkorporierte Objekt ist in diesem Stadium dauerhaft und durch das wissensinkorporierte Objekt selbst gegeben: Das WIKO kann über einen definierten Zeitraum ortsungebunden ohne Fremdeinwirkung Daten aufnehmen. Das WIKO hat in diesem Stadium allerdings noch keine unmittelbare Wirkung auf seine Umwelt.

Situative Reaktion

In der dritten Stufe auf der x-Achse erhält das Objekt aktorische Eigenschaften. Das heißt, das Objekt nutzt Eigenschaften der zweiten Stufe, um seine Umgebung und seinen Zustand zu erkennen und kann zusätzlich selbst situativ und ereignisorientiert reagieren, wenn vorbestimmte Grenzwerte überschritten werden.

Das wissensinkorporierte Objekt kann Rechenoperationen selbstständig ausführen und Informationen somit situationsbezogen bereitstellen.

Die Entscheidung zur Reaktion wird durch das wissensinkorporierte Objekt sofort und unmittelbar getroffen. Die Reaktionszeit ist annähernd Null, da das Informieren von Entscheidungsträgern und die fremdbestimmte Entscheidung entfällt. Das WIKO hat direkten Einfluss auf seine Umwelt.

Die Wirkung ist in diesem Stadium bidirektional zwischen wissensinkorporiertem Objekt und seiner Umwelt.

Beispiel Temperaturverlauf

Diese drei Stufen lassen sich am Beispiel Temperaturverlauf wie folgt erläutern:

- **Erstes Wirkungsstadium: Daten am Objekt**

In der ersten Stufe (Daten am Objekt) besitzt das wissensinkorporierte Objekt keine Möglichkeiten, die Temperatur selbstständig zu erfassen. Die Temperaturmessung erfolgt an bestimmten Orten zu bestimmten Zeitpunkten durch autonome Messgeräte. Die erfasste Temperatur (= Daten) wird mit einem Schreib-Lesegerät auf dem Datenspeicher des wissensinkorporierten Objekts abgelegt und steht in Folgeprozessen zur Verfügung, wenn die Temperatur vom Speicher ausgelesen wird.

Durch mobile Objekte, das heißt Objekte, die sich nicht permanent im Bereich einer Temperaturmessung befinden, kann kein stetiger Temperaturverlauf erfasst werden. Insbesondere wenn Min-/Max-Grenzen zur Einhaltung festgelegt sind, kann nicht überprüft werden, ob diese tatsächlich permanent eingehalten wurden.

- **Zweites Wirkungsstadium: Erkennen der Umgebung**

In der zweiten Stufe misst das wissensinkorporierte Objekt die Temperatur eigenständig. Das heißt es besitzt zusätzlich zum Datenspeicher eine Sensorik, mittels der die Temperatur erfasst und auf dem Datenspeicher dokumentiert wird. Somit ist die Temperaturmessung nicht mehr an definierte Orte und Zeiten gebunden, sondern kann vom wissensinkorporierten Objekt selbstständig, orts- und zeitunabhängig vorgenommen werden.

Im Gegensatz zur ersten Stufe ist dadurch auch bei mobilen Objekten eine stetige Temperaturmessung möglich. Es kann ermittelt werden, ob Min-/Max-Grenzen eingehalten wurden bzw. wann diese über-/unterschritten wurden.

- **Drittes Wirkungsstadium: Situative Reaktion**

In der dritten Stufe kann das wissensinkorporierte Objekt selbstständig beim Erreichen vordefinierter Grenzwerte Gegenmaßnahmen einleiten. Diese Eigenschaft wird Aktorik genannt (siehe Kap. 3.2.2).

Für das Beispiel Temperaturverlauf bedeutet dies, dass das wissensinkorporierte Objekt beim Erreichen der Maximaltemperatur z. B. eine Kühlungsmaßnahme einleitet, sodass der Maximalwert nicht überschritten wird.

In Abb. 5-4 ist der Zusammenhang zwischen den drei Wirkungsstadien am Beispiel Temperaturverlauf grafisch dargestellt:

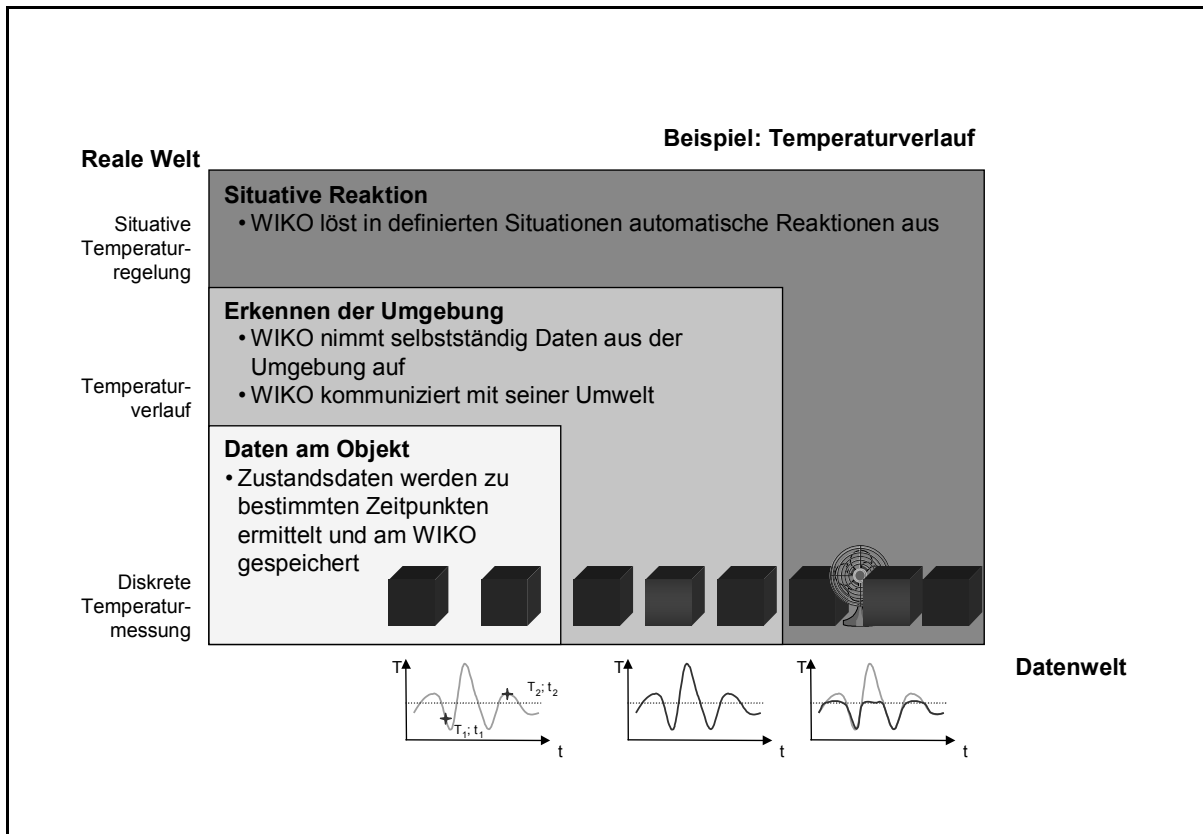



Abb. 5-4: Wirkungsstruktur am Beispiel Temperaturverlauf

5.3.2 y-Achse: Objekt- und Prozessstruktur: „Vom Teil zum Ganzen“

Die y-Achse des Gestaltungswürfels „Smart Cube“  beschreibt die Objekt- und Prozessstruktur im Sinne von „Smart Production Systems“.

Es werden drei Strukturstufen unterschieden:

- Produktionselement
- Fabrikssystem
- Produktionsnetzwerk.

Diese Strukturen bauen aufeinander auf, das heißt das Fabrikssystem enthält Produktionselemente und das Produktionsnetzwerk enthält Fabrikssysteme. Dieser Aufbau ist dargestellt in Abb. 5-5.

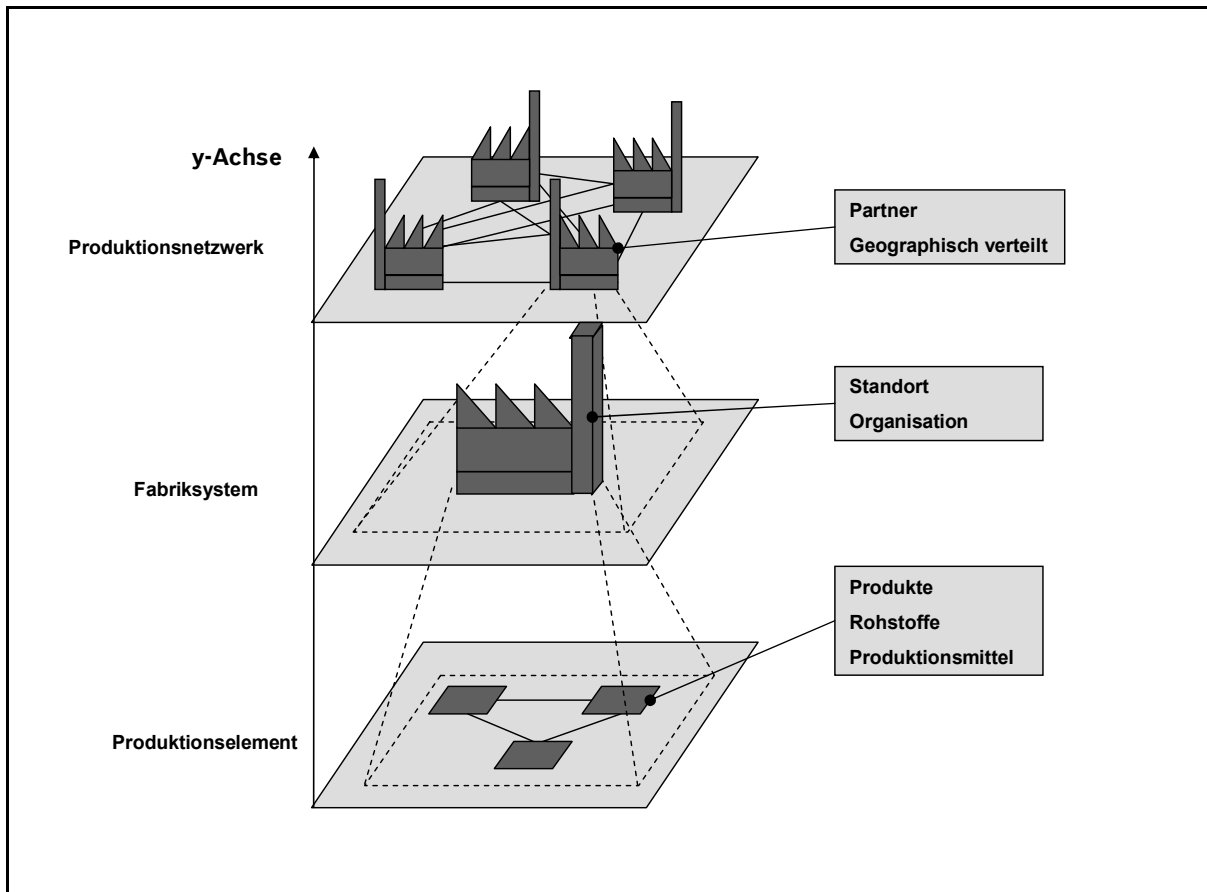


Abb. 5-5: Aufbau der y-Achse

Produktionselement

In der ersten Betrachtungsebene der y-Achse werden lediglich einzelne wissensinkorporierte Objekte als Produktionselemente betrachtet. Produktionselemente sind sowohl stationäre als auch mobile Objekte innerhalb eines Fabriksystems oder eines Produktionsnetzwerkes.

Typische Produktionselemente sind:

- Rohstoffe
- Werkstücke
- Baugruppen
- Erzeugnisse
- Maschinen
- Fertigungseinrichtungen
- Werkzeuge
- Spannmittel
- Transporthilfsmittel (Behälter, Paletten)
- Transportmittel.

Fabriksystem

In der zweiten Betrachtungsebene der y-Achse werden die wissensinkorporierten Objekte als Teil des Fabriksystems sowie deren Wechselwirkungen mit Produktionsprozessen und weiteren Objekten des Fabriksystems beschrieben.

Ein Fabriksystem stellt hier eine geschlossene Prozesskette vom Wareneingang bis zum Warenausgang innerhalb eines Produktionsstandortes dar.

Ein Fabriksystem kann verschiedene Subsysteme enthalten, wie z. B. Fertigungsbereiche (Montage, Teilefertigung), die wiederum auch aus Subsystemen aufgebaut sein können.

Nicht betrachtet werden hier Lieferanten- und Kundenbeziehungen.

Produktionsnetzwerk


Das Produktionsnetzwerk in der dritten Betrachtungsebene auf der y-Achse beschreibt den Austausch von Elementen zwischen verschiedenen Fabriksystemen und weiteren daran Beteiligten. Beteiligte an einem Produktionsnetzwerk können sein:

- Fabriksysteme an verschiedenen Standorten eines Unternehmens,
- Kunden,
- Speditionen und
- Lieferanten der gesamten Lieferkette („first“, „second“ oder „third tier“).

Speditionen stellen Knotenpunkte im Produktionsnetzwerk dar, an denen keine Wertschöpfung stattfindet.

Die Ebene des Produktionsnetzwerks deckt somit unternehmensinterne Produktionsverbände und Lieferketten ab.

5.3.3 z-Achse: Informationsstruktur: „Von Mono zu Multi“

Die z-Achse des Gestaltungswürfels „Smart Cube“  bildet die Informationsstruktur ab. Sie definiert die Ebene, auf der Daten abgelegt werden, beziehungsweise den Punkt, von dem aus diese zugänglich sind. Wie bei den anderen Achsen bauen drei Stufen aufeinander auf (Abb. 5-6):

- Mobil
- Systemgebunden
- Vernetzt

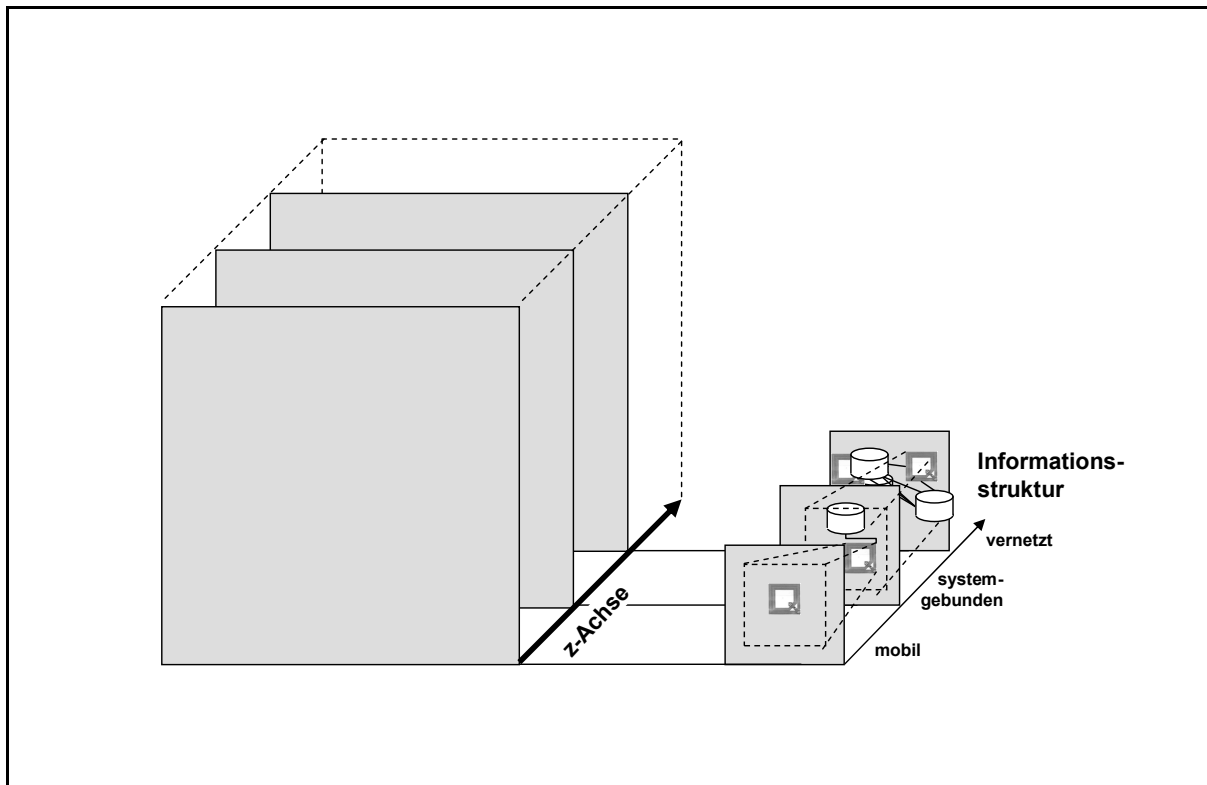


Abb. 5-6: Aufbau der z-Achse

Mobil

Die erste Stufe auf der z-Achse „Mobil“ bezeichnet die Datenebene der wissensinkorporierten Objekte selbst, das heißt die Daten, die direkt am Objekt gespeichert sind und nicht in einem zentralen System abgelegt werden. Diese Daten stehen in Prozessen, die mobile Objekte durchlaufen, unmittelbar zu Verfügung, ohne dass ein Zugriff auf ein übergeordnetes System erforderlich ist. Die Technologien, mittels derer die Daten am wissensinkorporierten Objekt ausgelesen und geschrieben werden, werden durch die Wirkungsstruktur bestimmt.

Systemgebunden

Die zweite Stufe auf der z-Achse „Systemgebunden“ beschreibt ein in sich geschlossenes zentrales Informationssystem. Ein zentrales Informationssystem ermöglicht es, unter Beachtung von Zugriffsrechten von einem definierten Zugangspunkt auf eine Teilmenge oder auf die Gesamtheit aller darin gespeicherten Daten zuzugreifen.

Dieses System ist entsprechend seiner Aufgabe kapazitiv und technologisch sowie aufgrund der begrenzten Anzahl von Schnittstellen auf eine bestimmte Menge von Nutzern sowie Anzahl und Art der zu verwaltenden Daten beschränkt.

Die mobilen Daten der wissensinkorporierten Objekte werden zu definierten Zeitpunkten oder Ereignissen über definierte Schnittstellen in das System übertragen. Z. B. können im Wareneingang die auf dem Transport gesammelten Frachtdaten durch Auslesen des Datenspeichers in das unternehmenseigene Wareneingangssystem übertragen werden.

Vernetzt

Die dritte Stufe auf der z-Achse „Vernetzt“ ist im Gegensatz zur Stufe „Systemgebunden“ nicht limitiert bezüglich der Anzahl der Nutzer oder Systeme. Es können beliebig viele Nutzer teilnehmen. Ebenso können einzelne eigenständige Systeme an einem Netz teilnehmen und so mit anderen überschneidungsfreien Systemen Daten austauschen. Ein Beispiel ist das Internet („World Wide Web“). Der Datenaustausch zwischen unterschiedlichen Informationssystemen kann in der Stufe „Vernetzt“ direkt über Systemschnittstellen oder mittels wissensinkorporierter Objekte realisiert werden.

Die verschiedenen Stufen der Informationsstruktur sind beispielhaft dargestellt in Abb. 5-7.

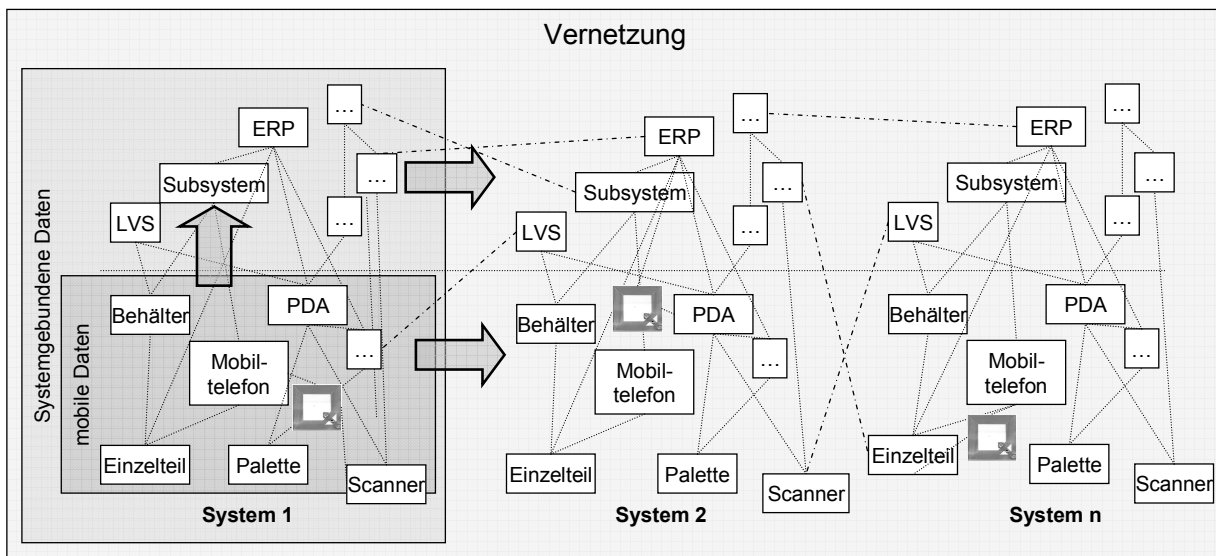



Abb. 5-7: Informationsstruktur

5.3.4 Struktur und Prinzip des Referenzmodells

Der Gestaltungswürfel „Smart Cube“  wird räumlich in drei Dimensionen durch drei verschiedene Achsen aufgespannt:

- In der Horizontalen beschreibt die x-Achse die Wirkungsstruktur der wissensinkorporierten Objekte (Kap. 5.3.1).
- In der Vertikalen beschreibt die y-Achse die Objekt- und Prozessstruktur (Kap. 5.3.2).
- In der Raumtiefe beschreibt die z-Achse die Informationsstruktur (Kap. 5.3.3).

Die Unterteilung jeder einzelnen Achse in jeweils drei Abschnitte wird räumlich durch drei Trennebenen pro Achse dargestellt. Werden diese Ebenen ineinander geschoben, so werden daraus innerhalb des Gestaltungswürfels $3 * 3 * 3 = 27$ Teilwürfel gebildet (Abb. 5-8).

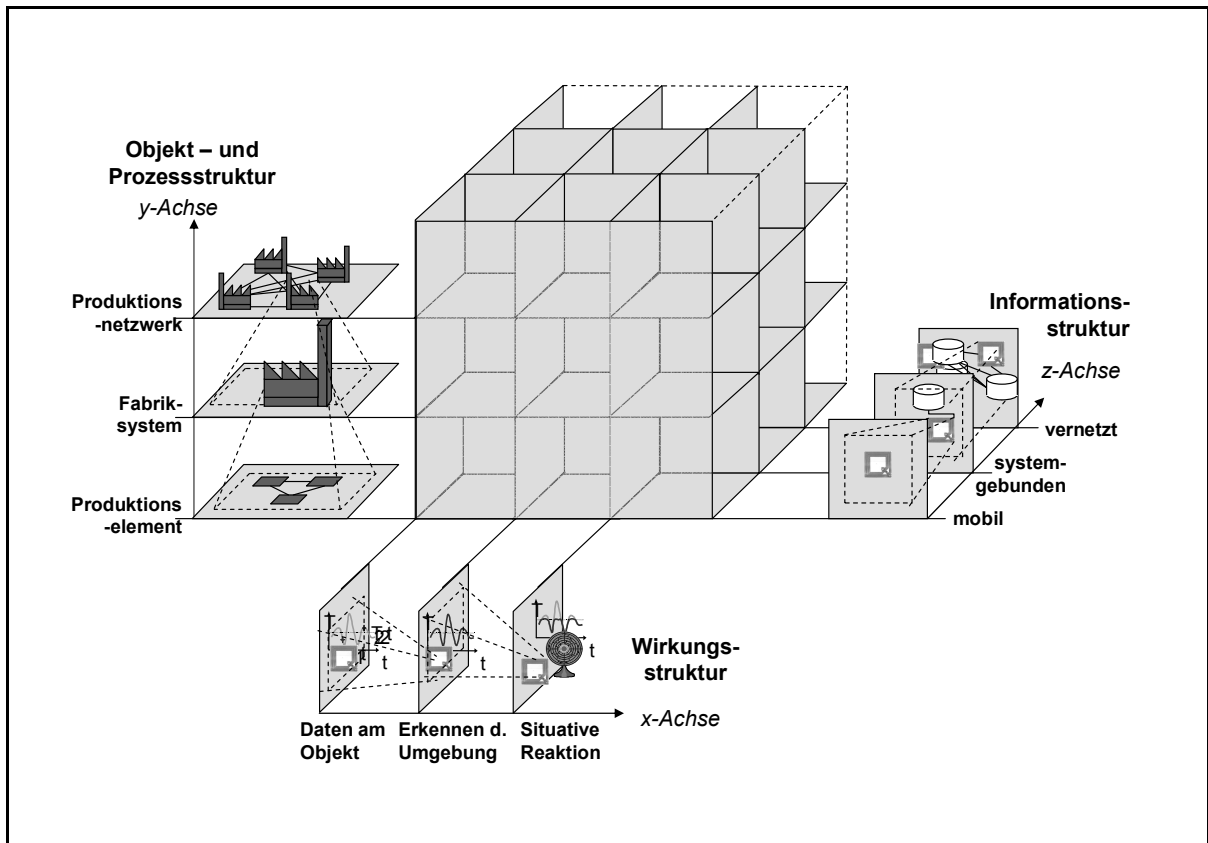



Abb. 5-8: Aufbau des Referenzmodells

Jeder einzelne Teilwürfel stellt ein spezifisches smartes Teil- oder Einzelproduktionssystem dar und wird beschrieben durch ein eigenes Anwendungsmodell (Kap. 5.4). Das Referenzmodell bildet die Gesamtheit aller Anwendungsmodelle.

Das Referenzmodell Gestaltungswürfel „Smart Cube“  lässt sich als Gitterliniennetz darstellen (Abb. 5-9).

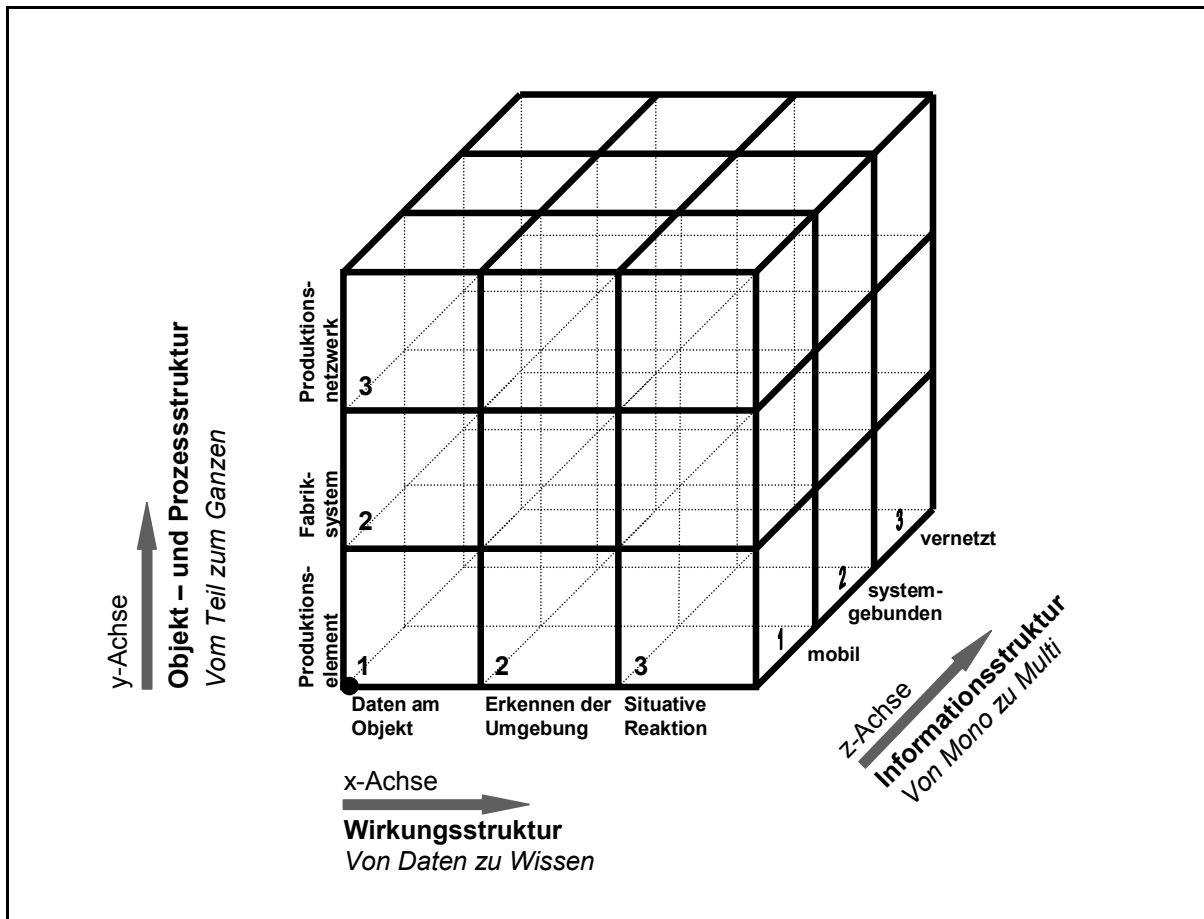



Abb. 5-9: Referenzmodell Gestaltungswürfel „Smart Cube“ 

5.3.5 Komplexitätsdimensionen innerhalb des Gestaltungswürfels „Smart Cube“

Für den Begriff „Komplexität“ werden verschiedene Definitionen verwendet:

- SUH definiert Komplexität als Ausmaß der Ungewissheit in einem System [Suh05].
- PUHL und WARNECKE definieren Komplexität in technischen Systemen anhand der vier elementaren Beschreibungsdimensionen Vernetzung, Toleranz, Dynamik bzw. Veränderung und Mehrdimensionalität [Puhl99, Warn05].

Anhand des Gestaltungswürfels „Smart Cube“  lässt sich die Komplexität innerhalb eines Produktionssystems durch drei Dimensionen und deren resultierende Summe darstellen (Abb. 5-10):

- Technologiekomplexität als Teilkomplexität
- Logistikkomplexität als Teilkomplexität
- Kommunikationskomplexität als Teilkomplexität
- Systemkomplexität als Gesamtkomplexität (= Summe der Teilkomplexitäten).

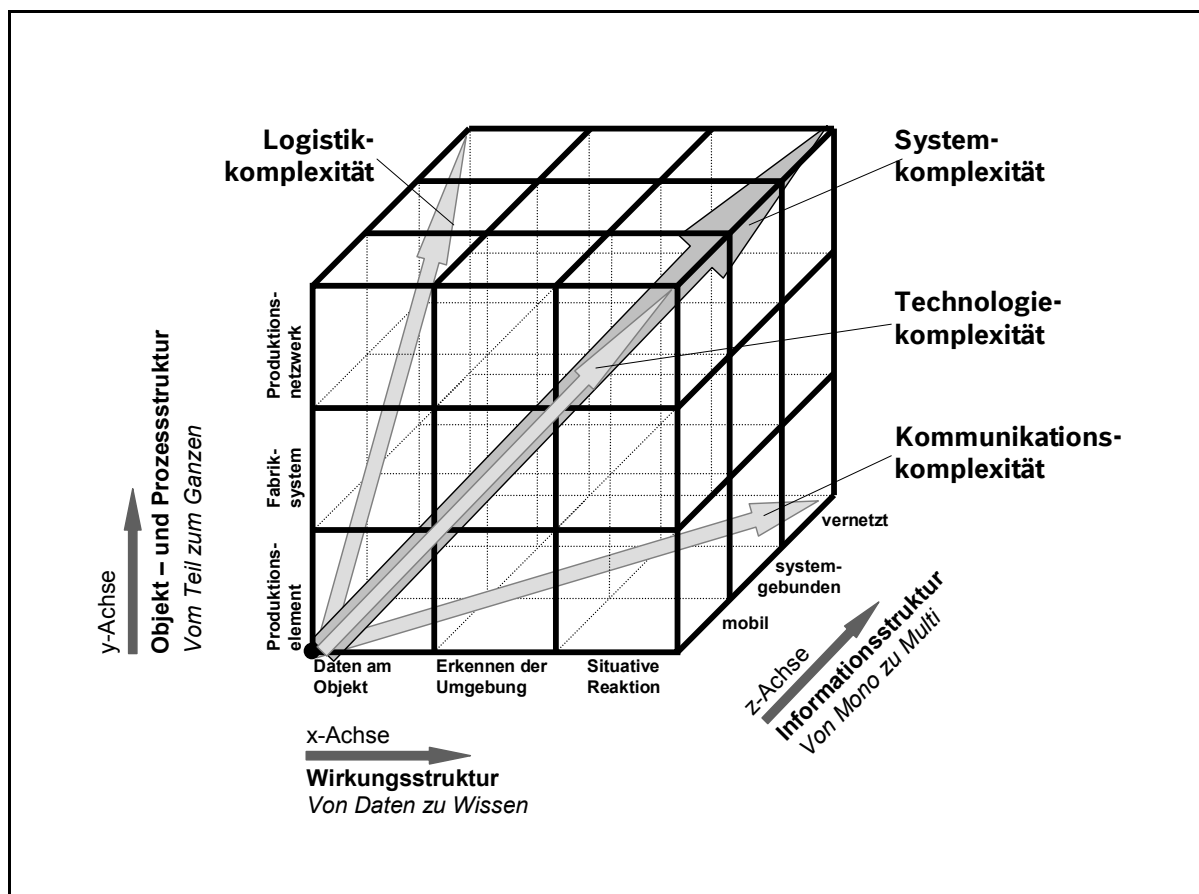



Abb. 5-10: Systemkomplexität im Gestaltungswürfel „Smart Cube“ 

Technologiekomplexität

Die Technologiekomplexität beschreibt die Dynamik des vielfältigen Zusammenwirkens einzelner spezifischer Komponenten zu einer gebrauchsfähigen Technologie. Immer höhere Prozessanforderungen sowie der darauf ausgerichtete technische Fortschritt und die Weiterentwicklungen verstärken diese Dynamik.

Folgende Einflussgrößen und Anforderungen wirken auf technologische Prozesse und verursachen Technologiekomplexität:

- Genauigkeit und Toleranz hinsichtlich Dokumentation
- Genauigkeit und Toleranz hinsichtlich Prozessüberwachung

Im Gestaltungswürfel „Smart Cube“  verläuft die Technologiekomplexität als Diagonale zwischen der x-Achse „Wirkungsstruktur“ und der y-Achse „Objekt- und Prozessstruktur“.


Die Technologiekomplexität wird durch die Wirkungsstruktur und Objekt und Prozessstruktur der wissensinkorporierten Objekte gelöst und beherrschbar gemacht: Je höher die zu bewältigende Technologiekomplexität in einem Produktionssystem ist, desto höher müssen die Stufe der Wirkungsstruktur und Objekt- und Prozessstruktur gewählt werden, um die Technologiekomplexität zu lösen.

Logistikkomplexität

Die Logistikkomplexität wird vor allem durch die Varietät eines Systems und durch die Vernetzung der Systemstrukturen bestimmt. Varietät beschreibt die Menge und die Vielfalt unterschiedlicher Elemente eines Systems [Patz82], die Vernetzung der Systemstrukturen stellt die Menge und die Vielfalt unterschiedlicher Beziehungen zwischen diesen Elementen [Puhl99] dar.

Folgende Einflussgrößen bestimmen die Logistikkomplexität:

- Nicht-vorhandene Kompetenz in einem Produktionssystem: Bei unzureichend vorhandenen eigenen Kompetenzen kann Wissen von externen Partnern „zugekauft“ werden.
- Anzahl der am Produktionssystem beteiligten Objekte und Subsysteme (z. B. Unternehmen)
- Entfernungen zwischen den Beteiligten: Die Wegezeit erhöht die Reaktionszeit, wodurch die Flexibilität sinkt.
- Kulturelle Unterschiede zwischen den verschiedenen Partnern können ein gemeinsames Verständnis erschweren.

Innerhalb des Gestaltungswürfels „Smart Cube“  wird die Logistikkomplexität als Diagonale zwischen der y-Achse „Objekt- und Prozessstruktur“ und der z-Achse „Informationsstruktur“ aufgetragen.


Die Logistikkomplexität wird durch die Objekt- und Prozessstruktur sowie die Informationsstruktur gelöst und beherrschbar gemacht: Die Objektstruktur gibt die benötigten Regeln und Schnittstellen vor, um das Zusammenarbeiten zwischen den Partnern zu ordnen. Die Informationsstruktur bestimmt den Rahmen zum Austausch von Daten. Je höher die Logistikkomplexität in einem Produktionssystem ist, desto höher müssen die Stufe auf der Objekt- und Prozessstruktur sowie auf der Informationsstruktur gewählt werden, um die Logistikkomplexität zu lösen.

Kommunikationskomplexität

Die Kommunikationskomplexität wird durch die Intensität und Qualität des Informationsaustauschs zwischen Objekten, Prozessen und Systemen bestimmt. Sie wird insbesondere durch die vorhandenen und fehlenden Schnittstellen innerhalb eines Systems, vom System zu seiner Umgebung sowie durch das Schnittstellenverhalten verursacht. Dabei wirken folgende Einflussgrößen:


- Anzahl und Verschiedenartigkeit beteiligter Informationssysteme
- Anzahl der Nutzer und beteiligter Objekte an Informationssystemen
- Anwendungen von Auto-ID-Technologien (z. B. Optical Character Recognition = OCR, Barcode, Radio Frequency Identification = RFID)
- Anzahl der Schnittstellen zwischen den Elementen eines Systems, z. B. den Objekten und den verschiedenen Informationssystemen
- Anzahl der Schnittstellen des betrachteten Systems zu seiner Umwelt
- Aufwand, um Schnittstellen zu überwachen
- Übereinstimmung von Datenformaten
- Migrationsfähigkeit und –aufwand

- Sprache
- Ähnlichkeit der Strukturen unterschiedlicher Informationssysteme
- Softwareversionen

Innerhalb des Gestaltungswürfels „Smart Cube“  wird die Kommunikationskomplexität als Diagonale zwischen der z-Achse „Informationsstruktur“ und der x-Achse „Wirkungsstruktur“ aufgetragen.


Die Kommunikationskomplexität wird durch IuK-Technologien gelöst, insbesondere durch Software und Software-Schnittstellen. Je höher die Kommunikationskomplexität in einem Produktionssystem ist, desto höher müssen die Stufe der Informationsstruktur und die Stufe der Wirkungsstruktur gewählt werden, um die Kommunikationskomplexität zu lösen.


Systemkomplexität

Die Systemkomplexität beschreibt die Gesamtheit der komplexen Vorgänge innerhalb eines Produktionssystems. Die Systemkomplexität setzt sich zusammen aus den beschriebenen Teilen Technologie-, Logistik-, und Kommunikationskomplexität. Mathematisch wird die Systemkomplexität dargestellt durch die Summe der Teilkomplexitäten. Sie lässt sich im Gestaltungswürfel „Smart Cube“  grafisch durch eine Raumdiagonale abbilden.

Die räumliche Anordnung der Technologie-, Logistik- und Kommunikationskomplexität sowie der Systemkomplexität als Summe dieser drei Teilkomplexitäten ist dargestellt in Abb. 5-10.

5.3.6 Die „smarte“ Forschungslandschaft im Referenzmodell „Smart Cube“

Die Arbeiten von FLEISCH, MATTERN und PFLAUM behandeln den Bereich „Smart Objects“ (vgl. Kap. 3.1). Produktionselemente, die mit einer informationsverarbeitenden Komponente ausgestattet werden, können nach FLEISCH und MATTERN „intelligente Objekte“ sein [Flei01, Matt01]. Die Daten der „intelligenten Objekte“ können in unterschiedlichen Informationssystemen genutzt werden. Die Interaktion mit dem umgebenden physischen Fabrikssystem wird nicht betrachtet. Diese Betrachtungsebene wird im Gestaltungswürfel „Smart Cube“  durch den gesamten Schichtenraum der Produktionselemente ($y = 1$) dargestellt.

WESTKÄMPER und ZÜHLKE arbeiten in der Thematik „Smart Factory“ (Kap. 3.3.2). „Smart Factory“ erforscht anhand von Pilotanwendungen die Einsatzmöglichkeiten von „intelligenten Objekten“ innerhalb einer Fabrik. Dieser Sachverhalt wird im Gestaltungswürfel „Smart Cube“  durch den Schichtenraum des Fabriksystems ($y = 2$) dargestellt.

Der Bereich „Smart Logistics“ (Kap. 3.3.2) deckt den Schichtenraum des Produktionsnetzwerks ($y = 3$) ab.

Die verschiedenen Schichtenräume der einzelnen Forschungsansätze sind dargestellt in Abb. 5-11.

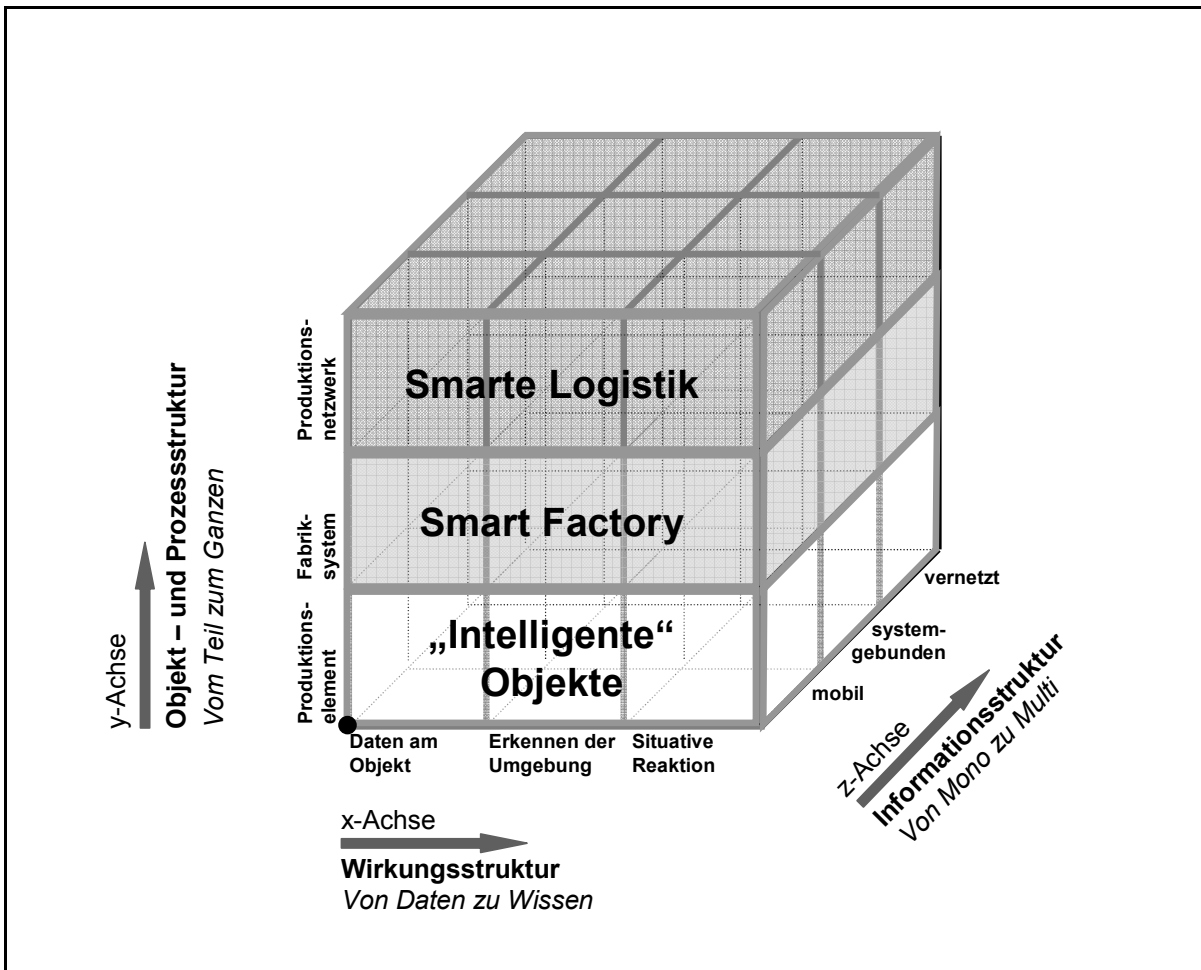




Abb. 5-11: Einordnung der „smarten“ Forschungslandschaft in das Referenzmodell


5.4 Anwendungsmodelle

Die drei Achsen des Referenzmodells Wirkungsstruktur, Objekt- und Prozessstruktur sowie Informationsstruktur sind jeweils in drei Stufen untergliedert. Im Gestaltungswürfel „Smart Cube“  lassen sich durch diese Unterteilung 27 verschiedene Teilwürfel bilden. Jeder dieser Teilwürfel definiert ein eigenes Produktionssystem im Sinne eines Anwendungsmodells.

Anwendungsmodelle dienen dazu, Produktionssysteme hinsichtlich ihrer Komplexität und Gestaltung zu charakterisieren. Das Produktionssystem wird definiert über die einzelnen Ausprägungen der im Referenzmodell beschriebenen Strukturen. Dadurch wird eine formalisierte Einordnung von einzelnen Produktionssystemen in den Gestaltungswürfel „Smart Cube“  möglich.

Um ein einzelnes Anwendungsmodell beschreiben zu können, ist es zunächst erforderlich, das Anwendungsmodell aus dem Referenzmodell ableiten zu können. Dafür wird in Kap. 5.4.1 eine Vorgehensweise und eine Bezeichnungssystematik entwickelt.

In den Kap. 5.4.2 bis 5.4.7 werden beispielhaft einzelne Anwendungsmodelle detailliert dargestellt. Jedes einzelne Anwendungsmodell beschreibt ein „smartes“ Produktionssystem, das Objekte und Prozesse, insbesondere wissensinkorporierte Objekte, sowie deren Systemgrenzen und Datenstrukturen konkretisiert.

Das Kap. 5.4 schließt mit einer ganzheitlichen Betrachtung und einem Vergleich aller Anwendungsmodelle des Gestaltungswürfels „Smart Cube“  sowie den daraus gewonnenen Erfahrungen und abgeleiteten Ergebnissen (Kap. 5.4.8).

5.4.1 Einordnen und Bestimmen von Anwendungsmodellen anhand des Referenzmodells

Die Anwendungsmodelle werden aus dem Referenzmodell entwickelt, das allgemein die Objektstruktur, die Wirkungsstruktur und die Informationsstruktur abbildet.

Bezeichnung und Koordinaten eines Anwendungsmodells

Die 27 verschiedenen Anwendungsmodelle lassen sich in Kurzform durch mathematische Koordinaten der einzelnen Teilwürfel $x - y - z$ bezeichnen:

- Der Abschnitt auf der Wirkungsstruktur wird bezeichnet durch die x-Koordinate: $x = \{1; 2; 3\}$.
- Der Abschnitt auf der Objekt- und Prozessstruktur wird bezeichnet durch die y-Koordinate: $y = \{1; 2; 3\}$.
- Der Abschnitt auf der Informationsstruktur wird bezeichnet durch die z-Koordinate: $z = \{1; 2; 3\}$.

Die den Achsen zugeordneten Strukturen bauen aufeinander auf: Die jeweilige Folgestufe enthält immer sämtliche Vorgängerstufen. Diese aufeinander aufbauende Struktur der einzelnen Achsen bleibt in den Anwendungsmodellen erhalten:

Bei der Betrachtung einzelner Teilwürfel sind die Vorgängerstufen in die Betrachtung mit einzubeziehen. Einzelne Teilwürfel können nicht losgelöst aus ihrem Verbund zur Gestaltung eines smarten Produktionssystems herangezogen werden.

Stattdessen werden immer Teilquader betrachtet, die sich vom Nullpunkt des aufgespannten Koordinatensystems bis zu der Ecke erstrecken, die durch die Koordinaten der vorliegenden Systemkomplexität beschrieben wird.

Beispielhaft für die Bezeichnung und Koordinaten eines Anwendungsmodells ist der Teilquader $\{3 - 2 - 1\}$ in Abb. 5-12 dargestellt.

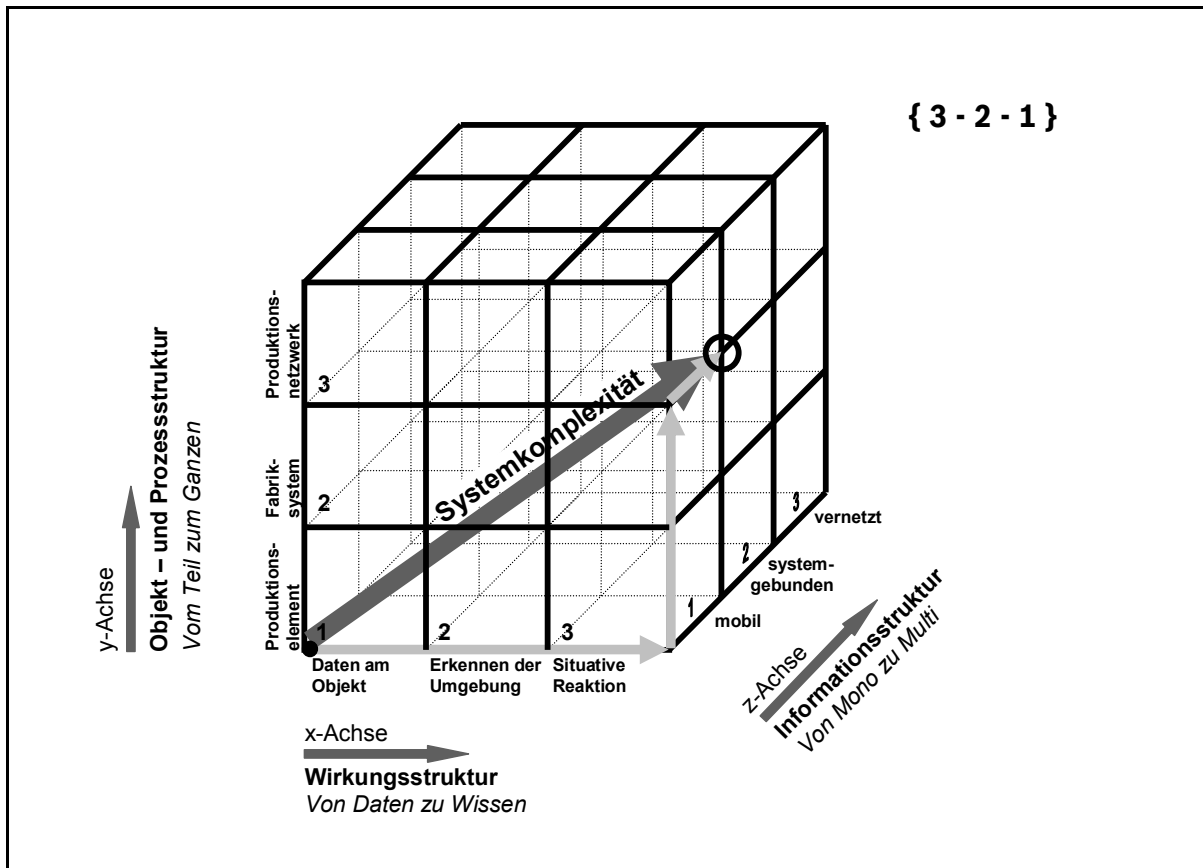


Abb. 5-12: Koordinaten eines Anwendungsmodells (Beispiel)

Das umfassendste Anwendungsmodell enthält die größte Anzahl an Teilwürfeln. Es ist der Teilquader $\{3 - 3 - 3\}$, der aus 27 Teilwürfeln zusammengesetzt ist:

- Drei Abschnitte oder Teilwürfel auf der x-Achse Wirkungsstruktur,
- drei Abschnitte oder Teilwürfel auf der y-Achse Objekt- und Prozessstruktur und
- drei Abschnitte oder Teilwürfel auf der z-Achse Informationsstruktur.

Das Anwendungsmodell des 27. Teilwürfels beinhaltet dabei mindestens alle Eigenschaften, die die vorhergehenden 26 Teilwürfel / Anwendungsmodelle $\{2 - 3 - 3\}$, $\{3 - 2 - 3\}$, $\{3 - 3 - 2\}$, etc besitzen.

Der Teilquader $\{3 - 2 - 1\}$ z. B. beinhaltet sechs Teilwürfel:

- Drei Abschnitte oder Teilwürfel auf der x-Achse Wirkungsstruktur,
- zwei Abschnitte oder Teilwürfel auf der y-Achse Objekt- und Prozessstruktur und
- einen Abschnitte oder Teilwürfel auf der z-Achse Informationsstruktur.

Das Anwendungsmodell $\{3 - 2 - 1\}$ beinhaltet mindestens alle Eigenschaften, der vorhergehenden fünf Anwendungsmodelle $\{3 - 1 - 1\}$, $\{2 - 2 - 1\}$ etc. Er weist weniger Systemkomplexität auf als der Teilquader $\{3 - 3 - 3\}$, da die einzelnen Ausprägungen der Teilkomplexitäten weniger stark ausgeprägt sind. Dieser Vergleich ist dargestellt in Abb. 5-13.

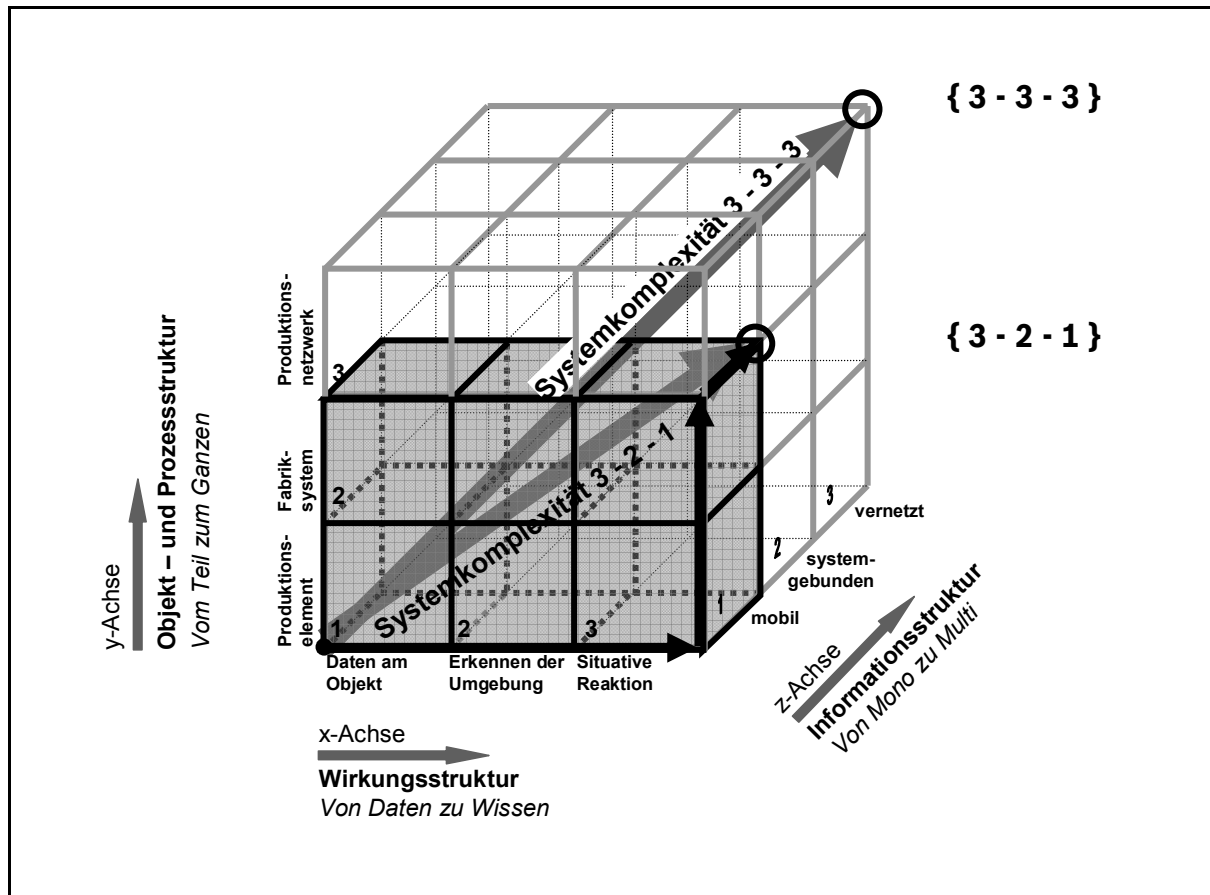



Abb. 5-13: Vergleich der Systemkomplexität in den Anwendungsmodellen {3 - 2 - 1} und {3 - 3 - 3}

Demnach ist der einzige Teilwürfel, der einzeln betrachtet werden kann, der Würfel {1 - 1 - 1}: Element / mobil / Daten am Objekt. Er wird als „Elementarwürfel“ bezeichnet, da er in allen Anwendungsmodellen enthalten ist. Der Elementarwürfel wird beschrieben im Kap. 5.4.2.

Ableiten eines Anwendungsmodells aus dem Referenzmodell

Ein Anwendungsmodell wird aus dem Referenzmodell abgeleitet. Welches Anwendungsmodell für einen bestimmten Anwendungsfall zu Grunde liegt, richtet sich nach dem zu gestaltenden Produktionssystem und der enthaltenen Systemkomplexität mit ihren Ausprägungen auf den Achsen des Gestaltungswürfels „Smart Cube“ .


Die Koordinaten des Anwendungsmodells lassen sich aufgrund der Systemdefinition und der im System vorhandenen Teilkomplexitäten ermitteln:

- Um die Position auf der **y-Achse** zu ermitteln, wird das Produktionssystem hinsichtlich der beteiligten Objekte und Prozesse sowie der damit verbundenen Logistikkomplexität untersucht:
 - Werden einzelne Objekte betrachtet, befindet sich das Anwendungsmodell auf der Objekt- und Prozessstruktur auf der ersten Stufe ($y = 1$, „Produktionselement“).
 - Ist das Produktionssystem hinsichtlich der enthaltenen Objekte und Prozesse auf eine abgeschlossene Fabrik begrenzt, liegt das Anwendungsmodell auf der zweiten Stufe der Objekt- und Prozessstruktur ($y = 2$, „Fabrik-system“).


- Enthält das Produktionssystem mehrere räumlich und organisatorisch getrennte Fertigungsstandorte, z. B. unternehmensinterne Produktionsverbände oder Lieferanten und Kunden innerhalb einer Lieferkette, befindet sich das Anwendungsmodell im Schichtenraum „Produktionsnetzwerk“ ($y = 3$).
- Um den genauen Wert der Informationsstruktur auf der **z-Achse** zu ermitteln, wird der im Produktionssystem enthaltene Informationsfluss hinsichtlich der Kommunikationskomplexität untersucht:
 - Werden Daten in keinen übergeordneten Informationssystemen, sondern nur dezentral und lokal direkt am Objekt benötigt, befindet sich das Anwendungsmodell im Schichtenraum „Mobil“ ($z = 1$).
 - Ist am Produktionssystem ein einzelnes Informationssystem beteiligt, in das die dezentralen Daten des wissensinkorporierten Objektes automatisiert eingelesen werden oder aus dem Daten automatisiert an ein wissensinkorporiertes Objekt weitergegeben werden, befindet sich das Anwendungsmodell im Schichtenraum „Systemgebunden“ ($z = 2$).
 - Sind am Produktionssystem mehrere Informationssysteme beteiligt, in die die dezentralen Daten des wissensinkorporierten Objektes automatisiert eingelesen werden bzw. aus denen Daten automatisiert an ein wissensinkorporiertes Objekt weitergegeben werden oder sollen die dezentralen Daten des wissensinkorporierten Objektes an einer unbegrenzte Anzahl von Nutzern zur Verfügung stehen, dann befindet sich das Anwendungsmodell innerhalb des Schichtenraumes „Vernetzt“ ($z = 3$).
- Um den genauen Wert der Wirkungsstruktur auf der **x-Achse** zu ermitteln, werden die Prozessanforderungen hinsichtlich der Technologiekomplexität untersucht:
 - Wenn es möglich und ausreichend ist, Daten von wissensinkorporierten Objekten an definierten Punkten auszulesen und neu zu beschreiben, kann ein Anwendungsmodell aus dem Schichtenraum „Daten am Objekt“ ($x = 1$) eingesetzt werden.
 - Wird eine lückenlose Dokumentation von Objekt- oder Umgebungsdaten von Objekten benötigt und kann diese Dokumentation nicht ständig von zentralen, stationären Einrichtungen durchgeführt werden, wird ein wissensinkorporiertes Objekt aus dem Stadium „Erkennen der Umgebung“ benötigt. Das zugehörige Anwendungsmodell befindet sich im Schichtenraum $x = 2$.
 - Wird neben einer lückenlosen Dokumentation von Objekt- und Umgebungsdaten auch eine selbstständige Reaktion des wissensinkorporierten Objektes auf vordefinierte Zustände benötigt, dann befindet sich das Anwendungsmodell im Schichtenraum „Situative Reaktion“ ($x = 3$).

Die aufgrund dieser Einteilung abgeleiteten Anwendungsmodelle beschreiben das Produktionssystem hinsichtlich Wirkungs-, Objekt- und Prozessstruktur sowie Informationsstruktur.

5.4.2 Anwendungsmodell Elementarwürfel {1 - 1 - 1} „Daten am Objekt – Produktionselement – mobil“

Das Anwendungsmodell, das vom Teilwürfel mit den Koordinaten {1 - 1 - 1} „Daten am Objekt – Produktionselement – mobil“ im Gestaltungswürfel „Smart Cube“  dargestellt wird, ist der Elementarwürfel des Gestaltungswürfels, der die Grundeigenschaften von wissensinkorporierten Objekten beschreibt.

Es handelt sich um wissensinkorporierte Objekte der ersten Stufe, wie im Kap. 5.3.1 beschrieben, die mit einem Datenspeicher ausgestattet sind, in dem Daten geschrieben und von dem Daten ausgelesen werden können.

Der Elementarwürfel beschreibt ein Produktionselement ($y = 1$), an dem Daten gespeichert werden ($x = 1$), die mobil zur Verfügung stehen ($z = 1$). Der zugehörige Teilwürfel (Abb. 5-14) im Gestaltungswürfel „Smart Cube“  ist der einzige Teilwürfel, der isoliert dargestellt werden kann. Er ist in allen anderen gültigen Teilquadranten enthalten.

Die Interaktionen mit Informationssystemen oder anderen Objekten innerhalb eines Produktionssystems werden in diesem Anwendungsmodell nicht betrachtet.

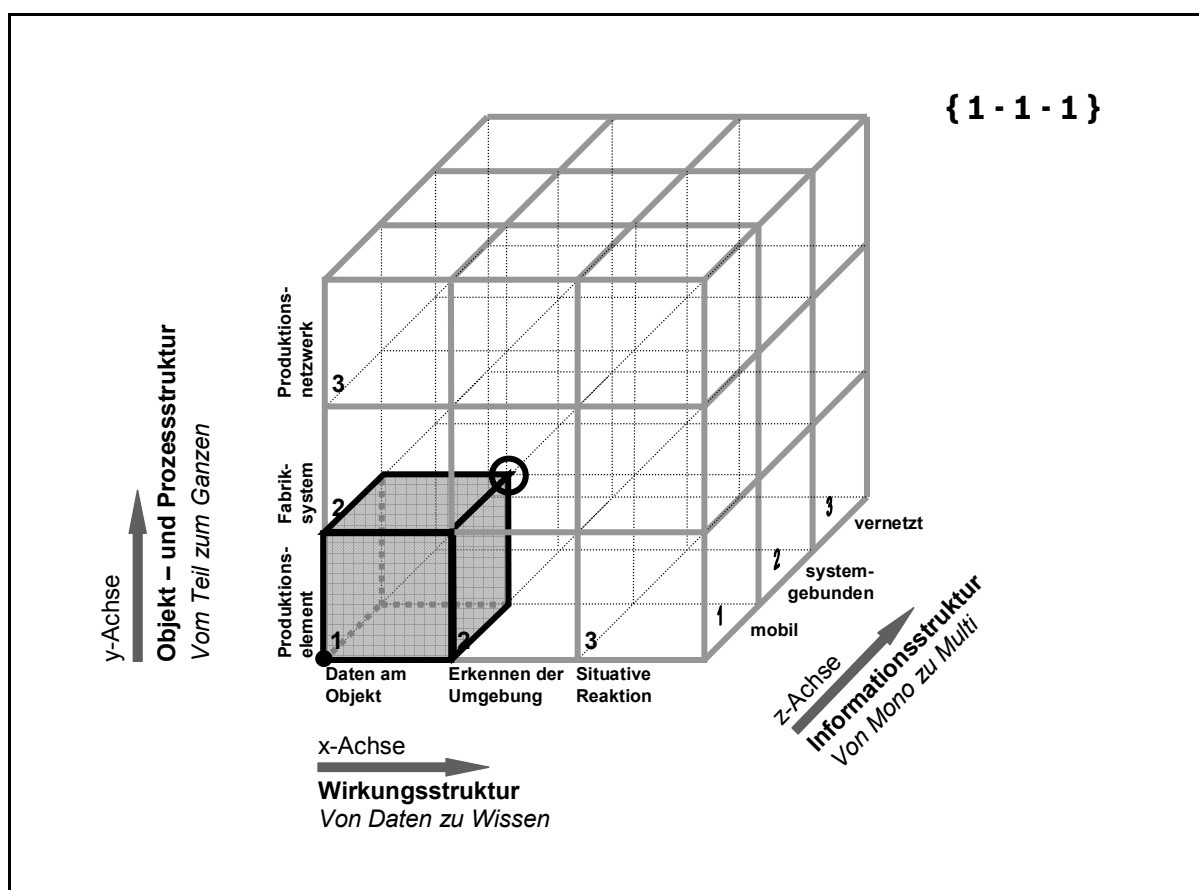


Abb. 5-14: Elementarwürfel {1 - 1 - 1}

Wirkungsstruktur des Elementarwürfels

Das wissensinkorporierte Objekt ist im Elementarwürfel neben seiner spezifischen Primärfunktion zur Erfüllung der eigentlich Objektaufgabe mit einem Datenspeicher ausgestattet, auf dem objektspezifische Daten gespeichert und ausgelesen werden können.

Objekt- und Prozessstruktur des Elementarwürfels

Im Elementarwürfel werden nur wissensinkorporierte Objekte betrachtet. Wissensinkorporierte Objekte können sein:

- Rohstoffe
- Werkstücke
- Komponenten
- Baugruppen
- Produkte
- Werkzeuge
- Transportmittel, z. B. Schleppzug
- Transporthilfsmittel, z. B. Behälter
- Produktionsanlagen

Objekte können bereits bei ihrer Herstellung mit einem Datenspeicher ausgerüstet werden oder in der Gebrauchsphase nachgerüstet werden. Der genaue Befestigungsort des Datenspeichers am Objekt wird beeinflusst durch:

- Die physische Größe des Datenspeichers
- Die Technologie, mit der Daten ausgelesen werden sollen. Funk könnte z. B. durch Metall gestört werden.

Informationsstruktur des Elementarwürfels

Einzelne Daten werden in den Datenspeicher am wissensinkorporierten Objekt in dafür vorgesehene Datenfelder geschrieben.

Die systematische Anordnung dieser Datenfelder in dem Datenspeicher ergibt eine Datenstruktur, in der einzelne Datenfelder einzeln ausgelesen, geschrieben oder verändert werden können, ohne dass der gesamte Dateninhalt des Datenspeichers ausgelesen werden muss.

Somit ist es bei einem Schreib- oder Leseprozess nicht erforderlich, den gesamten Inhalt des Datenspeichers auszulesen oder neu zu beschreiben, sondern es kann gezielt auf einzelne Felder zugegriffen werden. Schreib-Lesezeiten und Datenmengen werden dadurch vor allem bei größeren Gesamtdatenmengen auf dem Datenspeicher des wissensinkorporierten Objektes auf ein Minimum reduziert.

Das wichtigste Feld innerhalb der Datenstruktur stellt dabei die Identität des Produktionselementes dar, es beinhaltet den Begriff, über den das Objekt eindeutig identifiziert und zugeordnet werden kann.

Je nach Anforderungen können einzelne Datenfelder verschlüsselt und mit Schreib-Lese-Rechten belegt werden.

Zielbeitrag des Elementarwürfels

- **Sicherheit:**

Durch die genaue Dokumentation von Objektparametern direkt am wissensinkorporierten Objekt wird eine sichere Rückverfolgbarkeit ohne Zugriff auf ein zentrales Informationssystem ermöglicht. Das wissensinkorporierte Objekt enthält selbst nötige Informationen über sich, die durch externe Schreib-Lesegeräte ausgelesen und verändert werden können.

Durch die relevanten Daten und die eindeutige Identifikation, die auf dem Datenspeicher des wissensinkorporierten Objektes enthalten sind, werden Verwechslungen verhindert.

- **Flexibilität:**

Durch die Veränderbarkeit der Daten am wissensinkorporierten Objekt können objektrelevante Daten einfacher und schneller aktualisiert werden.

- **Effizienz:**

Durch die einfache und schnelle Dokumentation von objektrelevanten Daten direkt am wissensinkorporierten Objekt ist kein Zugriff auf ein zentrales System nötig, um Informationen über das Objekt zu erhalten. Die Dokumentations- und die Informationszeit werden durch das direkte Beschreiben und Auslesen erheblich verkürzt.

5.4.3 Anwendungsmodell {1 - 1 - 2} „Daten am Objekt – Produktions- element – systemgebunden“

Der Quader {1 - 1 - 2} beschreibt ein Produktionselement ($y = 1$), an dem Daten gespeichert werden ($x = 1$), die mobil und/oder systemgebunden zur Verfügung stehen ($z = 2$) (Abb. 5-15).

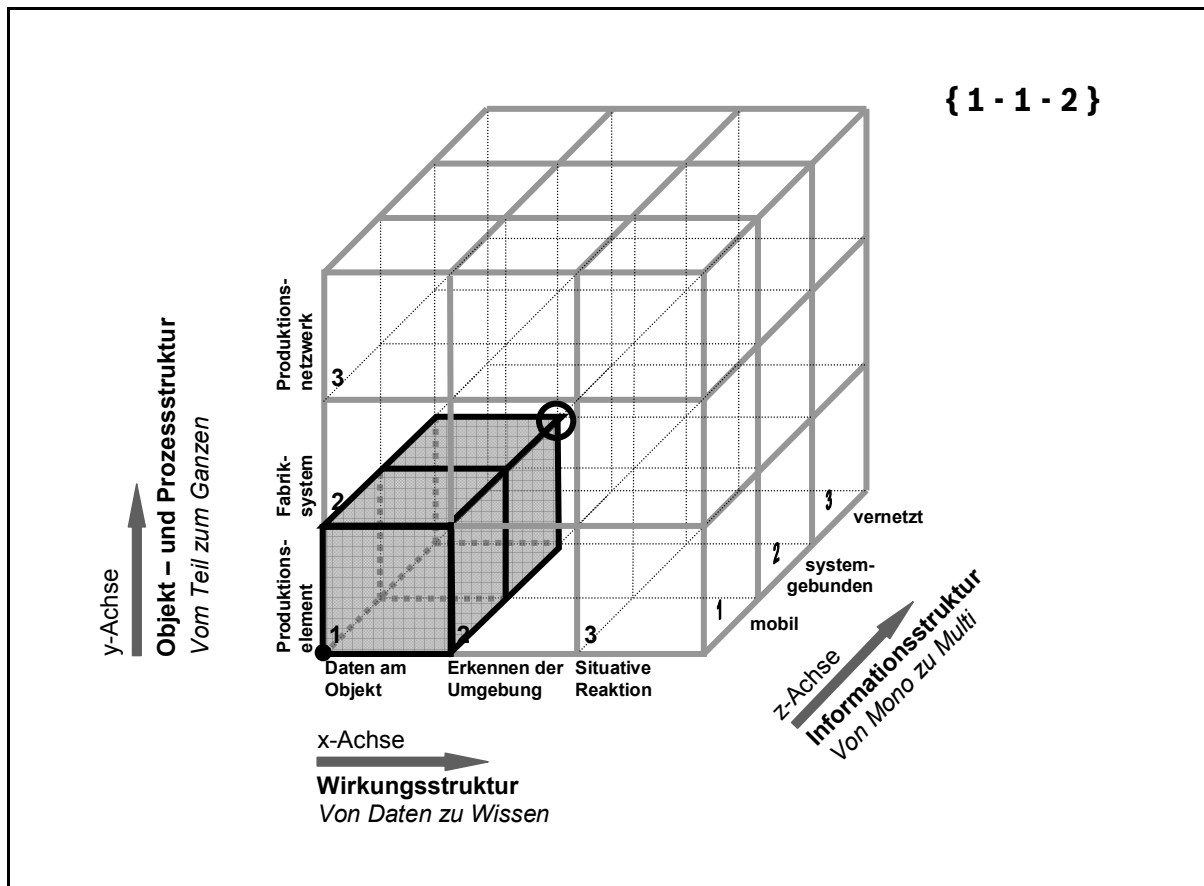


Abb. 5-15: Anwendungsmodell {1 - 1 - 2}

Ein umgebendes Fabriksystem sowie Interaktionen zwischen dem wissensinkorporierten Objekt und dem Fabriksystem werden nicht betrachtet.

Ein beispielhafter Anwendungsfall ist die Ausstattung von Profielektrowerkzeugen mit Datenspeichern. Auf diesen Datenspeichern werden service- und wartungsrelevante Objektdaten gespeichert, die während Service- und Wartungsarbeiten automatisiert in ein Service-Informationssystem gespeichert werden.

Wirkungsstruktur des Anwendungsmodells {1 - 1 - 2}

Die wissensinkorporierten Objekte des Anwendungsmodells {1 - 1 - 2} sind mit einem Datenspeicher ausgestattet, der mittels Schreib-Lesegeräten ausgelesen und beschrieben werden kann. Diese Schreib-Lesegeräte sind mit einem Informationssystem verbunden.

Objekt- und Prozessstruktur des Anwendungsmodells {1 - 1 - 2}

Betrachtet werden hier wissensinkorporierte Objekte wie im Elementarwürfel (Kap. 5.4.2).

Informationsstruktur des Anwendungsmodells {1 - 1 - 2}

Neben den objektrelevanten Daten am wissensinkorporierten Objekt sind auch die Daten des beteiligten Informationssystems Bestandteil des Anwendungsmodells.

Zwischen den „mobilen“ Daten am wissensinkorporierten Objekt und dem beteiligten Informationssystem findet ein automatisierter Austausch von Daten statt.

Um diesen Datenaustausch zu ermöglichen, müssen die verschiedenen Datenstrukturen harmonisiert oder standardisiert werden.

Zielbeitrag des Anwendungsmodells {1 - 1 - 2}

- **Sicherheit:**

Ergänzend zur Sicherheit des Elementarwürfels ist im Anwendungsmodell {1 - 1 - 2} eine Rückverfolgung auch in einem zentralen Informationssystem möglich, da mit dem wissensinkorporierten Objekt Daten über automatisierte Schnittstellen ausgetauscht werden.

- **Flexibilität:**

Ergänzend zur Flexibilität des Elementarwürfels wird im Anwendungsmodell {1 - 1 - 2} auch die Flexibilität des Informationssystems erhöht, da neue Schnittstellen und somit Aktualisierungsmöglichkeiten für Daten zur Verfügung stehen.

- **Effizienz:**

Ergänzend zur Effizienz des Elementarwürfels wird im Anwendungsmodell {1 - 1 - 2} auch die Effizienz von Buchungsprozessen erhöht, die automatisiert und schnell durchgeführt werden.

5.4.4 Anwendungsmodell {1 - 2 - 2} „Daten am Objekt – Fabrikssystem – systemgebunden“

Der Quader {1 - 2 - 2} beschreibt ein Fabrikssystem, in dem wissensinkorporierte Objekte in einem Fabrikssystem eingesetzt werden, die ihre Daten automatisiert in ein Informationssystem des Fabriksystems speichern (Abb. 5-16).

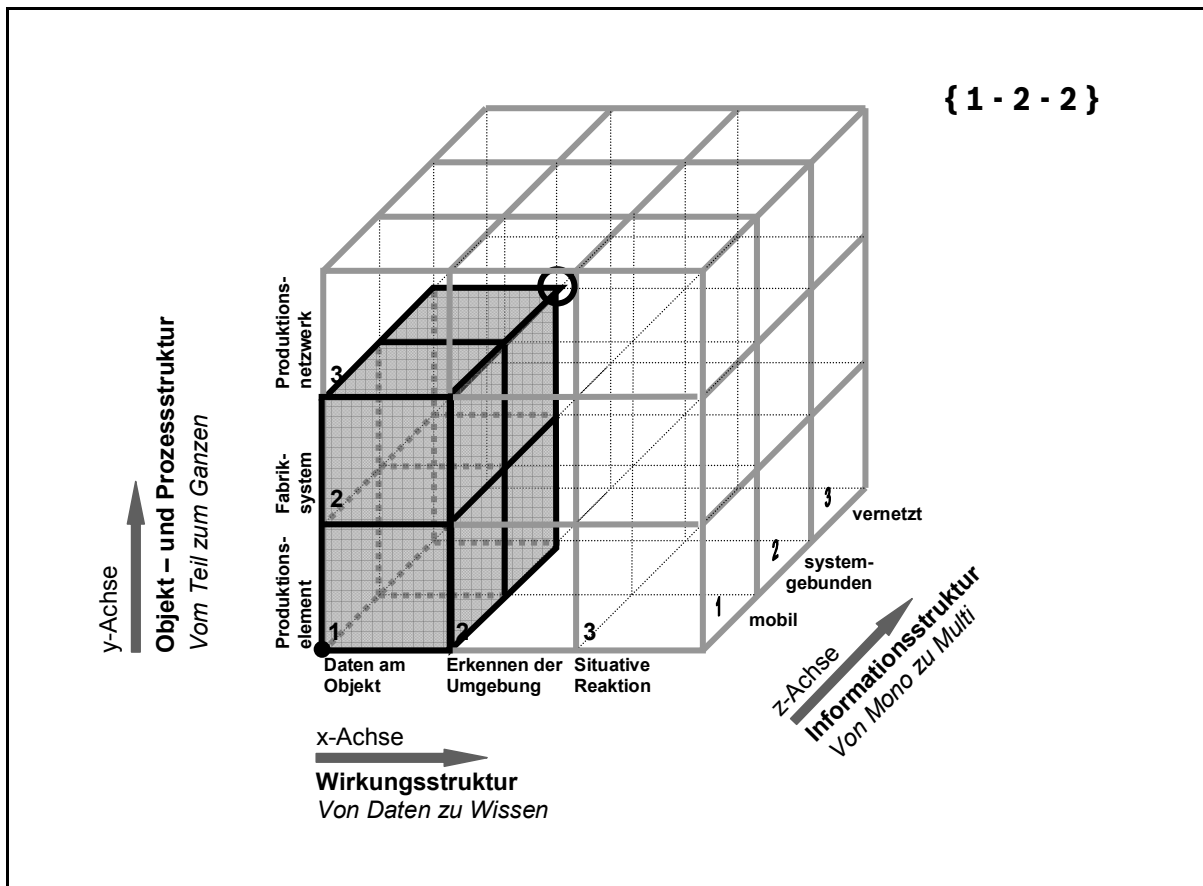


Abb. 5-16: Anwendungsmodell {1 - 2 - 2}

Beispiel: Einzelteilidentifikation und Rückverfolgung von Produkten, Baugruppen und Komponenten in internen Fertigungs- oder Logistikprozessen

Wirkungsstruktur des Anwendungsmodells {1 - 2 - 2}

Die wissensinkorporierten Objekte des Anwendungsmodells {1 - 2 - 2} sind mit einem Datenspeicher ausgestattet, der mittels Schreib-Lesegeräten ausgelesen und beschrieben werden kann. Diese Schreib-Lesegeräte sind an ein stationäres Informationssystem angebunden, in das sie die Daten übertragen.

Objekt- und Prozessstruktur des Anwendungsmodells {1 - 2 - 2}

Bestandteil des Anwendungsmodells {1 - 2 - 2} sind Objekte und Prozesse nur innerhalb eines Fabriksystems, das durch einen einzigen Produktionsstandort begrenzt wird.

Informationsstruktur des Anwendungsmodells {1 - 2 - 2}

Zusätzlich zu den objektspezifischen Daten, werden im Anwendungsmodell {1 - 2 - 2} prozessrelevante Daten aus dem Fabrikssystem gespeichert. Diese Daten werden bestimmt durch die Prozesse, die das wissensinkorporierte Objekt durchläuft oder die in Produktionsprozessen benötigt werden. Das Anwendungsmodell beinhaltet ein einzelnes Informationssystem, in das Daten von wissensinkorporierten Objekten über automatisierte Schnittstellen in ein übergeordnetes System gespeichert werden.

Zielbeitrag des Anwendungsmodells {1 - 2 - 2}

- **Sicherheit:**

Die Rückverfolgbarkeit im Anwendungsmodell {1 - 2 - 2} ist nicht nur durch die Daten direkt am wissensinkorporierten Objekt möglich, sondern auch an zentraler Stelle durch Daten, die automatisiert in einem zentralen Informationssystem gespeichert werden. Durch das automatisierte Speichern von Daten in einem zentralen Informationssystem werden dort Falscheingaben vermieden und Buchungsprozesse abgesichert.

- **Flexibilität:**

Aufgrund der automatisierten Systembuchungen können kleine Regelkreise realisiert werden. Störungen und Abweichungen werden durch die automatisierte Echtzeitdatenerfassung sofort erkannt und es kann schnell darauf reagiert werden.

- **Effizienz:**

Durch das Automatisieren von Systembuchungen werden Buchungsprozesse beschleunigt und der Aufwand für nicht-wertschöpfende Tätigkeiten in den Prozessen eines Fabriksystems reduziert.

5.4.5 Anwendungsmodell {1 - 2 - 3} „Daten am Objekt – Fabriksystem – vernetzt“

Das Anwendungsmodell {1 - 2 - 3} beschreibt ein Fabriksystem ($y = 2$), in dem wissensinkorporierte Objekte mit einem Datenspeicher ($x = 1$) eingesetzt werden. Die Daten der wissensinkorporierten Objekte werden mittels automatisierter Schnittstellen in mehrere unterschiedliche Informationssysteme übernommen ($z = 3$). Es ist dargestellt in Abb. 5-17.

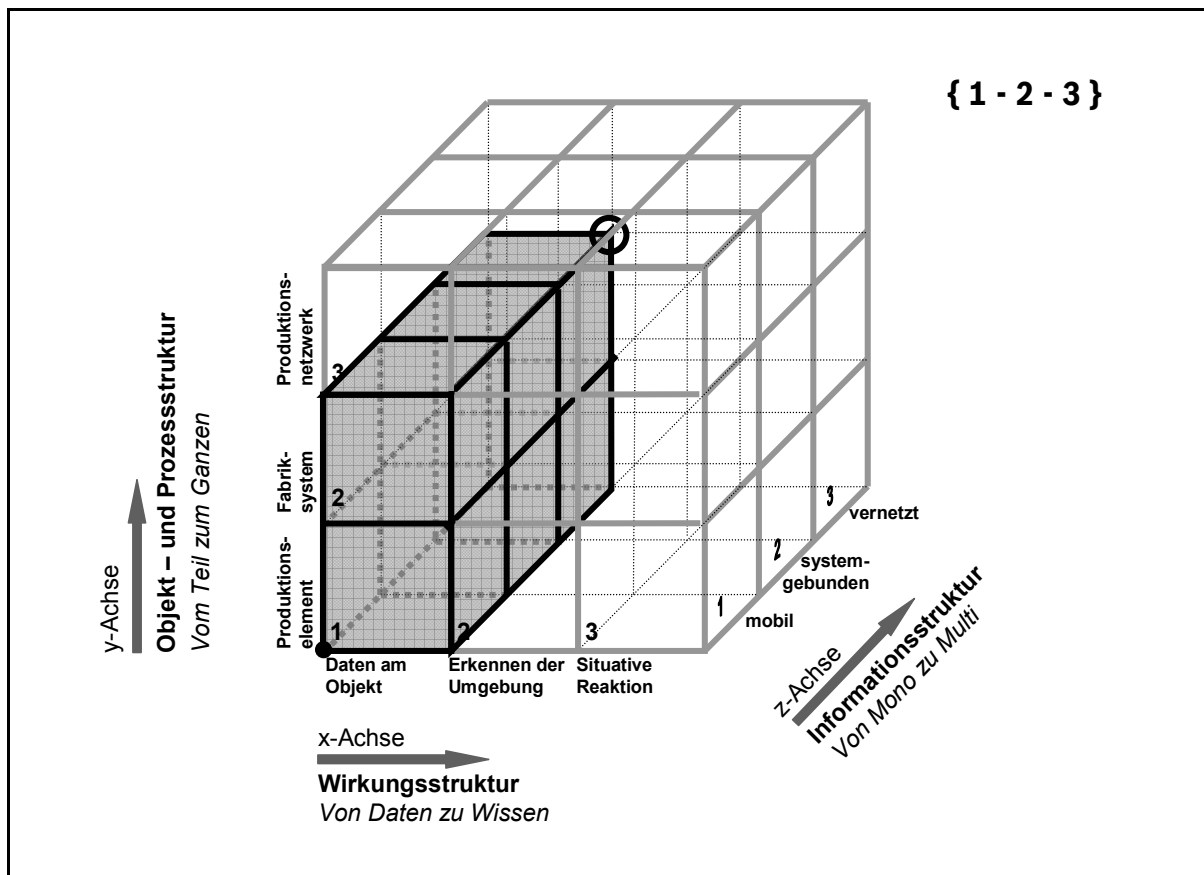


Abb. 5-17: Anwendungsmodell {1 - 2 - 3}

Ein Beispiel eines Anwendungsfalls des Anwendungsmodells {1 - 2 - 3} wird ausführlich in Kap. 6 beschrieben.

Wirkungsstruktur des Anwendungsmodells {1 - 2 - 3}

Die wissensinkorporierten Objekte des Anwendungsmodells {1 - 2 - 3} sind mit einem Datenspeicher ausgestattet, der mittels Schreib-Lesegeräten ausgelesen und beschrieben werden kann. Diese Schreib-Lesegeräte sind an mehrere unterschiedliche stationäre Informationssysteme angebunden. Die Daten werden so abgespeichert, dass in einem vernetzten Informationssystem verschiedene Nutzer darauf zugreifen können.

Bei der Wahl der Speicher- und Kommunikationstechnologie für das wissensinkorporierte Objekt muss die Kompatibilität zu allen beteiligten Informationssystemen sichergestellt werden.

Objekt- und Prozessstruktur des Anwendungsmodells {1 - 2 - 3}

Bestandteil des Anwendungsmodells sind Objekte und Prozesse innerhalb eines Fabrik-systems, das durch einen einzelnen Produktionsstandort begrenzt wird.

Informationsstruktur des Anwendungsmodells {1 - 2 - 3}

Innerhalb des Anwendungsmodells {1 - 2 - 3} werden nicht nur die Daten am wissensinkorporierten Objekt strukturiert, sondern auch die Daten in den verschiedenen beteiligten Informationssystemen, die über Schnittstellen Daten mit den wissensinkorporierten Objekte austauschen.

Zielbeitrag des Anwendungsmodells {1 - 2 - 3}

- **Sicherheit:**

Die Rückverfolgbarkeit im Anwendungsmodell {1 - 2 - 3} ist nicht nur durch die Daten direkt am wissensinkorporierten Objekt und in einem einzigen zentralen Informationssystem möglich, sondern durch die Vernetzung verschiedener einzelner stationärer Informationssysteme werden die Daten an vielen Orten zugänglich gemacht. Durch das automatisierte Speichern von Daten und durch die Vernetzung stehen Daten in Echtzeit zur Verfügung, wodurch Produktionsprozesse ohne zusätzlichen Aufwand und eventuelle manuelle Falscheingaben überwacht und abgesichert werden.

- **Flexibilität:**

Aufgrund der automatisierten Systembuchungen können kleine Regelkreise realisiert werden. Störungen und Abweichungen werden durch die automatisierte Echtzeitdatenerfassung und die Vernetzung sofort an der zuständigen Stelle erkannt und der entsprechend Beteiligte kann schnell auf Störungen reagieren und gegensteuern, um unerwünschten Folgen vorzubeugen.

- **Effizienz:**

Durch das Automatisieren von Systembuchungen und die Vernetzung werden Buchungsprozesse in den verschiedenen beteiligten Informationssystemen beschleunigt und der Aufwand für nicht-wertschöpfende Tätigkeiten in den Prozessen eines Fabrik-systems reduziert.

5.4.6 Anwendungsmodell {1 - 3 - 3} „Daten am Objekt – Produktionsnetzwerk – vernetzt“

Das Anwendungsmodell {1 - 3 - 3} beschreibt ein Produktionssystem in einem Produktionsnetzwerk ($y = 3$), in dem wissensinkorporierte Objekte mit einem Datenspeicher ausgerüstet sind ($x = 1$) und mehrere Informationssysteme beteiligt sind ($z = 3$). Es ist dargestellt in Abb. 5-18.

Ein Beispiel für einen Anwendungsfall ist der Einsatz von RFID in Mehrwegbehältern innerhalb der Lieferkette zur Speicherung von materialflussbegleitenden Daten.

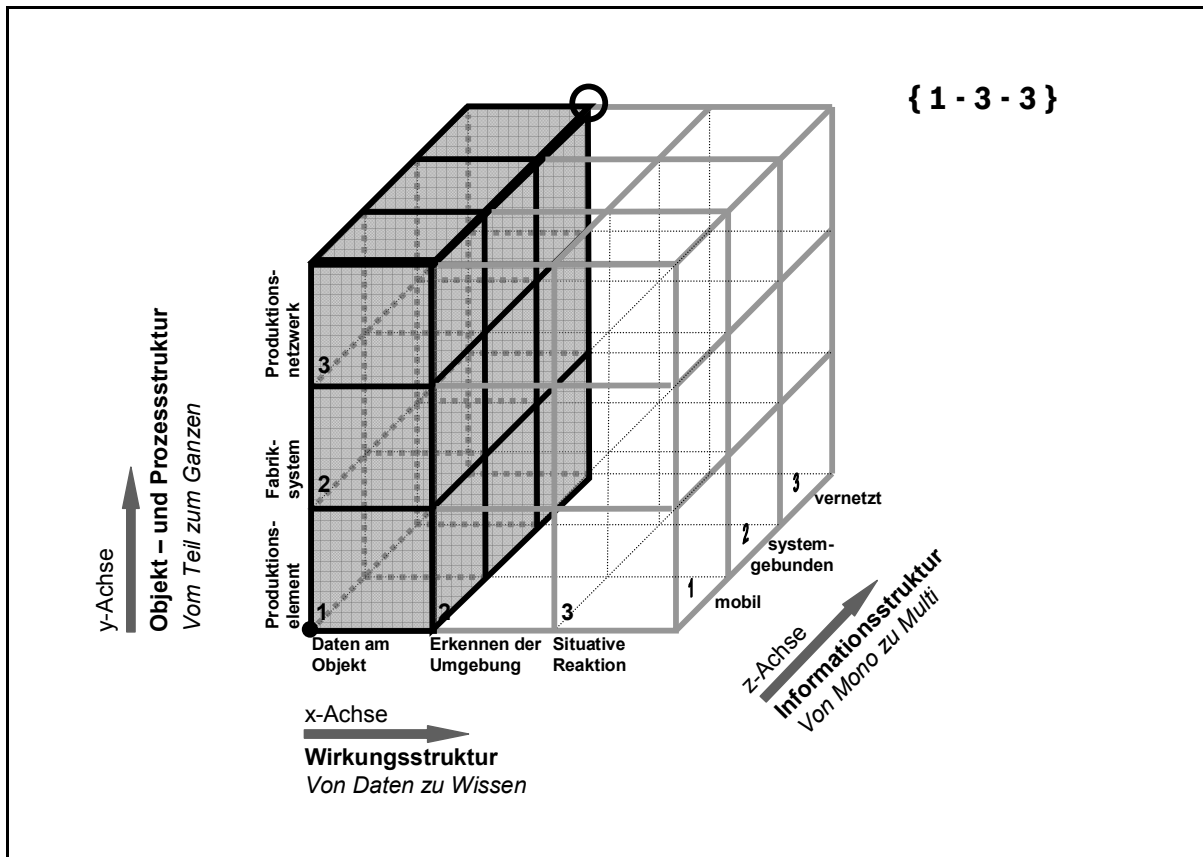


Abb. 5-18: Anwendungsmodell {1 - 3 - 3}

Wirkungsstruktur des Anwendungsmodell {1 - 3 - 3}

Der Datenspeicher der wissensinkorporierten Objekte kann im Anwendungsmodell {1 - 3 - 3} von den unterschiedlichen Beteiligten des Produktionsnetzwerkes gelesen und beschrieben werden. Bei der Wahl der Speicher- und Kommunikationstechnologie für das wissensinkorporierte Objekt muss die Kompatibilität zu allen beteiligten Informationssystemen sowie der Technologiestrategie der einzelnen Partner des Produktionsnetzwerkes sichergestellt werden.

Objekt- und Prozessstruktur des Anwendungsmodells {1 - 3 - 3}

Bestandteil des Anwendungsmodells {1 - 3 - 3} sind Objekte und Prozesse innerhalb eines Produktionsnetzwerkes.

Informationsstruktur des Anwendungsmodells {1 - 3 - 3}

Die Datenstruktur enthält Daten, die von allen Partnern des Produktionsnetzwerkes genutzt werden können. Über diese Datenfelder werden Informationen zwischen den verschiedenen Partnern eines Produktionsnetzwerkes und den eingesetzten Informationssystemen ausgetauscht. Wichtig ist dabei eine Harmonisierung und Standardisierung von Datenformaten und -strukturen.

Die VDA-Empfehlung 5501 macht einen Vorschlag für eine Datenstruktur an Behältern, die innerhalb der Lieferkette in der Automobilindustrie eingesetzt werden [VDA06].

Zielbeitrag des Anwendungsmodells {1 - 3 - 3}

- **Sicherheit:**

Die Rückverfolgbarkeit innerhalb eines Produktionsnetzwerks im Anwendungsmodell {1 - 3 - 3} ist nicht nur durch die Daten direkt am wissensinkorporierten Objekt möglich, sondern auch an zentraler Stelle über Daten, die automatisiert in den beteiligten Informationssystemen der einzelnen Partner des Produktionsnetzwerks gespeichert werden. Durch das automatisierte Speichern von Daten in den einzelnen Informationssystemen der Beteiligten des Produktionsnetzwerks werden Falscheingaben vermieden, Buchungsprozesse abgesichert und die Datenqualität in durch Aktualität und Quantität erhöht.

- **Flexibilität:**

Aufgrund der automatisierten Systembuchungen und der Vernetzung können im Produktionsnetzwerk kleine Regelkreise realisiert werden. Störungen und Abweichungen werden durch die automatisierte Echtzeitdatenerfassung sofort erkannt und es kann an entsprechender Stelle im Produktionsnetzwerk umgehend darauf reagiert werden, um nicht erwünschte Störungsfolgen zu vermeiden.

- **Effizienz:**

Durch das Automatisieren von Systembuchungen werden Buchungsprozesse beschleunigt und der Aufwand für nicht-wertschöpfende Tätigkeiten in den Prozessen eines Produktionsnetzwerks reduziert. Die Informationszeit wird durch die Vernetzung zusätzlich minimiert.

5.4.7 Anwendungsmodell {3 - 3 - 3} „Situative Reaktion – Produktionsnetzwerk – vernetzt“

Das Anwendungsmodell {3 - 3 - 3} stellt das Produktionssystem mit der größten zu lösenden Systemkomplexität dar (Abb. 5-19):

- Es sind mehrere Partner eines Produktionsnetzwerks ($y = 3$)
- mit mehreren unterschiedlichen Informationssystemen beteiligt ($z = 3$).
- Die wissensinkorporierten Objekte können ihre Umgebung erkennen und auf sie reagieren ($x = 3$).

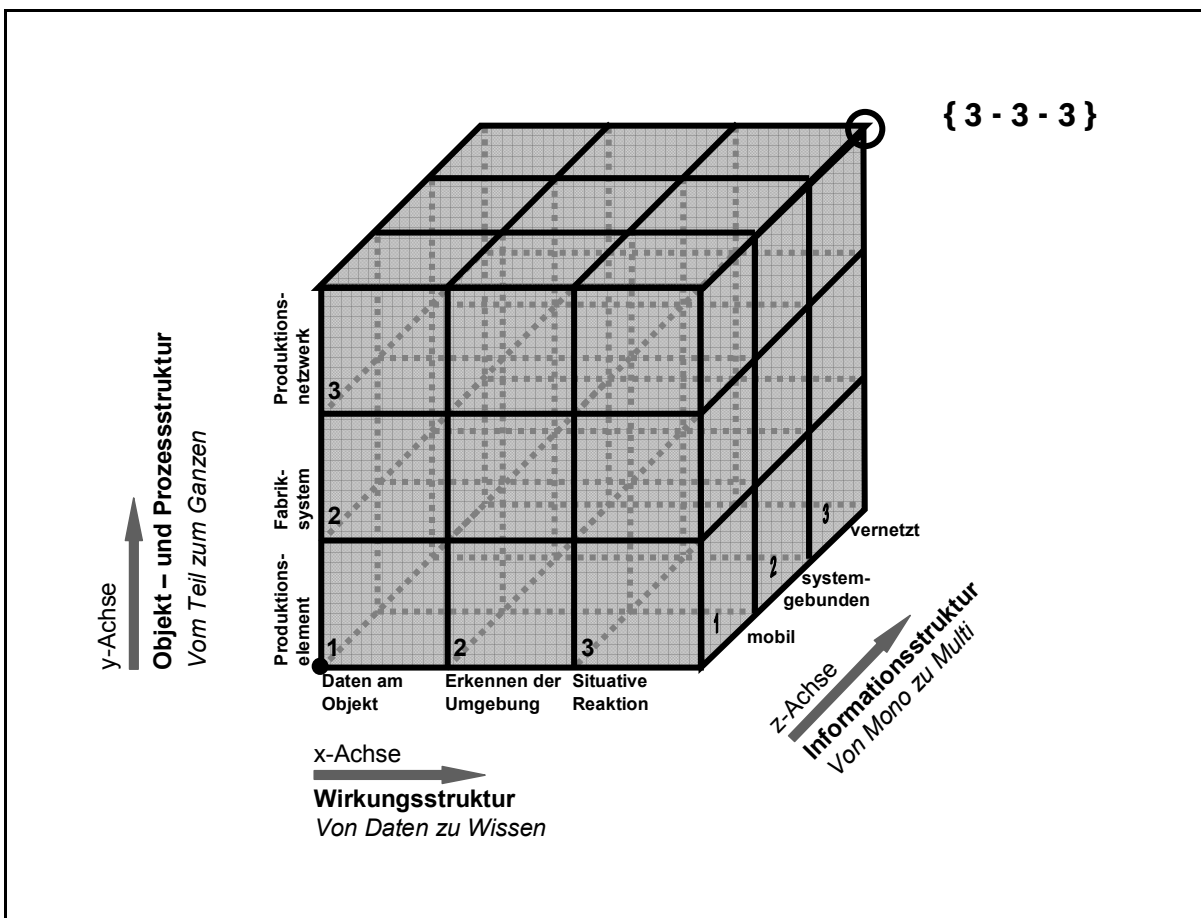


Abb. 5-19: Anwendungsmodell {3 - 3 - 3} (kompletter Würfel)

Derzeit sind keinerlei Anwendungen dieses Anwendungsmodells im Einsatz, sondern es können nur Szenarios gebildet werden. Mögliche Szenarios sind in Abb. 5-20 dargestellt.

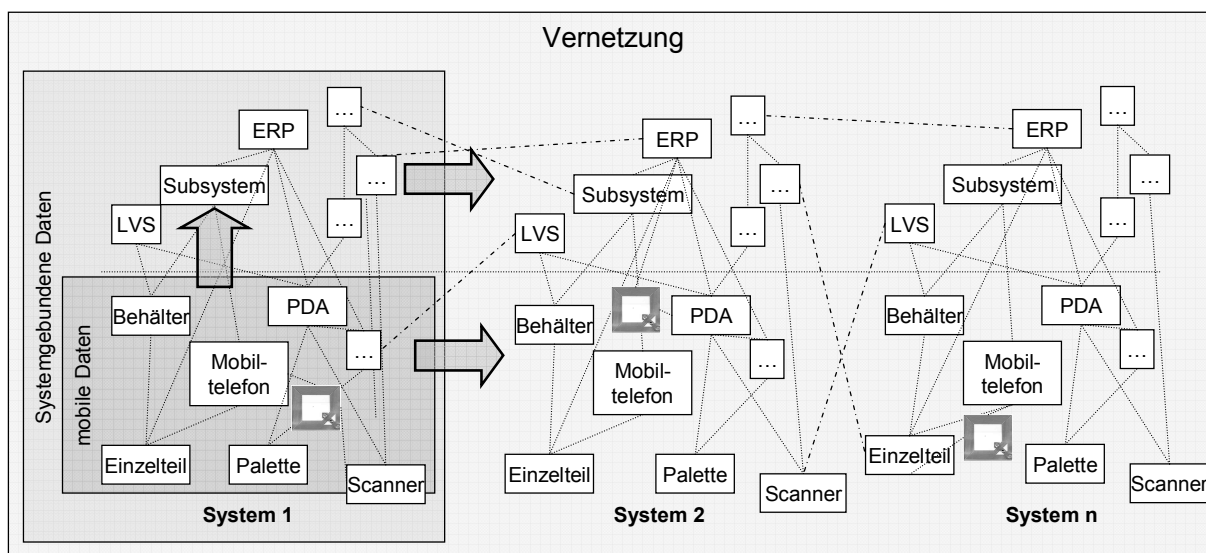


Abb. 5-20: Vernetzung in Produktionsnetzwerken mittels wissensinkorporierter Objekte

Wirkungsstruktur des Anwendungsmodells {3 - 3 - 3}

Im Anwendungsmodell {3 - 3 - 3} werden wissensinkorporierte Objekte eingesetzt, die mit einem Datenspeicher ausgestattet sind, mittels Sensorik ihre Umgebung erkennen und mittels Aktorik auf Ereignisse reagieren können. Da im Anwendungsmodell {3 - 3 - 3} mehrere Partner eines Produktionsnetzwerkes beteiligt sind, ist bei der Technologieauswahl für die Ausstattung der wissensinkorporierten Objekte auf eine ausreichende Kompatibilität, z. B. durch Standardisierung, zu achten.

Objekt- und Prozessstruktur des Anwendungsmodells {3 - 3 - 3}

Im Anwendungsmodell {3 - 3 - 3} werden die Prozesse und Objekte eines Produktionsnetzwerkes betrachtet.

Informationsstruktur des Anwendungsmodells {3 - 3 - 3}

Die Informationsstruktur des Anwendungsmodells {3 - 3 - 3} beinhaltet die Datenstrukturen der wissensinkorporierten Objekte und der verschiedenen beteiligten Informationssysteme.

Zielbeitrag des Anwendungsmodells {3 - 3 - 3}

- **Sicherheit:**

Die Rückverfolgbarkeit innerhalb eines Produktionsnetzwerkes im Anwendungsmodell {3 - 3 - 3} ist nicht nur durch die Daten direkt am wissensinkorporierten Objekt möglich, sondern durch die Vernetzung auch in den einzelnen Informationssystemen der beteiligten Partner. Durch das automatisierte und ereignisorientierte Speichern von Daten in Informationssysteme und an den wissensinkorporierten Objekten werden Falscheingaben vermieden und Buchungsprozesse abgesichert.

Durch die situative Reaktion können die wissensinkorporierten Objekte direkt auf ihre Umwelt reagieren und bei Eintreten von Störungen sofort und unmittelbar reagieren. Dadurch werden Störungen verhindert bzw. gemildert und die Prozess- und Ergebnis-sicherheit maximiert und eine zentrale Steuerungsinstanz entlastet.


- **Flexibilität:**

Aufgrund der automatisierten Systembuchungen und der Vernetzung können im Produktionsnetzwerk kleine Regelkreise realisiert werden. Störungen und Abweichungen werden durch die wissensinkorporierten Objekte sofort erkannt und es kann sofort und unmittelbar gegengesteuert werden.

- **Effizienz:**

Durch das Automatisieren von Systembuchungen werden Buchungsprozesse beschleunigt und der Aufwand für nicht-wertschöpfende Tätigkeiten in den Prozessen eines Fabriksystems reduziert. Durch die Reaktionsfähigkeit der wissensinkorporierten Objekte werden Entscheidungsträger in der Prozessregelung und -steuerung entlastet, da die wissensinkorporierten Objekte die vordefinierten Prozessparameter selbstständig überwachen und im Bedarfsfall mit vorbestimmten Maßnahmen reagieren.

5.4.8 Gesamtheit aller Anwendungsmodelle

Tab. 5-1 liefert eine Übersicht über alle 27 Anwendungsmodelle, die im Gestaltungswürfel „Smart Cube“  enthalten sind:

- Die Bezeichnung, die sich in der ersten Spalte befindet, wird mit den zugehörigen Koordinaten belegt (zweite Spalte).
- In der dritten Spalte sind die Anzahl der beteiligten Informationssysteme dargestellt.
- In der vierten Spalte ist der Inhalt der Datenfelder des Datenspeichers am wissensinkorporierten Objekt aufgeführt.
- In der fünften Spalte ist ein Verweis auf die grafische Darstellung des Anwendungsmodells enthalten.
- In Spalte sechs wurden dem Anwendungsmodell mögliche Anwendungsfälle aus Projekterfahrungen und der Literatur zugeordnet.

Einige Anwendungsmodelle, insbesondere in der Ebene $x = 1$ („Daten am Objekt“) wurden durch Pilotprojekte validiert und die Ergebnisse dieser Anwendungsfälle sind in Anwendungsmodelle eingeflossen.

In den Ebenen $x = 2$ („Erkennen der Umgebung“) und $x = 3$ („Situative Reaktion“) scheitert die Umsetzung von Anwendungsmodellen in die Praxis derzeit in den meisten Fällen an technischen Möglichkeiten oder Kosten. Um diese Anwendungsmodelle beschreiben zu können, werden Szenarios modelliert.

Einzelne Produktionssysteme wurden in den Kap. 5.4.2 bis einschließlich Kap. 5.4.7 beschrieben.

Tab. 5-1: Übersicht der 27 Anwendungsmodelle

Bezeichnung	Koor- dinaten {X - Y - Z}	Anzahl beteiligter IT- Systeme	Daten- inhalt des WIKO	Darstel- lung	Anwen- dungsfall (Beispiel)
Elementarwürfel (Daten am Objekt – Produktionselement – mobil)	{1 - 1 - 1}	0	Objekteigen schaften	Abb. 9-1 (Kap. 5.4.2)	Ein Produkt oder Bauteil sammelt eigene Objekt- parameter
Daten am Objekt – Produktionselement – systemgebunden	{1 - 1 - 2}	1	Objekteigen schaften	Abb. 9-2 (Kap. 5.4.3)	Elektro- werkzeuge im Service- umlauf
Daten am Objekt – Produktionselement – vernetzt	{1 - 1 - 3}	>1	Objekteigen schaften	Abb. 9-3	-
Daten am Objekt – Fabriksystem– mobil	{1 - 2 - 1}	0	Objekteigen schaften + Prozesspara- meter	Abb. 9-4	-
Daten am Objekt – Fabriksystem – systemgebunden	{1 - 2 - 2}	1	Objekteigen schaften + Prozesspara- meter	Abb. 9-5 (Kap. 5.4.4)	
Daten am Objekt – Fabriksystem – vernetzt	{1 - 2 - 3}	>1	Objekteigen schaften + Prozesspara- meter	Abb. 9-6 (Kap. 5.4.5)	Auftragsbu- chungen per Scannen Kanbankarte (siehe Anwendungs- fall Kap. 6)
Daten am Objekt – Produktions- netzwerk – mobil	{1 - 3 - 1}	0		Abb. 9-7	-
Daten am Objekt – Produktions- netzwerk – systemgebunden	{1 - 3 - 2}	1		Abb. 9-8	-

Bezeichnung	Koor- dinaten {X - Y - Z}	Anzahl beteiligter IT- Systeme	Daten- inhalt des WIKO	Darstel- lung	Anwen- dungsfall (Beispiel)
Daten am Objekt – Produktions- netzwerk – vernetzt	{1 - 3 - 3}	>1		Abb. 9-9 (Kap. 5.4.6)	RFID-Einsatz in der Supply Chain [VDA06]
Erkennen der Umgebung – Produktionselement – mobil	{2 - 1 - 1}	0	Objekteigen schaften	Abb. 9-10	Gefährliche Stoffe, z. B. Chemikalien, erkennen, wenn sich weitere ge- fährliche Stoffe in der Nähe befin- den [Grot06]
Erkennen der Umgebung – Produktionselement – systemgebunden	{2 - 1 - 2}	1	Objekteigen schaften	Abb. 9-11	-
Erkennen der Umgebung – Produktionselement – vernetzt	{2 - 1 - 3}	>1	Objekteigen schaften	Abb. 9-12 (Kap. 5.4.4)	-
Erkennen der Umgebung – Fabriksystem – mobil	{2 - 2 - 1}	0	Objekteigen schaften + Prozesspara- meter	Abb. 9-13	Stichpro- benartiges Ermitteln von Durchlauf- zeiten inner- halb eines Fabrik- systems
Erkennen der Umgebung – Fabriksystem – systemgebunden	{2 - 2 - 2}	1	Objekteigen schaften + Prozesspara- meter	Abb. 9-14	Auftragver- folgung mit- tels Lokali- sierung in- nerhalb eines Produktions- standortes

Bezeichnung	Koor- dinaten {X - Y - Z}	Anzahl beteiligter IT- Systeme	Daten- inhalt des WIKO	Darstel- lung	Anwen- dungsfall (Beispiel)
Erkennen der Umgebung – Fabrikssystem – vernetzt	{2 - 2 - 3}	>1	Objekteigen schaften + Prozesspara meter	Abb. 9-15	Produktions- steuerung mittels Agenten- technologie [Sund01]
Erkennen der Umgebung – Produktionsnetzwerk – mobil	{2 - 3 - 1}	0		Abb. 9-16	Stichpro- benartige Warenein- gangsprüfung mittels „smarter Transport- behälter“
Erkennen der Umgebung – Produktionsnetzwerk – systemgebunden	{2 - 3 - 2}	1		Abb. 9-17	-
Erkennen der Umgebung – Produktionsnetzwerk – vernetzt	{2 - 3 - 3}	>1		Abb. 9-18	-
Situative Reaktion – Produktions- element – mobil	{3 - 1 - 1}	0	Objekteigen schaften	Abb. 9-19	-
Situative Reaktion – Produktions- element – system- gebunden	{3 - 1 - 2}	1	Objekteigen schaften	Abb. 9-20	-
Situative Reaktion – Produktions- element – vernetzt	{3 - 1 - 3}	>1	Objekteigen schaften	Abb. 9-21	-
Situative Reaktion – Fabrikssystem – mobil	{3 - 2 - 1}	0	Objekteigen schaften + Prozesspara meter	Abb. 9-22	-

Bezeichnung	Koor- dinaten {X - Y - Z}	Anzahl beteiligter IT- Systeme	Daten- inhalt des WIKO	Darstel- lung	Anwen- dungsfall (Beispiel)
Situative Reaktion – Fabrikssystem – systemgebunden	{3 - 2 - 2}	1	Objekteigen schaften + Prozesspara meter	Abb. 9-23	-
Situative Reaktion – Fabrikssystem – vernetzt	{3 - 2 - 3}	>1	Objekteigen schaften + Prozesspara meter	Abb. 9-24	-
Situative Reaktion – Produktions- netzwerk – mobil	{3 - 3 - 1}	0		Abb. 9-25	-
Situative Reaktion – Produktionsnetz- werk – system- gebunden	{3 - 3 - 2}	1		Abb. 9-26	-
Situative Reaktion – Produktions- netzwerk – vernetzt	{3 - 3 - 3}	>1		Abb. 9-27 (Kap. 5.4.7)	Szenario

Durch Vergleichen von Anwendungsmodellen sowie durch Einbeziehung vorhandener Ergebnisse von Pilotprojekten können folgende Schlussfolgerungen gezogen werden:

- Technologien, die für Anwendungsmodelle in der Ebene $x = 1$ („Daten am Objekt“) benötigt werden, sind auf dem Markt verfügbar und können eingesetzt werden.
- In den Schichtenräumen $x = 2$ („Erkennen der Umgebung“) und $x = 3$ („Situative Reaktion“) scheitert die Einführung derzeit in den meisten Fällen an der technischen Machbarkeit oder an den Kosten der erforderlichen Technologien. Die verschiedenen, anhand von Szenarios entwickelten Anwendungsmodelle können erst nach einer Weiterentwicklung und befriedigenden Erprobung der Technologien umgesetzt werden.
- Im Schichtenraum $z = 1$ („Mobil“) sind keine Schnittstellen zu Informationssystemen vorgesehen. Die von wissensinkorporierten Objekten erfassten Daten müssen manuell ausgewertet werden. Der Einführungsaufwand ist gering. Die Anwendungsmodelle des Schichtenraumes $z = 1$ eignen sich infolgedessen insbesondere für einen „stichprobenartigen“ Einsatz in der Analysephase oder zur pilothaften Erprobung vor einer Komplettumstellung eines Produktionssystems.
- Für den „Dauereinsatz“ in Fabrikssystemen ($y = 2$) und Produktionsnetzwerken ($y = 3$), in denen ein oder mehrere Informationssysteme beteiligt sind, eignen sich besonders die Anwendungsmodelle der Ebene $z = 2$ („Systemgebunden“) und $z = 3$ („Vernetzt“).

- Da verschiedene Partner in einem Produktionsnetzwerk ($y = 3$) in den meisten Fällen mehrere, verschiedenartige Informationssysteme im Einsatz haben, wird für Produktionsnetzwerke bevorzugt die Ebene $z = 3$ („Vernetzt“) eingesetzt werden.
- Für Produktionssysteme mit Prozessen, in denen keine Prozessüberwachung zur Verfügung steht, werden sich Anwendungsmodelle der Ebenen $x = \{2; 3\}$ („Erkennen der Umgebung“ und „Situative Reaktion“) empfehlen.
- Für Produktionssysteme mit Prozessen, in denen keine Prozessüberwachung und keine unmittelbare Steuerungs- und Eingreifmöglichkeiten zur Verfügung stehen, werden Anwendungsmodelle der Ebene $x = 3$ („Situative Reaktion“) empfohlen.

5.5 Umsetzungsmodell

Das Umsetzungsmodell beschreibt das Vorgehen bei der Übertragung eines Anwendungsmodells in die Praxis unter Berücksichtigung unternehmens- und situationsspezifischer Gegebenheiten. Es ist für alle Anwendungsmodelle gültig.

Die Vorgehensweise des Umsetzungsmodells untergliedert sich in fünf aufeinander folgende Phasen:

- Analyse
- Konzeption
- Bewertung
- Implementierung
- Sicherung

Diese Phasen bestehen wiederum aus einzelnen Teilschritten, die in einer zeitlichen Reihenfolge stehen. Die Ergebnisse der Vorgängerschritte und -phasen fließen unmittelbar in die Folgeschritte und -phasen ein. Anhand von Erfahrungen in den einzelnen Phasen werden auch Erkenntnisse vorangegangener Phasen überprüft, um diese zu bestätigen oder ggf. anzupassen. Dieser rekursive Zusammenhang ist in Abb. 5-21 dargestellt.

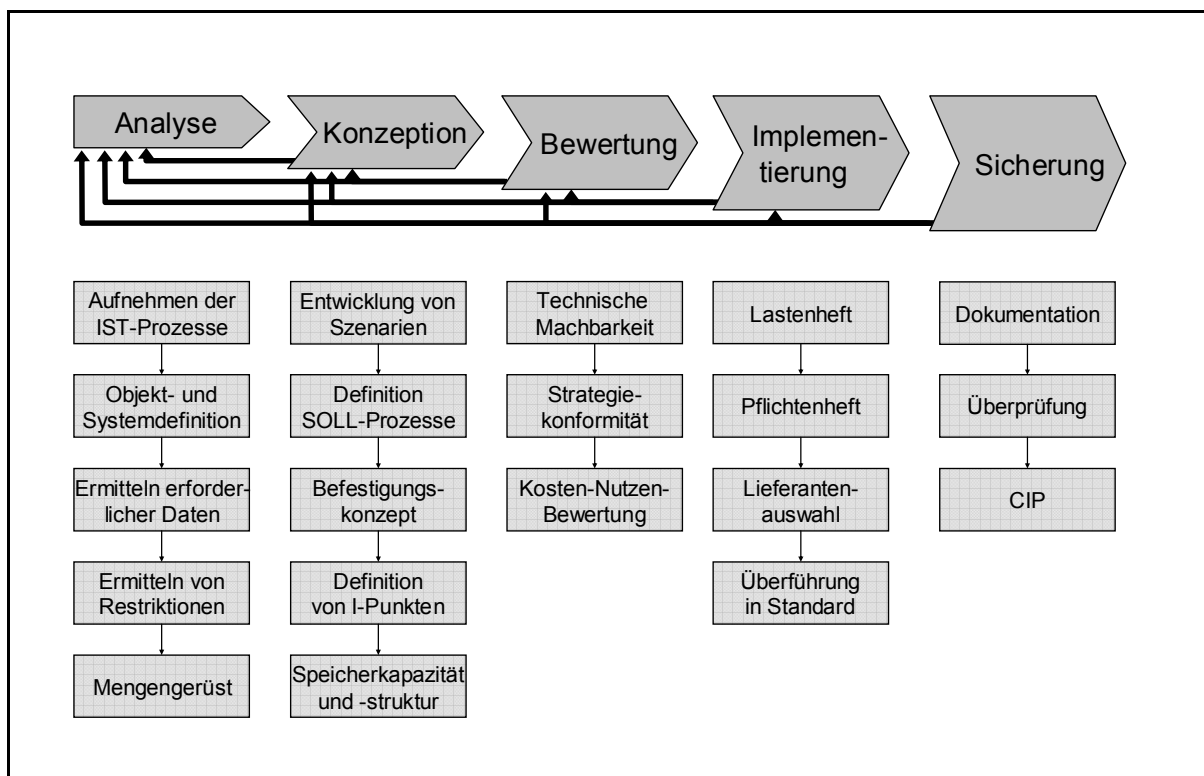


Abb. 5-21: Umsetzungsmodell

5.5.1 Umsetzungsmodell und Projektmanagement

Das Umsetzungsmodell trifft keine Aussagen über Verantwortung und Rolle von Beteiligten sowie über die beanspruchbare Dauer. Diese Parameter werden im Rahmen des erforderlichen spezifischen Projektmanagements festgelegt. Das Umsetzungsmodell liefert dem Projektmanagement einen Leitfaden oder Masterplan der verschiedenen Phasen der Implementierung, die im Folgenden näher beschrieben werden.

5.5.2 Analyse

Die Analyse dient zur Erfassung der IST-Situation.

In einem ersten Teilschritt werden die IST-Prozesse aufgenommen, in denen wissensinkorporierte Objekte eingesetzt werden sollen. Gleichzeitig werden die an den Prozessen beteiligten Objekte und Informationssysteme identifiziert.

Darauf aufbauend wird das zu gestaltende System und die darin enthaltenen Objekte definiert.

Anschließend werden die erforderlichen Daten (Inhalt und Menge) sowie physische, organisatorische und prozesstechnische Restriktionen ermittelt.

Als Abschluss der Analyse wird ein Mengengerüst erstellt, in dem die relevanten Objekte, Zeiten, Prozessschritte, etc. und deren Anzahl ermittelt und dokumentiert werden.

5.5.3 Konzeption

Die Konzeption baut auf den Ergebnissen der Analyse auf. Sie dient zur Bestimmung des vorliegenden Anwendungsmodells und zur Definition des smarten Produktionssystems.

Als erster Schritt der Konzeption werden verschiedene, alternative Szenarios entwickelt. Kern eines Szenarios ist das Zielobjekt, das zu einem wissensinkorporierten Objekt gestaltet werden soll.

Diese Szenarios werden verdichtet, detailliert und konkretisiert, indem SOLL-Prozesse definiert werden. Zur Beschreibung dieser Prozesse können standardisierte Vorlagen verwendet werden. Ein Beispiel einer Formatvorlage ist in Kap. 9.2 aufgeführt.

Anschließend wird das Befestigungskonzept entwickelt: Unter Berücksichtigung von konstruktiven und gestalterischen Anforderungen wird die optimale Stelle für einen Datenspeicher am Objekt bestimmt, mittels derer das Zielobjekt zum wissensinkorporierten Objekt ausgestattet wird.

Im letzten Schritt der Konzeption wird anhand der zukünftig erwarteten Daten die Speicherkapazität und –struktur auf dem Datenspeicher des wissensinkorporierten Objektes ermittelt.

5.5.4 Bewertung

Die in der Konzeption entwickelten Szenarios und SOLL-Prozesse werden hinsichtlich der technischen Machbarkeit, einer Kosten-Nutzen-Gegenüberstellung und der Strategiekonformität bewertet.

Der technischen Machbarkeit liegen physikalische Gesetze, ergänzt um aktuell bzw. in absehbarer Zeit verfügbare Technologien, zu Grunde. Kriterien zur Bewertung der technischen Machbarkeit sind:

- Reichweite bei Funkübertragung
- Baugröße der Komponente
- Verfügbarkeit der Technologie
- Kompatibilität und Standardisierungsgrad der Technologie
- Energiebedarf
- Wartungsbedarf
- Anschaffungskosten
- Betriebskosten

Die Kosten-Nutzen-Bewertung basiert auf dem Mengengerüst. Die dort ermittelten Mengen werden mit quantifizierbaren Kosten und Nutzen (Einsparungen oder Gewinn) bewertet und gegenübergestellt. Ist das Ergebnis größer Null, das heißt der Nutzen höher als die Kosten, kann durch die Umsetzung ein positiver Beitrag zum Unternehmensziel Ertragsorientierung (Kap. 3.1.2) erwartet werden.

Die Strategiekonformität wird durch die Unternehmensstrategie (Kap 3.1.2) beeinflusst. Sie beinhaltet unter Anderem die Risikobereitschaft, verfügbare, aber noch nicht ausreichend getestete Technologien einzusetzen.

5.5.5 Implementierung

Die Implementierung beginnt mit der Erstellung des Lastenheftes, in dem der erwartete Leistungsumfang von Umsetzungspartnern spezifiziert wird [VDI01]. Als Basis dienen dazu die in der Konzeption definierten SOLL-Prozesse und das in der Analyse erstellte Mengengerüst.

Das Lastenheft geht als Ausschreibungsunterlage verschiedenen potentiellen Anbietern zu. Sie erstellen auf Basis des Lastenheftes detaillierte Pflichtenhefte [VDI01]; die den angebotenen Leistungsumfang spezifizieren. Das Pflichtenheft wird begleitet von einem verbindlichen Angebot, das die angebotenen Leistungen mit konkreten Kosten belegt.

Auf Basis der erstellten Pflichtenhefte und abgegebenen Angeboten wird eine Lieferantenauswahl durchgeführt. Der oder die auszuwählende(n) Lieferant(en) wird anschließend die erforderliche Hardware, Software und Dienstleistungen liefern.

Die in der Konzeption entwickelten und in der Bewertung ausgewählten SOLL-Prozesse werden mit der zugehörigen Hard- und Software in die Standardabläufe integriert. Verantwortliche und beteiligte Mitarbeiter werden entsprechend informiert und erhalten Schulungen zu den Veränderungen innerhalb ihres Verantwortungsbereiches. Die neuen Standardprozesse werden physisch in einer Pilotphase getestet. Durch einen hohen Support wird sichergestellt, dass Anfangsschwierigkeiten (so genannte „Kinderkrankheiten“) schnell und offenkundig behoben werden können, um die nötige Akzeptanz bei den Mitarbeitern für die noch neuen Prozesse herzustellen.


5.5.6 Sicherung


Die abschließende Sicherung beinhaltet die Dokumentation, Überprüfung und die kontinuierliche Verbesserung (CIP = Continuous Improvement Process).

Durch die Dokumentation werden die Ergebnisse und Erkenntnisse der Umsetzung festgehalten und für Nicht-Beteiligte und zukünftige, ähnliche Vorhaben verfügbar gemacht. So wird gewährleistet, dass die Erfahrungen, die während der Umsetzung gemacht wurden, auf andere übergehen und diese in die Lage versetzt werden, in gleichen oder ähnlichen Situationen schneller handeln zu können.

Die kontinuierliche Verbesserung ist kein in sich abgeschlossener Teilschritt, sondern wird parallel zum Standardbetrieb durchgeführt. Der Standardprozess wird durch konsequente Prozessanalyse auf Verbesserungen hin untersucht und weiterentwickelt. Zusätzlich können gezielte Maßnahmen, wie z. B. KAIZEN-Workshops, durchgeführt werden, um Verbesserungspotenziale aufzudecken.

6 Anwendungsfall

Der Gestaltungswürfels „Smart Cube“  dient in einem Unternehmen als durchgängige Modellierungsmethode und Strategieplanungsinstrument, um smartere Produktionssysteme zu gestalten.

Ziel dieses Kapitels ist es, exemplarisch die Anwendung des Gestaltungswürfels „Smart Cube“  anhand eines einzelnen konkreten Praxisbeispiels zu erläutern und dessen Nutzen darzustellen.

Der Anwendungsfall wird anhand der Erfahrungen des Projektes „BPS-Modellwerk“ beschrieben. Dieses Projekt dient der Prozessneugestaltung des Standortes Eisenach innerhalb der Robert Bosch GmbH.

Zunächst werden die Ausgangssituation und die Zielsetzung des Projektes formuliert (Kap. 6.1). Darauf aufbauend wird die Systemdefinition (Kap. 6.2), das Vorgehen (Kap. 6.3) sowie die Prozessänderungen (Kap. 6.4) dargestellt. Der Anwendungsfall wird abgeschlossen mit der Darlegung der erzielten Projektergebnisse (Kap. 6.5).

6.1 Ausgangssituation und Projektziele des Anwendungsfalls

Die Ausgangssituation des Produktionsstandortes Eisenach der Robert Bosch GmbH wurde bereits in der Motivation (Kap. 2) vorgestellt. Dieses Werk besitzt Kernkompetenzen in der Entwicklung und Produktion von Fahrzeugelektrikteilen und ist als „first“ und „second tier“ Lieferant in der Automobilindustrie etabliert.

Die Produktion am Standort Eisenach untergliedert sich in vier verschiedene Fertigungsbereiche, die teilweise nochmals in unterschiedliche Produkte sowie Vor- und Endmontagen aufgeteilt sind, sowie die Bereiche Wareneingang, Rohstofflager, Erzeugnislager und Versand. Die Steuerung der Produktion erfolgt auftragsbezogen.

Das Unternehmen sieht sich in der Ausgangssituation mit folgenden Rahmenbedingungen und Herausforderungen konfrontiert:

- Der Umsatz bleibt trotz steigenden Stückzahlen bedingt durch zunehmenden Wettbewerb und Preisverfall am Markt konstant. Die Produktion muss hinsichtlich der Kosten weiter optimiert werden, um mit dieser Entwicklung mithalten und die Produktion am deutschen Standort aufrechterhalten zu können.
- Kürzere Produktlebenszyklen führen zu kurzen Produktionslebenszyklen. Die zukünftigen Produktionssysteme sollten aus Standardkomponenten aufgebaut sein, damit diese ohne größeren Aufwand in neuen Produktionssystemen oder veränderten Fertigungsprozessen eingesetzt werden können.
- Die hohe Variantenvielfalt in der Fertigung und im Lager infolge vieler unterschiedlicher Kundenwünsche nach unterschiedlichsten Verpackungen erzeugt in Verbindung mit hohen Wechselfrequenzen der Produktionsaufträge hohe Bestände in Fertigung und Lager.
- Die Rohstoffe werden palettenweise zur Verwendung an Fertigungslinien bestellt und in einer niedrigen Frequenz angeliefert. Die Ablieferung von Erzeugnissen erfolgt ebenfalls auf Paletten in großen Zeitabständen. Die Bestände im Fertigungsbereich an Rohstoffen und Erzeugnissen sind hoch und belegen dort kostbaren Platz.

- Die hohen Qualitätsanforderungen von Kunden und Gesetzgeber erfordern eine konsequente, genaue und lückenlose Dokumentation entlang der Prozesskette.

Um diesen Herausforderungen gerecht zu werden, sollen mit dem Projekt „BPS-Modellwerk“ (BPS: vgl. Kap. 3.3.3) die internen Prozesse nach der „Lean Production“ Philosophie neu gestaltet werden.

Ziel ist es dabei,

- die Variantenvielfalt in der Fertigung zu reduzieren, indem
 - die Fertigung nur noch in einen Standardbehälter verpackt und
 - die kundenspezifische Verpackung nicht mehr an der Fertigungslinie, sondern erst direkt vor dem Versand erfolgt,
- die Flexibilität zu erhöhen, indem
 - die Reaktionszeiten verkürzt und
 - An- und Ablieferfrequenzen erhöht werden,
- Fehler zu vermeiden,
 - indem Bestände reduziert werden,
 - so dass auf diese Weise Kosten gesenkt werden.

Die Konsequenzen aus der Umsetzung der BPS-Prinzipien sind in Abb. 6-1 dargestellt.

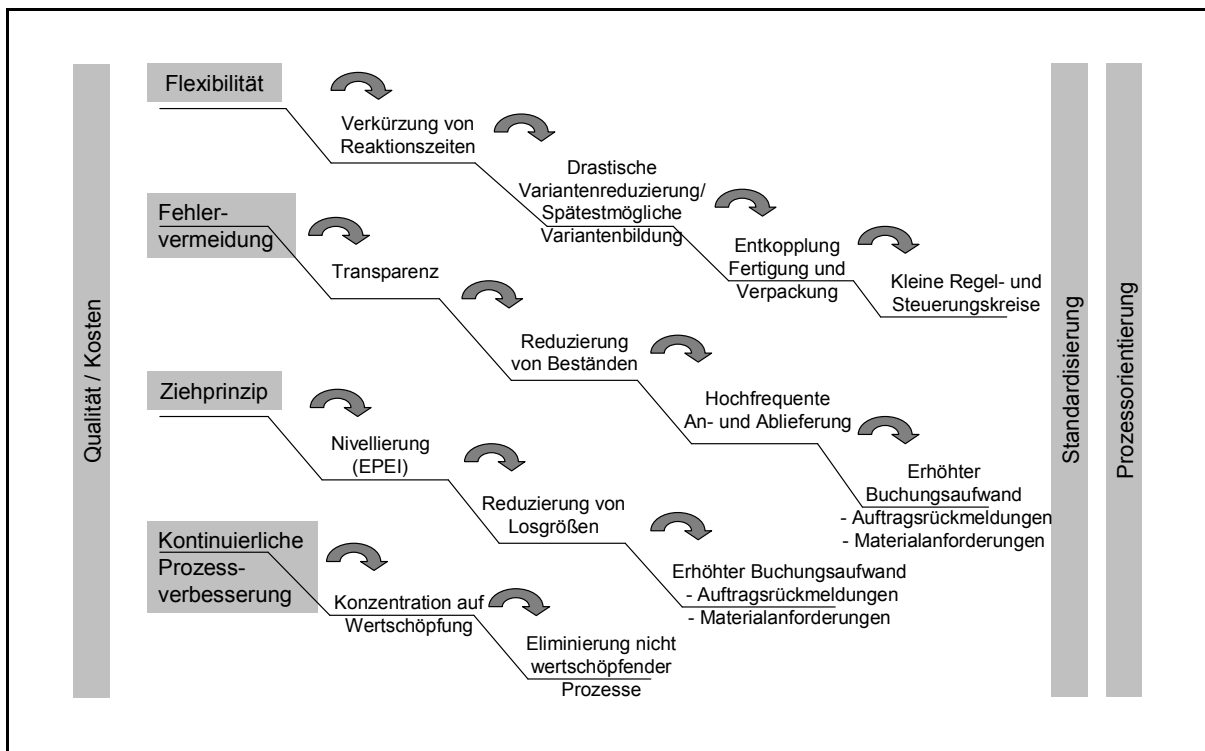


Abb. 6-1: Konsequenzen aus der Einführung der „Lean Production“

Die größte Änderung liegt in der Entkopplung der Fertigungsprozesse von den Verpackungsprozessen: Die Verpackung in kundenspezifische Behälter findet nicht mehr an der Fertigungslinie selbst statt, sondern im neu geschaffenen Packpool, der räumlich und organisatorisch dem Versand zugeordnet wird. An der Fertigungslinie werden die Erzeugnisse ausschließlich in Standardbehälter verpackt.

Dadurch wird die Variantenbildung durch unterschiedliche Kundenverpackungen aus der Fertigung genommen und an das Ende der Prozesskette, den Packpool, gelegt.

Der Packpool wird direkt vom Versand und nicht von der Fertigungssteuerung gesteuert, so dass aus dem bisherigen einzigen großen Regelkreis Fertigung inklusive Verpackung zwei kleine, dynamische Regel- und Steuerungskreise gebildet werden. Innerhalb der beiden Regelkreise ist die Reaktionszeit um ein Vielfaches höher als im großen Regelkreis und die Flexibilität wird damit massiv erhöht. Die einzelnen Regelkreise sowie ihre Beziehungen zueinander sind dargestellt in Abb. 6-2.

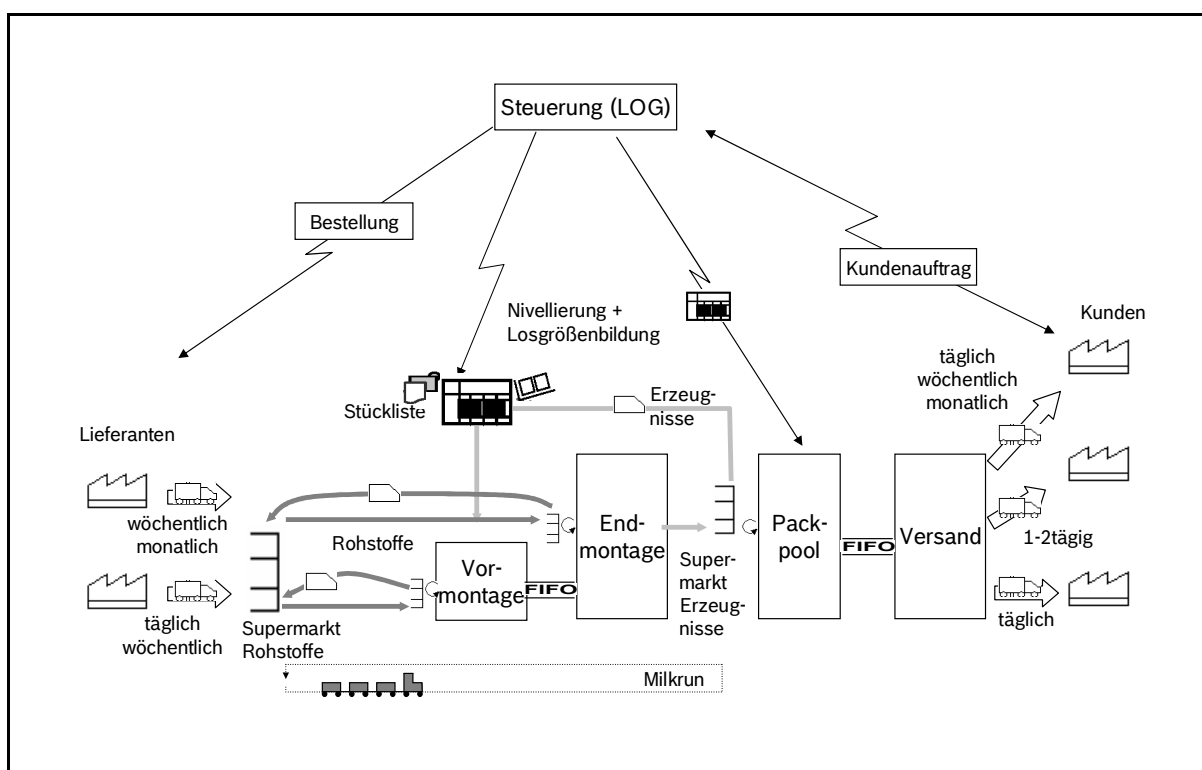


Abb. 6-2: Steuerungskonzept des Anwendungsfalls

Die hochdynamischen Regelkreise zur Steuerung der Fertigung und des Packpools werden nach dem Ziehprinzip mittels Kanbankarten gesteuert. Durch die Variantenreduzierung in der Fertigung ist eine Standardisierung und eine Erhöhung der Anliefer- und Ablieferfrequenzen möglich: Die Ver- und Entsorgung der Fertigung mit Rohstoffen und Erzeugnissen erfolgt nicht mehr palettenweise, sondern in einzelnen kleineren Behältern, so genannten Kleinladungsträgern (KLTs) per „Milkrun“. Ein „Milkrun“ ist ein Transportsystem, das mit einem einfachen Schleppzug in festen kurzen Zyklen Rohstoffe in die Fertigung bringt und Erzeugnisse dort abholt. Dadurch wird eine Steigerung der Reaktionsfähigkeit erreicht und die Bestände im Fertigungsbereich werden gesenkt.

Zielkonflikt Prozesssicherheit / Rückverfolgung und „Lean Production“ / hohe Frequenz

Um die Rückverfolgung zu gewährleisten und damit alle Prozesse von der Planung bis zum Versand durchgängig zu sichern, werden die verschiedenen einzelnen Prozessschritte in einem zentralen ERP-System sowie angegliederten Feinplanungs-, Lagerverwaltungs- und Qualitätssystemen dokumentiert. Diese Buchungen sind erforderlich, um gesetzliche Anforderungen (z. B. Qualitätsnachweis und Rückverfolgbarkeit im Sinne der Produkthaftung oder Bilanz und Jahresabschluss) sowie Kundenforderungen zu erfüllen.

Die Buchungsprozesse erfolgten vor der Prozessumstellung palettenweise, das heißt jede fertig erstellte Palette wurde als Fertigware manuell im ERP-System erfasst. Die erforderlichen Rohstoffe wurden im Vorfeld ebenfalls manuell palettenweise oder auftragsweise bestellt.

Eine Rückmeldung in das zentrale ERP-System dauerte zwischen 30 Sekunden und zwei Minuten, je nach Antwortzeiten des zentralen Servers, der nicht am Standort des Werkes steht. Zusätzlich müssen mit jeder Rückmeldung Belege gedruckt werden, um die bestellten Rohstoffe und gefertigten Erzeugnisse entsprechend zu kennzeichnen.

Bei Umstellung von Paletten auf KLT müssten durch das ERP-System ein Vielfaches an Buchungen verarbeitet werden und die Last auf dem ERP-System würde dementsprechend steigen. Die Buchungsberechtigten wären mit der neuen Anzahl an manuellen Buchungen überfordert, die Buchungen würden zeitnah erfolgen und der physische Materialfluss würde den Informationsfluss im System überholen, was fatale Auswirkungen auf die Steuerung und Transparenz der Prozesse zur Folge hätte.

Dieser Administrationsaufwand hätte eine massive Erhöhung der nicht-wertschöpfenden Tätigkeiten zur Folge und stünde somit im Widerspruch zu den Projektzielen Flexibilitätssteigerung und Kostenreduzierung. Dieser Zielkonflikt ist dargestellt in Abb. 6-3.

Wie dieser Zielkonflikt zwischen Steigerung der Flexibilität und Förderung der Prozesssicherheit gelöst wird, ohne die Kosten zu erhöhen, wird dargestellt unter Anwendung des in Kap. 5 beschriebenen Gestaltungswürfels.

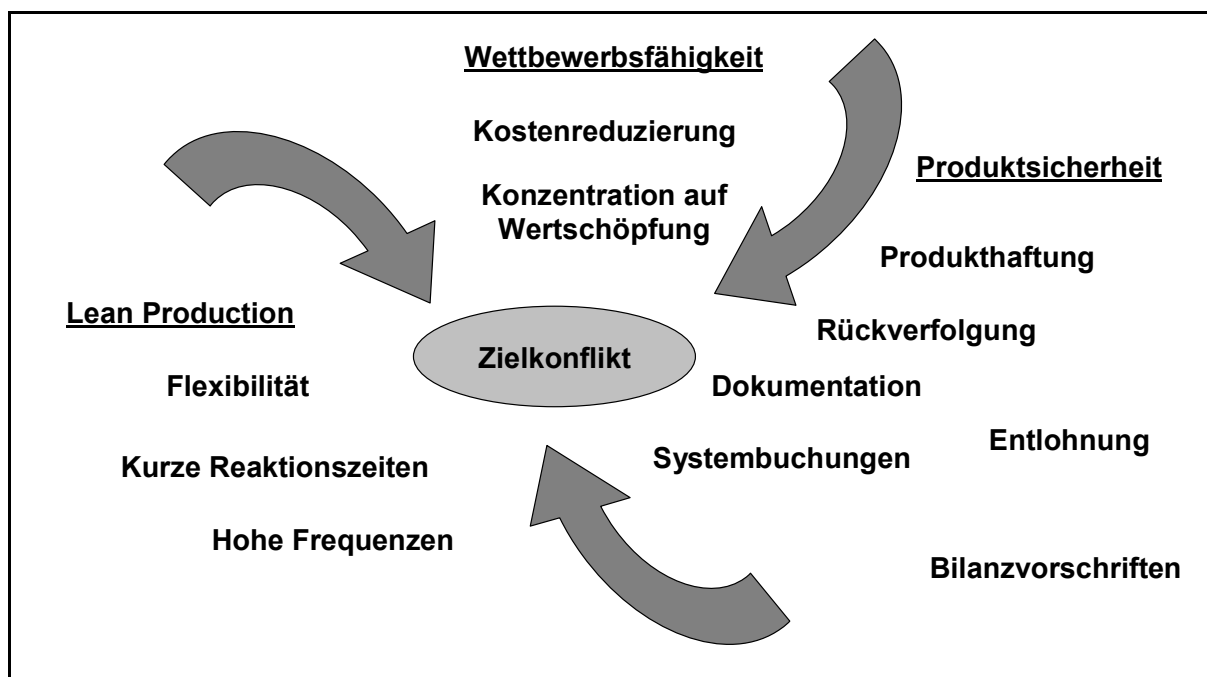


Abb. 6-3: Zielkonflikt „Lean Production“ und Rückverfolgung

6.2 Objekt- und Systemdefinition

Als Zielobjekt, das zu einem wissensinkorporierten Objekt gestaltet wird, wurde die Kanbankarte identifiziert, mit der die Fertigung gesteuert wird (Abb. 6-4).

Eine Kanbankarte enthält folgende Daten:

- Materialbezeichnung (Sachnummer und Bezeichnung)
- Menge (Wert der Kanbankarte, hier: Standard Number of Parts = SNP)
- Quelle (hier: Fertigungslinie)
- Ziel (Kunde, hier: „Supermarkt“ vor Packpool)

Die Kanbankarte wird mit einem Transponder (einem elektronischen Datenspeicher, der mittels Funk ausgelesen und beschrieben werden kann) ausgestattet (Abb. 6-4). Auf dem Transponder werden während des Kartenumlaufs Fertigungs-, Qualitäts- und Logistikdaten gespeichert, die für die Buchungen im ERP-System und im Lagerverwaltungssystem (LVS) erforderlich sind. Dadurch lassen sich die Buchungen automatisieren: Statt manuellem Einbuchen ins ERP-System erfolgt die Dateneingabe automatisiert per Scannen der Kanbankarte. Da die Kanbankarte mehrmals zur Fertigungssteuerung eingesetzt wird, ist es erforderlich, im Leben der Kanbankarte variable Bewegungsdaten, wie z. B. Fertigungsdatum, zu aktualisieren. Diese Daten können nicht statisch auf der Kanbankarte hinterlegt werden und die Anwendung ist mit Barcode allein nicht zu realisieren.

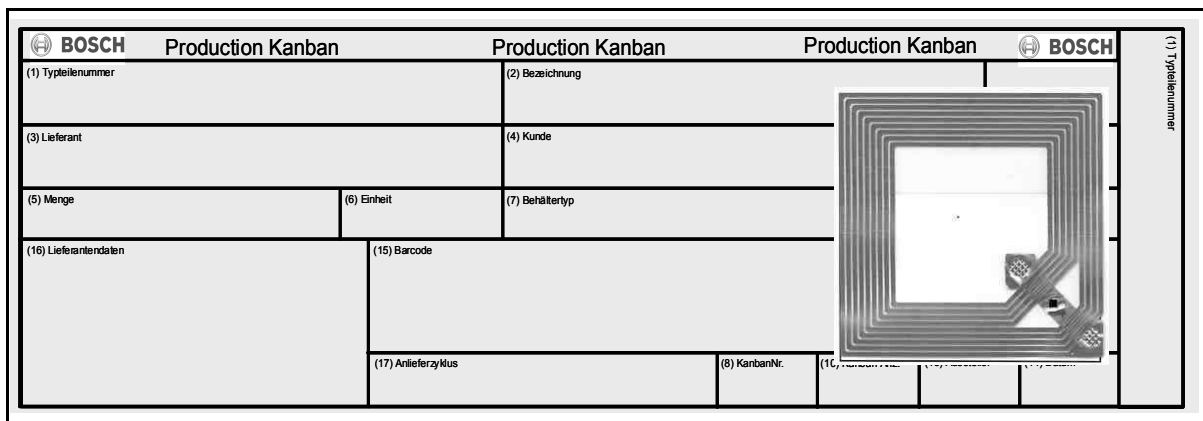


Abb. 6-4: Zielobjekt Produktions-Kanbankarte mit Transponder

Das System wird beschrieben durch den Informations- und Materialfluss und wird begrenzt durch den Umlauf der Kanbankarte (Abb. 6-5).

Die Kanbankarte als Zielobjekt dient der Steuerung der Fertigung und verknüpft folgende Prozessschritte:

- Produktionsfeinplanung
- Vor- und Endmontage
- Einlagerung (interner „Milkrun“)
- Verpacken.

und hat entscheidenden Einfluss auf Bestände, An- und Ablieferfrequenzen und Datenqualität [Ohno89].

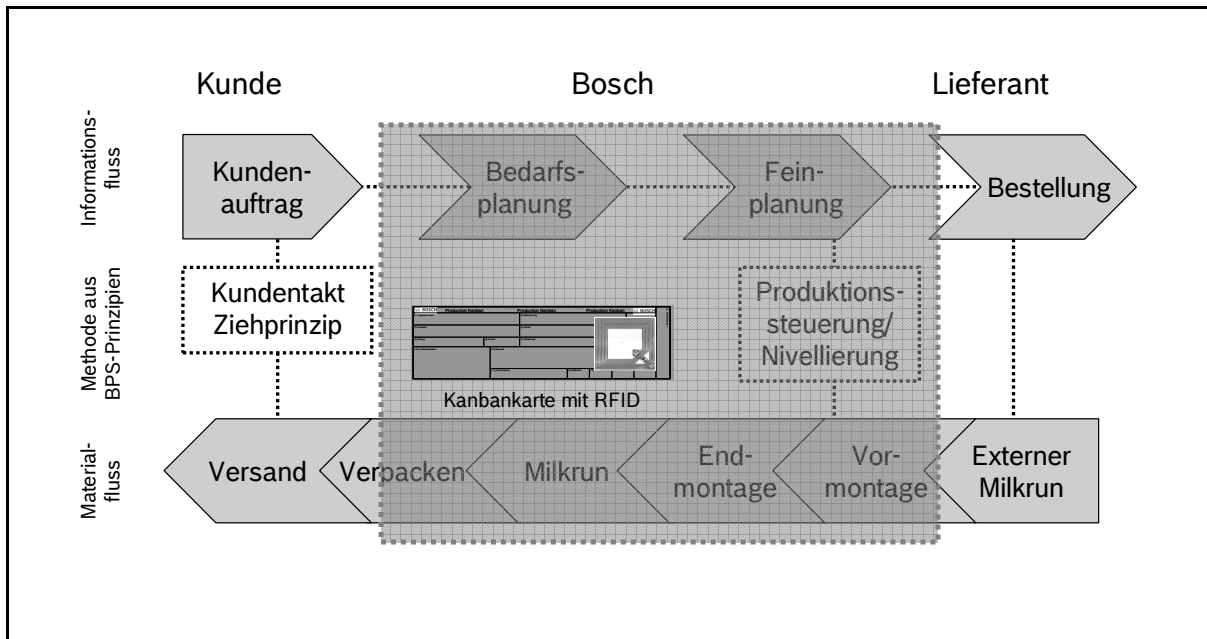



Abb. 6-5: Systemgrenze des Anwendungsfalls

Anwendungsmodell

Das Anwendungsmodell wird anhand der Objekt- und Systemdefinition aus dem Gestaltungswürfel „Smart Cube“  abgeleitet:

Die Kanbankarte, auf der Daten elektronisch gespeichert und aktualisiert werden, repräsentiert auf der x-Achse ein wissensinkorporiertes Objekt erster Stufe ($x = 1$), „Daten am Objekt“. Erkennen der Umgebung ($x = 2$) und situative Reaktion ($x = 3$) sind für die Kanbankarte nicht erforderlich.

Die Kanbankarte steuert Fertigungs- und Logistikprozesse innerhalb einer einzelnen, geschlossenen Fabrik. Dies wird auf der y-Achse dargestellt durch das Fabrikssystem ($y = 2$).

Die elektronischen Daten, die von der Kanbankarte in unterschiedlichen Informationssystemen genutzt werden, werden auf der z-Achse dargestellt durch die vernetzte Informationsstruktur ($z = 3$).

Somit liegt das Anwendungsmodell $\{1 - 2 - 3\}$ zugrunde (Abb. 6-6).

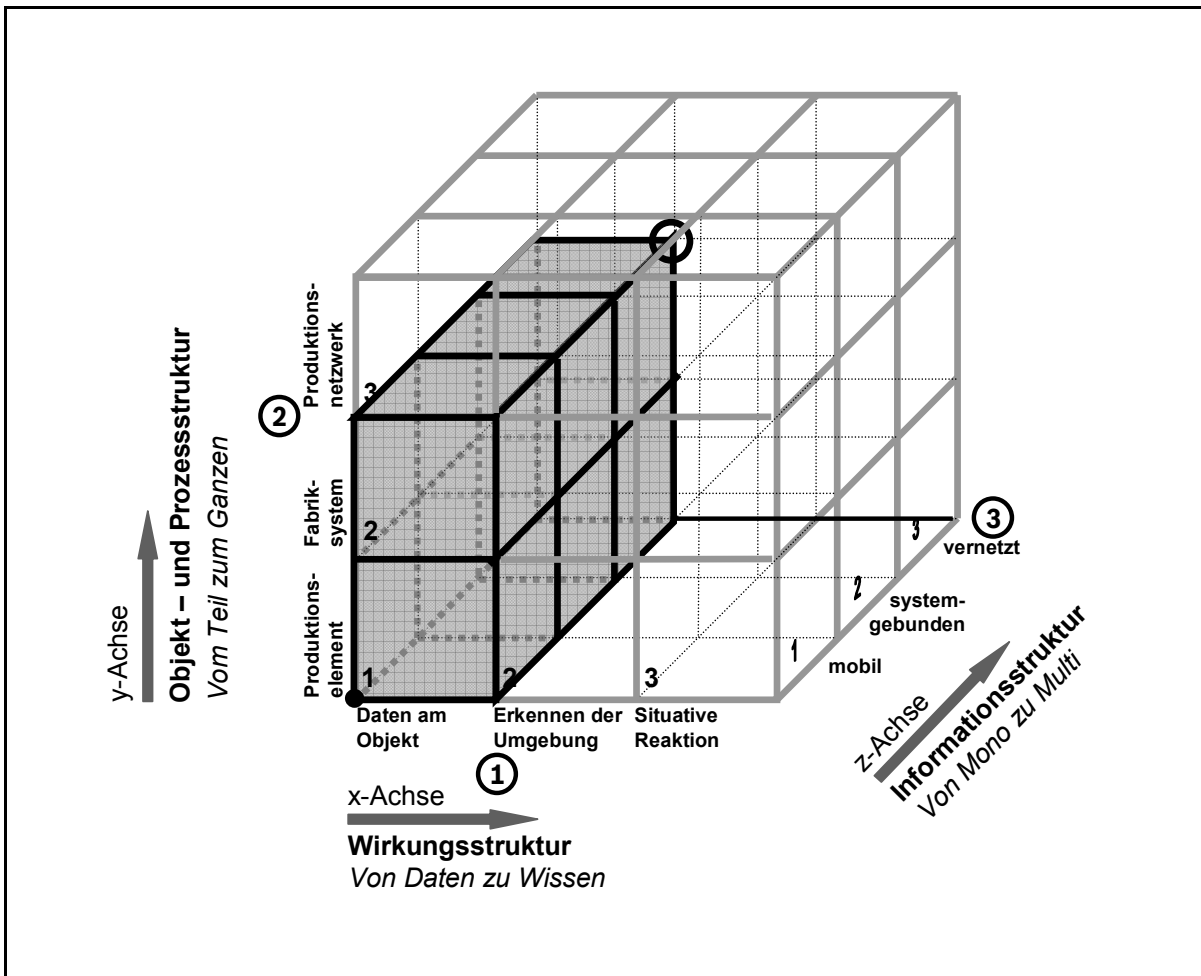


Abb. 6-6: Anwendungsmodell des Anwendungsfalls

6.3 Vorgehen

Innerhalb eines Jahres erarbeitete eine Projektorganisation die Neugestaltung der Prozesse. Die Projektorganisation bestand aus den Teams der Teilprojekte

- Kunden: Hier wurden Prozesse, an denen Kunden unmittelbar beteiligt sind, neu gestaltet
- Produktion: Hier wurden die fertigungsinternen Prozesse neu gestaltet
- Lieferanten: Hier wurden die lieferantenspezifischen Prozesse neu ausgestaltet.

Sowie aus den Teams verschiedener Querschnittsfunktionen, die die Vorgaben für alle Teilprojekte erstellt haben:

- Steuerungssystematik
- Schulung.

Die Idee und das Konzept, Systembuchungen per Scannen der Kanbankarte zu automatisieren, wurde vom Team der Querschnittsfunktion „Steuerungssystematik“ ausgearbeitet.

Das Vorgehen richtete sich nach dem in Kap. 5.5 dargestellten Umsetzungsmodell mit den Phasen

- Analyse,
- Konzeption,
- Bewertung,
- Implementierung und
- Sicherung.

Teilweise wurden Teilschritte der einzelnen Phasen zusammengefasst und gleichzeitig bearbeitet. Des Weiteren wurden wegen des großen Projektumfangs die Phase Implementierung um die eigenständigen Schritte Schulung und Pilotbetrieb erweitert.

Das angepasste Vorgehensmodell ist dargestellt in Abb. 6-7.

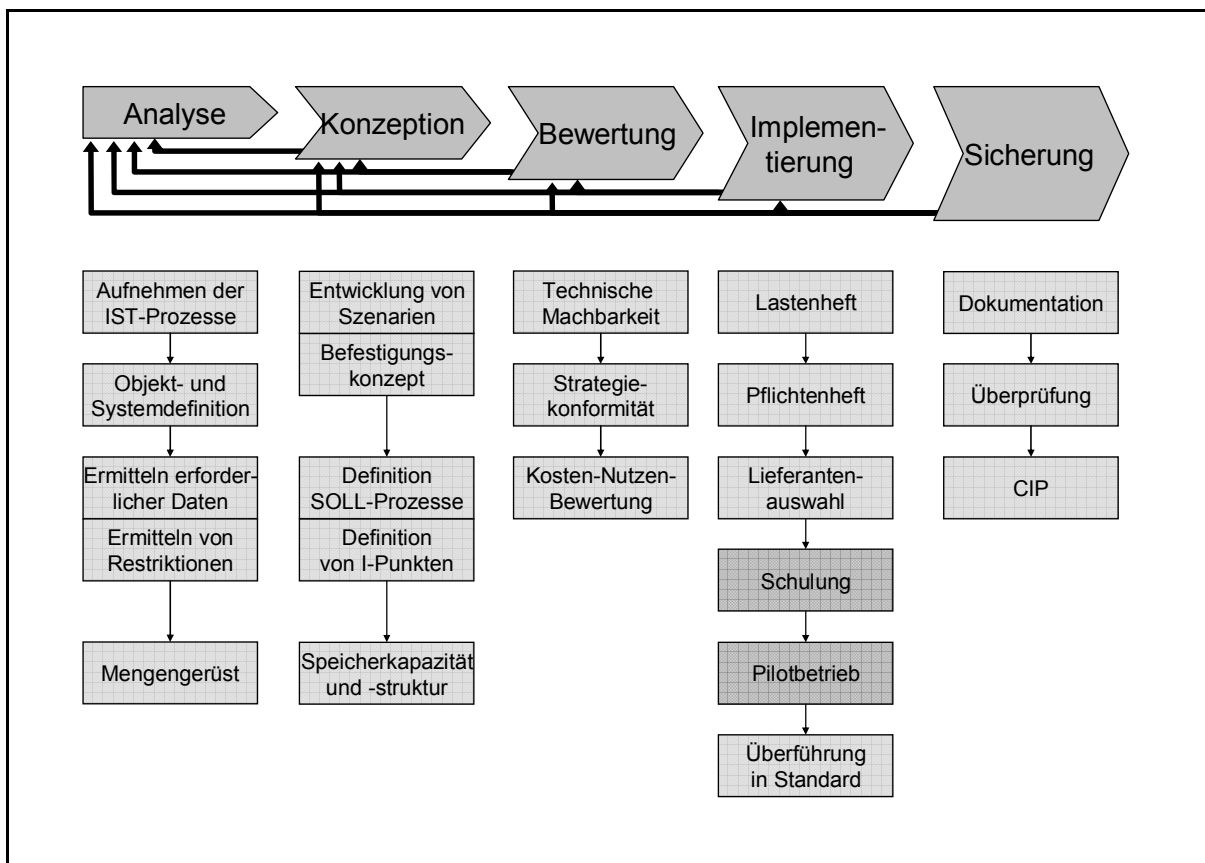


Abb. 6-7: Angepasstes Umsetzungsmodell

Analyse

In der Analyse wurden alle buchungsrelevanten IST-Prozesse aufgenommen und dokumentiert. Darauf aufbauend wurden das zu gestaltende System und die darin enthaltenen Objekte definiert (Kap. 6.2).

Anschließend wurden die in den IST-Prozessen erforderliche Daten und Restriktionen ermittelt. Darauf aufbauend wurde ein Mengengerüst erstellt, das die Anzahl der geplanten Veränderungen wiedergibt.

Aus der IST-Analyse wurden ergänzend zur Ausgangssituation (Kap. 6.1) und zur Objekt- und Systemdefinition (Kap. 6.2) folgende Erkenntnisse gewonnen:

- In den unterschiedlichen Informationssystemen ERP und LVS sind Buchungsprozesse erforderlich, um gesetzliche, kundenspezifische und konzernstrategische Anforderungen zu erfüllen. Sie können nicht eliminiert werden.
- Zur Rückverfolgung sind unveränderbare Stammdaten sowie veränderbare Bewegungsdaten notwendig.
- An den Buchungen direkt beteiligte organisatorische Bereiche sind die Fertigung und die Logistik. Indirekt betroffen sind die Qualitätssicherung, die Buchhaltung und das Controlling sowie die Lohnabteilung.
- Durch die Erhöhung der Frequenz der An- und Ablieferung in der Produktion erhöht sich das Buchungsaufkommen.
- Das Automatisieren der Buchungsvorgänge verhindert ein Ansteigen des Anteils nicht-wertschöpfender Tätigkeiten am Gesamtherstellungsprozess.
- Die bestehende Systemlandschaft kann die Anforderung, hochfrequente, automatisiert Buchungen durchzuführen, nicht bewältigen, und es ist ein neues Subsystem („Middleware“) notwendig, um die Buchungen automatisieren zu können. Vom Subsystem werden die Buchungen der einzelnen Karten gebündelt an das ERP-System übergeben, um die Systemlast gering zu halten.

Konzeption

In der Phase der Konzeption wurden die Erkenntnisse der Analyse und erste Ideen zu konkreten Szenarios innerhalb des Anwendungsmodells verdichtet. Dazu ließen sich zwei Alternativen mit unterschiedlichen Befestigungskonzepten aufstellen:

- Die Kanbankarten mit Transponder auszustatten
- Die Behälter (KLT) mit Transpondern auszustatten.

Da die unterschiedlichen Szenarios sehr stark mit dem spezifischen Befestigungskonzept verbunden sind, wurden die beiden entsprechenden Teilschritte zusammengefasst.

Tab. 6-1: Alternative Szenarios des Anwendungsfalls

Szenario Kriterium	Behälter (KLT) mit Transponder	Kanbankarte mit Transponder
Beschreibung	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Mehrwegbehälter werden mit Transpondern ausgestattet ▪ Kanbankarten bleiben unverändert. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Transponder wird mit Produktions-Kanbankarte fest einlaminiert ▪ Layout und visueller Text auf Kanbankarte bleiben fest und unveränderbar.
Nachteile	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Behälter befinden sich teilweise in offenem Kreislauf zu Kunden und Lieferanten. ▪ Es sind mehrere unterschiedliche Behälter für verschiedene Produkte im Einsatz. ▪ Auftragsdaten müssen während der Fertigung auf den Behälter geschrieben werden, da die Behälter im Vorfeld keinem bestimmten Fertigungsauftrag zugeordnet werden. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Verwechslungs- und Verliergefahr, da Kanbankarte nur lose mit dem Produkt verbunden ist (Karte wird im Behälter eingesteckt)
Vorteile	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Keine Veränderung der Kanbankarten notwendig. ▪ Behälter ist fest mit Produkt verbunden. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Kanbankarte ist für alle Produkte einheitlich. ▪ Einfache Anbringung des Transponders an der Kanbankarte. ▪ Kanbankarten sind in einem kleinen geschlossenen Kreislauf (Kanbankarten werden wieder verwendet). ▪ Kanbankarten können bereits bei der Produktionsplanung mit Auftragsdaten beschrieben werden.

Der SOLL-Prozess wurde in einer Prozessbeschreibung dargestellt. Die Prozessbeschreibung wurde unter Verwendung einer standardisierten Formatvorlage für Flussablaufdiagramme dokumentiert (Kap. 9.3).

Basierend auf dem SOLL-Prozess wurden die einzelnen Informationspunkte (I-Punkte) entlang der Prozesskette platziert.

Die Prozessänderungen sind beschrieben in Kap. 6.4.

Bewertung

Aus den beiden verschiedenen Szenarios wurde das Szenario, die Kanbankarte mit Transponder auszustatten, ausgewählt. Argumente für diese Entscheidung waren:

- Kanbankarten sind Umlaufbestand des Werkes, das heißt die Transponder werden nicht im Einwegverfahren verwendet, sondern befinden sich in einem Kreislauf. Die Anschaffungskosten sind einmalig und nicht laufend.
- Der Kanbanumlauf ist begrenzt auf das Werk, während die Standardbehälter auch zu Kunden und Lieferanten gesendet werden. Dadurch ist der Bestand der Kanbankarten kleiner als die Anzahl der im Umlauf befindlichen KLTs. Des Weiteren gibt es in der Automobilindustrie viele Poolbehälter, bei denen per Definition nicht gewährleistet ist, dass sie ausschließlich vom Eigentümer und dessen Partnern genutzt werden.

Als mögliche Technologien wurden die verschiedenen RFID-Technologien betrachtet. Für diese Anwendung wurde die HF-Technologie (13,56 MHz) aus folgenden Gründen ausgewählt:

- Standardisierung / Kompatibilität: 13,56 MHz ist in ISO 15693 standardisiert und garantiert Herstellerunabhängigkeit [DIN01a, DIN01b, DIN06].
- Funkreichweite: Reichweiten von ca. 10 cm sind für diesen Anwendungsfall ausreichend.
- Verfügbarkeit: Die 13,56-MHz-Technologie ist unter den RFID-Technologien am weitesten entwickelt und wurde bereits in vielen Anwendungen erfolgreich eingesetzt. Es gibt zahlreiche Anbieter.
- Energiebedarf: Aufgrund der geringen erforderlichen Funkreichweite sind passive Transponder (ohne Batterie) ausreichend.

Implementierung

Das entwickelte Konzept wurde in folgenden Phasen implementiert:

- Erstellen eines Hardware-Lastenheftes aufgrund der Technologiebewertung
- Erstellen eines Software-Lastenheftes
- Entwicklung der Software gemäß Lasten- und Pflichtenheft
- Installieren der Software:
- Schrittweises Vorgehen beim Roll-Out verschiedener Funktionalitäten
- Anpassung hinsichtlich neuer Anforderungen und gewonnener Erkenntnisse während der Roll-Out-Phase und des Pilotbetriebes.

- Installieren der Hardware: Die Fertigungslinien, die Büro-Arbeitsplätze der Erzeugnisplaner und die Packplätze im Packpool wurden mit RFID-Schreib-Lesegeräten ausgestattet. Alle Schreib-Lesegeräte sind über das Intranet und eine „Middleware“ mit den Informationssystemen vernetzt.
- Schulung: Die neuen Prozesse wurden in einem eigens entwickelten Schulungskonzept den betroffenen Mitarbeitern vermittelt.
- Umstellen einer Pilotlinie und sammeln der Erfahrungen des Pilotbetriebs.
- Stufenweises Umstellen aller Fertigungslinien im Werk auf die neuen Prozesse.


Sicherung

Alle neuen Prozessdarstellungen und Schulungsunterlagen wurden von den Teams der verschiedenen Teilprojekte anhand standardisierter Vorlagen erstellt. Diese Beschreibungen sind über das Intranet allen Mitarbeitern des Unternehmens zugänglich. Sie dienen als Nachschlagewerk und zur Prozessunterweisung.

Die im Pilotbereich und im laufenden Betrieb gewonnenen Erfahrungen wurden gesammelt. Verbesserungen wurden auch nach der Implementierungsphase eingeführt.

Der Support dieser neuen Prozesse ist planmäßig in der Projektphase in die Linienfunktion übergegangen, so dass die Kompetenz für die neuen Prozesse bei den Prozessverantwortlichen liegt.

6.4 Prozessveränderungen

Im folgenden Abschnitt werden die neuen Prozesse beschrieben, die in der Phase der Konzeption (vgl. Kap. 5.5.3) mit Hilfe des Gestaltungswürfels „Smart Cube“  entwickelt wurden. Es wird unterschieden zwischen den Teilprozessen Produktions-Kanbanumlauf und Materialanforderung.

Produktions-Kanbanumlauf

Die Kanbankarten befinden sich in einem geschlossenen Kreislauf zwischen Fertigung und Logistik (Abb. 6-8).

Mittels eines Subsystems schreibt der Erzeugnisplaner aus der Logistik vor dem Stecken der Plantafel Fertigungsauftragsdaten auf den Transponder der Kanbankarte. Dazu wird die Karte auf ein Schreib-Lesegerät gelegt, das an das Subsystem angeschlossen ist.

Der buchungsberechtigte Mitarbeiter in der Fertigung zieht diese Karte zu den entsprechenden Zeiten aus der Plantafel. Statt wie bisher am PC eine Maske im ERP-System aufzurufen und die Auftragsdaten manuell einzutippen, hält er die Kanbankarte kurz an ein Schreib-Lesegerät, das direkt an der Plantafel bzw. am ersten Arbeitsplatz der Fertigungslinie befestigt ist: Das Subsystem liest die Auftragsdaten aus und sendet diese sicher ins ERP-System. Der ganze Vorgang dauert für den Mitarbeiter nur noch wenige Sekunden, da er nicht mehr auf die Antwort des ERP-Systems warten muss. So werden die zeitaufwändigen Buchungen auf ein Minimum reduziert und der Mitarbeiter kann sich auf seine eigentliche Aufgabe, den wertschöpfenden Fertigungsprozess, konzentrieren.

Wenn ein Behälter mit gefertigten Erzeugnissen gefüllt wurde, wird die Kanbankarte an diesem befestigt. Es sind keine weiteren Belege erforderlich, die auftragspezifischen Daten werden auf dem Transponder der Kanbankarte gespeichert.

Der Fahrer des „Milkrun“ holt den KLT in der Fertigung ab und bringt ihn in den „Supermarkt“, der räumlich direkt vor dem Versandbereich steht. Dort liest er die Daten vom Transponder der Kanbankarte aus und bekommt vom Lagerverwaltungssystem den richtigen „Supermarktplatz“ zugewiesen, in den er anschließend den KLT einlagert. Durch diese Unterstützung erhalten die neuen Logistikprozesse ein Höchstmaß an Sicherheit.

Der Versand-Mitarbeiter entnimmt KLTs aus dem „Supermarkt“ entsprechend seinem aktuellen Verpackungsauftrag. Bevor die KLTs im Packpool zu einem Gebinde zusammengepackt und an die Kunden geschickt werden, wird die Kanbankarte durch den Mitarbeiter vom KLT abgenommen. Auch hier werden die Transponderdaten erneut ausgelesen und mit dem aktuellen Verpackungsauftrag verglichen. Somit wird sichergestellt, dass der richtige KLT in das richtige Gebinde eingeht und letztendlich an den Kunden geschickt wird, der die Produkte bestellt hat.

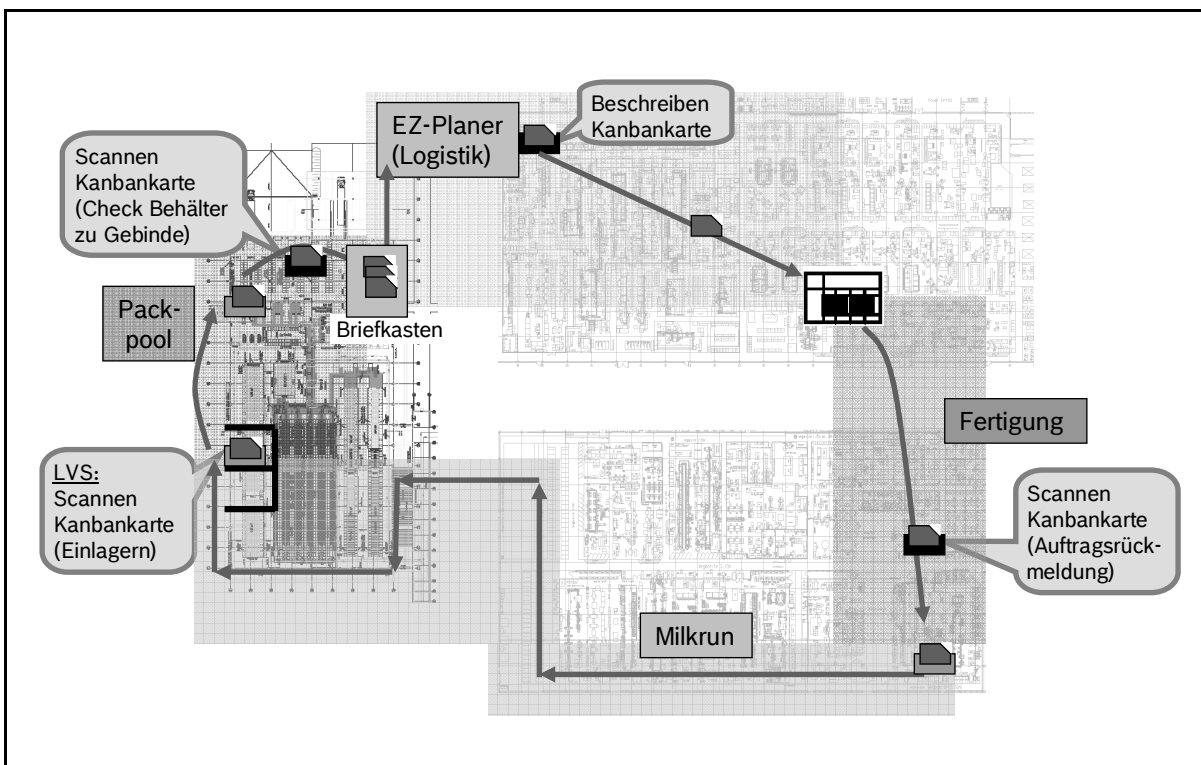


Abb. 6-8: Produktions-Kanbanumlauf

Materialanforderung

Im Werk gibt es innerhalb der Fertigung zwei Steuerungskonzepte für Rohstoffe (Abb. 6-9):

- Verbrauchssteuerung für Teile mit festem Platz und definiertem Bestand an der Fertigungslinie (Renner)
- Bedarfssteuerung für Teile ohne festen Platz an der Fertigungslinie (Exoten).

Wenn ein Mitarbeiter verbrauchsgesteuerte Rohstoffe aus dem „Supermarkt“ an der Fertigungslinie entnimmt, werden diese Rohstoffe nach dem Verbrauch der Teile vom Lager in den „Supermarkt“ nachgeliefert. Der Mitarbeiter scannt dazu beim Leerwerden des Behälters einen Barcode. Diese Information wird an den „Milkrun“ übermittelt, der die Teile beim nächsten Zyklus in den „Supermarkt“ der Fertigung bringt.

Bekanntermaßen gibt es in der Fertigung nie genügend Platz, um für alle Rohstoffe einen „Supermarktplatz“ zu schaffen. Vor allem Exotenteile, das heißt Rohstoffe, die selten benötigt

werden und viel Platz benötigen, werden bedarfsgesteuert angeliefert: Das bedeutet der „Milkrun“ bringt genau die Menge an Teilen, die in den nächsten 30 Minuten benötigt wird, ohne dass ein Sicherheitsbestand in der Fertigung vorhanden ist. Die Information, welche Teile in welcher Menge benötigt werden, wird durch den Fortschritt im Produktionsprogramm (visualisiert in der Plantafel) festgelegt. Durch das Scannen der Kanbankarten ist jederzeit bekannt, an welcher Stelle im Produktionsprogramm man sich aktuell befindet.

Damit der Mitarbeiter an der Linie nicht alle 30 Minuten berechnen muss, wie viele Teile zu bestellen sind, werden diese automatisch für die jeweils nächsten 30 Minuten vom „Milkrun“ angeliefert.

Manuelle Eingriffe ins System sind nur dann erforderlich, wenn der Standardprozess verlassen wird, wenn z. B. die Fertigungsreihenfolge durchbrochen wird. Es ist daher umso wichtiger, dass die geplante Fertigungsreihenfolge eingehalten wird, damit diese Sonderprozesse vermieden werden können und die Fertigung sicher mit dem richtigen Material in der richtigen Menge versorgt wird und ruhig ablaufen kann.

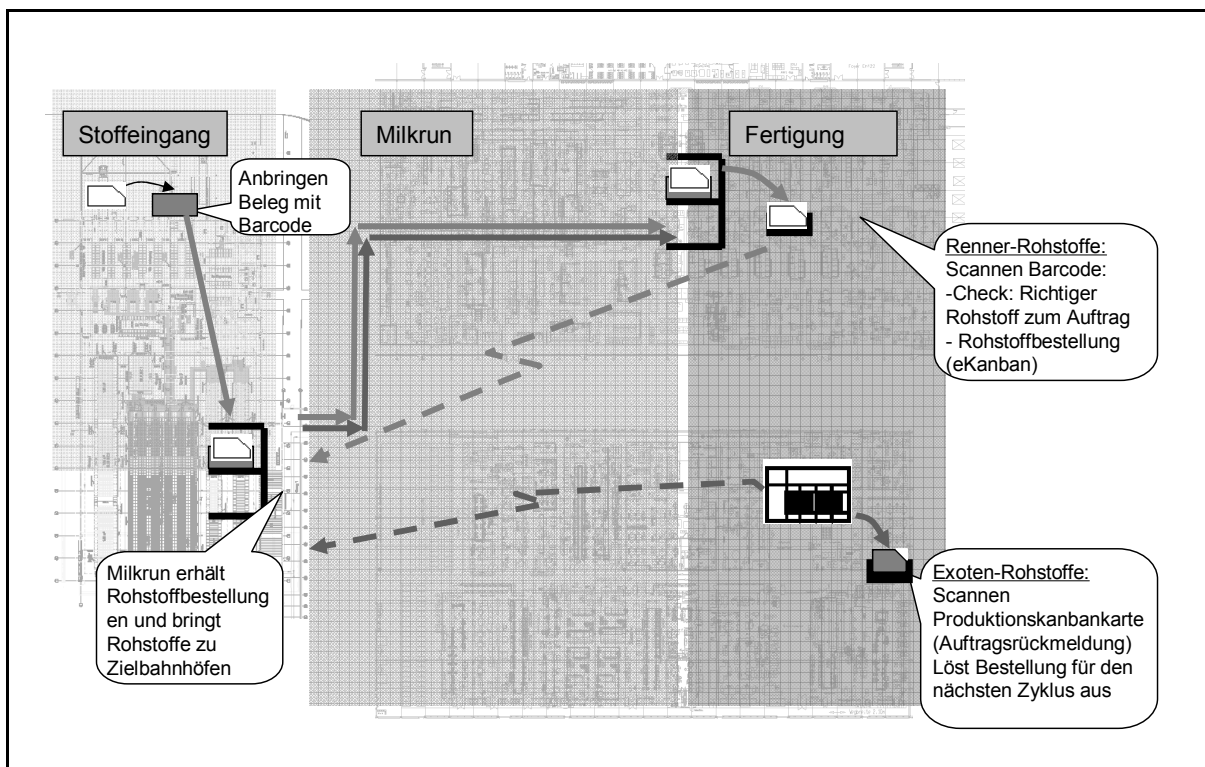




Abb. 6-9: Materialanforderung

6.5 Erfahrungen und Ergebnisse des Anwendungsfalls

Durch die Anwendung des Gestaltungswürfels „Smart Cube“  im Projekt „BPS-Modellwerk“ konnten folgende Ergebnisse erzielt werden (Abb. 6-10):

- Der Gestaltungswürfel „Smart Cube“  wurde zur System- und Objektbestimmung eingesetzt.
- Erhöhung der Flexibilität: Durch die Erhöhung der An- und Ablieferfrequenz und Verringerung der An- und Abliefermengen wurde die Reaktionsfähigkeit um den Faktor vier erhöht, in dem die Zykluszeiten auf ein Viertel reduziert wurden.

- Standardisierung der Abläufe: Die neuen Scanprozesse sind für alle Fertigungsbereiche innerhalb des Werkes gleich. Damit wurde eine Vereinheitlichung für diese Prozessschritte erreicht, die in Zukunft auch die Weiterverwendung von Hardware oder den flexiblen Personaleinsatz in anderen Fertigungsbereichen ermöglicht. Alle neuen Prozesse wurden in einer standardisierten Vorlage dokumentiert und sind für die Mitarbeiter über das unternehmensinterne Intranet abrufbar.
- Bestandsreduzierung in der Fertigung: Durch die Erhöhung der An- und Ablieferfrequenz und Verringerung der An- und Abliefermengen wurden die Rohstoff- und Erzeugnisbestände innerhalb der Fertigung um ein Vielfaches reduziert. Die Packstoffbestände in der Fertigung wurden nicht nur in der Menge, sondern auch in der Vielfalt reduziert. Durch den Einsatz von Standardbehältern wurde die Variantenanzahl drastisch reduziert.
- Bestandsreduzierung im Lager aufgrund höherer Frequenzen.
- Entlastung der Fertigung von nicht-wertschöpfenden Tätigkeiten durch Vermeidung und Verringerung des manuellen Buchungsaufwandes.
- Fehlervermeidung durch Verzicht auf manuelle Falscheingaben trägt zur Datenqualität in den Informationssystemen bei.

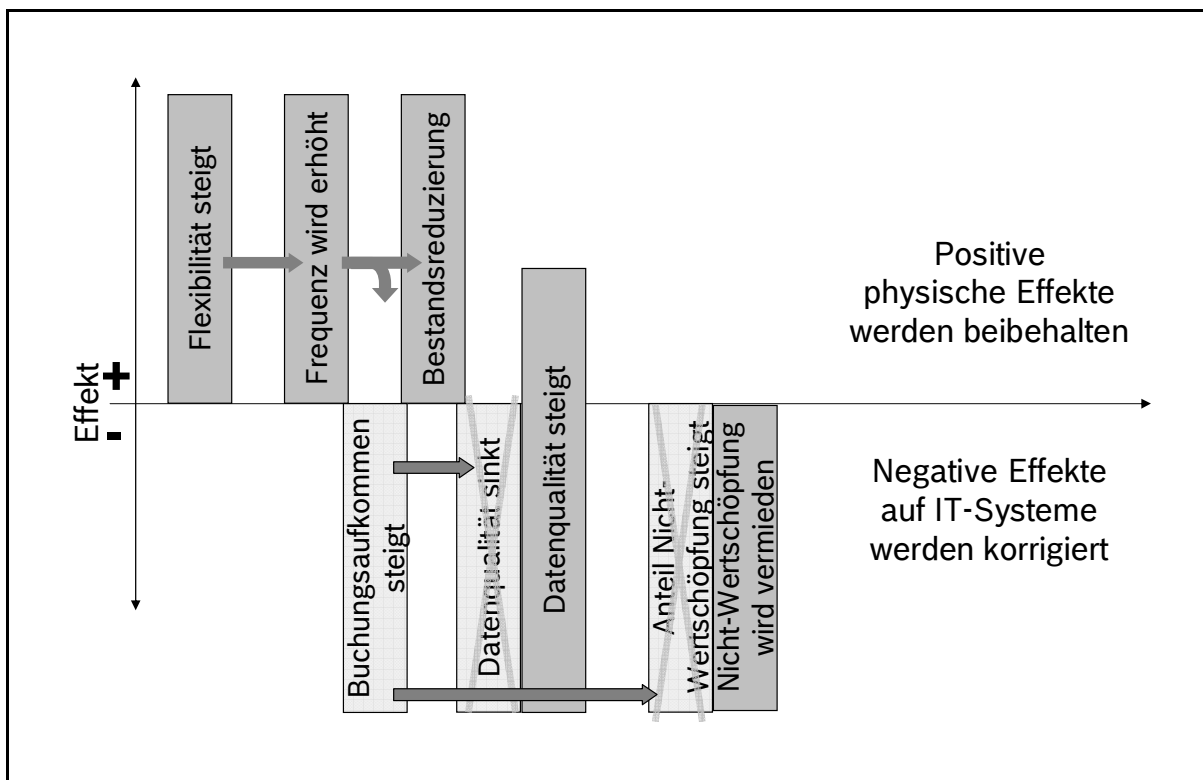




Abb. 6-10: Effekte durch den Einsatz von WIKO zur Unterstützung von „Lean Production“

7 Zusammenfassung und Ausblick


Unternehmen sind heute mit einem globalen Wettbewerb und großen Herausforderungen konfrontiert, wie z. B. kurzen Produktlebenszyklen oder hohen Anforderungen an die Prozess- und Ergebnissicherheit (Kap. 3.1). Verschiedene daten- und technologiegetriebene sowie prozessorientierte Ansätze der Produktionsgestaltung versuchen, Lösungen für Produktionssysteme zu entwickeln, um diese Herausforderungen zu bewältigen und im globalen Wettbewerb bestehen zu können. Jede einzelne Richtung der Produktionsgestaltung weist dabei Vorteile und Defizite auf (Kap. 3.3).


Durch „Smart Production Systems“ werden die Grundideen der einzelnen Ansätze, die bisher als unvereinbar galten (Kap. 3.4), zusammengeführt. Dadurch können einzelne Defizite ausgeglichen werden, ohne auf die bekannten Vorteile zu verzichten. Der Grundgedanke von „Smart Production Systems“ ist es, „wissensinkorporierte Objekte“ in Produktionsprozessen einzusetzen, um die Abläufe jederzeit nachvollziehbar und damit das zugehörige Produktionssystem sicher, effizient und flexibel zu gestalten. Wissensinkorporierte Objekte stellen dabei Produktionsobjekte dar, die neben ihrer eigentlichen Funktion informationstechnische Funktionen besitzen, mittels derer sie Daten speichern und wieder bereitstellen können.

Der Einsatz wissensinkorporierter Objekte in „Smart Production Systems“ kann mit Hilfe des Konzepts Gestaltungswürfels „Smart Cube“  strukturiert analysiert, geplant, konzeptioniert, bewertet, implementiert, genutzt und gesichert werden.


Das Konzept des Gestaltungswürfels „Smart Cube“  wird durch ein Organisations-, ein Referenz-, ein Umsetzungsmodell und mehrere spezifische Anwendungsmodelle beschrieben (Kap. 5):

- Das **Organisationsmodell** erläutert als Ansatzpunkt von „Smart Production Systems“ die Stellung des Informationsflusses und Materialfluss sowie den Zusammenhang zwischen Datenmenge und Entscheidungsreichweite innerhalb einer Produktionsorganisation.
- Das **Referenzmodell** wird aus den drei räumlichen Achsen Wirkungs-, Objekt- und Prozess- sowie Informationsstruktur aufgebaut. Es erfüllt folgende Aufgaben:
 - Es beschreibt die grundsätzlichen Ausprägungen von Wirkungs-, Objekt- und Prozess- sowie Informationsstrukturen und deren Kombinationsmöglichkeiten innerhalb von Produktionssystemen.
 - Es erläutert die Zusammenhänge zwischen Technologie-, Logistik- und Kommunikationskomplexität und ermöglicht damit die Einordnung von spezifischen Produktionssystemen in das Referenzmodell.
 - Mit den verschiedenen Koordinaten der einzelnen Achsen liefert es eine Systematik zur Bezeichnung der verschiedenen möglichen Kombinationen, die es ermöglicht, Anwendungsmodelle aus dem Referenzmodell abzuleiten.
- Die **Anwendungsmodelle** konkretisieren das Referenzmodell hinsichtlich der in einem Produktionssystem enthaltenen Objekte und Prozesse. Aufgrund der verschiedenen möglichen Kombinationen der Ausprägungen der einzelnen Strukturen im Referenzmodell lassen sich 27 verschiedene Anwendungsmodelle bilden. Hinsichtlich der Auswahl eines geeigneten Anwendungsmodells für ein Produktionssystem konnten folgende Schlussfolgerungen gezogen werden:

- Die Technologien, die Produktionsobjekte in wissensinkorporierte Objekten verwandeln, sind bereits für die Modelle des Schichtenraums „Daten am Objekt“ ($x = 1$) einsatzbereit.
- Für die Modelle des Schichtenraums „Erkennen der Umgebung“ ($x = 2$) gibt es einige Pilotanwendungen
- Für die Modelle des Schichtenraums „Situative Reaktion“ ($x = 3$) sind derzeit nur Szenarios darstellbar.
- Das **Umsetzungsmodell** beschreibt das Vorgehen bei der Gestaltung von Produktionssystemen mit Hilfe des Gestaltungswürfels „Smart Cube“ .

Am Beispiel eines Neugestaltungsprojektes in einem Unternehmen aus der Automobilzulieferindustrie wurde gezeigt, wie mit Hilfe des entwickelten Konzeptes Gestaltungswürfel „Smart Cube“  der Einsatz von wissensinkorporierten Objekten systematisch gestaltet werden kann (Kap. 6):

- Mit der Gestaltung von Kanbankarten zu wissensinkorporierten Objekten konnte der manuelle Buchungsaufwand minimiert und der Anteil nicht-wertschöpfender Tätigkeiten klein gehalten werden.
- Mit Hilfe des Einsatzes wissensinkorporierter Objekte in einem Fabrikssystem konnten Zielkonflikte zwischen Sicherheit und Effizienz gelöst werden.

Ausgehend von den Erfahrungen mit dem Gestaltungswürfel „Smart Cube“  wird folgender Ausblick für weiterführende Arbeiten und Ansätze entworfen:

- Die Anwendungsmodelle aus den Schichtenräumen „Erkennen der Umgebung“ ($x = 2$) und „Situative Reaktion“ ($x = 3$) können durch konkrete Projekterfahrungen erprobt und weiterentwickelt werden.
- Die „Erschließung“ des Gestaltungswürfels über Pilotanwendungen wird über angrenzende Teilwürfel zu denjenigen Anwendungsmodellen erfolgen, zu denen bereits Ergebnisse aus Anwendungsfällen vorliegen. So ist z. B. angedacht, den in Kap. 6 beschriebenen Anwendungsfall mit dem Anwendungsmodell {1 - 2 - 3} über die Fabrikgrenzen hinaus in Richtung Kunden und Lieferanten zu erweitern. Für dieses Projekt kann das Anwendungsmodell {1 - 3 - 3}, das unmittelbar an das Anwendungsmodell {1 - 2 - 3} angrenzt, verwendet und evaluiert werden.
- Eventuell ist eine Übertragung und Anpassung des Gestaltungswürfels auf die systematische Gestaltung in anderen Bereiche, wie z. B. das „Smart Home“ oder „Smarte Medizin“ denkbar.

8 Literaturverzeichnis

- [Bern04] Bernhard, J.; Pflaum, A.; von der Grün, T.: Verschmelzung von Lokalisierungs- und Identifikationstechnologien – Beitrag zum Aufbau einer technologischen Roadmap für die Weiterentwicklung der RFID-Technologie, Konferenz-Einzelbericht, RFID-Workshop Universität St. Gallen, 2004.
- [Baue03] Bauer, M.; Jendoubi, L.; Rothermel K.; Westkämper, E.: Grundlagen ubiquitärer Systeme und deren Anwendung in der „Smart Factory“. Zeitschriftenaufsatz: Industrie Management – Zeitschrift für den industriellen Geschäftsprozess. GITO-Verlag, Berlin, Bd. 19(6), 2003.
- [Baue04] Bauer, M.; Jendoubi, L.; Siemoneit, O.: Smart Factory – Mobile Computing in Production Environments. Konferenz-Einzelbericht in: Proceedings of the MobiSys 2004 Workshop on Application of Mobile Embedded Systems (WAMES 2004).
- [Beck93] Becker, J.; Rosemann, M.: CIM und Logistik: Die effiziente Material- und Informationsflussgestaltung im Industrieunternehmen. Berlin, Springer, 1993.
- [Beck06] Becker, H. (Hrsg.): Phänomen Toyota – Erfolgsfaktor Ethik. Berlin, Springer, 2006.
- [Böse05] Böse, F.; Piotrowski J.; Windt, K.: Selbststeuerung in der Automobil-Logistik. Zeitschriftenaufsatz: Industrie Management – Zeitschrift für den industriellen Geschäftsprozess. GITO-Verlag, Berlin, Bd. 20(4), 2005.
- [Bosc02] Robert Bosch GmbH (Hrsg.): Das Bosch Production System. Arbeitspapier, 2002.
- [Budz03] Budzinski, O.; Kerber, W.: Megafusion, Wettbewerb und Globalisierung – Praxis und Perspektiven der Wettbewerbspolitik. In: Barbier H.; Klump R.; Watrin, C.; Wünsche H. (Hrsg.): Zukunft der sozialen Marktwirtschaft – Schriftenreihe der Ludwig-Erhard-Stiftung Bd. 5, Stuttgart, Lucius & Lucius, 2003.
- [Büri97] Büring, E.: Anspruch und Realität computerintegrierter Produktionssysteme und Fertigungssteuerungskonzepte. Berlin, Duncker und Humblot, Dissertation, 1997.
- [Buss06] Busse, M., Wöstmann, F-J., Müller, T., Melz, T., Spies, P.: Intelligente Gussteile. Zeitschriftenaufsatz: Gießerei * Band 93 (2006) Heft 4, Seite 48-53.
- [Daen94] Daenzer (Hrsg.): Systems Engineering : Methodik und Praxis. Zürich, 8. Auflage, Verlag Industrielle Organisation, 1994.
- [Davi93] Davidowe, W.H.; Malone, M.S.: Das virtuelle Unternehmen: Der Kunde als Co-Produzent. Frankfurt a.M., New York, Campus, 1993.
- [DCAG00] DaimlerChrysler AG (Hrsg.): Mercedes-Benz Produktionssystem (MPS) – Systembeschreibung. Arbeitspapier, 2. Auflage, Stuttgart 2000.
- [DIN77] DIN e.V. (Hrsg.): DIN 66021: Datenübertragung, Berlin, Beuth Verlag, 1977.
- [DIN92] DIN e.V. (Hrsg.): DIN ISO 8402 Qualitätsmanagement und Qualitätssicherung; Begriffe, Entwurf. Berlin, Beuth Verlag, 1992.
- [DIN93] DIN e.V. (Hrsg.): DIN 55350: Begriffe zu Qualitätsmanagement und Statistik, Berlin, Beuth Verlag, 1993.

- [DIN01a] DIN e.V. (Hrsg.): ISO/IEC 15693: Identifikationskarten – Kontaktlose Chipkarten, “Vicinity”-Karten – Teil 1: Physikalische Eigenschaften, Berlin, Beuth Verlag, 2001.
- [DIN01b] DIN e.V. (Hrsg.): ISO/IEC 15693: Identifikationskarten – Kontaktlose Chipkarten, “Vicinity”-Karten – Teil 3: Antikollisionsverfahren und Übertragungsprotokoll, Berlin, Beuth Verlag, 2001.
- [DIN06] DIN e.V. (Hrsg.): ISO/IEC 15693: Identifikationskarten – Kontaktlose Chipkarten, “Vicinity”-Karten – Teil 2: Luftschnittstelle und Initialisierung, Berlin, Beuth Verlag, 2006.
- [EU01] Europäische Union: Product Safety; europäische Richtlinie 2001/95/EG.
- [Eich03] Eichgrün, K.: Prozesssicherheit in fertigungstechnischen Prozessketten – Systemanalyse, ganzheitliche Gestaltung und Führung. Universität Kaiserslautern, Dissertation, 2003.
- [Ever92] Eversheim, W.: Flexible Produktionssysteme. In: Freese, E. (Hrsg.): Handwörterbuch der Organisation, 3. Auflage, Stuttgart, Schaeffer-Poeschel Verlag, 1992.
- [Ever96] Eversheim, W.; Schuh, G. (Hrsg.): Betriebshütte – Produktion und Management. 7. Auflage, Berlin, Springer Verlag, 1996.
- [Feld02] Feldafinger Kreis (Hrsg.): Forschen für die Internet-Gesellschaft: Trends, Technologien, Anwendungen. Ergebnisse einer gemeinsamen Initiative des Bundesverbandes der Deutschen Industrie und der Fraunhofer Gesellschaft, Saarbrücken 2002
URL: http://www.feldafinger-kreis.de/download/2002/Feldafinger-Kreis_Studie_2002.pdf (Stand: 08.06).
- [Feld05] Feldafinger Kreis (Hrsg.): Forschen für die Internet-Gesellschaft: Trends, Technologien, Anwendungen. Ergebnisse des Symposiums 2005 des Feldafinger Kreises, Saarbrücken 2005
URL: http://www.feldafinger-kreis.de/download/2005/Feldafinger-Kreis_Studie_2005.pdf (Stand 08.06).
- [Fied91] Fiedler, A.; Regenhard, U.: Mit CIM in die Fabrik der Zukunft? – Probleme und Erfahrungen. Opladen, Westdeutscher Verlag, 1991.
- [Flei01] Fleisch, E.: Betriebswirtschaftliche Perspektiven des Ubiquitous Computing. In: Buhl, H.U., Huther., A., Reitwiesener, B. (Hrsg.) „Information Age Economy“, Heidelberg, Physica-Verlag, 2001.
- [Flei02a] Fleisch, E.; Mattern, F.; Österle, H.: Betriebliche Anwendungen mobiler Technologien: Ubiquitous Commerce, M-Lab Working Paper, V.01 vom 31.01.02,
URL: www.m-lab.ch (Stand 08.06).
- [Flei02b] Fleisch, E.; Mattern, F.; Österle, H.: Schinken an Zentrale: „Bin reif“ – Chips machen Maschinen und Produkte intelligent, Zeitschriftenaufsatz, Computerwoche extra, 2002.
- [Flei02c] Fleisch, E.; Österle, Thiesse, F.: Connected Smart Appliances. In: Österle, H.; Fleisch, E.; Alt, R. (Hrsg.): Business Networking in der Praxis, Berlin, Springer, 2002.

- [Frei04] Freitag, M.; Herzog, O.; Scholz-Reiter, B.: Selbststeuerung logistischer Prozesse – Ein Paradigmenwechsel und seine Grenzen. Zeitschriftenaufsatz: Industrie Management – Zeitschrift für den industriellen Geschäftsprozess. GITO-Verlag, Berlin, Bd. 20(1), 2004.
- [Flei05] Fleisch, E.; Mattern, F.: Das Internet der Dinge. Springer Verlag, Berlin, 2005.
- [Gabl04] Gabler Wirtschaftslexikon. 16. Auflage, Gabler-Verlag, Wiesbaden, 2004.
- [Geit91] Geitner, U.: Die CIM-Konzeption. In: Geitner, U. „CIM-Handbuch“, Braunschweig, Vieweg, 1991, Seite 3-38.
- [Gerh04] Gerhäuser, H.; Pflaum A.: RFID verändert die Architektur logistischer Informationssysteme – Vom Identifikationsmedium zu selbststeuernden Transportobjekten. In: Prockl, G; Bauer, A.; Pflaum, A.; Müller-Steinfahrt U.; (Hrsg): Entwicklungspfade und Meilensteine moderner Logistik – Skizzen einer Roadmap, Gabler-Verlag, Wiesbaden, 2004.
- [Giss99] Gissler, A.: Wissensmanagement – Steigerung der Entwicklungseffizienz durch eine modellbasierte Vorgehensweise zur Umsetzung von Wissensmanagement in der Produktentwicklung. Universität Kaiserslautern, Dissertation, 1999.
- [GPSG04] Bundesministerium der Justiz: Geräte- und Produktsicherheitsgesetz, FNA 8053-7, BGBl. I S.2, S.219, 2004.
- [Grot06] Grote, W.: RFID – eine Technologie mit hohem Nutzenpotenzial. In: Nagel, K. (Hrsg.): Unternehmensführung, OLZOG-Verlag, München, 2006.
- [Harr73] Harrington, J.: Computer Integrated Manufacturing, Zeitschriftenaufsatz, Industrial Press, New York 1973.
- [Hild05] Hildebrandt, T; Mädling, K.; Günter, U.: PLUG + PRODUCE - Gestaltungsstrategien für die wandlungsfähige Fabrik, Institut für Betriebswirtschaft und Fabrikssysteme (IBF) der TU Chemnitz, 2005.
- [ISO00] International Organization for Standardization (Hrsg.): EN ISO 9000, Qualitätsmanagementsysteme – Grundlagen und Begriffe, Beuth Verlag, Berlin, 2000.
- [Klin06] Klindt, T.; Stempfle C.: Produkthaftung – Risiken im nationalen und internationalen Vergleich. In: Bundesvereinigung der deutschen Arbeitgeberverbände (Hrsg.): Zeitschrift für Arbeitswirtschaft, Heider Verlag, Bergisch-Gladbach, 2006.
- [Kueh06] Kuehn, W.: Digitale Fabrik – Fabriksimulation für Produktionsplaner, Hanser, München 2006.
- [LexB06] Lexikon der Biologie, Spektrum Akademischer Verlag, 2006.
- [Matt01] Mattern, F.: Portals and Infrastructure for Communicating Smart Objects, ETH Zürich, 2001,
URL: <http://www.vs.inf.ethz.ch/publ/slides/sap2001.pdf>, (Stand: 08.06).
- [Moor65] Moore, G.: Cramming more components onto integrated circuits, Zeitschriftenaufsatz: Electronics, 1965, Seite 114-117.
- [Mori04] Moritz, D.: Das Geräte- und Produktsicherheitsgesetz (GPSG) - Gesetzestext, amtliche Begründung und Erläuterungen. Berlin, VDE-Verlag, 2004.

- [Münc03] Münchener Kreis (Hrsg.): Sicherheit und Schutz in der Informationsgesellschaft. Vorträge der in München abgehaltenen Fachkonferenz, Hüthing Verlag, Heidelberg, 2003.
- [Ohno89] Ohno, T.: Toyota Production System: Beyond large scale production, 2. Auflage, Cambridge, Productivity Press, 1989.
- [Patz82] Patzak, G.: Systemtechnik – Planung komplexer innovativer Systeme, Grundlagen – Methoden – Techniken. Berlin, Springer, 1982.
- [Pfla04] Pflaum, A.: Technologien in der Logistik – Von isolierten Insellösungen zu interdisziplinären integrierten technischen Gesamtsystemen. In: Prockl, G.; Bauer, A.; Pflaum, Müller-Steinfahrt, U.: Entwicklungspfade und Meilensteine moderner Logistik – Skizzen einer Roadmap, Gabler-Verlag, Wiesbaden, 2004.
- [Pfla05] Pflaum, A.: Smart Items in der Logistik. White Paper, Fraunhofer Institut 2005.
- [Pohl05a] Pohlmann, E.: SmartFactoryKL - die intelligente Fabrik der Zukunft, Zeitschriftenaufsatz: etz Elektrotechnik und Automation * Band 126 (2005) Heft 7, Seite 66-67 (2 Seiten, 1 Bild).
- [Pohl05b] Pohlmann, E., Bödcher, A., Zühlke, D.: SmartFactory - Informationstechnik für die Fabrik der Zukunft. Zeitschriftenaufsatz: Automatisierungstechnische Praxis - atp * Band 47 (2005) Heft 12, München, Oldenbourg Industrieverlag, 2005.
- [Puhl99] Puhl, H.: Komplexitätsmanagement – Ein Konzept zur ganzheitlichen Erfassung, Planung und Regelung der Komplexität in Unternehmensprozessen. Universität Kaiserslautern, Dissertation, 1999.
- [Sche90] Scheer, A.-W.: CIM – Computer Integrated Manufacturing. Der computer-gesteuerte Industriebetrieb. Berlin, Springer, 1990, 4. Auflage.
- [Scho04] Scholz-Reiter, B.; Windt, K.; Freitag, M.: Autonomous Logistic Processes – New Demands and first Approaches, Konferenz-Einzelbericht: RP International Seminar on Manufacturing Systems, May 19-21, 2004, Budapest, Hungary.
- [Schu05] Schuh, G.; Ripp, S.; Kampker A.: Sm@rt Logistics. Vernetzte intelligente Systeme in der Produktionslogistik, Zeitschriftenaufsatz: wt Werkstatttechnik online * Band 95 (2005) Heft 4, Seite 216-221 (6 Seiten, 3 Bilder, 18 Quellen).
- [Shin89] Shingo, S.: A Study of the Toyota Production System – An Industrial Engineering Viewpoint. Cambridge / Massachusetts, Productivity Press, 1989.
- [Scho03] Schoch, T.; Strassner, M.: Wie smarte Dinge Prozesse unterstützen. Zeitschriftenaufsatz: HMD, Heft 229, S. 23 - 32, 2003.
- [Suh05] Suh, N.: Complexity in engineering, Konferenz-Einzelbericht: Proceedings of the 55th General Assembly of CIRP, Manufacturing Technology - Annals of the International Institute for Production Engineering Research, Bd. 2, Antalya, TR, Aug 21-27, 2005
- [Sund01] Sundermeyer, K.; Bussmann, S.: Einführung der Agententechnologie in einem produzierenden Unternehmen – Erfahrungsbericht, Zeitschriftenaufsatz: Wirtschaftsinformatik, Vol. 43, No. 2, S 135-142, 2001.

- [VDA06] Verband der deutschen Automobilindustrie e.V. (Hrsg.): VDA-Empfehlung 5501: RFID im Behältermanagement der Supply Chain, Frankfurt a.M., 2006.
- [VDI01] Verein deutscher Ingenieure e.V. (Hrsg.): VDI-Richtlinie 2519: Vorgehensweise bei der Erstellung von Lasten-/Pflichtenheften, Düsseldorf, VDI-Verlag, 2001.
- [VDI06] Verein deutscher Ingenieure e.V. (Hrsg.): VDI-Richtlinie 4499: Digitale Fabrik – Grundlagen. Berlin, Beuth Verlag, 2006.
- [Warn99] Warnecke, H.-J.: Produktion: Die Vollintegrierte Fabrik, Zeitschriftenaufsatz: Logistik heute * (1999) Heft 8, Seite 41 (1 Seite).
- [Warn03] Warnecke, G.: Technik im Spannungsfeld von Fortschritt und Evolution, Konferenz-Einzelbericht: H. Resch (Hrsg.) Tagungsband zur 11. Österreichische HSC-Tagung, Steyr, 2003.
- [Warn05] Warnecke, G.: Produktion im Spannungsfeld von lokaler Kompetenz in globalen Netzwerken, Konferenz-Einzelbericht: J. Aurich (Hrsg.): Produktion im offenen Europa, Tagungsband zum CPK/FBK Industrietag 2005, Technische Universität Kaiserslautern, 2005.
- [Weis91] Weiser, M.: The Computing for the 21st century, Zeitschriftenaufsatz: Scientific American, 1991, New York.
- [West03] Westkämper, E.; Jendoubi, L.: Smart Factories - Manufacturing Environments and Systems of the Future, Konferenz-Einzelbericht: Proceedings of the 36th CIRP International Seminar on Manufacturing Systems, Saarbrücken, 2003.
- [West05a] Westkämper, E.; Jendoubi, L.; Eissele M., Ertl. T.: Smart Factory: Bridging the gap between digital planning and reality; Konferenz-Einzelbericht: Proceedings of the 38th CIRP International Seminar on Manufacturing Systems, 2005.
- [West05b] Westkämper, E.; Jendoubi, L.: Smart Factory – Pervasive Information Technologies for Manufacturing Management. Konferenz-Einzelbericht: University of Karpacz (Hrsg.): XV Workshop on Supervising and Diagnostics of Machining Systems, 2005.
- [West06] Westkämper, E.: Digitale Produktion – Herausforderung und Nutzen. Konferenz-Einzelbericht: Gesellschaft für Fertigungstechnik Stuttgart (Hrsg.) Fertigungstechnisches Kolloquium, Stuttgart, 2006.
- [Wirt00] Wirth, S.; Enderlein, H.; Hildebrand, T.: Visionen zur wandlungsfähigen Fabrik, Zeitschriftenaufsatz: Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb * Band 95 (2000) Heft 10, Seite 456-462 (7 Seiten, 8 Bilder, 15 Quellen).
- [Woma92] Womack, J.; Jones, D.; Roos, D.: Die zweite Revolution in der Autoindustrie. Konsequenzen aus der weltweiten Studie aus dem Massachusetts Institute of Technology. Frankfurt/New York 1992.

Verzeichnis im Themenbereich betreuter Studien- und Diplomarbeiten

Schwägli, Benjamin: Identifikation und Bewertung von intelligenten Objekten und deren Einsatz in Produktion und Logistik. Schwieberdingen/Zürich, Diplomarbeit, 2006.

9 Anhang

9.1 Glossar

Adaptivität

Adaptivität ist die Fähigkeit eines Unternehmens, das Produktionsprogramm durch eine Veränderung des Produktionssystems (z. B. Umbau der Fertigungseinrichtungen) an äußere Gegebenheiten und Erfordernisse anzupassen. Ein wichtiges Element der Adaptivität ist dabei die Modularität.

Beherrschbarkeit

Die Beherrschbarkeit beschreibt die Eigenschaft eines Prozesses, dass sich seine Parameter nicht, in bekannter Weise (im Sinne von vorhersagbar) oder in bekannten Grenzen (im Sinne von kontrollierbar) ändern.

Daten

Daten entstehen durch Kombination von \rightarrow *Zeichen*. Untereinander stehen sie zunächst in keinem Zusammenhang. Man unterscheidet absolute und qualitative Daten.

- *Absolute Daten* sind quantifizierbar, skalierbar und messbar.
- *Qualitative Daten* sind klassierbar und nicht messbar.

Dokumentation

Dokumentation umfasst alle Vorgänge zur Auswahl, Sammlung, Ordnung, Speicherung und Verfügbarmachen von Informationen, die der Nachvollziehbarkeit aller wesentlichen Vorgänge (z. B. Prüfungen und Prozessabläufe, Produkt- und Systembeschreibungen, Mitarbeiterschulungen, etc.) auch nach längerer Zeit dienen. Hauptaufgabe der Dokumentation ist die zielgruppenbezogene und zeitpunktgerechte Aufbereitung und Bereitstellung relevanter Daten.

Dynamik

Dynamik ist die gewollte, zielgerichtete Zustandsänderung, die von äußeren Kräften angeregt wird oder periodisch der Entwicklung angepasst wird.

Effektivität

Effektivität beschreibt die absolute Wirksamkeit, Durchschlagskraft, Leistungsfähigkeit eines Objektes oder Prozesses. Im Gegensatz zur \rightarrow *Effizienz* wird sie absolut betrachtet und nicht in Verhältnis zum Input gesetzt.

Effizienz

Die Effizienz beschreibt allgemein Wirksamkeit, Wirtschaftlichkeit (Beziehung zwischen Kosten und Nutzen) und Grad der Eignung von Objekten oder Prozessen, um geplante Ergebnisse (z. B. hinsichtlich Qualität, Kosten und Zeit) zu erreichen. Die Effizienz wird beschrieben durch die Relation zwischen Output und Input, als optimaler Aufwand zur Erzielung von geplanten Ergebnissen.

Ergebnis

Ein Ergebnis beschreibt den Erfolg, das Resultat, den Ertrag und/oder die Folgen eines Prozesses.

Fabriksystem

Ein Fabriksystem ist ein abgeschlossener Produktionsstandort eines Unternehmens.

Fähigkeit

Fähigkeit ist die Gesamtheit aller physischen Eigenschaften, die zur Erreichung eines definierten Ziels notwendig sind. Die Fähigkeit beschreibt somit die Eignung einer Organisation, eines Systems oder eines Prozesses zum Realisieren eines Produkts, das die Anforderungen an dieses Produkt erfüllt.

Flexibilität

Flexibilität eines Unternehmens ist die Fähigkeit, das Produktionsprogramm allein durch Verändern der bestehenden Prozesse (z. B. Umrüsten der Fertigungseinrichtungen) anzupassen.

Identifikation

Identifikation beschreibt das Erkennen der Echtheit („Identität“) eines Objektes oder einer Person. Die Identität wird durch eindeutige Merkmale, z. B. einer eindeutigen Nummer, beschrieben.

Information

Informationen sind → *Daten*, die durch eine ergebnisorientierte Aufbereitung und Darstellung für eine Zielgruppe nutzbar gemacht wurden.

Komplexität

Unter Komplexität wird die Vielfalt der Verhaltensmöglichkeiten der Elemente und Veränderlichkeiten der Wirkungsverläufe verstanden. Komplexität ist durch Anzahl und Art der Elemente und deren Beziehungen untereinander bestimmbar. Komplexe Prozesse sind geprägt durch Eigendynamik, komplexe Systeme durch Intransparenz [Gabl04].

Kontextinformation

Eine Kontextinformation beschreibt eine → *Information* über Art, Herkunft und Entstehungsbedingungen und unterstützt dadurch die Interpretation der eigentlichen Information.

Lokation/Ortung

Lokation und Ortung verknüpfen die → *Identifikation* mit ihrer geografischen Position.

Modell

Ein Modell ist ein möglichst genaues, dennoch stark vereinfachtes Abbild eines Systems. Durch Modelle lassen sich Systeme standardisiert beschreiben und gewonnene Erkenntnisse auf verschiedene Anwendungsfälle übertragen.

Produktionsnetzwerk

Ein Produktionsnetzwerk ist ein Verbund mehrerer Produktionsstandorte eines oder mehrere Unternehmen, deren Aktivitäten darauf ausgerichtet sind, ein gemeinsames Produkt herzustellen. Produktionsnetzwerke können temporär befristet sein.

Produktionssystem

Ein Produktionssystem ist ein Modell, das alle Elemente und Relationen zwischen diesen erfasst, die zur vollständigen Erstellung eines Produktes erforderlich sind [Ever92]. Es beschreibt die Zusammenhänge und Strukturen zwischen einzelnen Produktionsobjekten und –prozessen.

Qualität

Qualität beschreibt die Gesamtheit von Merkmalen eines Objektes oder eines Prozesses hinsichtlich ihrer Beschaffenheit, ihrer definierten und geplante Güte, ihrem nachhaltigen Wert, um festgelegte und vorgegebene Anforderungen zu erfüllen. Qualität ist dementsprechend direkt nicht messbar, sondern nur über abgeleitete Messgrößen, die in Bezug zu definierten Kenngrößen gesetzt werden (Toleranzen).

Sicherheit

Sicherheit bezeichnet die Gewissheit und Zuverlässigkeit, ein gewünschtes Ergebnis, das durch definierte Toleranzen beschrieben wird, zu erreichen.

Es wird unterschieden in vermeidende und vorbeugende Sicherheit.

- **Vermeidende Sicherheit** (Englisch: „Safety“: Betriebssicherheit, Gefahrenlosigkeit, Zuverlässigkeit, Verlässlichkeit, Gefahrensicherheit) versucht, unerwünschte Ereignisse zu vermeiden, das heißt vermeidende Sicherheit versucht, die Ursache einer Unsicherheit zu beseitigen, damit die Wirkung nicht eintritt.
- **Vorbeugende Sicherheit** (Englisch: „Security“: Betriebsschutz, Bürgschaft, Garantie, Kautions, Sorglosigkeit, Gewissheit, Angriffssicherheit) versucht, den Ernstfall zu lindern. Das heißt vorbeugende Sicherheit versucht nicht, die Ursache einer Unsicherheit zu beseitigen, sondern ihre Folgen wirkungslos werden zu lassen bzw. abzuschwächen.

Sichern

Sichern bedeutet das Feststellen und Dokumentieren von geplanten Produkt- und Produktionsergebnissen.

Smart

Smart bedeutet im umgangssprachlichen Gebrauch „gewandt“, „pfiffig“, „tüchtig“, „geschickt“, „elegant“, „intelligent“, „raffiniert“, „geschäftstüchtig“, „geistreich“, „witzig“, „flink“, „fix“, „gepflegt“, „forsch“, „schneidig“ und „clever“ [Quelle: Langenscheidt].

Alltagsdinge, die durch eingebettete Informationstechnik „smart“ werden, können über Sensoren die Umgebung erfassen, koordinieren sich mit benachbarten Dingen und besitzen ein Erinnerungsvermögen – sie können sich somit situationsbezogen verhalten [Feld02].

Im Sinne von „Smart Production Systems“ bedeutet „smart“ qualitätsgetrieben, hochflexibel und, sicher, ferner transparent, flexibel, anpassungsfähig (auch im Sinne von selbstheilend/-optimierend), diskret, unauffällig, einfach zu bedienen, Komplexität vermeidend, den Anwender unterstützend.

Strategie

Eine Strategie beschreibt das zielorientierte und zukunftsgerichtete Planen mit vorgesehenen Alternativen. Da die Unwägbarkeiten und Risiken steigen, je weiter die Strategie in die Zukunft gerichtet ist, können die Alternativen und deren Toleranzen an die Zeitperspektive angepasst werden.

Verknüpfung

Eine Verknüpfung ist eine ein- oder bidirektionale Punkt zu Punkt-Verbindung. Verknüpfungen bilden die Grundlage für eine → *Vernetzung*.

Vernetzung

Eine Vernetzung ist die Menge aller möglichen → *Verknüpfungen*, insbesondere zwischen verschiedenen Informations- und Kommunikationssystemen.

Wissen

Wissen bezeichnet die Gesamtheit an Kenntnissen, die Individuen zur Lösung von Problemen einsetzen. Wissen wird aus → *Information* gebildet, die an ein Individuum, den Wissensträger, gebunden ist [Giss99].

Wissensexplikation

Wissensexplikation bezeichnet die Fähigkeit, in einem Prozess Wissen, das in vorangegangenen Prozessschritten erzeugt und gespeichert wurde, zu nutzen.

Wissensintegration

Wissensintegration beschreibt den Zustand, in dem alle Personen und maschinellen Einrichtungen innerhalb des Untersuchungsbereichs Zugriff auf die für die Ausübung ihrer Funktion erforderlichen Daten, Informationen und Wissen haben.

Wissensinkorporation

Wissensinkorporation beschreibt die Möglichkeit, Wissen in Form von Daten in Produktionsobjekte zu integrieren, damit dieses in folgenden Prozessschritten zur Verfügung steht. Die Nutzbarmachung von inkorporiertem Wissen ist die → *Wissensexplikation*.

Zeichen

Zeichen sind Symbole wie Buchstaben, Ziffern und Sonderzeichen. Sie bilden die Grundlage für → *Daten*.

Ziel

Ein Ziel beschreibt einen in der Zukunft liegenden erstrebenswerten Zustand, der jedes absichtsvolle Handeln auf dessen Erreichung lenkt.

Ein Ziel wird definiert über:

- Zielfaktoren
- Bewertungsfaktoren
- Kenngrößen
- Referenzwerte

9.2 Darstellungen der Anwendungsmodelle

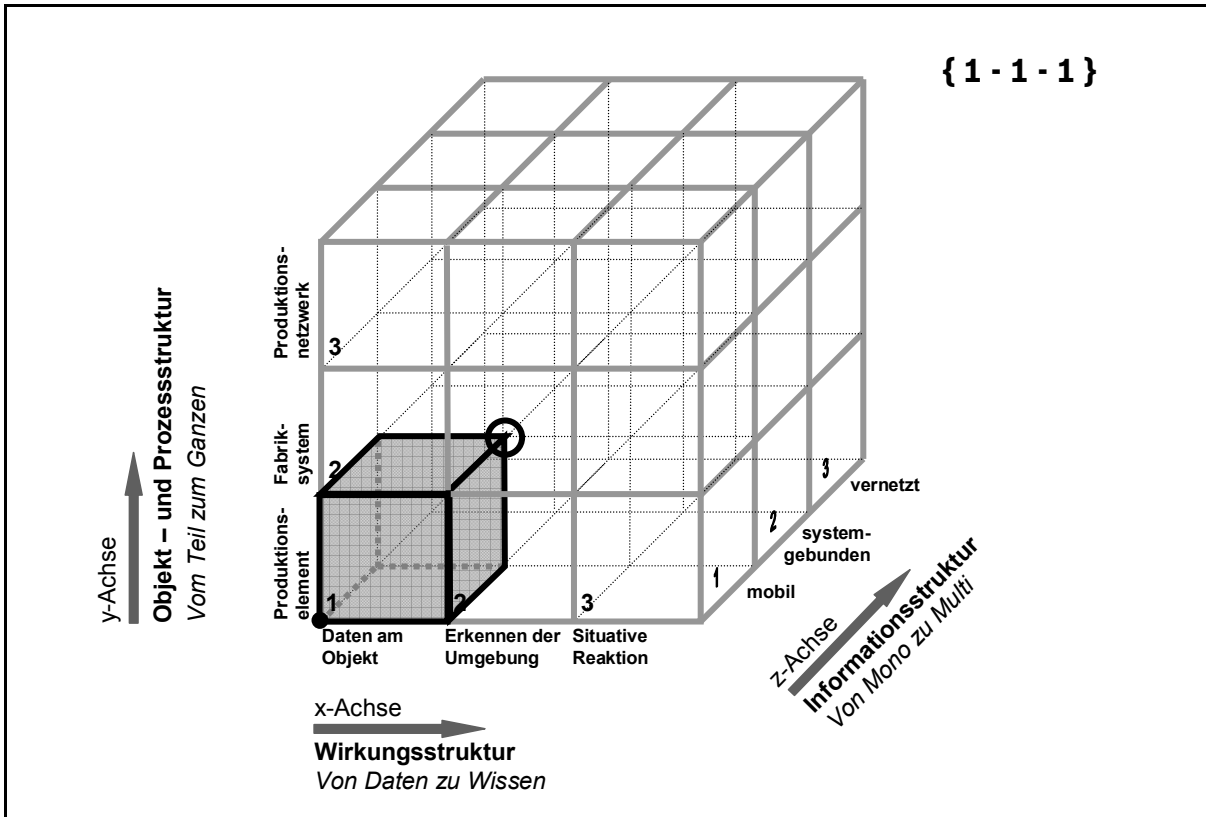


Abb. 9-1: Anwendungsmodell {1 - 1 - 1}

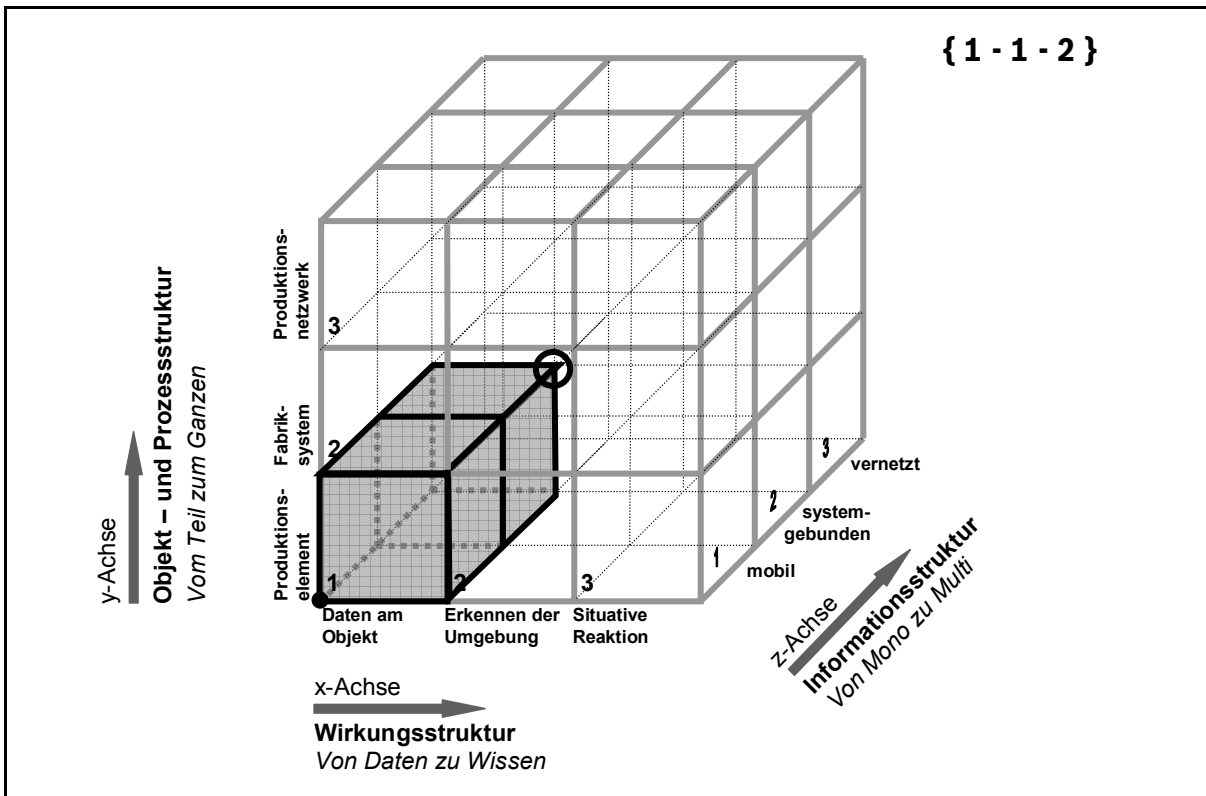


Abb. 9-2: Anwendungsmodell {1 - 1 - 2}

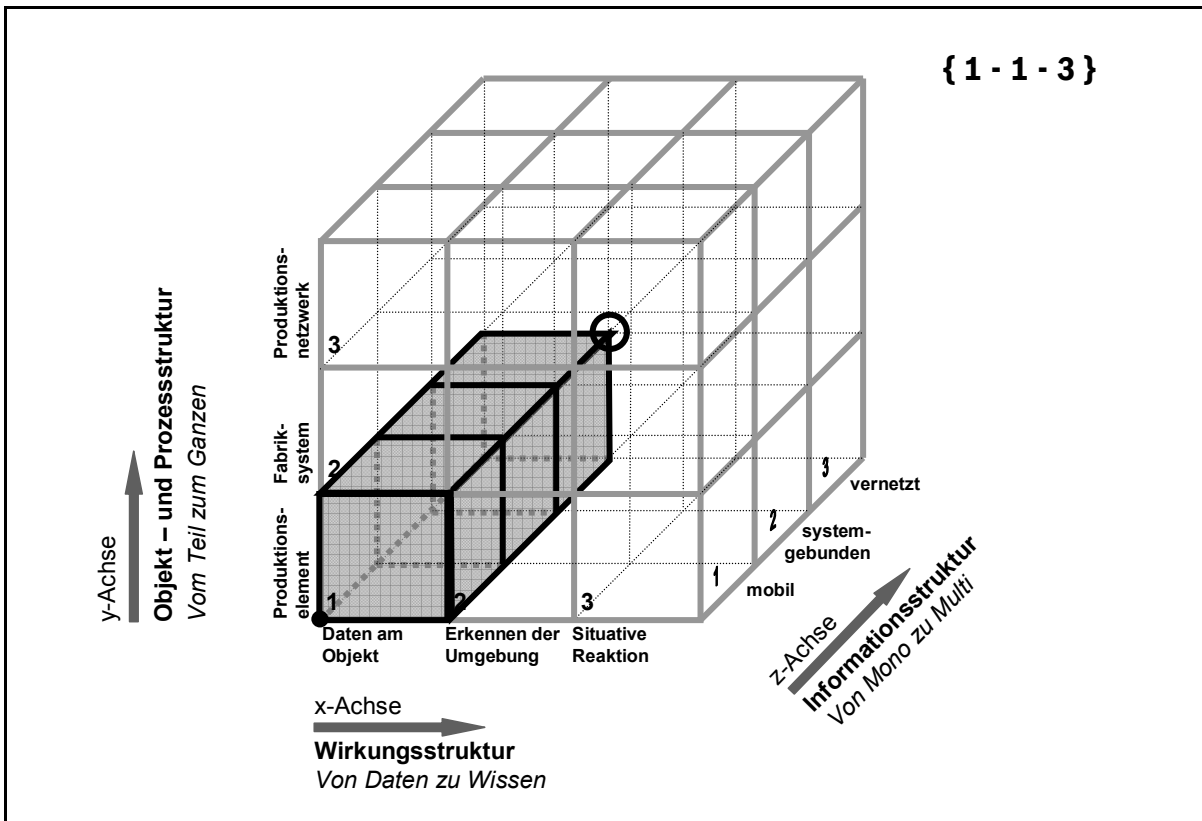


Abb. 9-3: Anwendungsmodell {1 - 1 - 3}

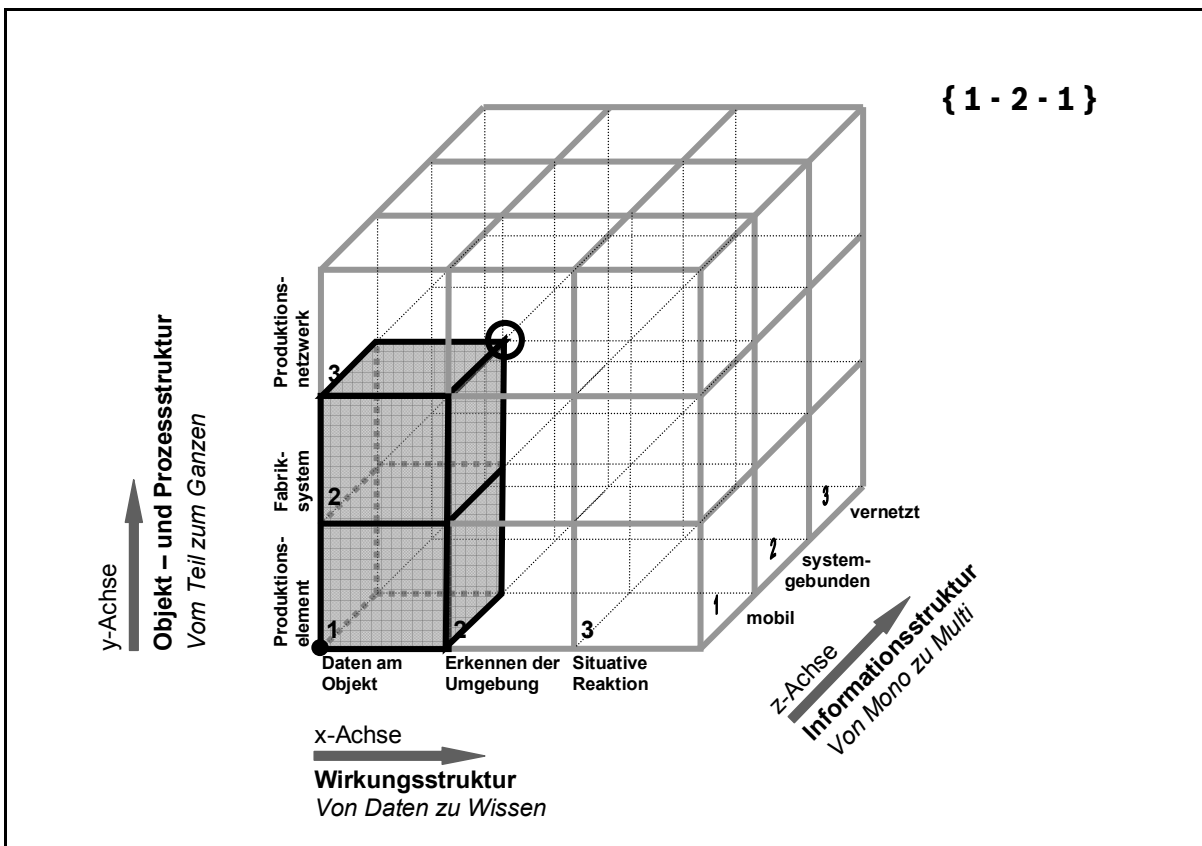


Abb. 9-4: Anwendungsmodell {1 - 2 - 1}

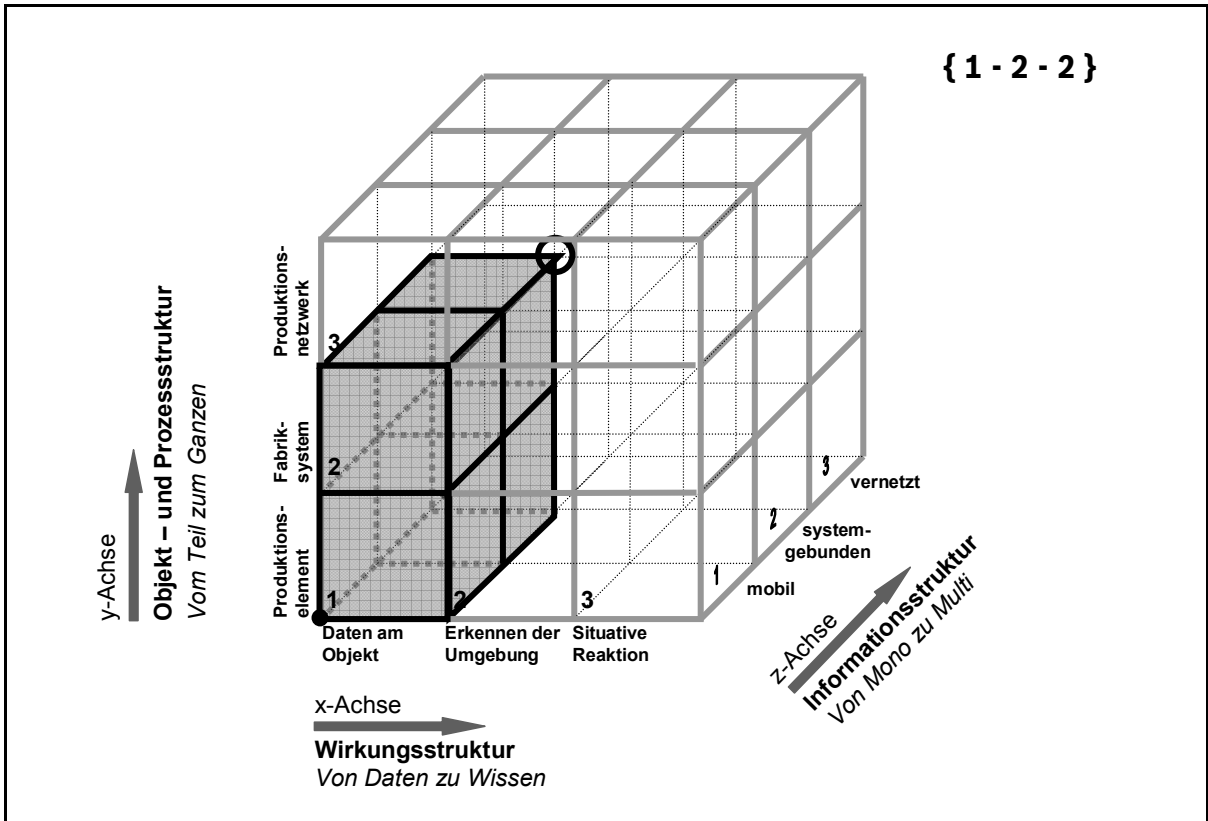


Abb. 9-5: Anwendungsmodell {1 - 2 - 2}

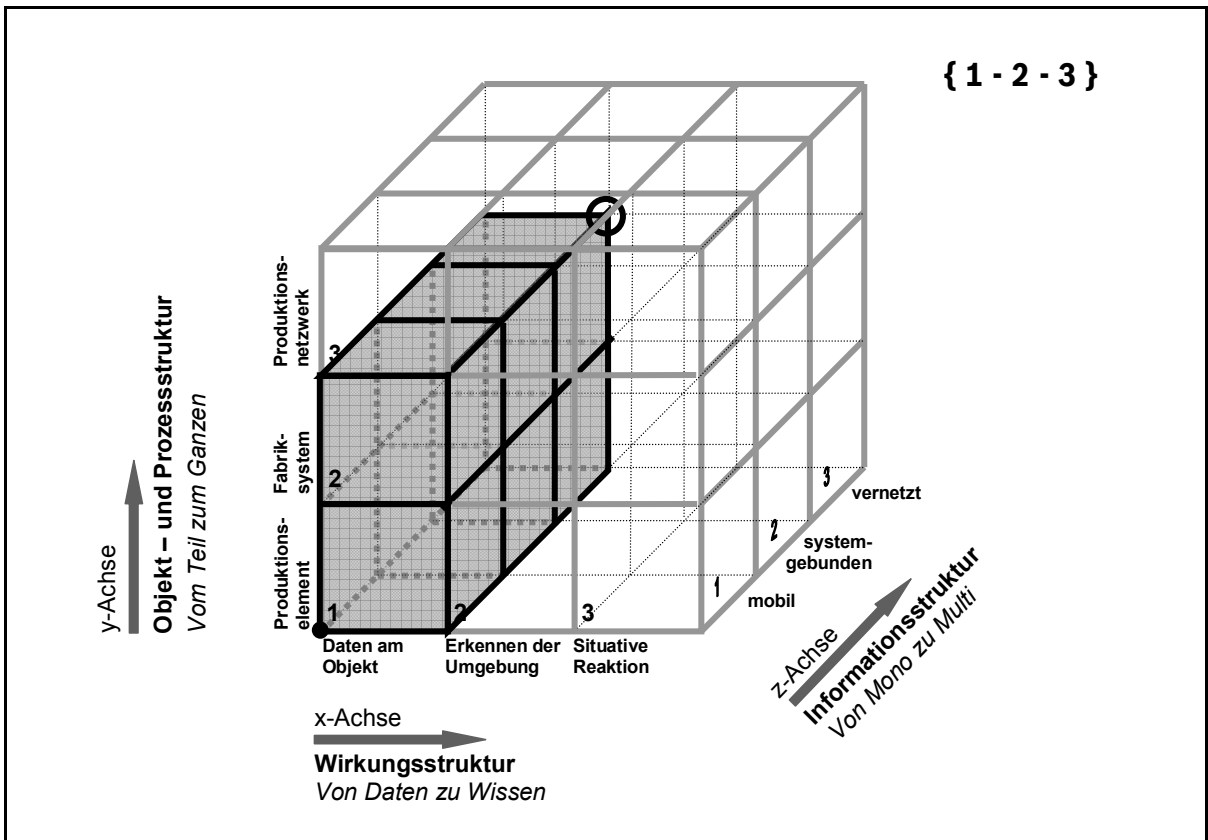


Abb. 9-6: Anwendungsmodell {1 - 2 - 3}

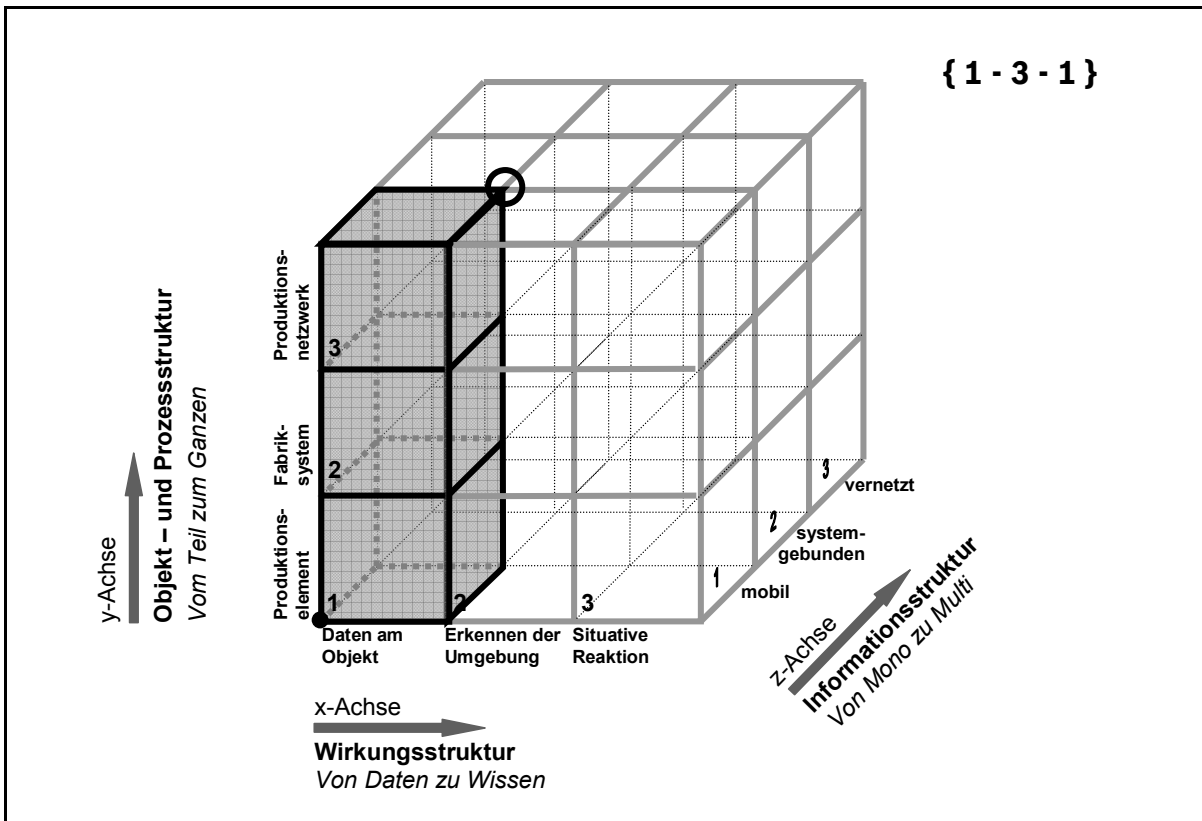


Abb. 9-7: Anwendungsmodell {1 - 3 - 1}

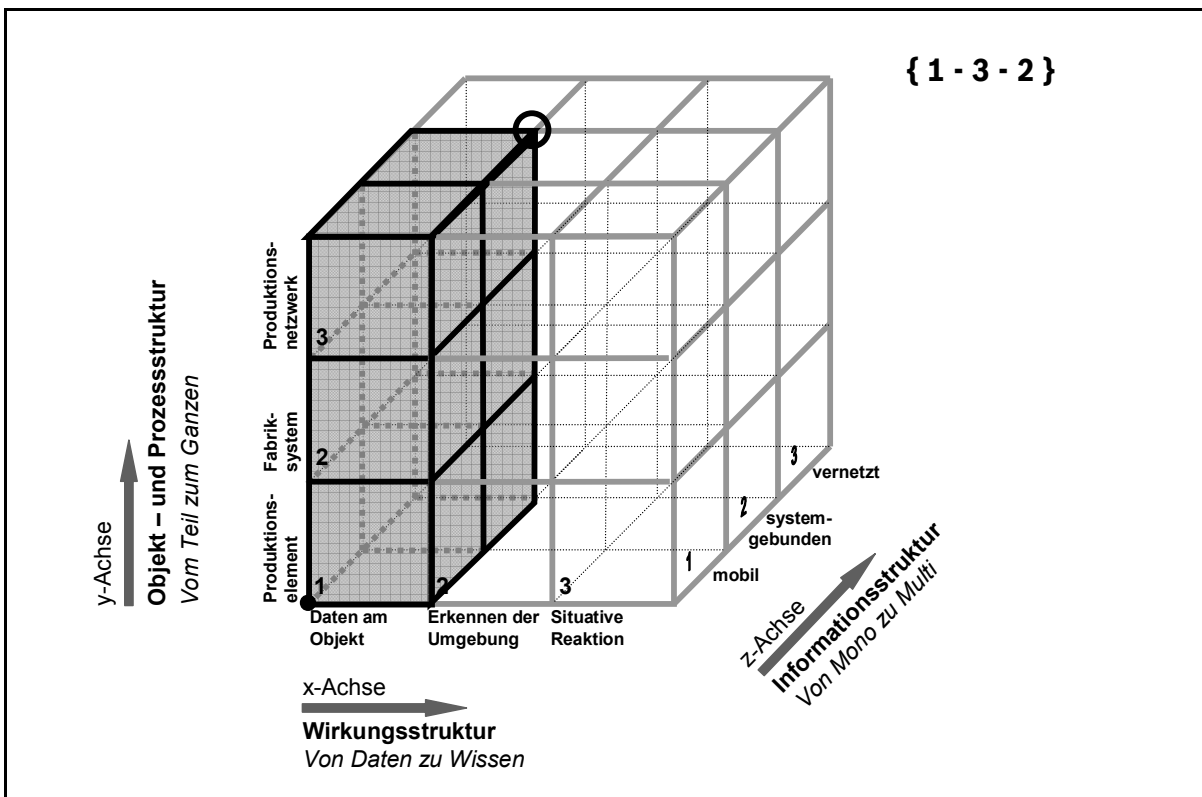


Abb. 9-8: Anwendungsmodell {1 - 3 - 2}

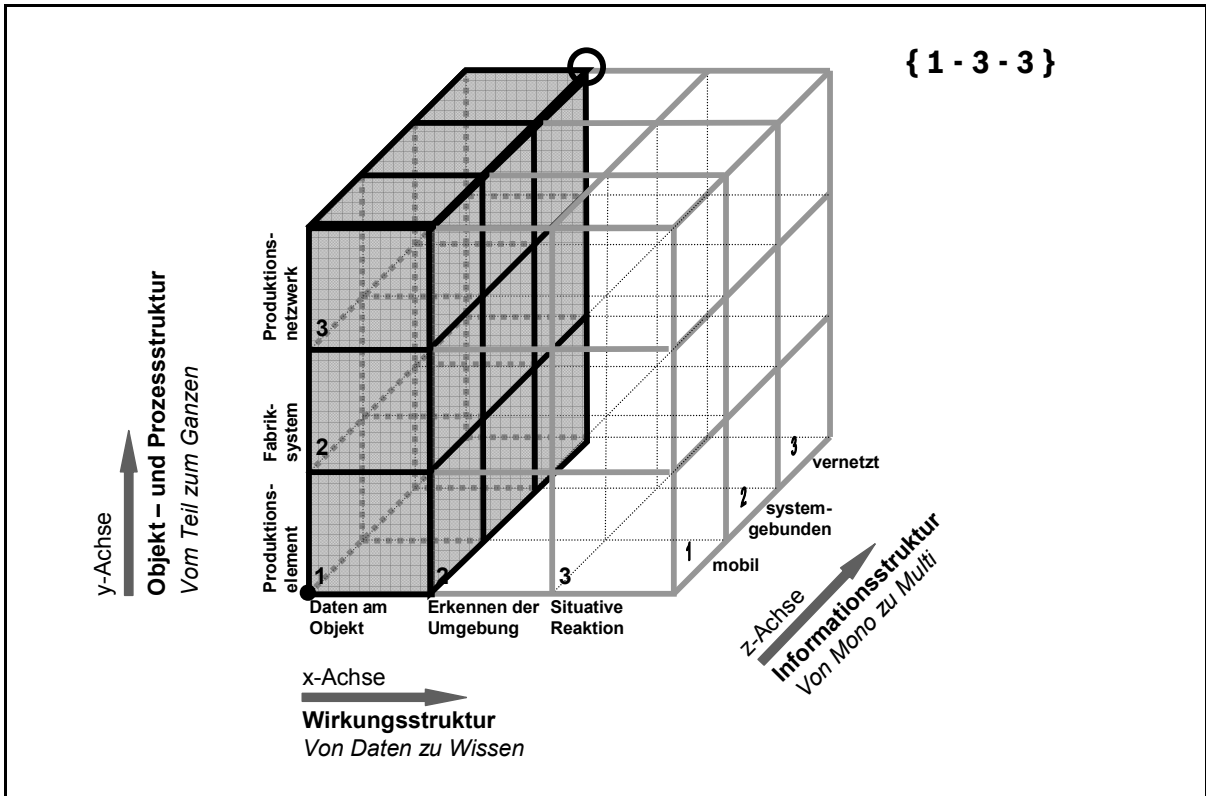


Abb. 9-9: Anwendungsmodell {1 - 3 - 3}

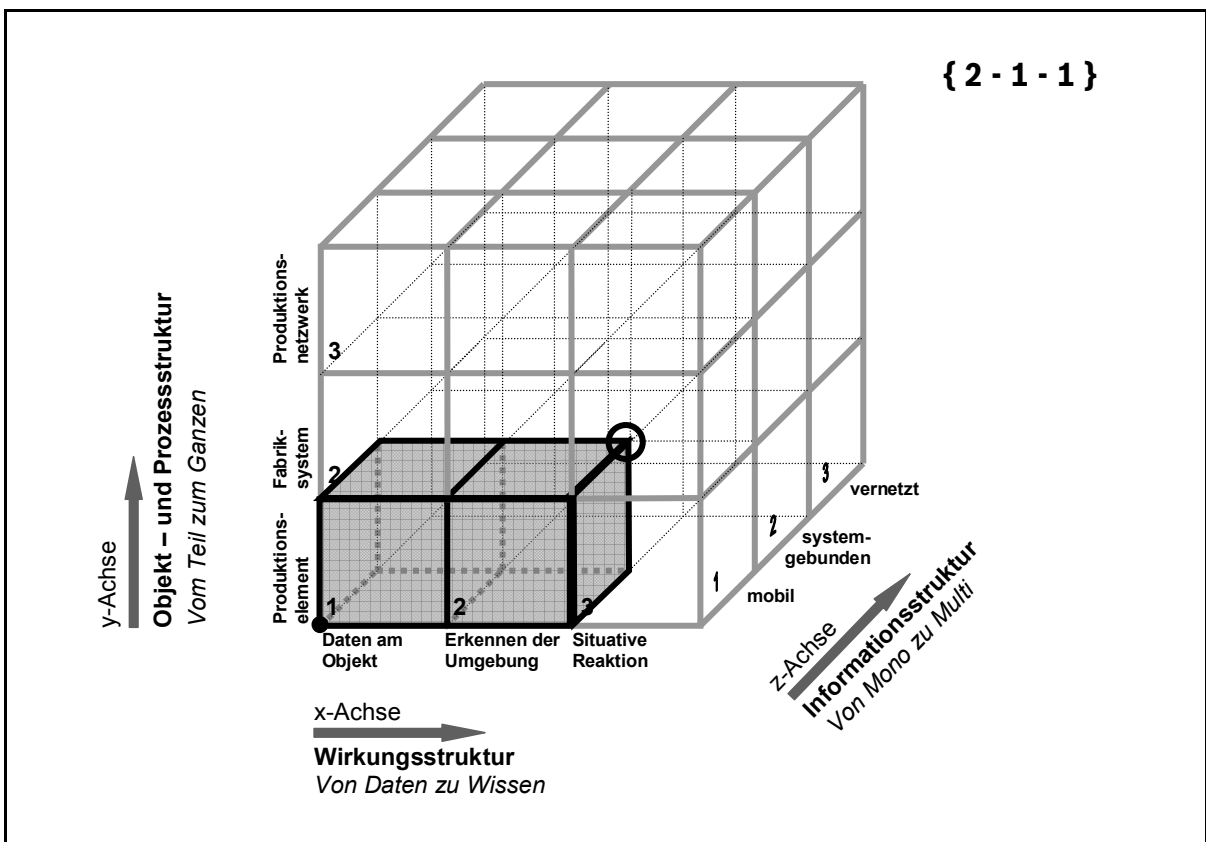


Abb. 9-10: Anwendungsmodell {2 - 1 - 1}

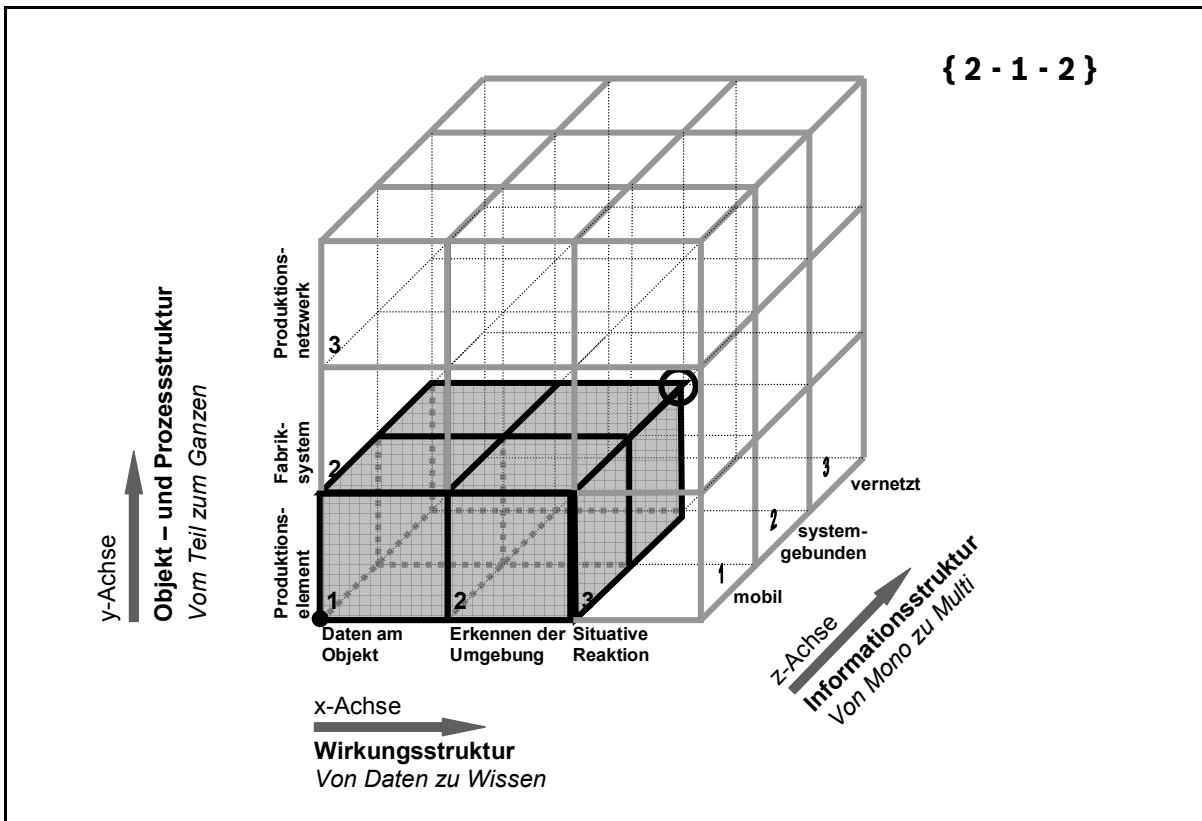


Abb. 9-11: Anwendungsmodell {2 - 1 - 2}

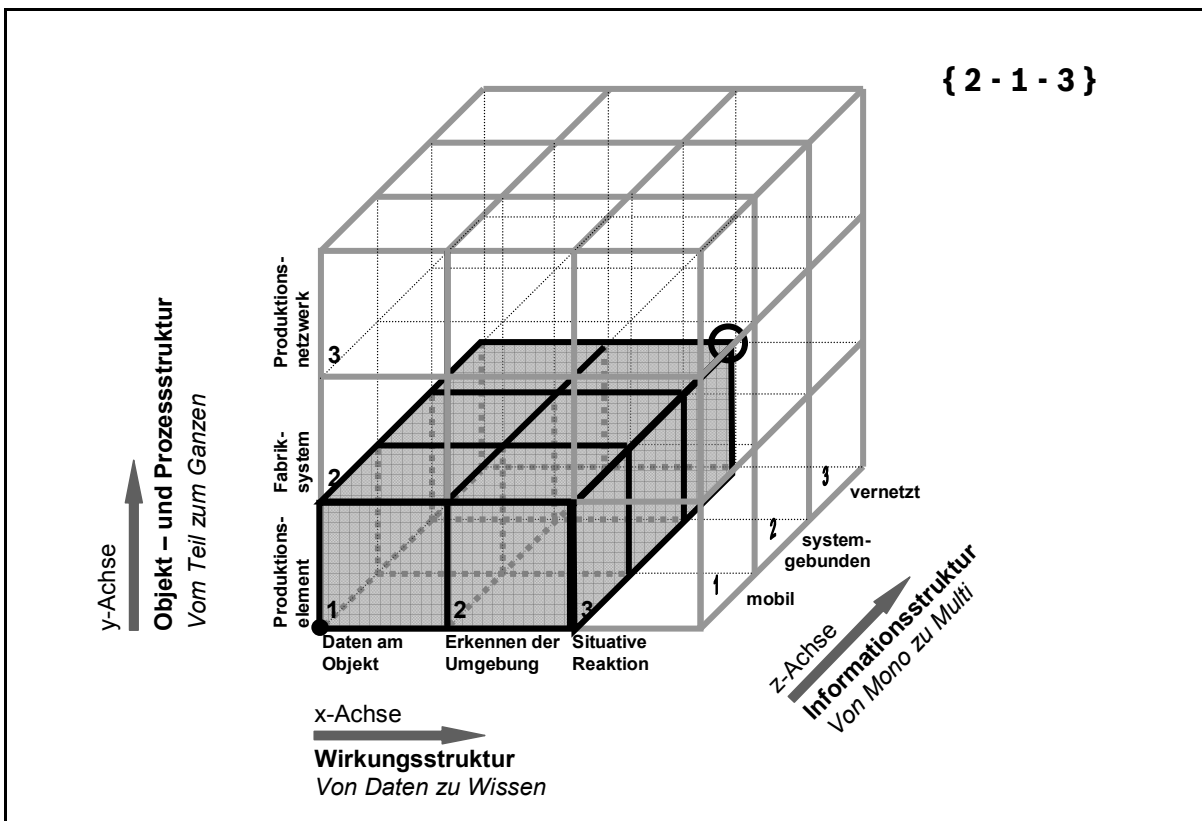


Abb. 9-12: Anwendungsmodell {2 - 1 - 3}

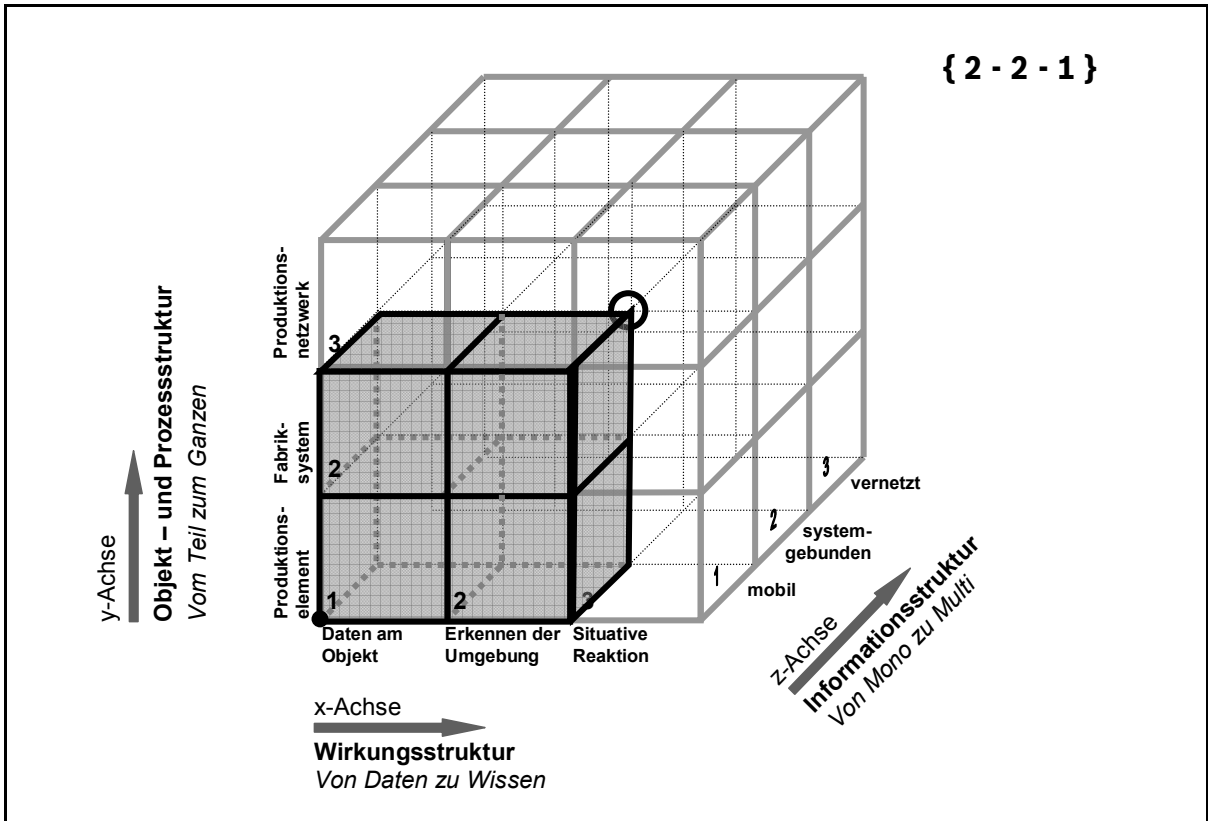


Abb. 9-13: Anwendungsmodell { 2 - 2 - 1 }

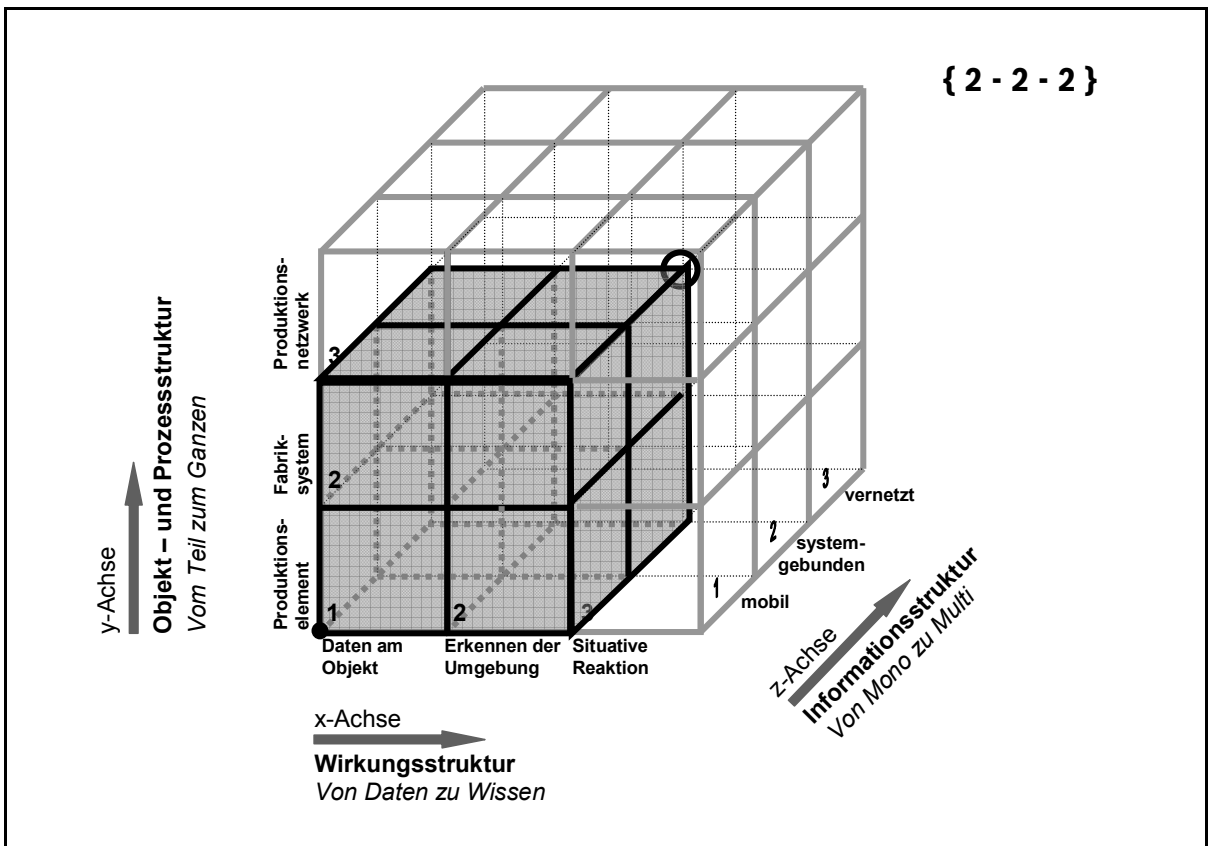


Abb. 9-14: Anwendungsmodell { 2 - 2 - 2 }

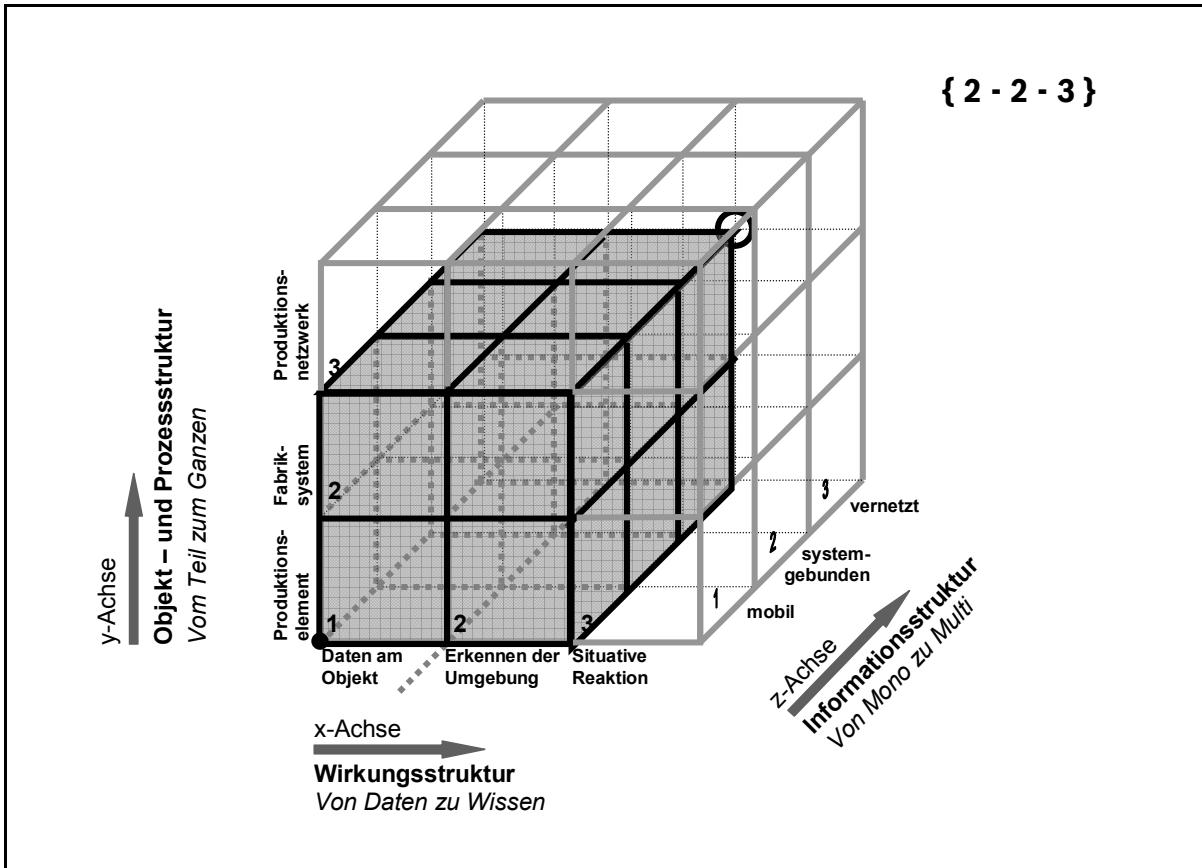


Abb. 9-15: Anwendungsmodell {2 - 2 - 3}

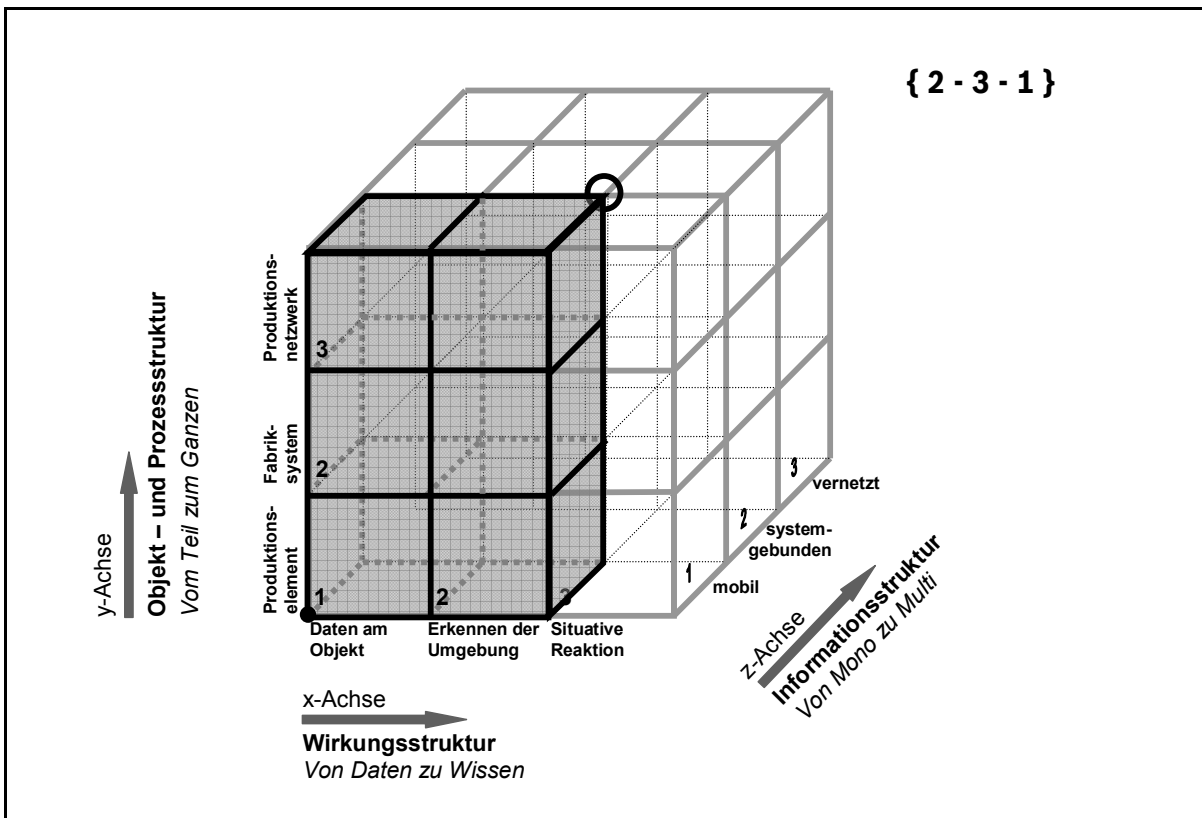


Abb. 9-16: Anwendungsmodell {2 - 3 - 1}

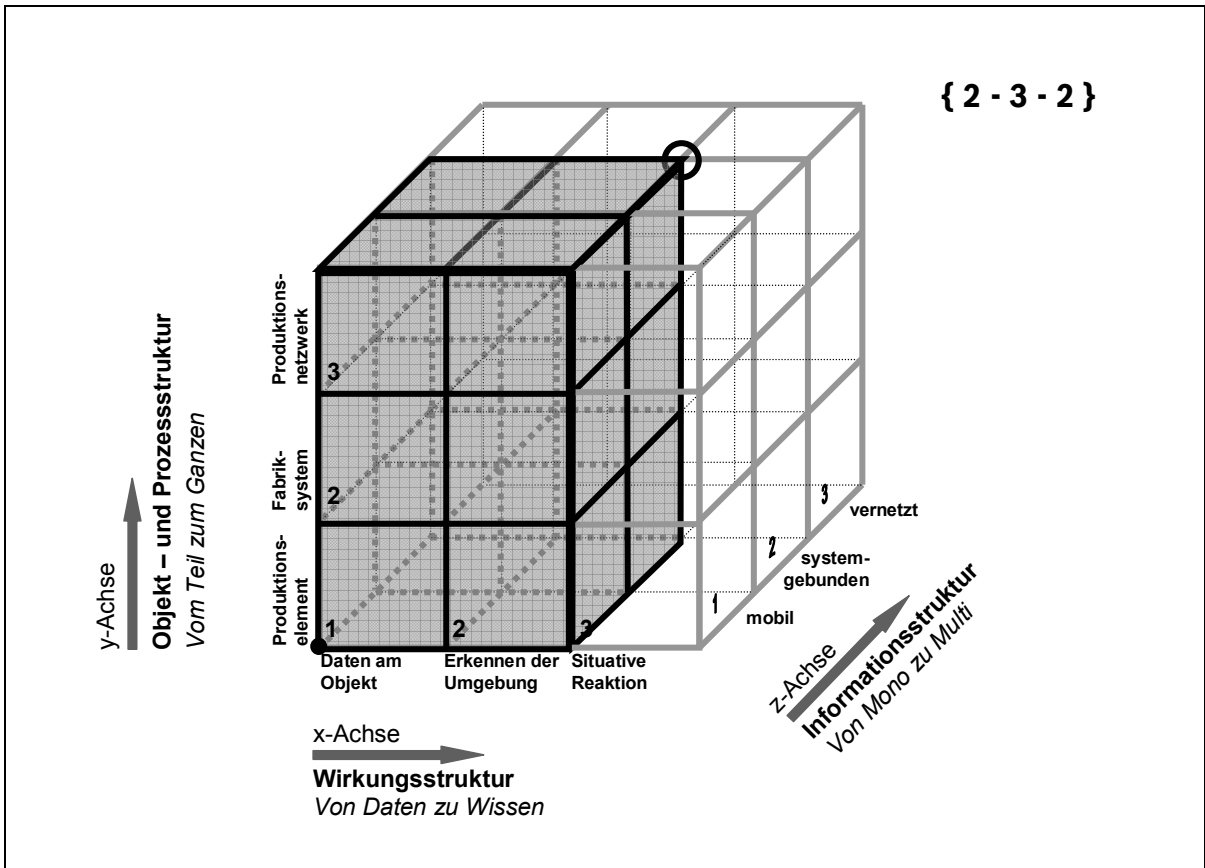


Abb. 9-17: Anwendungsmodell {2 - 3 - 2}

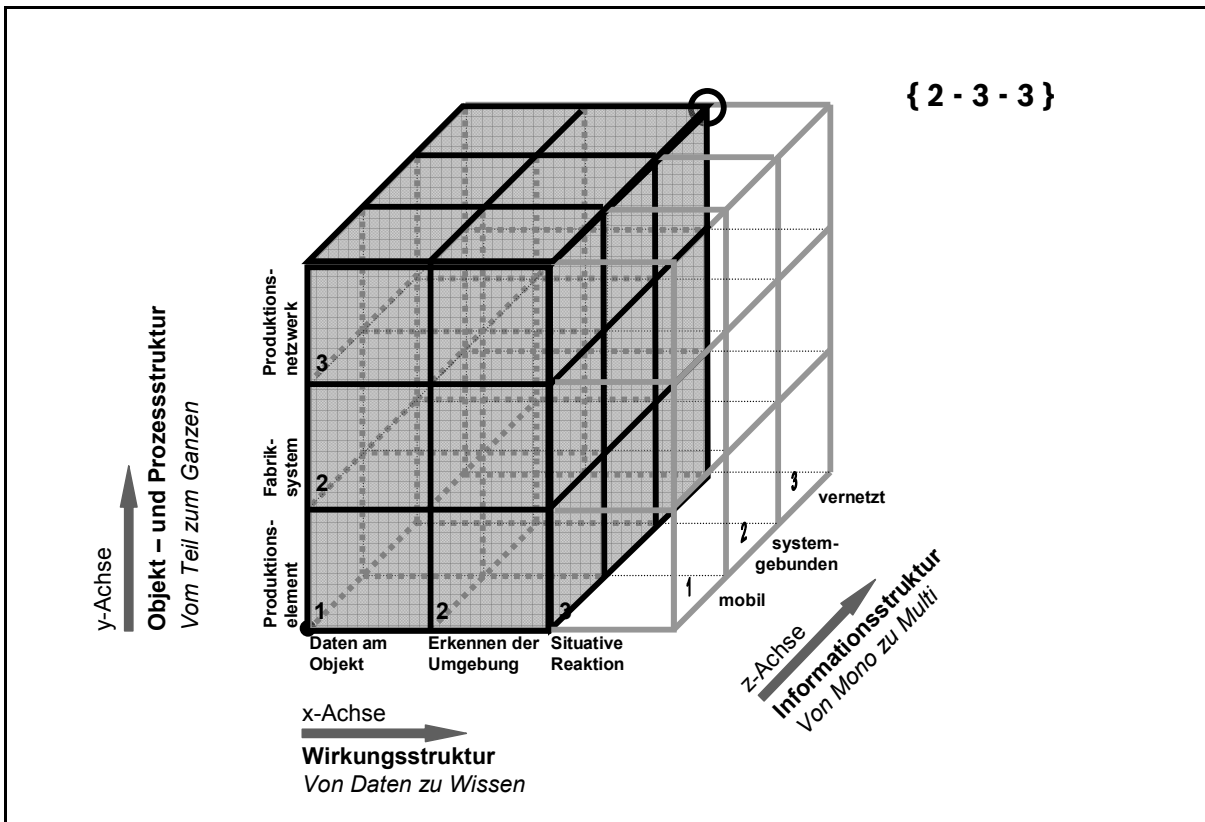


Abb. 9-18: Anwendungsmodell {2 - 3 - 3}

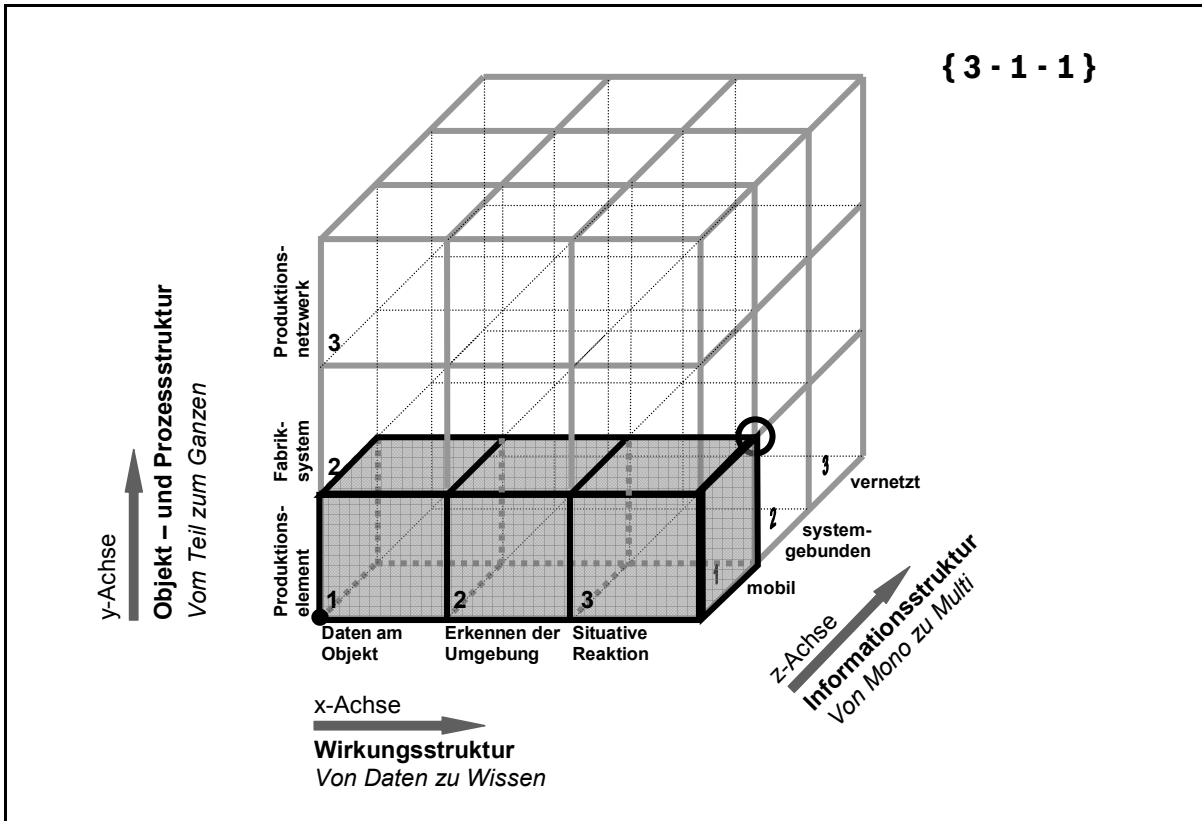


Abb. 9-19: Anwendungsmodell {3 - 1 - 1}

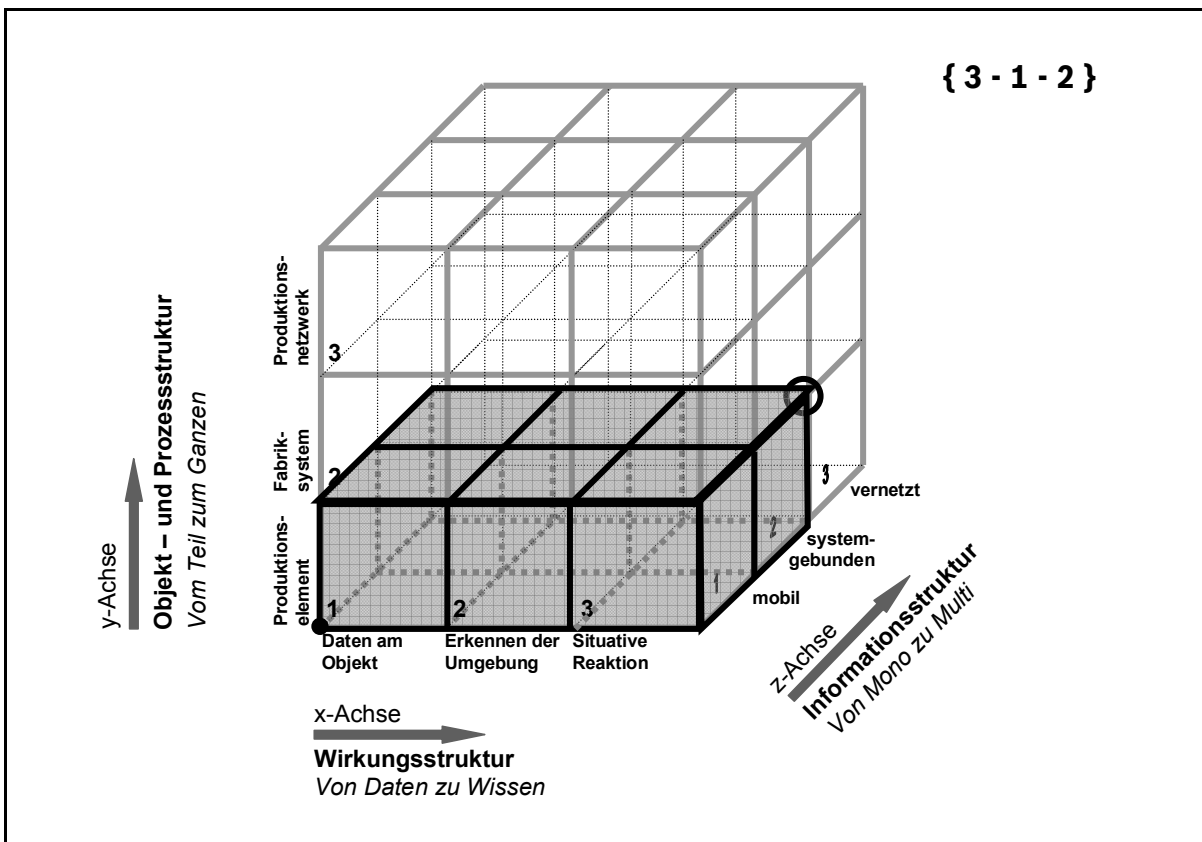


Abb. 9-20: Anwendungsmodell {3 - 1 - 2}

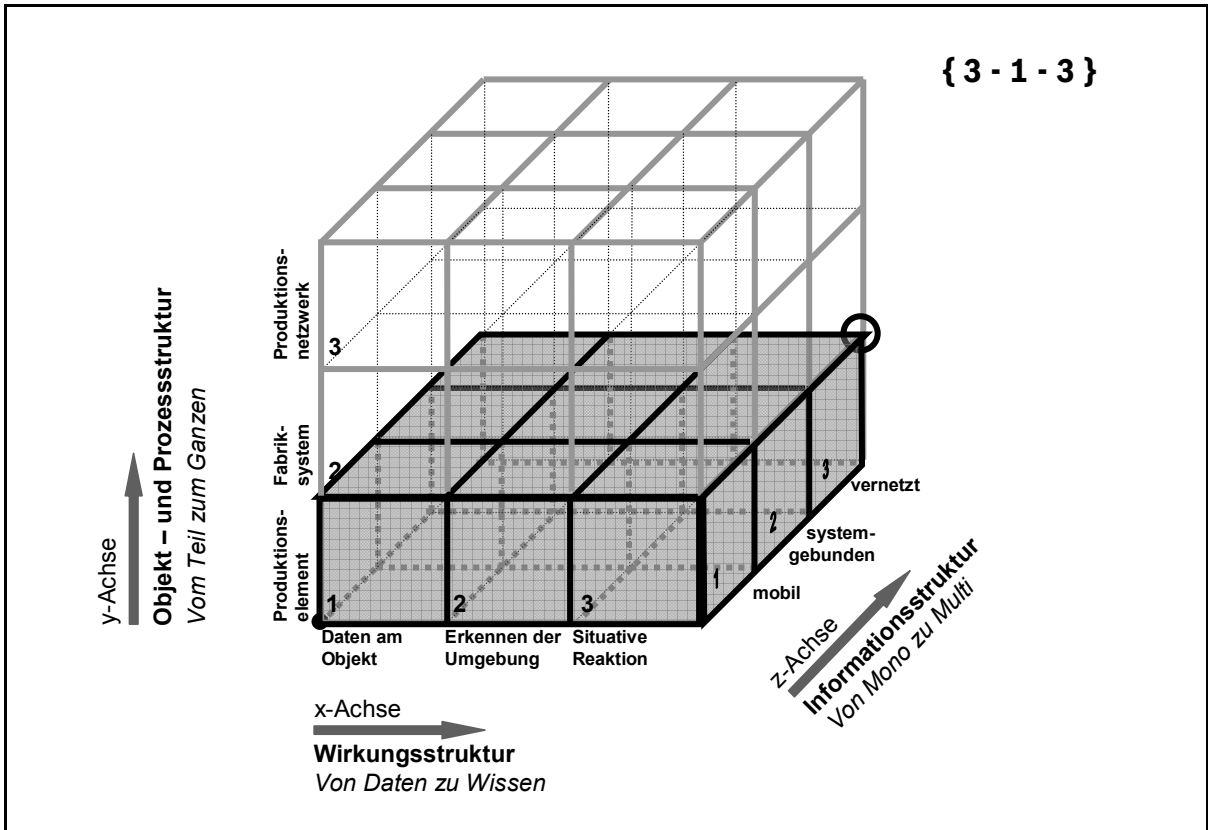


Abb. 9-21: Anwendungsmodell {3 - 1 - 3}

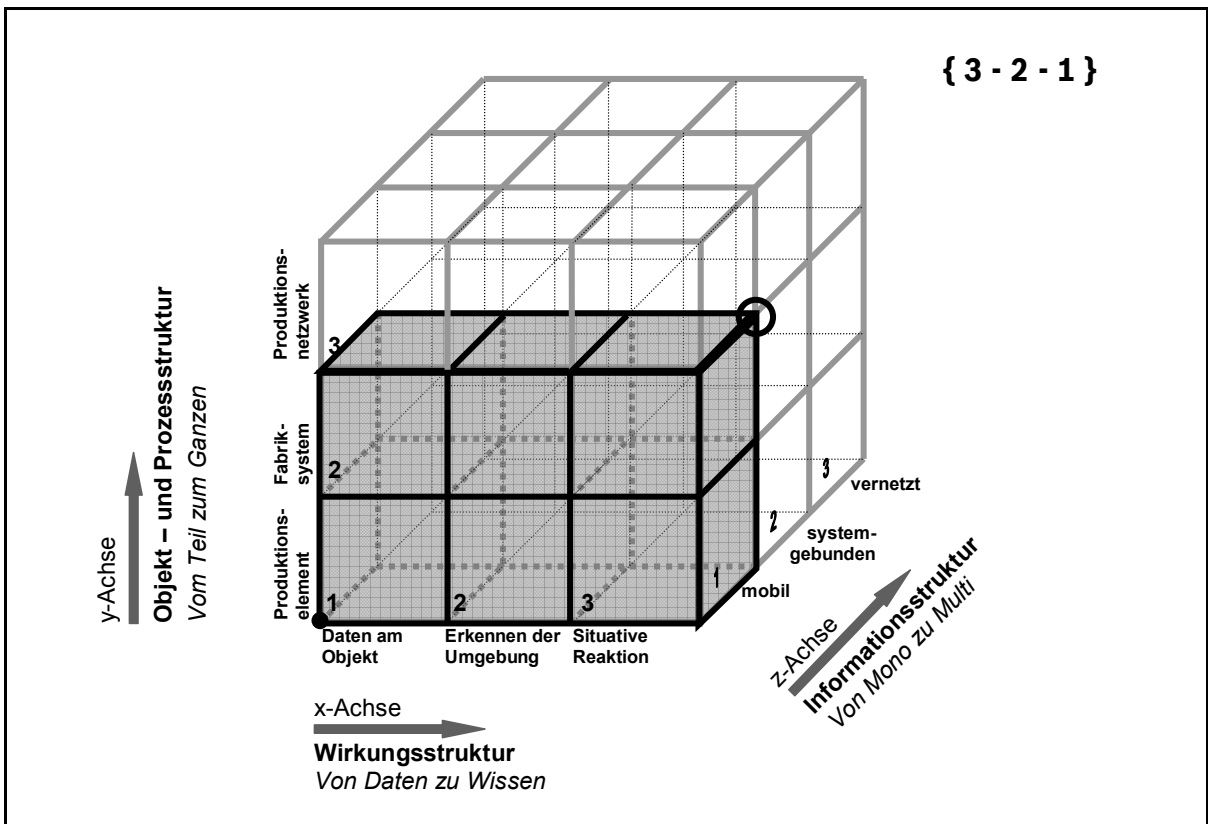


Abb. 9-22: Anwendungsmodell {3 - 2 - 1}

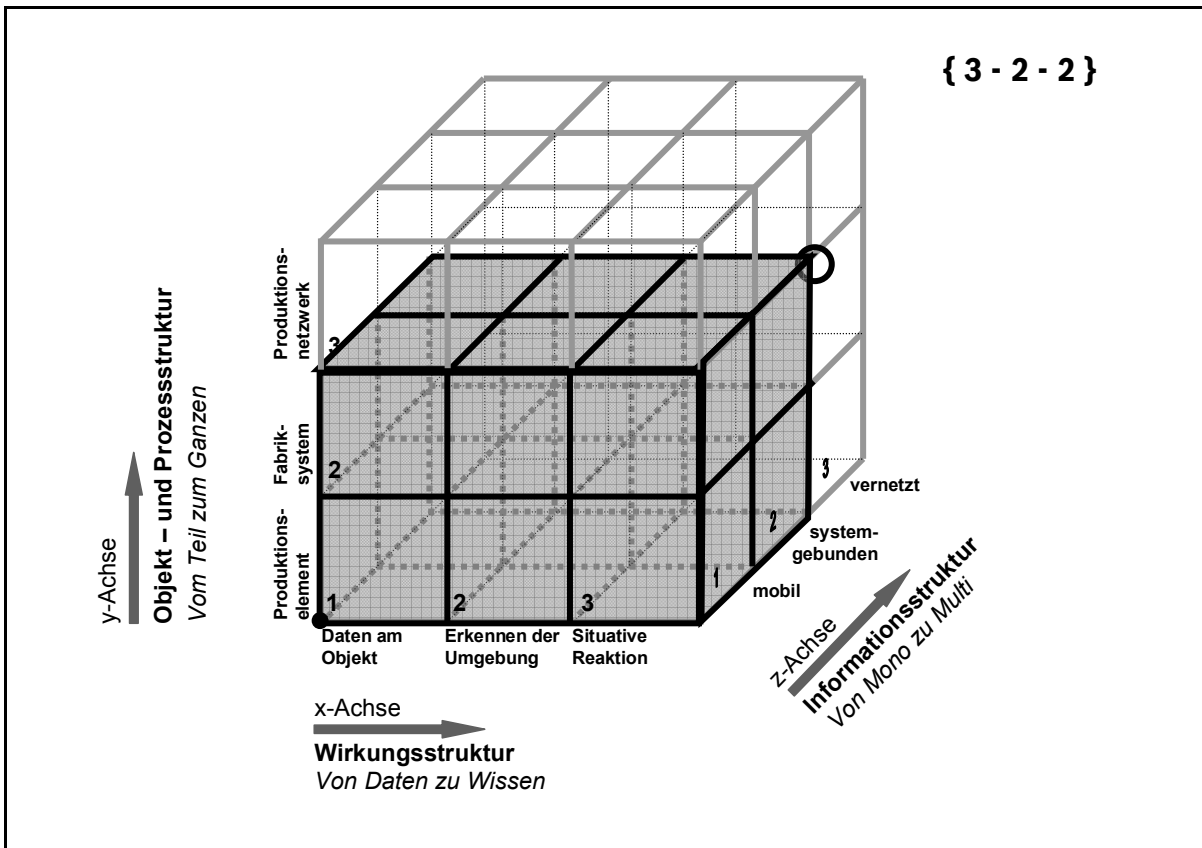


Abb. 9-23: Anwendungsmodell {3 - 2 - 2}

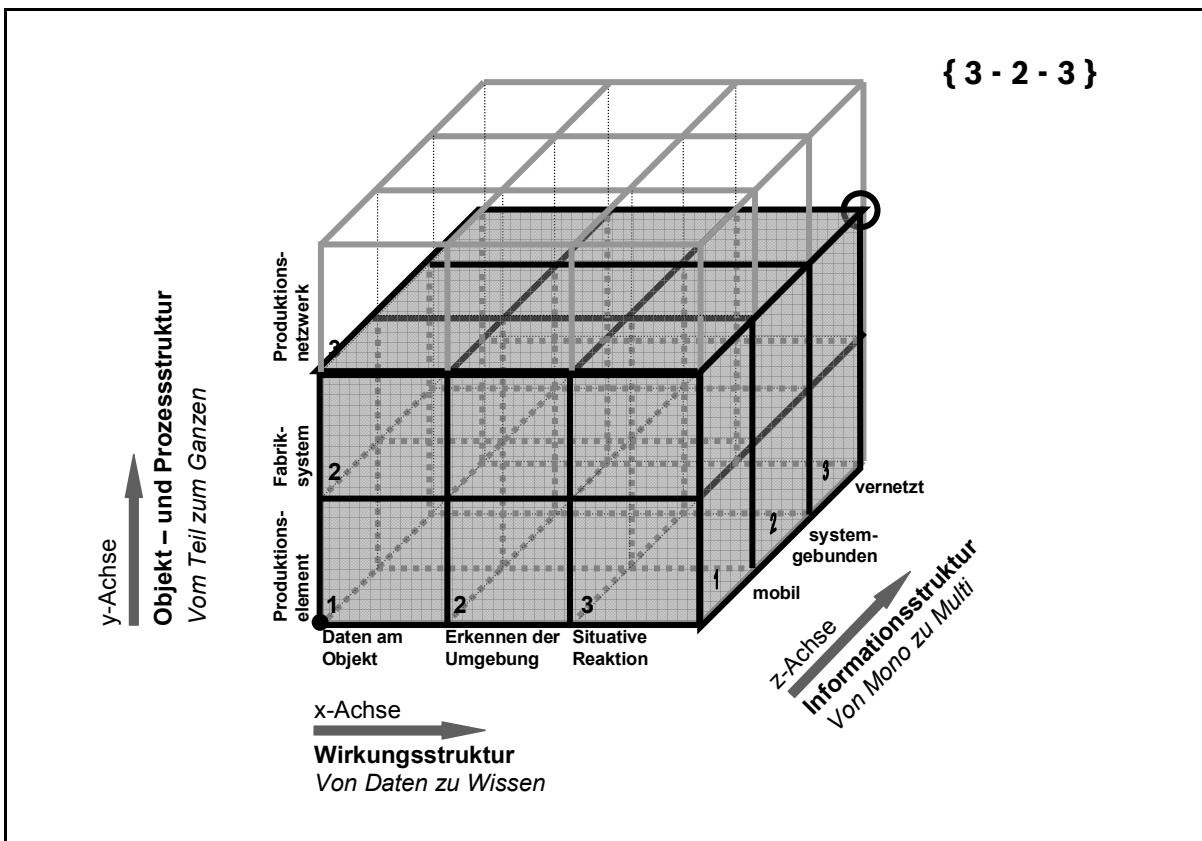


Abb. 9-24: Anwendungsmodell {3 - 2 - 3}

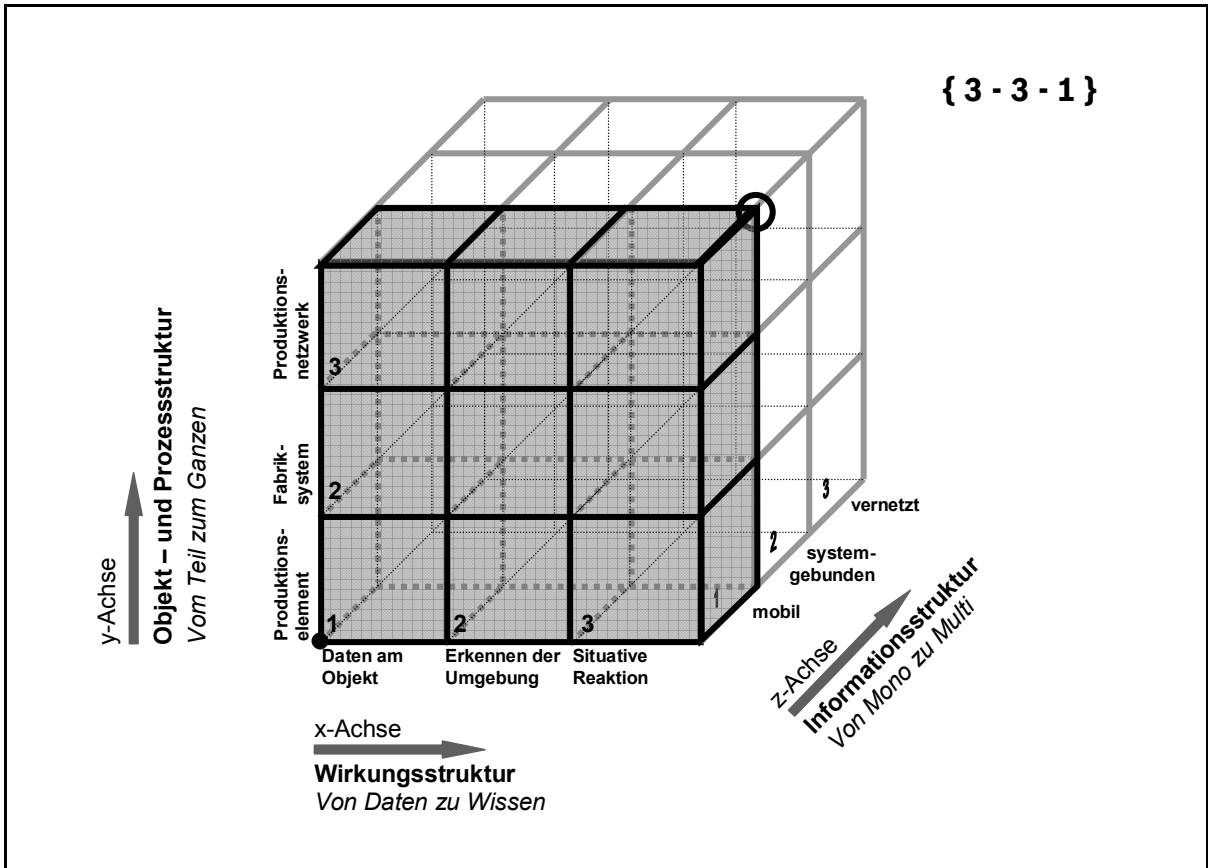


Abb. 9-25: Anwendungsmodell {3 - 3 - 1}

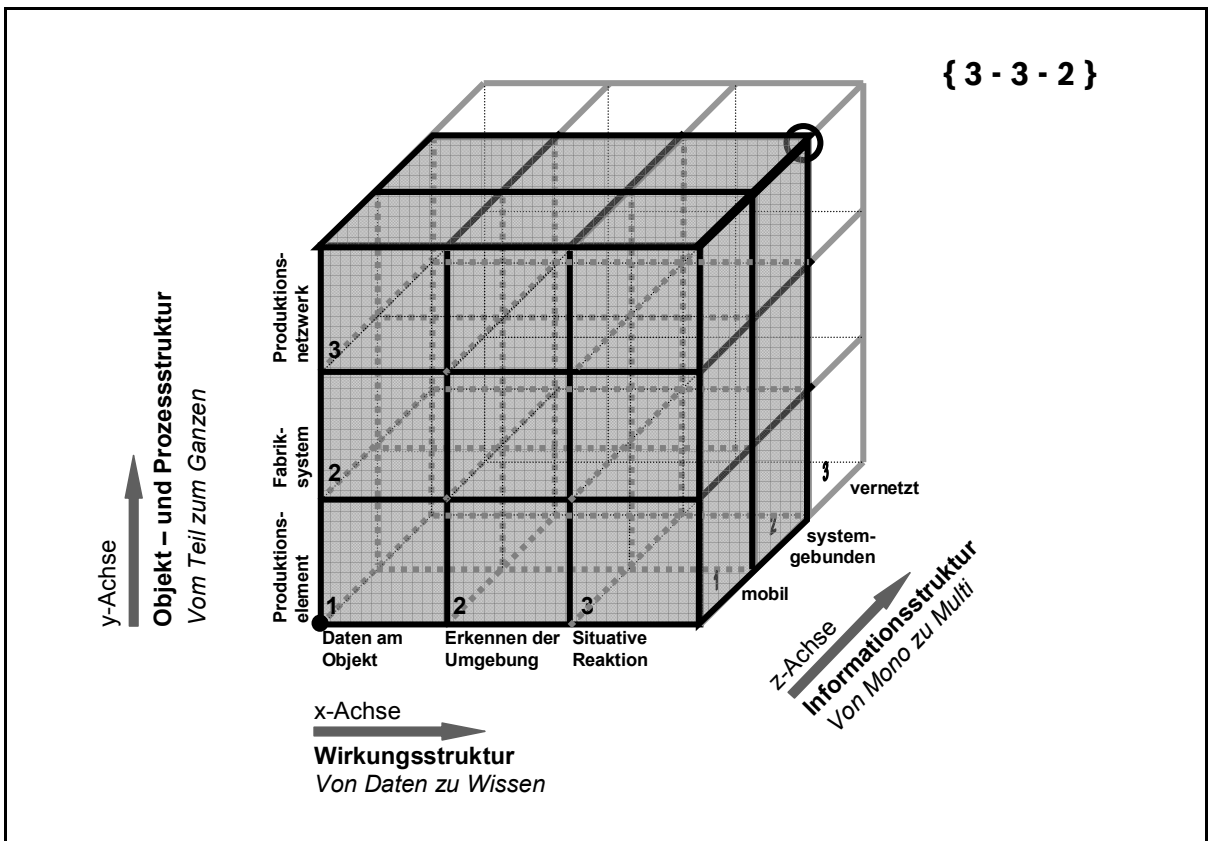


Abb. 9-26: Anwendungsmodell {3 - 3 - 2}

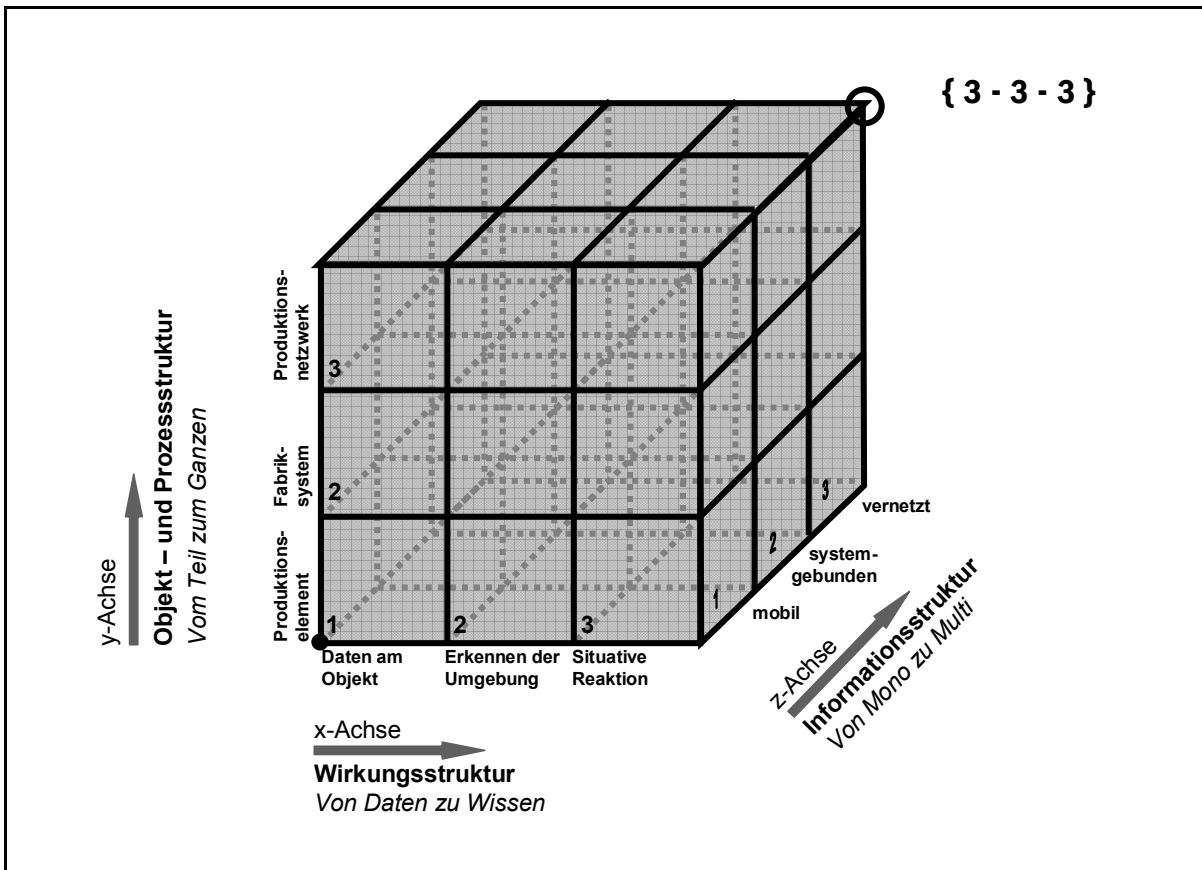


Abb. 9-27: Anwendungsmodell {3 - 3 - 3}

9.3 Formulare Prozessbeschreibung

Eingabe	Prozess	Ausgabe	Verantwortlich Mitwirkend

Flussplansymbole

- Beginn / Ende
- Schritt
- Dokument
- mehrere Dokumente
- Erzeugnis
- Datenspeicher
- externer Prozess
- Alternative
- Formular
- Verbindungsstelle
- Bogen 1
- Bogen 2
- Textfeld

Abb. 9-28: Formular Prozessbeschreibung

Lebenslauf

Persönliche Daten:

Name: Constanze Birkhahn
Geburtsdatum: 14. August 1978
Geburtsort: Heidelberg
Familienstand: ledig

Schule:

08/1985 bis 06/1989 Kurpfalz Grund- und Hauptschule Schriesheim
08/1989 bis 06/1998 Kurpfalz Gymnasium Schriesheim:
Abschluss: Allgemeine Hochschulreife

Studium:

10/1998 bis 10/2003 Technische Universität Kaiserslautern:
Abschluss: Diplom-Wirtschaftsingenieurwesen,
Vertiefungsrichtung: Verfahrens- und Umwelttechnik
09/2001 bis 10/2003 Institut National Polytechnique de la Lorraine /
Ecole Nationale en Génie des Systèmes Industriels (Nancy/F):
Abschluss:
1) Diplôme d'Ingénieur en Génie des Systèmes Industriels
2) Diplôme des études approfondies en Génie des Systèmes
Industriels

Berufstätigkeit:

06/1998 bis 09/1999 ABB Schaltanlagentechnik Ladenburg:
diverse Industriepraktika
04/1999 bis 09/2001 Universität Kaiserslautern:
wissenschaftliche Hilfskraft im Präsidialbüro
03/2003 bis 08/2003 Scintilla AG (Bosch Power Tools), Solothurn (CH):
„Mission industrielle“ / Diplomarbeit
01/2004 bis 06/2006 Robert Bosch GmbH, Schwieberdingen:
Produktionsgestaltung (Forschung und Vorauentwicklung)
seit 07/2006 Robert Bosch Fahrzeugelektrik Eisenach GmbH:
Logistikkonzeption (Planungs- und Produktionsprozesse)