

**Kommunikation als Optimierungskriterium:  
Ein Beitrag zur Systematisierung der  
Layoutplanung von Produktionssystemen**

**Dissertation**

zur Erlangung des akademischen Grades

**Doktoringenieur**

**(Dr.-Ing.)**

von Dipl.-Wirtsch.-Ing. Ulf Bergmann

geb. am 24.09.1975 in Magdeburg

genehmigt durch die Fakultät für Maschinenbau  
der Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg

Gutachter: o. Univ.-Prof. Dr.-Ing. Hermann Kühnle  
Univ.-Prof. Dr. rer. nat. habil. Pierre Sachse

Promotionskolloquium am 05.06.2008

## **Vorwort des Verfassers**

Die vorliegende Arbeit entstand während meiner Tätigkeit am Institut für Arbeitswissenschaft, Fabrikautomatisierung und Fabrikbetrieb (IAF) der Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg.

Dem Leiter des Instituts für Arbeitswissenschaft, Fabrikautomatisierung und Fabrikbetrieb und meinem Doktorvater, Herrn Prof. Dr.-Ing. Hermann Kühnle, bin ich für die stete Diskussionsbereitschaft und beständige Förderung dieser Arbeit zu besonderem Dank verpflichtet.

Ferner danke ich Herrn Prof. Dr. rer. nat. habil. Pierre Sachse für die Übernahme der Zweitbegutachtung dieser Arbeit.

Darüber hinaus gilt mein Dank allen Mitarbeitern des Lehrstuhls für Fabrikbetrieb und Produktionssysteme, insbesondere Herrn Dr. Reinhard Fietz und Herrn Gerd Wagenhaus für die Vielzahl an lohnenswerten Hinweisen und wertvollen Anmerkungen, Herrn Dr. Arndt Lüder für das mehrmalige, unentwegte Lesen dieser Schrift sowie allen studentischen Hilfskräften für die administrative Unterstützung.

Ausdrücklich bedanken möchte ich mich bei meiner Familie und meinen Freunden, deren Geduld und unbändige Unterstützung maßgeblich zum Gelingen der Arbeit beigetragen haben.

Magdeburg, im März 2008

Ulf Bergmann

## **Kurzfassung**

Die Verkürzung von Produktlebenszeiten als Ausgangspunkt für sich immer schneller wandelnde Produktionssysteme stellen den Praktiker vor die Aufgabe, effiziente Produktionssysteme innerhalb kürzester Zeiten konzeptionell zu planen und zu gestalten. In aller Regel fehlen derartigen Planungsprozessen eine ganze Reihe notwendiger Planungsinformationen. Gerade für kleine und mittlere Unternehmen stellt deshalb der Rückgriff auf planerisch verwendbares Erfahrungswissen der Mitarbeiter eine nicht zu unterschätzende Wissensbasis für die kurzfristige Erarbeitung räumlicher Produktionsstrukturen dar.

Eingebettet in die Grundkonfiguration einer allgemeingültigen Zielkonstellation wird im wissenschaftlichen Kern der vorliegenden Arbeit ein Zielkriterium entwickelt, welches die klassischen materialflussbasierten Lösungsalgorithmen der Layoutplanung um den Aspekt der Information und Kommunikation sinnvoll ergänzt. Die als Ordnungsrahmen fungierende Zielkonstellation basiert auf einer funktionalen Analyse prinzipieller Basisrelationen in einem Produktionssystem und dient der Konfiguration fallspezifisch relevanter Zielstellungen zur multikriteriellen Optimierung einer Betriebsmittelanordnung. Aus einer Analogiebetrachtung zu wesentlichen Beschreibungsgrößen des Materialflusses gelingt es im Fortgang, den Kommunikationskennwert als Aufwandsgröße für die als anordnungsrelevant isolierten Informationsabläufe in direkten Fertigungsbereichen von Produktionssystemen zu formulieren. Neben einer sukzessiven Vorgehensweise zur Bestimmung und Anwendung des Kommunikationskennwertes werden schließlich grundsätzliche Überlegungen zur Datenermittlung und Berücksichtigung natürlicher Einflussgrößen diskutiert.

An einer exemplarischen Planungsaufgabe wird der Kommunikationskennwert prototypisch angewendet und dessen Wirksamkeit nachgewiesen. Unter Anwendung einer Multi-Kriterien-Optimierung wird hierbei vordergründig das Zusammenspiel von bewährten materialflussbasierten Optimierungskriterien und dem entwickelten Kommunikationskennwert validiert.

## **Abstract**

The reduction of product life circles, being the basis for the speedily growing change of manufacturing systems, charges the practising experts with the task of planning and designing efficient manufacturing systems in the shortest time possible. As a matter of fact, these planning processes lack a multitude of necessary planning information. Especially for small and medium sized enterprises the application of experiences and knowledge provided by the employees, which can be utilized within the context of planning, serves as a vital basis for the short-term formulation of spatial production structures.

Embedded into the basic configuration of general target figures, the present work in its scientific core will develop a layout criterion which expands the classical material flow-based algorithm of facilities layout planning by the aspect of information and communication. The target line-up - functioning as a structural framework - is based on a functional analysis of fundamental relations within a manufacturing system, thereby serving the configuration of specifically relevant targets for the multi-objective optimization of a facilities layout. A comparative observation as regards relevant parameters of the material flow will succeed in formulating the index of communication intensity as an input parameter for the information processes - isolated with regard to the respective layout - in direct manufacturing areas of manufacturing systems. In addition to a consecutive method for determining and applying the index of communication intensity, fundamental concepts for data collection and the consideration of natural factors will also be discussed.

By means of an exemplary planning task, the index of communication intensity will be applied prototypically, thereby proving its efficiency as well. By applying a multi-objective optimization, the interaction of established material flow-based optimization criteria and the developed index of communication intensity will mainly be validated in this respect.

## Inhaltsverzeichnis

Verzeichnis der Abbildungen und Tabellen.....	VI
Abkürzungen und Formelzeichen.....	X
<b>1. Einleitung .....</b>	<b>1</b>
<b>2. Planung und Gestaltung von Produktionssystemen .....</b>	<b>4</b>
2.1 Charakteristik der Anordnungsoptimierung.....	7
2.2 Betriebliche Information und Kommunikation.....	12
2.3 Methodische Anforderungen.....	16
<b>3. Stand der Technik .....</b>	<b>18</b>
3.1 Bewertung der optimalen Anordnung von Betriebsmitteln.....	21
3.1.1 Klassische Herangehensweise .....	21
3.1.2 Weiterführende Konzepte .....	24
3.2 Information und Kommunikation als Anordnungskriterium.....	31
<b>4. Zielsetzung und Vorgehensweise .....</b>	<b>37</b>
<b>5. Allgemeingültiges Zielsystem für die Layoutplanung von Produktionssystemen .....</b>	<b>40</b>
5.1 Grundgerüst eines allgemeingültigen Zielsystems.....	41
5.2 Konfiguration eines allgemeingültigen Zielsystems.....	46
<b>6. Information und Kommunikation als Optimierungskriterium bei der Betriebsmittelanordnung .....</b>	<b>52</b>
6.1 Anforderungen an materialflußalternative Zielkriterien.....	54
6.2 Eigenschaften betrieblicher Informations- und Kommunikationsbeziehungen.....	56
6.3 Anordnungsrelevanz betrieblicher Informations- und Kommunikationsbeziehungen.....	58
6.4 Ableitung von Beschreibungsparametern für anordnungsrelevante Informations- und Kommunikationsbeziehungen.....	64
6.5 Ermittlung und Klassifizierung eines kommunikationsorientierten Zielwertes für die Betriebsmittelanordnung.....	70

6.6	<i>Vorgehensweise zur Optimierung anordnungsrelevanter Informations- und Kommunikationsbeziehungen in Produktionssystemen</i> .....	73
6.6.1	Datenermittlung.....	75
6.6.2	Berücksichtigung kommunikativer Grenzwerte.....	82
6.6.3	Optimierung der Anordnung.....	94
<b>7.</b>	<b>Anwendungsbeispiel zur kommunikationsorientierten Optimierung einer Betriebsmittelanordnung</b> .....	<b>100</b>
7.1	<i>Beschreibung des Planungsbeispiels</i> .....	101
7.2	<i>Erfassung der Eingangsdaten für die Planung</i> .....	103
7.3	<i>Anordnungsoptimierung der Arbeitssysteme in der Vorfertigung</i> .....	105
7.4	<i>Erkenntnisse des prototypischen Einsatzes</i> .....	121
<b>8.</b>	<b>Zusammenfassung und Ausblick</b> .....	<b>123</b>
<b>9.</b>	<b>Literaturverzeichnis</b> .....	<b>125</b>
Anhang I:	Ziel-Ordnungsmatrix .....	144
Anhang II:	Modifizierte Arbeitstagaufnahme .....	145
Anhang III:	Multimoment-Häufigkeits-Analyseverfahren .....	147
Anhang IV:	Kommunikationsdiagnose .....	150
Anhang V:	Matrizen der Beschreibungsparameter .....	151
Anhang VI:	Grundprinzip des modifizierten Umlaufverfahrens .....	152
Anhang VII:	Grundprinzip des kombinierten Deplazierungs- und Vertauschungsverfahrens .....	153
Anhang VIII:	Zielwertspezifische Anordnungsoptimierung .....	154
Anhang IX:	Ergebnismatrix der Multi-Kriterien-Optimierung .....	156

## Verzeichnis der Abbildungen und Tabellen

### Abbildungen

Abbildung 1:	Planungsschritt der Gestaltung (i.A. an [Sche03]) .....	4
Abbildung 2:	Verfahrensgruppen zur Betriebsmittel- anordnung (i.A. an [Kett84]) .....	10
Abbildung 3:	Kernfelder der Produktionssystemplanung (i.A. an [Wien01]) .....	18
Abbildung 4:	Übersicht zur Bewertung der Wandlungsfähig- keit in Fabrikssystemen (i.A. an [Hern03]) .....	20
Abbildung 5:	Übersicht exemplarisch ausgewählter Restriktionen .....	25
Abbildung 6:	Charakteristische Verläufe von Zielwerten (i.A. an [Klop99]) .....	30
Abbildung 7:	Anwendung des logistischen Prinzips auf Informationen [Augu90] .....	32
Abbildung 8:	Exemplarische Kommunikationskarte zur Visualisierung von Kommunikationsströmen (i.A. an [Alle97]) .....	35
Abbildung 9:	Vorgehensweise und Aufbau der Arbeit .....	38
Abbildung 10:	Ableitung der Zielarten aus den betrieblichen Basisrelationen .....	43
Abbildung 11:	Prinzip der vertikalen Zielzerlegung .....	44
Abbildung 12:	Prinzip der horizontalen Zielzerlegung .....	46
Abbildung 13:	Ablaufdiagramm zur Konfiguration eines allgemeingültigen Zielsystems .....	47
Abbildung 14:	Exemplarische Vorgehensweise zur Konfiguration eines allgemeingültigen Zielsystems .....	51
Abbildung 15:	Exemplarische Ermittlung von Bewertungsfunktionen für zwei Zielstellungen ..	55
Abbildung 16:	Das Modell des Kommunikationsraums .....	59

Abbildung 17:	Portfolio anordnungsrelevanter IuK-Beziehungen.....	62
Abbildung 18:	Ableitung der Beschreibungsparameter.....	64
Abbildung 19:	„Wichtigkeit“ als formelle Bewertungsgröße der Relationsart „Information und Kommunikation“.....	68
Abbildung 20:	Zusammenhang zwischen der Zeitlichen und Inhaltlichen Relevanz von IuK-Beziehungen.....	72
Abbildung 21:	Allgemeine Vorgehensweise zur Senkung anordnungsabhängiger Kommunikationsaufwände...	74
Abbildung 22:	Notwendige Daten und deren Erhebungsmethoden..	75
Abbildung 23:	MMH-Aufnahmebereiche [HaWe69] .....	79
Abbildung 24:	Lieferanten-Benutzer-Modell (LBM) .....	80
Abbildung 25:	Ableitung der Kommunikationskennwerte.....	82
Abbildung 26:	Wesentliche Einflussgrößen auf die Güte der sprachlichen Kommunikation.....	85
Abbildung 27:	Vorgehensweise zur Bestimmung von kommunikativen Grenzwerten bei der direkten Sprachkommunikation.....	88
Abbildung 28:	Wesentliche Einflussgrößen auf die Güte der visuellen Kommunikation.....	89
Abbildung 29:	Zusammenhang zwischen der Sehschärfe eines Betrachters und dessen Entfernung zum Objekt..	91
Abbildung 30:	Richtwerte für den Distanzfaktor f.....	92
Abbildung 31:	Vorgehensweise zur Bestimmung von kommunikativen Grenzwerten bei der visuellen Kommunikation.....	93
Abbildung 32:	Exemplarische Isolinienkarte der sprachlichen IuK-Beziehungen in einem Produktionssystem.....	95
Abbildung 33:	Vorgehensweise zur kommunikationsorientierten Anordnungsoptimierung (Schritte 1-2) .....	97

Abbildung 34:	Vorgehensweise zur kommunikationsorientierten Anordnungsoptimierung (Schritte 3-4) .....	98
Abbildung 35:	IST-Layout des gesamten Fabriksystems .....	102
Abbildung 36:	Zielsystem und Zielfunktion als Ergebnis des Ziel-Auswahl-Prozesses .....	108
Abbildung 37:	Berechnung der Kommunikationskennwerte .....	110
Abbildung 38:	Modellbasierte Auswertung der Verständlichkeit im Produktionssystem .....	111
Abbildung 39:	Überblick der Layoutentwicklung zur Minimierung kommunikativer Aufwände .....	112
Abbildung 40:	Zielcharakteristiken der extrahierten Zielstellungen .....	115
Abbildung 41:	Zielcharakteristik der KK-optimalen Anordnungsvariante .....	116
Abbildung 42:	Modifiziertes Vertauschungsverfahren .....	117
Abbildung 43:	Zielcharakteristik der ausgewählten Vorzugsvariante .....	119
Abbildung A 1:	Exemplarischer ATA-Erfassungsbogen .....	146
Abbildung A 2:	Exemplarischer MMH-Rundgangsplan .....	148
Abbildung A 3:	Modifizierter MMH-Erfassungsbogen (i.A. an [Schm70]) .....	148
Abbildung A 4:	Übersicht der ermittelten Beschreibungsparameter für die sprachlichen Kommunikationsbeziehungen .....	151
Abbildung A 5:	Prinzip und Ablaufschritte des modifizierten Umlaufverfahrens .....	152
Abbildung A 6:	Prinzip und Ablaufschritte des kombinierten Deplazierungs- und Vertauschungsverfahrens ...	153
Abbildung A 7:	Materialflussorientierte Anordnungsoptimierung .....	154

Abbildung A 8: Anordnungsoptimierung bzgl. Abfalltransportaufwand.....	155
---	-----

**Tabellen**

Tabelle 1: Terminologie der Bewertung (i.A. an [Zang76]).....	28
Tabelle 2: Beziehungszusammenhang zwischen Ober- und Unterziel (i.A. an [Klop99]).....	45
Tabelle 3: Verfahren zur groben und exakten Bestimmung der Sprachverständlichkeit.....	87
Tabelle 4: Differenzierung von Informationen (nach [BMG96]).....	89
Tabelle 5: Das gruppierte Produktionsprogramm.....	104
Tabelle 6: Gegenüberstellung der Flächenbedarfe im IST- Zustand und nach der geplanten Erweiterung...	105
Tabelle 7: Priorisierung der Zielarten.....	106
Tabelle 8: Priorisierung der Zielstellungen für die Zielart „stoffliche Relationen“.....	107
Tabelle 9: Zielwertmatrix.....	113
Tabelle 10: Zielgrößenbasierte Ergebnismatrix.....	118
Tabelle A 1: Ordnungsmatrix zur rechnergestützten Katalogisierung potentieller Zielstellungen (konzeptionelle Darstellung).....	144
Tabelle A 2: Ergebnismatrix der Anordnungsvarianten auf Basis einer Multi-Kriterien-Optimierung.....	156
Tabelle A 3: Ergebnismatrix der Anordnungsvarianten auf Basis einer Multi-Kriterien-Optimierung (Fortsetzung).....	157

## **Abkürzungen und Formelzeichen**

### **Gebräuchliche Abkürzungen**

akt.	aktuell
akzept.	akzeptabel
allg.	allgemein
Aufl.	Auflage
bspw.	beispielsweise
bzgl.	bezüglich
bzw.	beziehungsweise
d.h.	das heißt
et al.	et alii
etc.	et cetera
evtl.	eventuell
ggf.	gegebenenfalls
Hrsg.	Herausgeber
i.A.	in Anlehnung
i.Allg.	im Allgemeinen
i.d.R.	in der Regel
i.e.S.	im engeren Sinn
i.F.v.	in Form von
i.w.S.	im weiteren Sinn
Kap.	Kapitel
max.	maximal
min.	minimal
o.ä.	oder ähnlich
opt.	optimal
S.	Seite
sog.	sogenannt

u.a.	unter anderem
u.U.	unter Umständen
usw.	und so weiter
vgl.	vergleiche
z.B.	zum Beispiel

### **Spezifische Abkürzungen**

AB	Arbeitsbereich
AO	Anordnung/ ~svariante
AS	Arbeitssystem
ATA	Arbeitstagaufnahme
BDE	Betriebsdatenerfassung
BR	Benutzer-Rolle
CMS	Content-Management-System
IAF	Institut für Arbeitswissenschaft, Fabrikautoma- tisierung und Fabrikbetrieb
IuK	Information und Kommunikation
KODA	Kommunikationsdiagnose
LBM	Lieferanten-Benutzer-Modell
LR	Lieferanten-Rolle
MDE	Maschinendatenerfassung
MF	Materialfluss
MMH	Multi-Moment-Häufigkeitsanalyse/ ~studie / ~verfahren
MTO	Mensch-Technik-Organisation
OE	Organisationseinheit
SII	Sprachverständlichkeitsindex (engl.: speech intelligibility index)
SIL	Sprach-Störschall-Pegel (engl.: speech interference level)
SK	Sprachliche Kommunikation

SP	Spanabfälle
STI	Sprachübertragungsindex (engl.: speech transmission index)
TP	Teilprozess
VK	Visuelle Kommunikation
ZW	Zielwert

### Formelzeichen

$\alpha$	Sehwinkel
$\rho_o$	Reflexionsgrad des Objektes
$\rho_s$	Reflexionsgrad der Trägerfläche (engl.: Screen)
$\Sigma_o$	System der Objekte
$\Sigma_p$	System der Plätze (Standortträger)
A, B, C,	
i, j, k, l, m, n	Laufindizes
$A_{AB}$	Flächenbedarf eines Arbeitsbereichs
$A_{AS}$	Flächenbedarf eines Arbeitssystems
d, e	Funktionsvariablen
E	(Seh-)Entfernung vom Betrachter zum (Seh-)Objekt
$E_m$	Beleuchtungsstärke
f	Sehweiten- bzw. Distanzfaktor
$F_w$	Faktor für die Wichtigkeit einer IuK-Beziehung zwischen zwei Kommunikationspartnern
GW	kommunikativer Grenzwert
h	Höhe des (Seh-)Objektes
$H_{i,j}$	Häufigkeit einer IuK-Beziehung zwischen zwei Kommunikationspartnern
$I_{i,j}$	Intensität zwischen zwei Objekten

$IR_{i,j}$	Inhaltliche Relevanz einer IuK-Beziehung zwischen zwei Kommunikationspartnern
$K$	Kontrast
$K_{Ges}$	Gesamtkosten der Objekt-Platz-Zuordnung
$K^I_{i,j}$	Installationskosten der Objekt-Platz-Zuordnung
$K_K$	Kommunikationsaufwand für eine IuK-Beziehung zwischen zwei Kommunikationspartnern
$KK_{i,j}$	Kommunikationskennwert einer IuK-Beziehung
$k^K_{i,j}$	aufwandsbestimmender Kostenfaktor für das Zustandekommen bzw. Aufrechterhalten einer IuK-Beziehung
$K_T$	Gesamttransportkosten der Objekt-Platz-Zuordnung
$k^T_{i,j}$	spezifischer Transportkostensatz je Transporteinheit
$L$	Leuchtdichte
$L_x$	Entfernung der Flächenschwerpunkte zwischen zwei Objekten
$M_o$	Menge anzuordnender Elemente
$M_p$	Menge zur Verfügung stehender Plätze (Standortträger)
$p^u_{k,j}$	Prioritätskennzahl in Abhängigkeit von der Zielhierarchie (Indizierung)
$Q$	Gesamttransportleistung der Objekt-Platz-Zuordnung
$R_e$	energetische Relationen
$R_i$	informationelle Relationen
$R_ö$	ökonomische Relationen
$R_p$	personelle Relationen
$R_s$	stoffliche Relationen
$R_x$	Raster mit einer Rastergröße $x$
$S$	Sehschärfe

$S_{i,j}$	Entfernung zwischen zwei Plätzen (Standortträgern)
$S_o$	Folge zweistelliger Relationen zwischen den anzuordnenden Elementen
$S_p$	Folge zweistelliger Relationen zwischen den zur Verfügung stehenden Plätzen (Standortträgern)
$T$	Bezugszeitraum in ZE
$t_{BEL}$	Belastungszeiten
$t_V$	Zeitfond
$u$	Rang der betrachteten Zielebene
$V$	Reihenfolgevektor
$x_{i,j}$	Zuordnungsvariable
$Zg^S_B$	Zielgröße für den Transportaufwand von Betriebsstoffen
$Zg^S_{SR}$	Zielgröße für den Transportaufwand von Rohstoffen
$Zg^u_{k,j}$	Zielgröße in Abhängigkeit von der Zielhierarchie (Indizierung)
$Z_e$	Zielart „energetische Relation“
$Z_i$	Zielart „informationelle Relation“
$Z_ö$	Zielart „ökonomische Relation“
$Z_p$	Zielart „personelle Relation“
$Z_s$	Zielart „stoffliche Relation“
$ZR_{i,j}$	Zeitliche Relevanz einer IuK-Beziehung zwischen zwei Kommunikationspartnern
$Z^u_{k,j}$	Ziel, Zielart, Zielstellung in Abhängigkeit von der Zielhierarchie (Indizierung)
$ZW^u_{k,j}$	Zielwert

### 1. Einleitung

Insbesondere kleine und mittlere Unternehmen (KMU) sehen sich mit Blick auf das globale Zusammenwachsen der Absatz- und Beschaffungsmärkte veränderten Rand- und Rahmenbedingungen ausgesetzt.<sup>1</sup> Ein prägnantes Indiz hierfür stellt die zunehmende Individualisierung der Kundenwünsche bei einer verstärkten Fluktuation der unteretzten Produktionsprogramme dar. Dies führt zwangsläufig zu einer real gestiegenen Vielfalt der nachgefragten Erzeugnisvarianten. Darüber hinaus verringert sich zudem die Planbarkeit dieser Produktionsprogramme.<sup>2</sup>

Als Reaktion auf diese Entwicklung wurden moderne Strukturierungsansätze entwickelt, um Produktionsbetriebe der Einzel- und Kleinserienfertigung mit vorherrschend verrichtungsorientierten Produktionssystemen in die Lage zu versetzen, auf derartige Veränderungen adäquat zu reagieren.<sup>3</sup>

Eine diesbezüglich als Wandlungsfähigkeit spezifizierte Systemeigenschaft dient der Beherrschung des komplexen Zusammenspiels der Grundelemente eines Produktionssystems, indem die Betriebsmittel derart in Bereitschaft gehalten werden, dass diese sich bei Bedarf zeitnah neu konfigurieren können (vergleichbar dem „Stand-By-Modus“ elektrischer Haushaltsgeräte).<sup>4</sup>

---

<sup>1</sup> Vgl.: [Kühn08]

<sup>2</sup> Reising verweist darauf, dass vor allem verrichtungsorientiert organisierte Produktionssysteme der Einzel- und Kleinserienfertigung nur bedingt in der Lage sind, flexibel auf häufige Änderungen des Produktionsprogramms bei hoher Variantenanzahl zu reagieren (vgl. [Reis97]).

<sup>3</sup> Verantwortung als Ordnungskriterium [Reis97], Bewertung der Wandlungsfähigkeit [Förs99], zieladäquate Grobstrukturbildung [Riet00], Herstellung der Abgeschlossenheit betrieblicher Prozesse durch Abgleich von Verantwortung und Informationsfluss [Mert00]

<sup>4</sup> Aufbauend auf Hartmann begreift Förster die Wandlungsfähigkeit als die Fähigkeit eines Systems zur aktiven, schnellen Anpassung der Strukturen auf zeitlich nicht vorhersehbar wechselnde Aufgaben aus eigener Substanz (=Anpassungsfähigkeit) in Verbindung mit der Fähigkeit zur evolutionären Entwicklung der Strukturen bei zeitlich konstanten oder längerfristig vorhersehbar wechselnden Anforderungen aus eigener Substanz (=Entwicklungsfähigkeit). [Hart95], [Förs99]

Standardisierte Grundprinzipien, die die Bausteine Ganzheitlicher Produktionssysteme<sup>5</sup> darstellen, begreifen die Layoutplanung von Produktionssystemen als ein zielführendes Gestaltungselement<sup>6</sup>, stoßen unter den eingangs beschriebenen Bedingungen jedoch an konzeptionelle Grenzen.

Untersuchungen im Rahmen der industriellen Auftragsforschung verdeutlichen, dass gerade die Anlaufphasen von Produktionssystemen zunehmend schleppend und qualitativ instabil ablaufen.<sup>7</sup> Im Gegensatz zur produktionstechnischen Flexibilität als vorherrschende Form wird die Wandlungsfähigkeit eines Produktionssystems rund um den Produktivstart vorrangig dadurch gewährleistet, dass den Mitarbeitern die Möglichkeit gegeben wird, zeitnah und auf direktem Wege betriebsrelevante Informationen auszutauschen.<sup>8</sup> Um hierfür eine zweckmäßige Anordnung der Arbeitssysteme zu generieren, erscheinen rein (material-)flussorientierte Kriterien als Mittel zur Gestaltung wandlungsfähiger Produktionssysteme nur bedingt zielführend.

---

<sup>5</sup> Unter einem Ganzheitlichen Produktionssystem wird ein dynamisches Netzwerk von Gestaltungsprinzipien, Standards und Regeln zum Planen, Betreiben und Verbessern der betrieblichen Geschäftsprozesse verstanden. Kurz aber prägnant bedeutet dies: „Betriebsanleitung zum Produzieren“ (vgl. [Sysk06], [Like04]).

<sup>6</sup> Die Fluss- bzw. Prozessorientierung ist ein umfassender Gestaltungsansatz, der darauf gerichtet ist, einen schnellen, durchgängigen und turbulenzarmen Fluss von Materialien und Waren aber auch Informationen über die gesamte Wertschöpfungskette zu ermöglichen. In einem flussorientierten Layout werden Arbeitssysteme so angeordnet, dass für den gesamten Fertigungsprozess der Transportaufwand gemäß der technologischen Reihenfolge der Arbeitstechniken minimiert wird und der produktseitige Materialfluss transparent gestaltet werden kann (vgl. [Sysk06]).

<sup>7</sup> Vgl.: [Wilh07], [Kühn03]

<sup>8</sup> Eminent wird dies für Produktionssysteme auch unabhängig einer verrichtungsorientierten Struktur, wenn in deren direkten Fertigungsbereichen ablauforganisatorische Regelungen bzw. Instrumente nur lückenhaft oder gar nicht vorhanden sind. Hier existiert zumeist ein latent hoher Koordinierungsaufwand (z.B. durchweg mündliche Anweisungen, keine schriftlich fixierten Fertigungsunterlagen). [Schn00]

Gleiches gilt für die örtliche Zusammenführung qualitätsbestimmender Arbeitssysteme, um über kommunikative Abstimmungsprozesse zwischen den Mitarbeitern kurze Regelkreise zur Vermeidung oder zumindest Verminderung einer systematischen Produktion von Fehlteilen herzustellen (vgl. hierzu auch [MüSe05], [Nyhu05]).

Dementsprechend wird im Kern der vorliegenden Arbeit ein kommunikationsorientiertes Zielkriterium<sup>9</sup> entwickelt, welches die klassischen materialflussbasierten Lösungsalgorithmen für die Betriebsmittelanordnung um den Aspekt der Information und Kommunikation sinnvoll ergänzt. Hierzu ist eine integrierte Betrachtungsweise der Anordnungsproblematik notwendig, die mit Hilfe einer evidenten Systematisierung grundlegender Wechselwirkungen zwischen den Elementen eines Produktionssystems die Identifizierung anordnungsrelevanter Informations- und Kommunikationsbeziehungen in direkten Fertigungsbereichen ermöglicht. Für den praktischen Einsatz wird eine verfahrenangepasste Vorgehensweise erarbeitet, die kommunikationsspezifische Umfeldbedingungen zur Ermittlung des Zielkriteriums beachtet.

Wesentliche Vorteile dieses Ansatzes ergeben sich aus der fallspezifischen Konfigurierbarkeit mehrerer Zielkriterien sowie einer systematischen Anleitung zur Abprüfung anordnungsrelevanter Beziehungsstrukturen in einem Produktionssystem. Diese werden durch ein Planungsbeispiel für ein nach dem Einzelplatzprinzip organisiertes Produktionssystem der Holzindustrie nachgewiesen.

---

<sup>9</sup> Ziel- und Bewertungskriterien, die zur Optimierung einer Betriebsmittelanordnung Anwendung finden, werden synonym auch als Anordnungs- bzw. Optimierungskriterien bezeichnet.

## 2. Planung und Gestaltung von Produktionssystemen

Die Gestaltung ist der abschließende Schritt bei der Planung von Produktionssystemen.<sup>10</sup> Dabei werden die zuvor dimensionierten und strukturierten Ressourcenelemente und Relationen zu einem funktionsfähigen Gesamtsystem geordnet. Ziel dabei ist die Generierung umsetzungsreifer, räumlich-funktioneller Anordnungen der betrieblichen Funktions-, Struktur- und Organisationseinheiten zueinander (vgl. Abbildung 1).<sup>11</sup>



Abbildung 1: Planungsschritt der Gestaltung (i.A. an [Sche03])

Herzstück der Gestaltung stellt die Layoutplanung dar. Hierbei werden die Ergebnisse der Dimensionierung und Strukturierung „in eine konkrete, grundrissmäßig und räumlich definierte Form gebracht“. [Aggt90a]

---

<sup>10</sup> Die Planung von Produktionssystemen startet i. Allg. mit einer vorgelagerten Systemanalyse, in der allgemeine Aussagen über Funktion und Menge der Elemente sowie der Struktur des Produktionssystems sowie über deren Zustand, Verhalten und Schwachstellen erarbeitet werden. In einer ersten Konzipierung werden anschließend Zielsetzungen in Form von Vorgaben für die einzelnen Planungsschritte generiert. Im Rahmen der Systemsynthese folgen dann grundlegende Arbeiten zum Aufbau der Struktur des Systems. Die Systemsynthese beinhaltet die Planungsschritte der Funktionsbestimmung, Dimensionierung und Strukturierung. Deren Ergebnisse werden in der Systemgestaltung unter Beachtung der Zielvorgaben zum jeweils angestrebten Gesamtergebnis zusammengefasst. Diese in erster Näherung lineare Abfolge von Planungsaktivitäten wird zyklisch durchlaufen, bis bei einem bestimmten Grad der Konkretheit und Detailliertheit die Realisierung möglich ist (vgl. [Sche03], [Schm95], [Woit77]).

<sup>11</sup> Vgl.: [Förs03], [Wirt00], [Aggt90a], [Kühn99], [Feli98], [Wien96], [VDI2385], [Kett84], [Dole81], [Muth73]

Grundlage bildet die Anordnungsoptimierung ortsgebundener Elemente, denen entsprechende Standortflächen zugewiesen werden müssen. Im Ergebnis entsteht eine graphische Darstellung (das Layout), die zusammen mit den vorhandenen Restriktionen (bau-, produktionstechnische oder behördliche Auflagen) die wesentliche Grundlage zur Realisierung des Produktionssystems bildet. Dabei wird generell das Ziel verfolgt, einen wirtschaftlichen und störungssicheren Fertigungsablauf zu ermöglichen.<sup>12</sup>

Die wissenschaftliche Basis für die Bearbeitung verschiedenster Fragestellungen bei der Planung und Gestaltung komplexer Produktionssysteme<sup>13</sup> stellt die Systemtheorie<sup>14</sup> dar. In Abhängigkeit vom jeweiligen Untersuchungsfeld lassen sich hierbei verschiedene Systemarten unterscheiden. Auf der höchsten Abstraktionsebene fallen Fabriken und deren Produktionssysteme in die Systemart der sozio-technischen Systeme, da sie durch den Menschen unter Nutzung von Technik und Technologie betrieben werden und somit eine Schnittmenge aus einem sozialen und einem technischen Teilsystem darstellen. [Hild05]

Ein Produktionssystem wird mit Blick auf die systemtheoretischen Erklärungskonzepte nach Ropohl demzufolge als sozio-technisches Subsystem einer Fabrik beschrieben, das aus der produktionstechnischen Sichtweise die Elemente Mensch, Technik und Organisation und deren Relationen über Input-Output-Zusammenhänge zur Erschaffung von Produkten kombiniert. [Ropo99]

---

<sup>12</sup> Vgl.: [Förs03], [Kühn96], [VDI3595], [Dang86], [Brem79], [Mart76], [Baur72]

<sup>13</sup> Planung ist die geistige Vorwegnahme zukünftigen Geschehens, d.h. das systematische Suchen und Festlegen von Zielen sowie von Aufgaben und Wegen zum Erreichen der Ziele (vgl. [Schm95]).

Gestaltung ist das schöpferische Formen und Ordnen von Objekten, ihrer Elemente und ihrer Beziehungen untereinander (vgl. [Schm95]).

Unter einem komplexen Produktionssystem werden alle Arten von Produktionseinrichtungen verstanden, bei denen mehrere, sich ergänzende Einzelfunktionen, sowohl bei der Bearbeitung und Montage, als auch im Material- und Informationsfluss, weitestgehend selbsttätig ablaufen. Ein wesentliches Merkmal ist die informationstechnische Verknüpfung der einzelnen Komponenten des Systems (vgl. [Jaeg91]).

<sup>14</sup> Die Systemtheorie ist die formale Wissenschaft von dem Aufbau, den Relationen und dem Verhalten von Systemen. Ziel der Systemtheorie ist die Formulierung allgemeingültiger Gesetze mit dem Schwerpunkt, formale Ordnungsmittel bereitzustellen (vgl. [Luhm06], [Ropo99]).

Aus einer für die weiteren Untersuchungen nützlichen mengentheoretischen Sichtweise heraus beschreiben Wirth und Schmiggalla ein Produktionssystem über: [Wirt89], [Schm95]

- die Art und Anzahl der Elemente<sup>15</sup>,
- die Art und Anzahl der Beziehungen<sup>16</sup> und über
- die Eigenschaften<sup>17</sup> der Elemente, Beziehungen und des Systems selbst.

Die Notwendigkeit zur Anordnungsoptimierung der Elemente eines Produktionssystems ist im Wesentlichen abhängig von der Art des Fertigungsablaufs und dem räumlich-organisatorischen Aufbau des Produktionssystems<sup>18</sup>. Als signifikantes Merkmal zur Be-

---

<sup>15</sup> Elemente sind die kleinsten Teile eines Systems, die nicht weiter sinnvoll unterteilt werden können. Sie können reale oder gedachte Dinge sein und werden im Kontext der Produktionssystemplanung den allg. Produktionsfaktoren Mensch, Technik und Material zugeordnet.

<sup>16</sup> Beziehungen, auch als Relationen bezeichnet, werden nach ihrer Stelligkeit in Prozesse und Strukturen unterschieden:

Die Gesamtheit aller zweistelligen Relationen zwischen den Elementen in einem System wird im Allgemeinen als Struktur bezeichnet. Zweistellige Relationen verknüpfen jeweils zwei Elemente so miteinander, dass i.A. an die Mengentheorie auf einer Menge  $M$  das Elementepaar  $\langle x, y \rangle$  einer Eigenschaft  $z$  derart zugeordnet wird, dass  $z = x \ y$ . Die Eigenschaften dieser zweistelligen Relationen bestimmen die Struktur, also den Aufbau eines Systems und bilden die Grundordnung der Elemente: Was hält die Elemente zusammen? [Luhm06], [Hild05]

Der Prozess als mehrstellige Relation bildet die Gesamtheit von mehreren, aufeinander einwirkenden, verknüpften Operationen in einem System ab (Folge von Operationen), durch die Materie, Informationen oder Energie transformiert, transportiert oder gespeichert werden. [DIN66201], [Hild05]

<sup>17</sup> Ein Produktionssystem (als Subsystem einer Fabrik) ist als reales, offenes, komplexes, probabilistisches, künstliches und dynamisches System aufzufassen. Gemäß der Definition eines Systems gilt dies auch für die Elemente und entsprechenden Beziehungen zwischen diesen Elementen. [Spur94]

<sup>18</sup> Die Art des Fertigungsablaufs wird maßgeblich durch die zeitliche Folge der Relationen eines Produktionssystems charakterisiert. Hierbei wird zwischen der Einzelteilweitergabe (Parallelverlauf) und der Losweitergabe (Reihenverlauf) unterschieden. Der räumlich-organisatorische Aufbau umfasst die wirtschaftlichste Anordnung der Systemelemente unter Beachtung der baulichen Gegebenheiten und spezifischer Bedingungen des Fertigungsablaufs. So nimmt das Einzelplatzprinzip eine Sonderstellung ein, da hier keine Teileweitergabe zu anderen Betriebsmitteln im Produktionssystem stattfindet. Des Weiteren lassen sich räumliche Anordnungen nach dem Fertigungsablauf/der technologischen Reihenfolge (Reihenfertigung bis hin zur Fließfertigung) von der verrichtungsorientierten Aufstellung der Betriebsmittel in räumlich zusammengefassten Werkstätten differenzieren (Werkstattfertigung). Von einer Nest- oder Gruppenfertigung ist die Rede, wenn funktionell zusammenwirkende Betriebsmittel, die gleichartige Teilprozesse bewältigen, örtlich zusammengefasst werden. [Schm70]

antwortung der Frage, wo die Anordnungsoptimierung sinnvoll einsetzbar ist, bestimmt Schmigalla die Transportweglänge zwischen den Betriebsmitteln eines Produktionssystems. Aufgrund ihrer Charakteristik ändert sich die Transportweglänge in fertigungsablauforientierten Produktionssystemen bei der Hinzunahme weiterer Betriebsmittel nur unwesentlich. Dagegen ist die Transportweglänge in verrichtungsorientierten Produktionssystemen unmittelbar von der Anzahl der Betriebsmittel abhängig. [Schm70]

Demzufolge wird der mathematischen Anordnungsoptimierung von Betriebsmitteln in verrichtungsorientierten Produktionssystemen der variantenreichen Serienfertigung von Stückgütern ein hohes Anwendungs- und Erfolgspotential zugeordnet.<sup>19</sup>

## 2.1 Charakteristik der Anordnungsoptimierung

Auf Basis der Systemtheorie stellt sich die mathematische Lösung zur optimalen Anordnung ortsfester Elemente (Objekte) auf vorgegebene Standortträger (Plätze) als Vereinigung der disjunkten Systeme der Objekte und Plätze dar. [Schm95]

Das System der Objekte besteht aus einer Menge anzuordnender Elemente, die über zweistellige Relationen miteinander in Verbindung stehen, jeweils nach Art und Anzahl bzw. Intensität<sup>20</sup> differenzierbar.

$$\sum_o = [M_o, S_o]$$

$M_o$ ... Menge anzuordnender Elemente

$S_o$ ... Folge zweistelliger Relationen zwischen den anzuordnenden Elementen

---

<sup>19</sup> Vgl.: [Fran98], [Tomp96]

<sup>20</sup> Die Intensität als Messkriterium der Stärke einer Relation  $n$  stellt die Anzahl bzw. Menge an beweglichen Objekten dar, die über die Relation  $n$  in einem festgelegten Betrachtungszeitraum zwischen zwei Elementen eines Systems ausgetauscht werden. [Sche03]

Die Relationen können dabei unterschiedlicher Natur sein und werden i.A. an Rockstroh, Wirth und Schmigalla wie folgt unterschieden:<sup>21</sup> [Rock78], [Wirt89], [Schm95]

$$S_O = [R_s, R_i, R_e, R_p, R_o]$$

- R<sub>s</sub>... stoffliche Relationen
- R<sub>i</sub>... informationelle Relationen
- R<sub>e</sub>... energetische Relationen
- R<sub>p</sub>... personelle Relationen
- R<sub>o</sub>... ökonomische Relationen

Die Intensität der zweistelligen Relationen wird gemäß der geordneten Elementepaare in einer Intensitätsmatrix I abgebildet. Je nach Wirkung werden hierbei Relationen mit einer zusammenziehenden, verbindenden Wirkung von derartigen Relationen unterschieden, die eine abstoßende, trennende Wirkung hervorrufen.

Die Beschreibung des Systems der Plätze erfolgt in gleicher Weise. Es besteht aus einer Menge zur Verfügung stehender Standortträger, die ebenfalls über zweistellige Relationen verknüpft sind.

$$\sum_p = [M_p, S_p]$$

- M<sub>p</sub>... Menge zur Verfügung stehender Plätze (Standortträger)
- S<sub>p</sub>... Folge zweistelliger Relationen zwischen den zur Verfügung stehenden Plätzen (Standortträgern)

Die Lagebeziehung zwischen den Plätzen ist hierbei die einzig relevante Relation. Sie ist die maßgebliche Größe und wird über die Entfernung zweier Plätze bewertet, zusammengefasst dargestellt in einer quadratischen Matrix - der sog. Entfernungsmatrix S.

---

<sup>21</sup> Der dem Vernetzungsgedanken folgende Aspekt des Betriebsmittelflusses soll hierbei ausgeklammert werden, da ortsfeste Elemente im Fokus dieser Arbeit stehen.

Die Verknüpfung beider Systeme erfolgt durch die Zuweisung genau eines ortsfesten Objektes zu einem Platz (und umgekehrt), so dass eine von dieser Zuordnung abhängige Größe maximiert oder minimiert wird, jeweils im Sinne der Relationswirkung.

Dieses allgemeine Zuordnungsproblem wird mathematisch wie folgt beschrieben.<sup>22</sup>

Zielfunktion:

$$\sum_{i_o=1}^m \sum_{j_o=1}^m \sum_{i_p=1}^m \sum_{j_p=1}^m x_{i_o j_o} \cdot I_{i_o j_o} \cdot x_{i_p j_p} \cdot S_{i_p j_p} \Rightarrow \min$$

Nebenbedingung:

$$\sum_{i=1}^m x_{ij} = 1 \quad (j=1,2,\dots,m)$$

$$\sum_{j=1}^m x_{ij} = 1 \quad (i=1,2,\dots,m)$$

$I_{i_o j_o}$  ... Intensität zwischen zwei Objekten

$S_{i_p j_p}$  ... Entfernung zwischen zwei Plätzen

$x_{ij}$  ... Zuordnungsvariable, wobei

$$x_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{wenn Objekt } o \text{ dem Platz } p \text{ zugeordnet wird} \\ 0, & \text{wenn Objekt } o \text{ dem Platz } p \text{ nicht zugeordnet wird} \end{cases}$$

Zur Lösung des vorliegenden Zuordnungsproblems wurden verschiedene Verfahren und Vorgehensweisen entwickelt, wobei sich jedes dieser Verfahren an einen speziellen Typ des zugrunde liegenden Entscheidungsmodells orientiert. In den letzten 50 Jahren hat sich eine Vielzahl von Autoren mit dem Thema der Betriebsmittelanordnung beschäftigt. Die dabei entwickelten Verfahren und Methoden können anhand ihrer Merkmale, wie Abbildung 2 aufzeigt, kategorisiert werden.

---

<sup>22</sup> Vgl.: [Drez02]

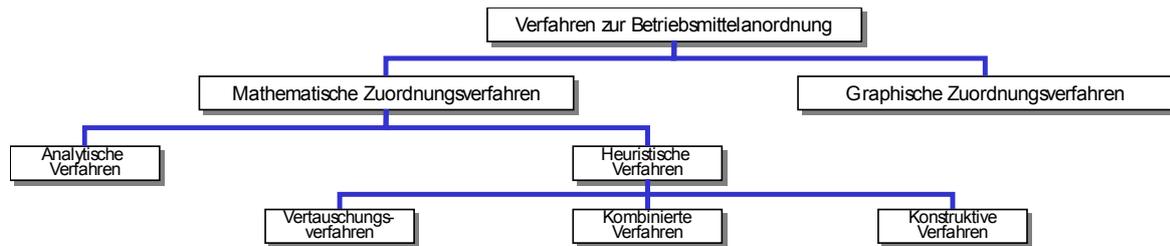


Abbildung 2: Verfahrensgruppen zur Betriebsmittelanordnung  
(i.A. an [Kett84])

Nach Kettner et al. und Wirth nehmen in Produktionsbetrieben die stofflichen Beziehungen und i.e.S. der Materialfluss<sup>23</sup> eine dominante Rolle ein. Sie werden daher häufig quantitativ erfasst und nahezu ausschließlich als Zielkriterium zur Lösung des Zuordnungsproblems genutzt. [Kett84], [Wirt00]

Aufgrund ihres überschaubaren Rechenaufwandes sind vor allem heuristische Verfahren seit Mitte der 1990er Jahre standardmäßig in Softwareprodukten anzutreffen. Diese versprechen insbesondere in Verbindung mit rechnergestützten Analyseverfahren schnelle und aussagekräftige Ergebnisse. [Grun06]

Die Realität vermittelt jedoch einen anderen Eindruck. In der planerischen Praxis erfolgt zumeist der Rückgriff auf erfahrungsgelenkte Prinzipien, die sich in Strukturkonzepten wie z.B. der Plus- oder Spine-Anordnung widerspiegeln.<sup>24</sup> Ein Grund hierfür liegt in der allg. Zielfunktion klassischer Anordnungsverfahren, die ihr Optimierungsverhalten nahezu ausschließlich auf die produktseitigen Materialflussbeziehungen fokussieren. Eine im Weiteren aufgezeigte Ausnahme findet sich u.a. bei Wäscher. [Wäsc82]

In Verbindung mit der Tatsache, dass innerbetriebliche Transportverflechtungen zunehmend durch hochtechnisierte Materialflusssysteme entzerrt werden, geraten klassische Optimierungsansätze zunehmend an ihre konzeptionellen Grenzen, da hierbei

---

<sup>23</sup> Der Materialfluss wird im Sinne der Anordnungsoptimierung als bewusste Ortsveränderung von Werkstücken, Zwischen- und Fertigprodukten unter notwendiger Zu- und Abführung von Roh-, Hilfs- und Betriebs- sowie Abfallstoffen innerhalb festgelegter (Fabrik-)Bereiche verstanden (i.A. an [VDI3300]).

<sup>24</sup> Die Basis derartiger Strukturkonzepte bilden formale Strukturmodelle (vgl. Ausführungen bei [Kühn96]).

dem Verfahrensgrundsatz nach der potentielle Lösungsraum erheblich eingeschränkt wird. [Boga98]

Nicht zu vernachlässigende Standortwechselkosten, die bei einer Neuordnung zwangsläufig anfallen, verstärken diesen Effekt. Ein sich den jeweiligen Marktbedingungen anzupassendes Produktionssystem kann sich nicht dadurch charakterisieren lassen, dass Transportwegminimierungen durch das ständige Umstellen von Betriebsmitteln erfolgen. [Wien02] Konzepte, wie die layoutflexible Fertigung oder Plug'n'Produce, sind mit einem zusätzlich hohen technischen Aufwand verbunden und über den prototypischen Anwendungsfall hinaus in der Praxis selten anzutreffen. [Häri97], [Wirt04], [Hild05]

Weitere Planungsmethodiken, die die klassische Vorgehensweise für die Planung von Produktionssystemen zugunsten einer jeweiligen zielspezifischen Ausrichtung modifizieren, finden sich bei Zülch, Bissel, Menzel, Hernandez und Bergholz. [Zülc93], [Biss96], [Menz00], [Hern03], [Berg05] Dem Grundverständnis nach handelt es sich dabei um allgemeine Problemlösungsstrategien, die konkrete Umsetzungsschritte oder Algorithmen für Teilaspekte der Gesamtplanung, wie z.B. der Anordnungsoptimierung, nicht beinhalten.

Dem Prinzip der Anordnungsoptimierung<sup>25</sup> folgend, stellt Bogatzki zusammenfassend Ansätze vor, die durch Abprüfung zusätzlicher Restriktionen oder die komplette Neuausrichtung der allg. Zielfunktion die Fokussierung auf das Optimierungskriterium produktseitiger Materialfluss auflösen. [Boga98]

Hierbei bieten generell Multi-Kriteria-Verfahren einen guten Ansatzpunkt, durch die Berücksichtigung von quantitativen und qualitativen Kriterien bei der Anordnungsoptimierung das Anwendungspotential klassischer Verfahren in der planerischen Praxis zu verbessern. [Tkin06]

---

<sup>25</sup> Die Anordnungsoptimierung basiert auf dem Grundprinzip, dass bei einer vordefinierten Beziehungsintensität die räumliche Entfernung zwischen zwei Elementen proportional dem Aufwand für das Zustandekommen bzw. Aufrechterhalten einer derartig vordefinierten Relation ist.

### 2.2 Betriebliche Information und Kommunikation

Die Vernetzung der Systemelemente führt zu einer vermehrten Anzahl zu beherrschender Schnittstellen. Die Festlegung und Projektierung dieser Schnittstellen sind maßgebliche Aufgaben im Rahmen der Planung und Gestaltung von Produktionssystemen. Dies betrifft alle Relationsarten in einem System, wobei in der heutigen Zeit die ganzheitliche Betrachtung der Materialfluss-, Informationsfluss- und Kommunikationsbeziehungen von besonderer Bedeutung ist.<sup>26</sup>

Der ökonomische Wert von Informationen hat sich seit Mitte der 90er Jahre des letzten Jahrhunderts enorm erhöht, was schlussendlich auch auf eine zunehmende Spezialisierung und Aufteilung der Arbeitsaufgaben zurückzuführen ist. [Piwi05]

Information ist in der heutigen Gesellschaft ein Gut, sie hat einen Wert, sie wird als Ware gehandelt – sie hat ihren Preis (z.B. Schutzrechte, aber auch Liefertermin- und Statusdaten von Fertigungsaufträgen). Information gilt aber auch als Ressource (z.B. Erfahrungswissen). Dabei schafft jede Information weitere Informationen und kann zur kontinuierlichen Wissensgenerierung beitragen. Information stellt sich zusammenfassend als ein zweckbezogener Ausschnitt anwendbarer Sachverhalte für die Ausführung und Erfüllung der Arbeitsaufgaben im Produktionsbetrieb dar. [Ruud05]

Steht bei der Vermittlung von Daten – also dem Informieren – der Inhaltsaspekt (die Sache) im Mittelpunkt, so fokussiert die Kommunikation auf den Beziehungsaspekt. Der wesentliche Unterschied zur Information liegt in der wechselseitigen Verständigung, der Erschließung von Bedeutungen aus dem und für den Erfahrungsschatz des Empfängers.

Kommunikation ist ein Austauschprozess aufgabenrelevanter Informationen zwischen Aufgabenträgern (Sender und Empfänger)

---

<sup>26</sup> Aufbauend auf Wirth widmet sich Wiendahl dieser Thematik. [Wirt02], [Wien05] Zu Beginn des 21. Jahrhundert hat sich zudem die Denkweise durchgesetzt, dass durch einen erarbeiteten Informations- und Wissensvorsprung ein signifikanter Wettbewerbsvorteil erlangt werden kann: Dies verdeutlichen mehr als je zuvor Begriffe wie Wissensgesellschaft, wissensbasierte Produktion oder wissensintensive Dienstleistung.

über einen gemeinsamen Interaktionsraum (nämlich der betrieblichen Aufgabe), der das Kenntnisgefälle zwischen den Kommunikatoren glättet und zumindest einem von beidem letztlich einen Wissensgewinn bringt. Die Summe an unterschiedlichen Informationen wird anschließend so verarbeitet, dass diese allgemeingültig akzeptierbar, abprüfbar und organisatorisch transferierbar ist und somit zu Wissen wird. [Dang03], [Krup99], [Deib95]

Dabei ist die Information der Kommunikation inhärent, d.h. der zielführende Einsatz von Informationen ist in einer Organisation ohne Kommunikation unmöglich. [Ruud05] Information und Kommunikation stellen somit zwei Aspekte ein- und desselben Objekts dar. Ohne Information gibt es keine Kommunikation und umgekehrt. [Hein96]

Auf Basis des semiotischen Erklärungsmodells<sup>27</sup> und der Zielausrichtung der vorliegenden Arbeit erscheint es sinnvoll, die Termini Information und Kommunikation in den weiteren Ausführungen zumeist als Begriffspaar zu verwenden.<sup>28</sup>

Im Sinne der Systemtheorie treten Informations- und Kommunikationsbeziehungen innerhalb und außerhalb einer Unternehmung auf und werden bzgl. ihrer Funktion als...

- Information und Kommunikation im Unternehmen<sup>29</sup>

...oder als...

---

<sup>27</sup> Das Drei-Ebenen-Modell der Semiotik erklärt die Funktionsweise von Informations- und Kommunikationsvorgängen. Die syntaktische Ebene behandelt dabei die störungsfreie Übertragung und die richtige Zusammensetzung der Zeichen bzw. Signale, ohne Rücksicht auf deren Bedeutung. Die zweite Ebene betrachtet vordergründig die Semantik. Nur wenn Sender und Empfänger den übertragenen Zeichen bzw. Signalen dieselbe Bedeutung zuordnen, sind aus einer Zeichenfolge Daten bzw. Nachrichten generierbar. Die zusätzliche Betrachtung der Intention erfolgt auf der pragmatischen Ebene. Dabei entsteht durch die Verknüpfung der Bedeutung und der Wirkung übermittelter Daten bzw. Nachrichten eine Information (vgl. [Pico03], [Krup99], [Chen76]).

<sup>28</sup> Demzufolge wird synonym der Terminus IuK-Beziehung anstelle des Begriffes der informationellen Beziehung bzw. Relation gebraucht.

<sup>29</sup> Bei dieser sog. innerbetrieblichen Kommunikation stellt das Unternehmen den Raum dar, in dem die Kommunikation stattfindet.

- Information und Kommunikation des Unternehmens<sup>30</sup>

...aufgefasst. [Brom92]

Im Rahmen dieser Arbeit werden die innerbetrieblichen IuK-Beziehungen betrachtet, über deren Intensität, Häufigkeit und Qualität bzw. Gehalt im Wesentlichen das im Unternehmen vorfindbare Organisationsmodell<sup>31</sup> entscheidet. Dieses Organisationsmodell folgt neben den klassischen strukturgebenden Bildungskriterien und deren wirtschaftlicher Zusammenführung häufig technisch-technologischen Notwendigkeiten (z.B. Auslastung der Betriebsmittel). Darüber hinaus sind aber auch hygienebezogene Funktionen<sup>32</sup> innerbetrieblicher IuK-Beziehungen zu beachten.

Informations- und Kommunikationssysteme stellen technokratische Lösungen dar, die der wachsenden Bedeutung informationeller Beziehungen gerecht werden sollen. [Pico96] Praktikabel erscheint der verstärkte Einsatz sog. Content-Management-Systeme (CMS)<sup>33</sup>. Einen Schritt weiter geht der Ansatz der Wearable-Computing-Technologie<sup>34</sup>, die auf eine komplexe informationstechnische Vernetzung aller am Arbeitsprozess Beteiligten zielt.

---

<sup>30</sup> Bei dieser sog. Unternehmenskommunikation ist das Unternehmen der Sender oder direkter Inhalt kommunikativer Tätigkeiten.

<sup>31</sup> Ein Organisationsmodell repräsentiert die rationelle Gestaltung des betrieblichen Aufbaus (Aufbauorganisation) und die Regelung der im Betrieb notwendigen Funktionen (Ablauforganisation). [Kies07], [Wien05a]

<sup>32</sup> Die zweckbezogenen Funktionen sind all jene, die mit der durchzuführenden Arbeit direkt verbunden sind und somit einen Sachbezug besitzen. Die hygienebezogenen Funktionen betreffen alle sozialen Bereiche der Kommunikation, beispielsweise die Verbesserung des Betriebsklimas. Diese Trennung kann jedoch nicht durchgängig und absolut für alle Funktionen gelten, denn fast jede Kommunikationsbeziehung beinhaltet sowohl zweckbezogene als auch hygienebezogene Faktoren. [Masl98], [Bung99]

<sup>33</sup> Redaktionelles Anwendungsprogramm, das die gemeinschaftliche Erstellung und Bearbeitung des informatorischen Inhalts (engl. Content) ermöglicht und organisiert (vgl. [Nix05], [Spat03]).

<sup>34</sup> Der Begriff bezeichnet eine neue Generation von Hard- und intelligenter Software zur mobilen Assistenz informationsreicher Arbeitshandlungen und Überbrückung informationstechnischer Lücken im alltäglichen Arbeitsprozess, um unproduktive Handlungen der Informationsbeschaffung und -weitergabe zu vermeiden. [Rügg02]

Picot und Claus bemerken hierzu, dass nicht der Fehler begangen werden sollte, den Vorteil der informellen Kommunikation<sup>35</sup> - im speziellen der direkten Sprachkommunikation<sup>36</sup> - „technisch“ zu beseitigen. [Pico03], [Clau03]

Vielmehr erscheint es sinnvoll, zu hinterfragen, inwiefern eine Anordnungsoptimierung der an informationellen Beziehungen beteiligten Elemente eines Systems eine effiziente betriebliche Kommunikation unterstützen kann.

Durch äußere, kaum von Unternehmen zu beeinflussende Entwicklungen wie Produktindividualisierung und Mass Customizing entstehen zusätzliche Aufwendungen vor allem i.F.v. Transaktionskosten und dies nicht nur an den Grenzen eines Produktionssystems, sondern auch innerhalb eines Produktionssystems. Es kommt im Produktionssystem zu zusätzlichen Aufwendungen, „ ... die vor allem in der steigenden Komplexität des gesamten produktionstechnischen Aufgabenvollzugs begründet sind“. [Reic06 S. 217]

Eine Standardisierung der Abläufe ist kaum möglich. Mit einem zusätzlich stochastischen Verhalten der Produktionsaufträge nimmt die Anzahl und Vielschichtigkeit von Abstimmungsaufgaben zur Absicherung eines reibungslosen Produktionsablaufs erheblich zu. Die Beherrschung der anfallenden Informationsströme wird mehr und mehr zu einem kritischen Erfolgsfaktor eines produktiv wirtschaftenden Produktionssystems. [Reic06]

Erfahrungen aus Projekten der industriellen Auftragsforschung zeigen, dass bei Ausblendung der rein materialflussbezogenen Relationen in einem Produktionssystem sich u.U. vollkommen andere Anordnungsprioritäten für die Elemente eines Produktionssystems ergeben. Dies gilt vor allem dann, wenn alternative Relationen eine diametrale Wirkungsrichtung besitzen. Es gilt eine Aufwandsabschätzung zu ermöglichen: Mit Hilfe einer Vergleichsgröße sind die durch den Materialfluss verursachten

---

<sup>35</sup> Informelle Kommunikation beschreibt die Kommunikationskontakte, die nicht durch organisatorische Regelungen vorgegeben sind. [Mast02], [Herb03]

<sup>36</sup> Direkte Sprachkommunikation ist die typische Kommunikation von Person zu Person (engl.: Face-to-Face), wobei sich beide Personen in derselben Umgebung befinden, ohne elektroakustische Systeme oder sonstige Kommunikationssysteme als Hilfsmittel zu verwenden. [DIN60268], [DIN9921]

Aufwendungen den Aufwendungen für die Koordination der Arbeitsaufgaben in Form von Informations- und Kommunikationsbeziehungen gegenüberzustellen.

Augustin und Oltrogge entwickeln im Rahmen ihrer Arbeiten hinreichende Beschreibungs- und Bewertungsgrößen für IuK-Beziehungen in Analogie zum Materialfluss. [Augu90], [Oltr93] Es erscheint zweckmäßig, diese als Ausgangspunkt näherer Untersuchungen zu setzen. Ferner soll der formelle und formale Charakter betrieblicher IuK-Beziehungen als Differenzierungsmerkmal herangezogen werden. Raum- und Industriegebäudeplaner verfolgen mit dem Einsatz modifizierter Planungs- und Gestaltungsmethoden diesbezüglich einen interessanten Erkenntnispfad, bei dem vor allem die Förderung informeller IuK-Beziehungen angestrebt wird. [All97], [Reic01], [Henn02], [Clau03], [Nyhu04]

### **2.3 Methodische Anforderungen**

Der Beherrschungsgrad eines komplexen Produktionssystems unter den Gegebenheiten einer hohen Variantenanzahl hängt zu einem erheblichen Maße von der implementierten Fertigungsstruktur<sup>37</sup> ab.

Dem Mangel der einseitigen Ausrichtung auf das Zielkriterium produktseitiger Materialfluss bei der Betriebsmittelanordnung in Produktionssystemen ist zunächst durch eine Systematisierung potentieller Zielkriterien zu begegnen. Als Grundlage muss hierbei ein möglichst umfassendes, allgemeingültiges sowie den praktischen Ansprüchen der idealen Anordnungsoptimie-

---

<sup>37</sup> Unter der Fertigungsstruktur wird die technisch-organisatorische Gestaltungslösung einer Fertigung verstanden, die durch eine bestimmte Anordnung der Maschinen und Anlagen auf Basis zeitlich-räumlicher Organisationsprinzipien sowie durch grundlegende Funktionsprinzipien der produktionstechnischen Elemente gekennzeichnet ist (vgl. [Schm95]).

Erfolgt bei der zeitlichen Organisation die Gliederung der Prozesse in Ablaufabschnitte inklusive dem zeitlichen Zusammenwirken, wird im Rahmen der räumlichen Organisation die wirtschaftlichste Anordnung der Betriebsmittel betrachtet. Aus diesem Grunde findet sich in diversen wissenschaftlichen Ausführungen der Begriff der räumlichen Strukturierung synonym zum Begriff der Betriebsmittelanordnung (exemplarisch vgl.: [Grun06], [Sche03], [Wien96]).

rung genügendes Zielsystem als Bewertungsrahmen dienen, das dem Entscheider die Möglichkeit bietet, im Sinne unternehmensspezifischer Vorgaben verschiedene Zielkriterien fallspezifisch zu kombinieren.

Darauf aufbauend sind die klassischen Anordnungsverfahren in ihrer Funktion so zu modifizieren, dass deren praktische Anwendbarkeit verbessert wird. Vielversprechend erscheint eine Priorisierung und Auswahl relevanter Zielkriterien kombiniert mit einer simplifizierten Multi-Kriterien-Optimierung. I.A. an Bogatzki sind dabei folgende Funktionen abzudecken: [Boga98]

- Sicherstellung eines fallspezifischen Entscheidungsmodells
- Einbeziehung quantitativer und qualitativer Daten
- Konzipierung verschiedener Layoutalternativen
- Erstellung hinreichend guter Lösungen

Der Einsatz materialflussalternativer Kriterien zur rechnerischen Anwendung einer Multi-Kriterien-Optimierung soll schließlich anhand betrieblicher IuK-Beziehungen aufgezeigt werden. Dies setzt eine umfassende, modellgestützte sowie formale Beschreibung folgender elementarer Gestaltungsfaktoren voraus:<sup>38</sup>

- Art und Richtung der IuK-Beziehungen
- Objekte bzw. Elemente, die an IuK-Beziehungen beteiligt sind
- Standorte bzw. Plätze der an IuK-Beziehungen beteiligten Objekte bzw. Elemente
- Hilfsmittel zur Herstellung bzw. Aufrechterhaltung von IuK-Beziehungen

---

<sup>38</sup> Weiterführende Faktoren führt Nyhuis an (vgl. [Nyhu05]).

### 3. Stand der Technik

Die wissenschaftliche Diskussion über den Paradigmenwechsel im produzierenden Gewerbe der vergangenen Jahre führt zu der Erkenntnis, dass die Wandlungsfähigkeit die wesentliche Schlüsseleigenschaft eines rentabel wirtschaftenden Produktionssystems darstellt.<sup>39</sup>

Wesentliche Planungsfelder, die hierbei in Betracht gezogen werden müssen, sind zum einen die personellen und technischen Elemente, die einem organisierten Aufbau und Ablauf unterliegen und sich durch eine räumliche Hülle von der Umwelt abgrenzen (siehe Abbildung 3).<sup>40</sup> Andererseits dürfen die Relationen nicht vernachlässigt werden, die als Schnittstellen die Elemente miteinander verbinden.

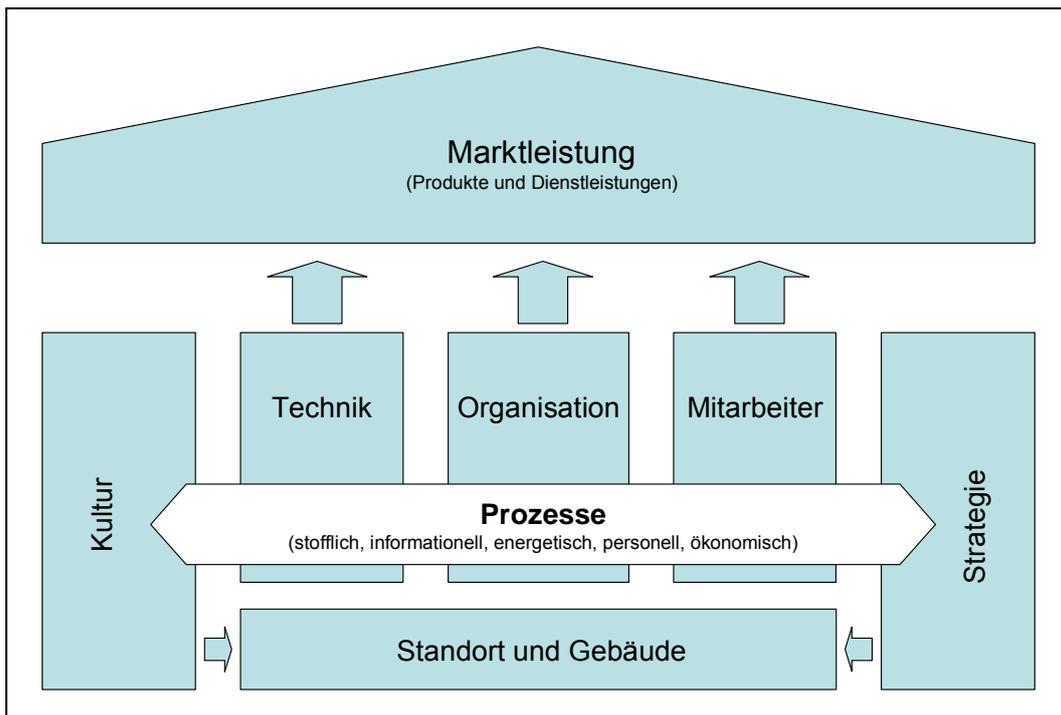


Abbildung 3: Kernfelder der Produktionssystemplanung  
(i.A. an [Wien01])

<sup>39</sup> "If the manufacturing sector is to survive over the next two decades, it will have to undergo dramatic changes in technological, environmental, economic, and social terms." [EuCo04]

<sup>40</sup> Vgl. zudem die Aspekte der MTO-Analyse bei Ulich in [Ulic05].

Verschiedene Ansätze begreifen die Wandlungsfähigkeit als Systemeigenschaft, die aus unterschiedlichen Sichtweisen zu beschreiben, zu bewerten, zu planen und zu gestalten ist. Liegt der direkte Untersuchungsfokus dabei auf Produktionssysteme, lässt sich die Wandlungsfähigkeit i.A. an die Theorie der Fraktalen Fabrik durch folgende drei Merkmale kennzeichnen: [Kühn95a]

- Selbstorganisation<sup>41</sup>
- Selbstoptimierung<sup>42</sup>
- Selbstähnlichkeit<sup>43</sup>

Dieser autopoietische Ansatz<sup>44</sup> erhebt das Ziel, selbständig agierende Organisationseinheiten zu schaffen, die sich (und somit ihre Elemente und Relationen) selbst organisieren und optimieren. Mit prototypisch entwickelten Modellen und Instrumentarien zur Bewertung und Gestaltung der Wandlungsfähigkeit wurde nachgewiesen, dass die Anpassung der Struktur eines Produktionsbetriebs an die probabilistischen Umfeldbedingungen aus eigener Kraft prinzipiell möglich ist. [Hart95], [Förs99]

Hernandez stellt indes die Ermittlung allgemeingültiger Wirkmechanismen zur Schaffung und Ausschöpfung eines unternehmensspezifischen Wandlungspotentials in den Vordergrund. [Hern03]

Demnach wird die Wandlungsfähigkeit über technische, räumliche, oder organisatorische Wandlungsbausteine bestimmt, deren Basis wiederum sog. wandlungsförderliche Systemelemente bilden. Für

---

<sup>41</sup> Selbstorganisation versetzt ein Produktionssystem in die Lage, sich durch Veränderungen seinem Umfeld selbständig anzupassen. [Kühn95a]

<sup>42</sup> Selbstoptimierung beschreibt die Fähigkeit eines Produktionssystems, sich durch proaktiv eingeleitete Veränderungsprozesse selbstgetrieben und kontinuierlich weiterzuentwickeln. [Kühn95a]

<sup>43</sup> Selbstähnlichkeit beschreibt die zentrale Eigenschaft zur Gestaltung der Wandlungsfähigkeit eines Produktionssystems, wonach eigenständige Organisationseinheiten selbständig agieren. [Kühn95a]

<sup>44</sup> Der Begriff entstammt der Systemtheorie und beschreibt etwas, was sich von selbst herstellt. Autopoietisch besagt, dass sozio-technische Systeme sich beobachten, auf ihr eigenes Verhalten reagieren und sich somit selbst erschaffen (vgl. [Luhm06]).

eine objektive Bewertung des Wandlungspotentials werden diesen Elementen direkt messbare und beeinflussbare Parameter zugeordnet (vgl. Abbildung 4).

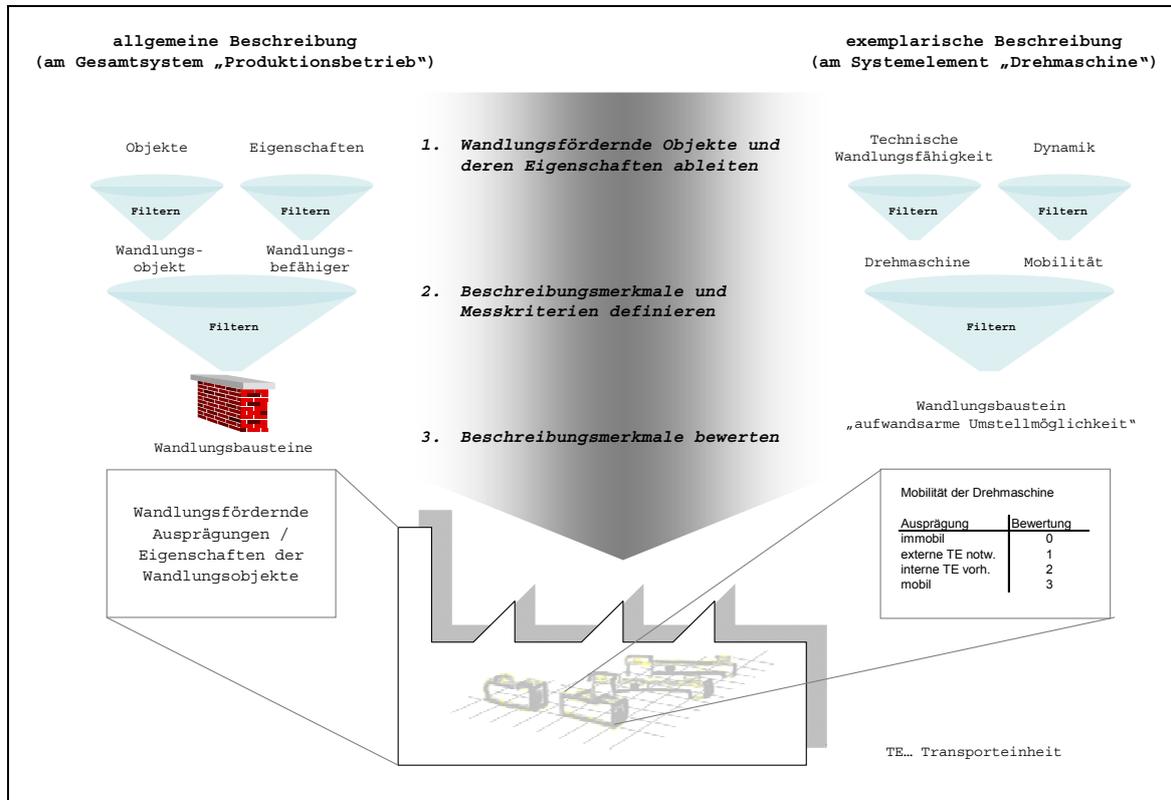


Abbildung 4: Übersicht zur Bewertung der Wandlungsfähigkeit in Fabrikssystemen (i.A. an [Hern03])

Diesen und weiteren wissenschaftlichen Ansätzen fehlt es an zielgerichteten und methodisch fundierten Modellen und Werkzeugen, um Gestaltungsstrategien zur Förderung der Wandlungsfähigkeit von Produktionssystemen aufzuzeigen.<sup>45</sup> Dem geschuldet werden nachfolgend modellgestützte Methoden der Anordnungsoptimierung mit dem Ziel untersucht, Beschreibungs- und Bewertungskriterien vorzuselektieren, die zur Anpassung von Produktionssystemen an ihre neuartigen Rand- und Rahmenbedingungen dienen.

<sup>45</sup> Vgl. abschließendes Statement bei Wiendahl in [Wien02].

### 3.1 Bewertung der optimalen Anordnung von Betriebsmitteln

Wie in Kap. 2.1 geschildert, lässt sich die Anordnung der Elemente durch die Lösung des allgemeinen Zuordnungsproblems optimieren. Dabei stellt die zugrunde liegende Zielfunktion die formale Entscheidungsregel dar, welche wiederum aus einer Präferenzfunktion<sup>46</sup> und mindestens einem Optimierungskriterium<sup>47</sup> besteht.

Bei der klassischen Herangehensweise zur Lösung des allgemeinen Zuordnungsproblems wird die notwendige Bewertung der zur Auswahl stehenden Menge an Alternativen nur an eine relevante Zielstellung gekoppelt.

Sollen hingegen mehrere Zielstellungen verfolgt werden, ist eine Präferenzfunktion notwendig, die sich aus einer Bewertung der Zielwertkonstellation je entstehender Anordnungsvariante herleiten lässt. Gemäß dem Grundmodell der Entscheidungstheorie erfolgt dies durch die Festlegung einer Bewertungsfunktion, der sog. Nutzenfunktion<sup>48</sup>.

Dieser Unterscheidung folgend, werden zunächst die klassische Herangehensweise und anschließend weiterführende Konzepte für die Erstellung und Bewertung einer optimalen Betriebsmittelanordnung diskutiert.

#### 3.1.1 Klassische Herangehensweise

Der Optimierungsfokus nahezu aller klassischen Anordnungsverfahren liegt auf der stofflichen Beziehung zwischen den Elementen eines Produktionssystems. Unter Einschränkung des

---

<sup>46</sup> Die Präferenzfunktion ordnet den einzelnen Alternativen sog. Präferenzwerte zu. Ein Präferenzwert kann als Indikator für den Grad der Zielwerterreichung interpretiert werden (vgl. [Laux07]).

<sup>47</sup> Ein Optimierungskriterium drückt den Präferenzwert aus, der durch den Entscheider bzw. Planer angestrebt wird (vgl. [Laux07]).

<sup>48</sup> Eine Nutzenfunktion stellt eine Transformationsregel dar, die die subjektiven Präferenzen des Entscheiders gegenüber potentiell relevanten Zielkriterien abbildet (vgl. [Zang76]).

Stoffflusses auf den produktseitigen Materialfluss lassen sich deren Merkmale auf folgende maßgebliche Größen subsumieren:<sup>49</sup>

- Art und Eigenschaft des Transportgutes und Transportmittels
- Transportmenge (Masse und Anzahl des Transportgutes)
- Transportentfernung (Entfernung zwischen Quelle und Senke)
- Transportzeit
- Transporthäufigkeit und -intensität
- Transportkosten

Mit Blick auf diese Beschreibungsgrößen ist zu konstatieren, dass für die Optimierung der räumlichen Anordnung fast ausschließlich die Transportmengen und deren Entfernungen zwischen den Elementen sowie die dabei entstehenden Kosten ggf. unter Beachtung verfahrensspezifischer Nebenbedingungen als Zielkriterien fungieren. Als Optimierungsziel sind dabei die von der Standortverteilung der Betriebsmittel abhängigen Kosten zu minimieren. Diese entscheidungsrelevanten Kosten sind nach Wäscher in erster Linie die innerbetrieblichen Transportkosten, die Standortwechselkosten und die Zwischenlagerungskosten. [Wäsch84] Demzufolge ergibt sich folgende grundlegende Zielfunktion zur Anordnungsoptimierung der Betriebsmittel:

$$K_{Ges} = \sum_{i_o=1}^m \sum_{j_o=1}^m \sum_{i_p=1}^m \sum_{j_p=1}^m I_{i_o j_o} \cdot S_{i_p j_p} \cdot k_{i_o j_p}^T + \sum_{i_o=1}^m \sum_{j_p=1}^m K_{i_o j_p}^I$$

$K_{Ges}$  ... Gesamtkosten der Objekt-Platz-Zuordnung

$I_{i_o j_o}$  ... Intensität zwischen zwei Objekten

$S_{i_p j_p}$  ... Entfernung zwischen zwei Plätzen

$k_{i_o j_p}^T$  ... spezifischer Transportkostensatz je Transporteinheit

$K_{i_o j_p}^I$  ... Installationskosten der Objekt-Platz-Zuordnung

---

<sup>49</sup> Vgl.: [Woit77], [Wäsch84], [Grun06]

Praxisgeleitete Untersuchungen haben dabei gezeigt, dass wesentliche Kostenbestandteile von der Transportmenge und der Transportentfernung abhängig sind.<sup>50</sup>

Dieser Abstrahierung folgend, stellt sich die allgemeine Zielfunktion der Anordnungsoptimierung als Minimierung der Transportleistung  $Q$  dar:

$$K_T = \sum_{i_o=1}^m \sum_{j_o=1}^m \sum_{i_p=1}^m \sum_{j_p=1}^m I_{i_o j_o} \cdot S_{i_p j_p} \cdot k_{i_o j_p}^T \Rightarrow \min$$

mit  $k_{i_o j_p}^T \propto (I_{i_o j_o} \cdot S_{i_p j_p})$

und  $Q_{ij} = I_{ij} \cdot S_{ij}$

$$Q = \sum_{i_o=1}^m \sum_{j_o=1}^m \sum_{i_p=1}^m \sum_{j_p=1}^m I_{i_o j_o} \cdot S_{i_p j_p} \Rightarrow \min$$

$K_T$  ... Gesamttransportkosten der Objekt-Platz-Zuordnung

$Q$  ... Gesamttransportleistung der Objekt-Platz-Zuordnung

$I_{i_o j_o}$  ... Intensität zwischen zwei Objekten

$S_{i_p j_p}$  ... Entfernung zwischen zwei Plätzen

$k_{i_o j_p}^T$  ... spezifischer Transportkostensatz je Transporteinheit

Zweifel an dem vorrangigen Festhalten an dieser eindimensionalen Zielstellung zeigt bereits Baur auf. [Baur72] Er definiert „Sekundär-Bedingungen“, die als „Unverträglichkeits-Bedingungen“ zusätzliche Ziele bei der Anordnungsoptimierung darstellen. Als „Primär-Bedingung“ fungieren bei diesem An-

---

<sup>50</sup> Folgende Annahmen lassen sich stellvertretend nennen (vgl. [Woit77], [Wäsc84], [Tomp96]):

- verwendete Transportmittel weisen im Mittel den gleichen Kostensatz auf
- Installationskosten eines Objektes auf einen bestimmten Platz sind unabhängig vom Platz selber
- Weglänge der Hin- und Rücktransporte im betrachteten System sind im Mittel gleich lang

satz weiterhin die Transportkosten, wobei in Abhängigkeit von den „Sekundär-Bedingungen“ die Anordnung mit den geringsten Gesamtkosten der besten Lösung entspricht. Eine mathematische Umsetzung z.B. in Form von Optimierungsroutinen oder eine Vorgehensweise existieren für diesen Ansatz jedoch nicht.

Die Beschränkung auf das Zielkriterium Transportkostenminimierung stellt den wesentlichen Nachteil klassischer Anordnungsverfahren dar. [Bran89] Diese einseitige Ausrichtung kann fallspezifisch sogar eine völlig falsche Lösung zur Folge haben, wenn zusätzliche Handlungstätigkeiten zeit- und kostenverursachend sind. [Kett84] Grundig weist dagegen darauf hin, dass in der Festlegung der räumlichen Anordnung nach dem Kriterium der Transportkostenminimierung weiterhin ein beträchtliches Rationalisierungspotential liegt. [Grun06]

Letzteres soll hier nicht gänzlich in Abrede gestellt werden. Mit Blick auf die sich in den letzten Dekaden geänderten Rand- und Rahmenbedingungen für Produktionsbetriebe, wie im Kap. 2 beschrieben, ergeben sich jedoch andere Faktoren, die nicht die Transportkosten beeinflussen, aber sehr wohl als entscheidungsrelevante Kosten eingruppiert werden müssen.

### **3.1.2 Weiterführende Konzepte**

Eine Möglichkeit, den „Komfort“ klassischer Anordnungsverfahren zu verbessern, bietet die Hinzunahme zusätzlicher Faktoren, die unabhängig von der mathematischen Optimierungsroutine eine erweiterte Bewertung der Lösungsalternativen erlauben. [Kett84] Derartige Faktoren spielen vor allem bei der Anpassung idealisierter Lösungen an reale Gegebenheiten eine entscheidende Rolle. Dabei lassen sich eine Fülle von Restriktionen definieren, wie exemplarisch die Übersicht in Abbildung 5 aufzeigt.

Für die Anwendung dieser restriktiven Faktoren existiert keine einfache, allgemeine Vorgehensweise, da die Faktoren von Planungsfall zu Planungsfall sehr vielfältig und unterschiedlich sein können.

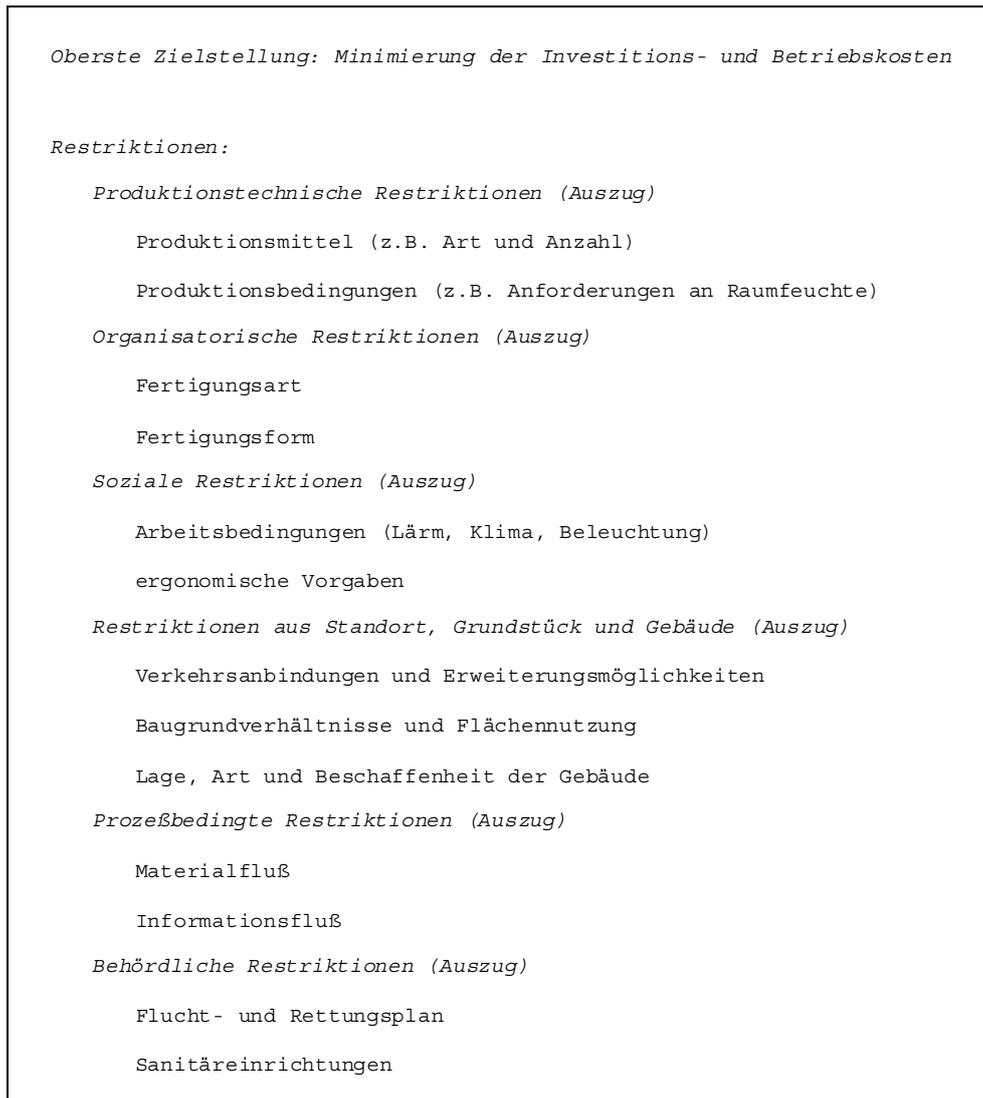


Abbildung 5: Übersicht exemplarisch ausgewählter Restriktionen

Kettner et al. verweisen in diesem Zusammenhang ferner darauf, dass eine Perfektionierung mathematischer Optimierungsverfahren durch die Einbeziehung weiterer Randbedingungen bzw. Restriktionen nicht zielführend erscheint. [Kett84] Eine vielversprechende Alternative stellen interaktive Verfahren dar, bei denen der Anwender durch Dialogsysteme aktiv in den Optimierungsverlauf eingreift und somit eine vermeintlich größere Effektivität und Qualität in die Ergebnissuche einfließt. [Wäsc87] Dies birgt indes die Gefahr einer sich intensivierenden „Trial-and-Error-Mentalität“ der Anwender. Einer derartigen Handlungsmaxime ist durch die Weiterentwicklungen bzw. Verfeinerungen wissenschaftlich fundierter Lösungsmethoden Einhalt zu gebieten.

Eine erfolgsversprechende Möglichkeit, mehrere Zielstellungen bei der Anordnungsoptimierung zu beachten, liegt in der Modifikation der allg. Zielfunktion. Diese unter dem Begriff der Multi-Kriterien-Verfahren fungierenden Algorithmen bestimmen die Vorzugsvariante aus einer Anzahl entwickelter Anordnungen auf Basis mehrerer in Entscheidungskriterien transformierter Zielstellungen. [Bran89]

Hierbei lassen sich zwei Verfahrensgruppen unterscheiden:

- verfahrensnachgelagerte Bewertung der Lösungsalternativen anhand gewichteter Zielkriterien (Anfügen von Nebenbedingungen)
- verfahrensintegrierte Bewertung der Lösungsalternativen anhand einer aus mehreren Teilzielen zusammengesetzten Zielfunktion

Bei der verfahrensnachgelagerten Bewertung wird auf einen Kriterienkatalog zurückgegriffen, dessen qualitative und quantitative Zielstellungen direkt oder indirekt die layoutrelevanten Kosten beeinflussen. Dabei werden zusätzlich auch nicht ökonomische Zielstellungen berücksichtigt. Die Vorgehensweise entspricht dem Verfahren der Nutzwertanalyse, wobei Minimalanforderungen i.F.v. Musskriterien nicht zielkonforme Anordnungsalternativen als potentielle Lösung direkt ausschließen. [Sing06]

Die verfahrensintegrierte Bewertung potentieller Lösungsalternativen basiert auf einer direkten Modifikation der Zielfunktion, ohne weitere Nebenbedingungen einzuführen. [Boga98] Es entsteht ein quadratisches Zuordnungsproblem mit mehrfacher Zielsetzung, wobei sich die Zielfunktion aus einzelnen gewichteten Teilzielen zusammensetzt. Simultan zur verfahrensgeleiteten Neuordnung der Objekte auf den Standortträgern erfolgt die Bewertung der hierbei entstehenden Anordnungsalternativen entsprechend der gewichteten Teilziele.

„Die Vorgehensweise der Zielfunktionsmodifikation ist vorteilhaft, da die beschriebenen Eröffnungs- und Verbesserungsverfahren leicht abgeändert werden können. Eine Bewertung des Layouts erfolgt an der veränderten Zielfunktion, und der Ablauf der Verfahren bleibt gleich“.<sup>51</sup> [Boga98, S. 149]

Prinzipiell bieten Multi-Kriteria-Verfahren den besten Weg zur Lösung des allg. Zuordnungsproblems mit mehrfacher Zielstellung. Das Hauptproblem bei der Anwendung von Multi-Kriteria-Verfahren liegt in der Verwendungsfähigkeit der hinterlegten Menge an Zielstellungen, der sog. Zielmenge.<sup>52</sup>

Vorliegende Anwendungskonzepte von Wäscher, Shang, Lin und Rawabde lassen weder eine wissenschaftlich fundierte Basis für die Herkunft noch irgendeinen Systematisierungsansatz der verwendeten Zielmengen erkennen. [Wäsc82], [Shan93], [Lin99], [Rawa06] Da bei Multi-Kriteria-Verfahren nicht nur das quadratische Zuordnungsproblem zu lösen ist, sondern auch eine multidimensionale Bewertung zur Auswahl einer besten Anordnungsvariante erfolgen muss, ist in erster Linie eine sachdienliche Strukturierung der Zielmenge notwendig.<sup>53</sup> Hierbei muss die selektierende Aufgabe von Zielstellungen (i.F.v. Zielfunktionen) im Vordergrund stehen. Neben generellen Anforderungen an derartige Zielstellungen sollten diese vor allem im Einklang mit über- und/oder nebengeordneten Zielstellungen stehen und sind

---

<sup>51</sup> Der wesentliche Nachteil einer verfahrensnachgelagerten Bewertung auf Basis eingefügter Nebenbedingungen liegt in einer nicht zu vernachlässigenden Verkomplizierung der Verfahren.

<sup>52</sup> Amerikanische Studien verdeutlichen das Grundproblem:

Zunächst heisst es bei Banerjee et al.: "The layout of an assembly line type production plant can be designed ... based on multiple criteria including, qualitative and/or quantitative aspects according to Mehrotra et al. in 2005." Im weiteren Text wird dann jedoch festgestellt: "This paper presents the process of quantitative modeling and evaluation of the facility layout alternatives ... based on the material flow aspect." [Bane06], [Mehr05]

<sup>53</sup> Unter Strukturieren versteht man hierbei das Unterteilen einer recht komplexen und heterogenen Problemstellung in Teilprobleme, die je nach Betrachtungssicht als eng verknüpfte, in sich geschlossene, gut überblickbare und möglichst homogene Systeme betrachtet werden können. Im vorliegenden Fall gilt: Wichtiger als die Auswahl der richtigen Alternative ist zunächst die Bestimmung der richtigen Ziele (vgl. [Zang76]).

daher durch Zielhierarchien (Ober- und Unterziele) und entsprechender Priorisierung zu ordnen. [PMBOK04] Dies erfolgt für die jeweiligen Präferenzwerte der zuvor definierten Zielstellungen, je nach Wirkungsintensität auf den Bewertungsgegenstand. Präferenzwerte spiegeln dabei als Indikatoren den Zielertrag bzw. Zielerreichungsgrad wider, der z.B. durch eine Anordnungsvariante erreicht wird. Zielerträge wiederum repräsentieren die zu bewertende Eigenschaft einer Zielstellung, die je nach Art des Zielindex numerisch oder verbal als Zielkriterium formuliert wird. Generell drücken Zielerträge dabei den angestrebten SOLL-Präferenzwert einer Zielstellung aus (siehe Tabelle 1).

Tabelle 1: Terminologie der Bewertung (i.A. an [Zang76])

	<b>Terminologie</b>
Bewertungsgegenstand	Layout / Anordnung (Alternative)
Bewertungsaspekt	Zielstellung für den Bewertungsgegenstand (Bezeichnung, Definition)
zu bewertende Eigenschaft	Merkmal der Zielstellung (Zielindex, Kennzahl)
Ausprägung der bewerteten Eigenschaft	Präferenzwert (normierte Zielgröße)
Gesamtnutzen	Nutzenwert (gewichteter Präferenzwert)

Für eine systematische Ordnung von Zielstellungen bietet sich die Anwendung systemtheoretischer Sachzusammenhänge an. Dem folgend werden die einzelnen Grundelemente (die Zielkriterien) sowie die Teilzielmenge (die Zielstellungen) einer Grundgesamtheit (die Zielmenge) auf Basis ihrer Beziehungen untereinander in einem System (das Zielsystem) geordnet.

Zielstellungen werden zumeist als verbal formulierte, nicht quantitativ messbare Zielsetzungen fixiert. Vergleichbar mit einem Sub- oder Teilsystem lassen sich diese Zielstellungen

weiter zerlegen, wobei Zielkriterien die kleinsten Teile eines derartigen Systems verkörpern, die nicht weiter sinnvoll unterteilt werden können (die Grundelemente).

Für die Strukturierung einer Grundgesamtheit (also der Zielmenge) bietet sich zunächst die Bildung eines konstituierenden Grundgerüsts (engl.: framework) an. Die vorgelagerte Gliederung der Zielmenge sollte sich hierbei primär an die Struktur des Bewertungsgegenstandes anpassen (z.B. an die Aufbauorganisation eines Unternehmens). Eine andere Möglichkeit bietet die Unterscheidung nach klassifikatorischen Eigenschaften im Sinne einer Taxonomie<sup>54</sup> der einzelnen Zielstellungen einer Zielmenge.

Basierend auf der formalen Abbildung ihrer Beziehungen erfolgt die systematische Zerlegung der Gesamtzielmenge i.A. an das hierarchische Gerüst einer Organisation<sup>55</sup> in vertikaler und horizontaler Ausrichtung.

Wird die Zielmenge in Ober- und Unterziele zerlegt, erfolgt eine sog. vertikale Ordnung. Dem liegt die These zugrunde, dass ein Oberziel über die Erfüllung eines Unterziels vollständig oder teilweise erreicht werden kann. Liegen solche „Zweck-Mittel-Beziehungen“ vor, lässt sich eine fortlaufende Folge von Ober- und Unterzielen aufbauen, an deren Ende direkt beeinflussbare Wirkgrößen stehen, die Zielkriterien. Die differenzierte Betrachtung auf den einzelnen Zielebenen orientiert sich indes an dem jeweiligen Erfüllungsgrad einer dem Oberziel zugeordneten Zielstellung. Eine derartige horizontale Ordnung separiert somit die Zielstellungen in Haupt- und Nebenziele<sup>56</sup>.

Ein auf diese Weise strukturiertes Zielsystem bildet die Grundlage zur Formulierung fallspezifischer Zielfunktionen,

---

<sup>54</sup> Eine Taxonomie stellt die hierarchische Klassifizierung von Objekten anhand gemeinsamer Merkmale dar. Die bekannteste Taxonomie ist die Einordnung der Lebewesen in das biologische System (weiterführend bei [Ried00]).

<sup>55</sup> Für den Aufbau einer Organisation stellt die Hierarchie eine formale Struktur der Über- und Unterordnung dar. [Kies07]

<sup>56</sup> Weiterführend: [Klop99]

über die sich z.B. die Vorteilhaftigkeit potentieller Anordnungsvarianten bestimmen lassen.

Eine bewährte Lösungsstrategie für derartige multidimensionale Bewertungsaufgaben stellt die Zusammenfassung von Zielwerten zu einem Nutzenwert dar. Zunächst werden hierbei den Zielwerten, unabhängig von deren Ausprägung, explizit oder implizit konstante Bewertungsfaktoren zugeordnet (sog. Prioritätswerte). [Laux07]

Um die Bewertbarkeit verschiedener Zielstellungen untereinander zu ermöglichen, wird der angestrebte Präferenzwert eines Zielkriteriums über eine dimensionslose, normierte Vergleichsgröße, einer sog. Zielgröße determiniert. [Klop99] Für die Bildung einer derartigen Vergleichsgröße sind den Grenzen des Wertebereichs und dem Nullpunkt zunächst die jeweiligen präferierten Ausprägungen eines Zielkriteriums zuzuordnen. Darauf aufbauend muss der Anwender die Zielcharakteristik zunächst qualitativ abschätzen, auf dessen Basis dann die mathematische Bestimmung des Funktionsverlaufs erfolgt. Der Grad der Zielwertveränderung wird dabei i. Allg. durch eine proportionale, unterproportionale oder überproportionale Bewertungsfunktion beschrieben (siehe Abbildung 6).

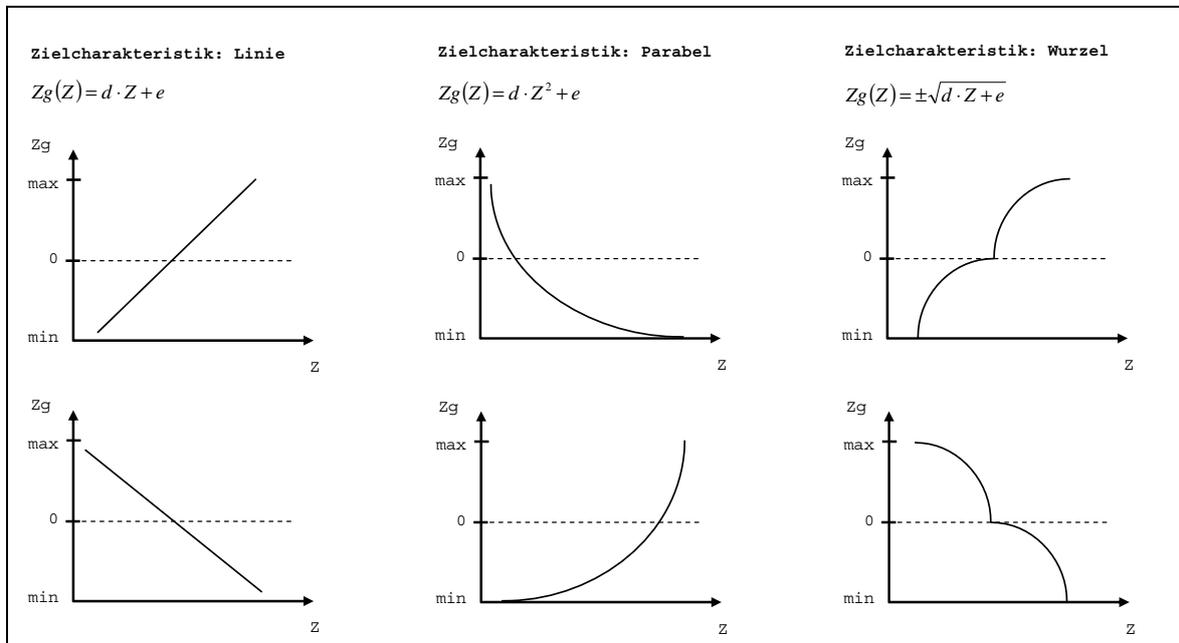


Abbildung 6: Charakteristische Verläufe von Zielwerten  
(i.A. an [Klop99])

Über die zuvor dargelegten Eigenschaften hinaus sind spezifische Anforderungen i.F.v. Einsatzvoraussetzungen für potentielle Zielkriterien zu beachten, damit diese als materialflussalternatives Zielkriterium bei der Anordnungsoptimierung Anwendung finden können. Die Definition derartiger Kriterien sollte sich dabei an die Beurteilung der Vorteilhaftigkeit des Materialflusses anlehnen, muss darüber hinaus jedoch den praktischen Nutzen zuvor vorgestellter Multi-Kriterien-Verfahren fördern. D.h. die Auswahl der fallspezifisch relevanten Zielstellungen in Kombination mit der Bestimmung der besten Anordnungsvariante aus einer zulässigen Lösungsmenge ist nur dann möglich, wenn adäquate Entscheidungskriterien vorliegen.

Die Zielpriorisierung impliziert dabei eine vereinfachte Vorgehensweise bei einer derartigen multidimensionalen Auswahlroutine. Die Kombination mit der Zielwertmaximierung unter Einhaltung eines gegebenen Anspruchsniveaus für alle übrigen Zielstellungen erscheint vor allem vor dem Hintergrund einer simplen Anwendbarkeit als zweckmäßig. Laux bemerkt zutreffend, dass der Entscheider in der Regel ohnehin nur einen Teil der effizienten Lösungen bestimmen kann. [Laux07]

Der zunehmenden Bedeutung der informationellen Relationen im betrieblichen Kontext Rechnung tragend, werden nachfolgend wissenschaftliche Konzepte vorgestellt, die IuK-Beziehungen als Gestaltungsparameter nach dem Prinzip der Anordnungsoptimierung aktivieren.

### **3.2 Information und Kommunikation als Anordnungskriterium**

Augustin legt mit seinen Ausführungen zur Informationslogistik den wissenschaftlichen Grundstein für die wirtschaftliche Bewertung von Information und Kommunikation. Demnach erfolgen die Planung des Informationsbedarfs und die Bereitstellung der erforderlichen Informationen nach dem in Abbildung 7 dargestellten informationslogistischen Prinzip. [Augu90]

Die richtige Information: ...	vom Empfänger verstanden und benötigt
zum richtigen Zeitpunkt: ...	für die Fällung von Entscheidungen ausreichend
in der richtigen Menge: ...	„so viel wie nötig, so wenig wie möglich“
am richtigen Ort: ...	beim Empfänger verfügbar
in der erforderlichen Qualität: ...	ausreichend detailliert und wahr, unmittelbar verwendbar

Abbildung 7: Anwendung des logistischen Prinzips auf Informationen  
[Augu90]

Aufbauend auf dieser analogen Betrachtung von Material- und Informationsfluss entwickelt Augustin die sog. Informationslayoutplanung<sup>57</sup>. Hierbei werden ausgehend von einer zielorientierten Ermittlung des formellen Informationsbedarfes Informations- und Kommunikationssachmittel nach ihrer Art und Anzahl sowie dem strukturellen Zusammenwirken bestimmt. Das Ergebnis ist ein Informationsversorgungssystem, das nach vergleichbaren logistischen Prinzipien wie ein Produktionssystem funktioniert. Diese Optimierung der Aufgabenverteilung basiert auf einer Ermittlung der relevanten Informationen nach Art und Umfang, wobei nur formalisierte Informationsvorgänge betrachtet werden.<sup>58</sup>

„Auf die Planung und Gestaltung eines Informationslayouts besitzen nicht formalisierbare IuK-Beziehungen keinen Einfluss!“ [Augu90 S. 36]

---

<sup>57</sup> Bei der Informationslayoutplanung werden Informationsvorgänge im Sinne eines logistischen Systems betrachtet, das so zu dimensionieren und zu gestalten ist, dass der vorgegebene Nutzen durch minimalen Aufwand erzielt wird; d.h., möglichst geringer Informationsbedarf zu möglichst niedrigen Prozesskosten. Die Planungsschritte lehnen sich an den klassischen Aufgaben der Layoutplanung an. [Augu90]

<sup>58</sup> Für die Messung schlägt Augustin die Quantifizierung von Informationsvorgängen auf Basis eines Datenstroms vor. Ein Datenstrom ist die auf eine Zeiteinheit bezogene Menge einer bestimmten Datenart, die dem Informationsaustausch zwischen zwei Informationsprozessen dient. Der Datendurchsatz bestimmt sich aus der Multiplikation des Datenvolumens je Informationsvorgang und der Anzahl dieser Informationsvorgänge. Voraussetzung ist dabei, dass ein Informationsvorgang (z.B. Störmeldung, Monatsbericht) formalisierbar ist. [Augu90]

Oltrogge greift diesen Ansatz auf und entwickelt ein informationslogistisches Grundmodell zur Abbildung des Informationsflusses zwischen Mitarbeitern unterschiedlicher Organisationseinheiten<sup>59</sup>. [Oltr93] Grundlage bilden Beschreibungs- bzw. Bewertungsgrößen, die in Analogie zu den Basiskenngrößen des Materialflusses definiert sind. Ziel dieses Ansatzes ist die informationslogistische Zuordnung der Systemelemente zu den betrieblichen Aufgaben eines Produktionssystems in Analogie zur allg. Zuordnungsproblematik der Layoutplanung. Im Kern entspricht dies der Generierung einer aufbauorganisatorischen Struktur.

Nicht nur in den produktionstechnischen Wissenschaftszweigen rücken informationelle Relationen in den Fokus der Betrachtung. Im Unterschied zur klassisch einseitigen Beachtung der Materialflussbeziehungen als das Layout prägende Kriterium zeichnen synergetisch geprägte Ansätze aus den Fachdisziplinen der Architektur und Raumplanung Lösungswege auf, wie Gebäude- und Raumstrukturen zur verbesserten Anwendung vornehmlich informeller Kommunikationsbeziehungen führen.

Dies gilt hauptsächlich für die direkte Sprachkommunikation, müssen sich hierzu doch alle Kommunikationspartner am gleichen Ort zur gleichen Zeit befinden. Der gemeinsam genutzte physische Raum ist in diesem Fall als Handlungsrahmen aufzufassen, der durch seine Gestaltung die Begegnung potentieller Kommunikationspartner ermöglichen soll. [Clau03]

Hierfür sind Bewegungsräume zwischen den Arbeitsplätzen notwendig, die als verteilte Attraktoren zu sozialen Treffpunkten im Unternehmen werden, da Mitarbeiter durch spontane Bewegung („Beine vertreten“) besser und häufiger miteinander interagieren. [Penn99], [Wien05]

Kommunikation ist ein entscheidender Produktionsfaktor, der bei zunehmender Vernetzung von Produktionsbereichen zur Beherrschung einer steigenden Komplexität dient. Zur Förderung des spontanen Gedankenaustauschs, informeller Kommunikation

---

<sup>59</sup> Das Grundmodell basiert auf dem Sender-Empfänger-Modell nach Shannon / Weaver (vgl. [Shan76]).

und somit vernetzter Arbeit sind offene Orte zu schaffen, denen sich Reichardt und Henn im Rahmen der „Kommunikationsarchitektur“ widmen. [Reic01], [Henn02]

Auf Basis von Untersuchungen<sup>60</sup> durch Allen bezeichnet Henn in diesem Zusammenhang Kommunikationsströme als „geistigen Materialfluss“. [Alle95], [Henn95]

„Der geistige Materialfluss muss zu einer handhabbaren Größe der Unternehmensplanung werden. Es gilt Kommunikation zu messen und zu visualisieren. ... Nicht der Arbeitsplatz in seiner ergonomischen Optimierung führt zum Ziel, sondern erst die geistige und räumliche Vernetzung der Arbeitsplätze.“ [Henn95 S. 96]

Im Kontext wissensintensiver Arbeitsprozesse bestätigen Probst et al.:

„Arbeitsplätze von Mitarbeitern, die regelmäßig zusammenarbeiten und deren Wissensaustausch besonders wichtig ist, sollten sich in relativer Nähe zueinander befinden.“ [Prob06 S. 229]

Die Methode des Netgraphing ermöglicht die Darstellung der Häufigkeit von Kommunikationsströmen. [Henn95] Mit Hilfe dieser quantifizierenden Erhebungsmethode erzeugt Allen eine Kopplungsmatrix zur Analyse von Kommunikationsbeziehungen – den sog. Netgraph, auch als Kommunikationskarte bzw. Kommunikationsmuster bezeichnet. [Alle97] Analog zur Kopplungsmatrix des Materialflusses wird hierbei mindestens das Vorhandensein betriebswirtschaftlich relevanter Kommunikationsbeziehungen zwischen zwei Mitarbeitern erfasst (siehe Abbildung 8)<sup>61</sup>. Zent-

---

<sup>60</sup> Auf Grundlage verschiedener Fallstudien beschreibt Allen die Wahrscheinlichkeit der Kommunikation in Abhängigkeit von der räumlichen (physischen) Entfernung zwischen zwei Kommunikationspartnern (vgl. [Alle95]).

<sup>61</sup> Hierbei bedeutet ein ausgefülltes Kästchen, dass im untersuchten Betrachtungszeitraum mindestens eine informationelle Beziehung zwischen diesen beiden Abteilungen stattfand. Wird darüber hinaus die Häufigkeit der Kommunikationskontakte in einem spezifischen Zeitraum erhoben, kann eine Intensitätsmatrix in Analogie zur Häufigkeitsbestimmung von Transporten zwischen Arbeitssystemen aufgestellt werden.

rale Fragestellung bei der Anwendung dieser Methode ist, ob Kommunikation durch räumliche Barrieren behindert wird. [Somm87], [Romh98] [Clau03,], [MüSe05]

„Solche Kommunikationskarten ... zeigen, ... welches Maschinen-Layout an welcher Stelle notwendig ist, wo Orte und Zwischenräume für Kommunikation vorgesehen werden müssen. Aus den Analyseergebnissen kann nach der Ziel- und Aufgabendefinition ein Kommunikations-Layout sowohl für räumliche wie für organisatorische Maßnahmen erarbeitet werden.“ [Henn95 S. 97]

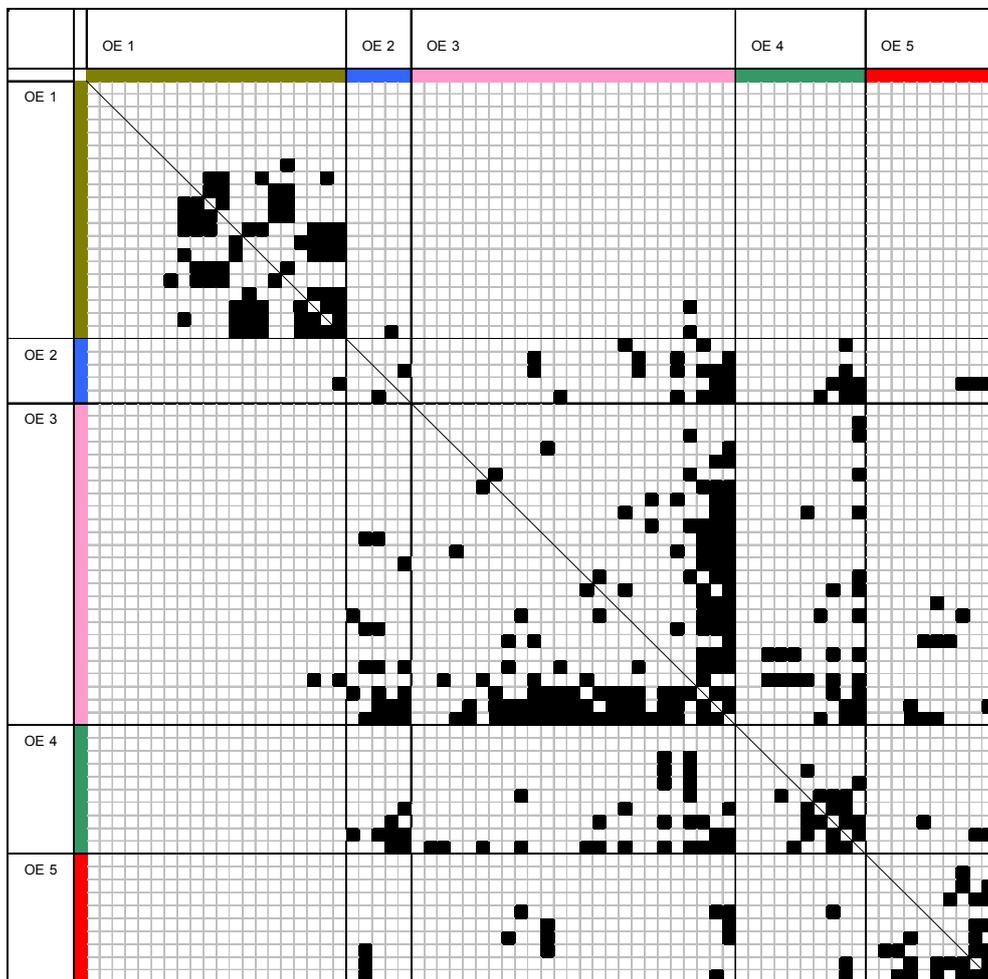


Abbildung 8: Exemplarische Kommunikationskarte zur Visualisierung von Kommunikationsströmen (i.A. an [Alle97])

Sowohl Augustin als auch Oltrogge modellieren formalisierte IuK-Beziehungen, da diese vorrangig eine informationslogisti-

sche Relevanz besitzen. [Augu90], [Oltr93] Eine solche restriktive Betrachtung muss mit Blick auf die zuvor geschilderte Gebäude- und Raumstrukturierung in Frage gestellt werden. Hier liegt der Ansatz auf den nicht formalisierten, informellen IuK-Beziehungen. Dabei erscheint es vorteilhaft, für ein angestrebtes formales Beschreibungs- und Bewertungsmodell von IuK-Beziehungen die Analogie zu den Kenngrößen und Modellen der Materialflussbeziehungen zu suchen. Dies würde zudem die mathematische Anwendbarkeit der heuristischen Anordnungsverfahren sicherstellen.

### 4. Zielsetzung und Vorgehensweise

In Produktionssystemen der Einzel- und Serienfertigungen mit hoher Variantenzahl ist die Flexibilität und Wandlungsfähigkeit der Produktionssysteme von enormer wirtschaftlicher Bedeutung. [Kühn07] Wesentliche Voraussetzungen für das rentable Betreiben derartiger Produktionssysteme ist die Gewährleistung und Förderung vor allem informeller IuK-Beziehungen in direkten Produktionsbereichen zur Unterstützung komplexer Entscheidungs- und Koordinationsprozesse. Technische Einrichtungen, die in den letzten Jahren in Form von CMS-Terminals und im Zuge der Wearable-Computing-Technologie am Maschinenarbeitsplatz Einzug gehalten haben, besitzen derzeit nur ein begrenztes Anwendungspotential.

Darüber hinaus ist zu konstatieren, dass für die Anwendung theoretisch durchdachter Erkenntnisse pragmatische Modelle, Methoden und Werkzeuge fehlen. Dies gilt unter anderem für die wandlungsfähige Ausgestaltung der Prozesse und Strukturen von Produktionssystemen.

Gemäß der herausgearbeiteten Defizite und abgeleiteten Anforderungen liegt das Ziel dieser Arbeit in der methodischen Erweiterung und Ergänzung der Anordnungsoptimierung von Betriebsmitteln in Produktionssystemen der variantenreichen Einzel- und Serienfertigung. Dabei soll eine fallspezifische Konfiguration potentieller Anordnungskriterien die konzeptionellen Grenzen der klassischen Anordnungsverfahren insofern beseitigen, dass die Einschwingphasen von Produktionssystemen erheblich verkürzt werden und so deren angestrebte Leistungsfähigkeit beim Start-Of-Production frühzeitig erreicht wird. Im wissenschaftlichen Kern der Arbeit wird schließlich auf der primären Basis informeller IuK-Beziehungen ein kommunikatives Anordnungskriterium erarbeitet.

Folgende Arbeitsschritte sind hierfür notwendig (siehe Abbildung 9):

- potentielle Zielstellungen anhand vorrangig auffindbarer Relationsarten (betriebliche Basisrelationen) eines Produktionssystems systematisieren
- umfassendes Zielsystem zur Bereitstellung und Auswahl anordnungsrelevanter Zielkriterien ableiten
- Vorgehensweise zur Konfiguration eines allgemeingültigen Zielsystems entwerfen, das für die Lösung des allg. Zuordnungsproblems mit mehreren Zielsetzungen unter Anwendung eines simplifizierten Multi-Kriterien-Verfahrens notwendig ist
- Parameter für die Beschreibung und Bewertung betrieblicher IuK-Beziehung aus der Analogiebildung zum Materialfluss generieren
- Zielkriterium für die kommunikationsorientierte Anordnungsoptimierung entwickeln und Randbedingungen der Anwendung aufzeigen

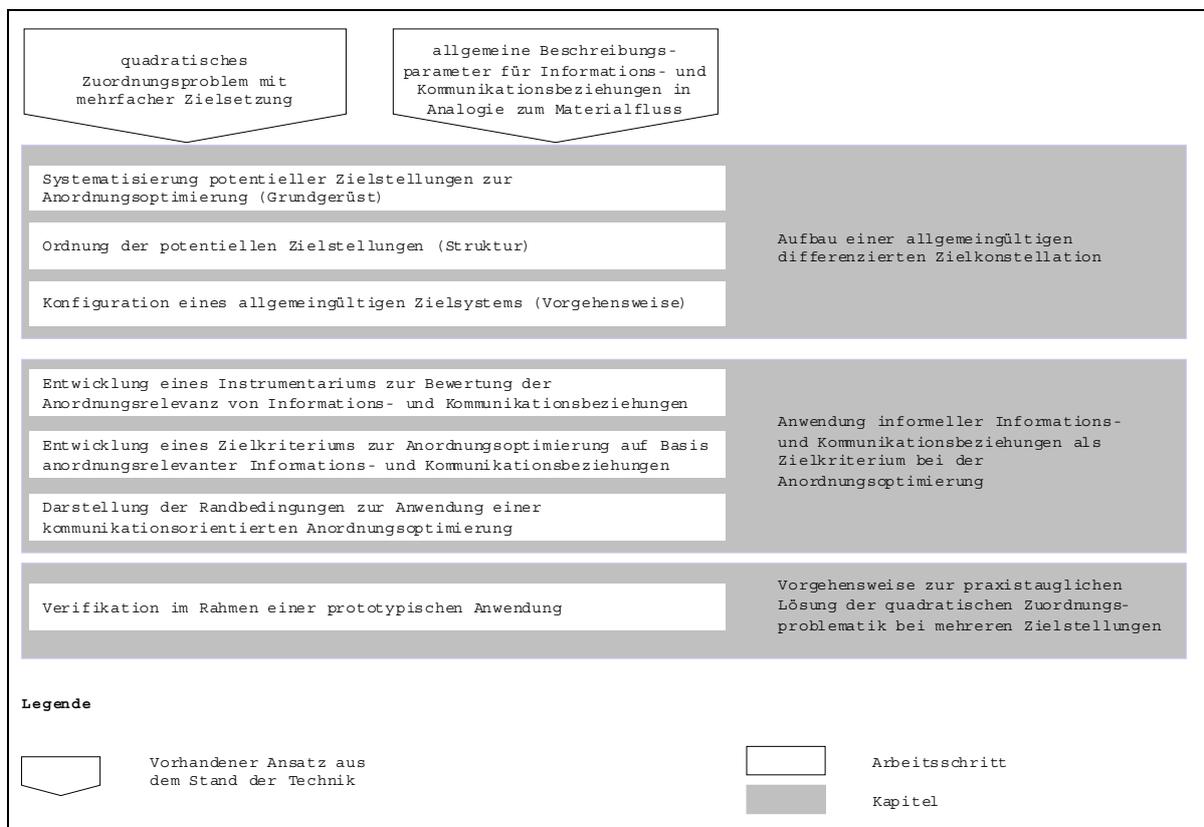


Abbildung 9: Vorgehensweise und Aufbau der Arbeit

Die Anwendbarkeit der erweiterten Anordnungsoptimierung unter Beachtung eines systematisierten Zielsystems wird im abschließenden Schritt an einem Praxisfall der Holzverarbeitenden Industrie validiert.

## **5. Allgemeingültiges Zielsystem für die Layoutplanung von Produktionssystemen**

Ein Produktionssystem wird als ein komplexes sozio-technisches System betrachtet, das adaptiv über offene Grenzen mit seiner Umwelt verbunden ist.<sup>62</sup> Erst durch eine Reduzierung der Komplexität wird es möglich, eine Analyse dieses schwer handhabbaren Untersuchungsobjektes - verbunden mit einem zweckdienlichen Erkenntnisgewinn - durchzuführen. Hierbei ist zu beachten, dass eine einzige Sichtweise zur Beschreibung eines komplexen Systems nicht der Notwendigkeit genügt, vielfältige Erscheinungsformen und Sachzusammenhänge ausreichend zu beschreiben, zu erklären und zu nutzen.<sup>63</sup> Vielmehr ist ein intelligentes Zusammenspiel verschiedener Betrachtungsweisen notwendig, um eine zufriedenstellende Untersuchung komplexer Systeme mit ihrer Vielzahl an Elementen und Beziehungen zu ermöglichen.

Dies gilt auch für die Strukturierung einer Grundgesamtheit an Zielstellungen bei der Anordnungsoptimierung der Elemente eines Produktionssystems. Auf Basis einer grundlegenden Taxonomie betrieblicher Relationen wird deshalb nachstehend zunächst das Grundgerüst für ein allgemeingültiges Zielsystem entwickelt. Dem folgt die Beschreibung zum Aufbau einer unteretzten Struktur, welche den Ausgangspunkt für die Formulierung fallspezifischer Entscheidungsregeln der Anordnungsoptimierung darstellt. Schließlich wird die Vorgehensweise zur Erstellung des Grundgerüsts und der Struktur für das Anwendungsfeld der Layoutplanung zusammenfassend erläutert.

---

<sup>62</sup> siehe Kap. 2

<sup>63</sup> Ähnlich einem fest zugeordneten Gegenstand im Raum, der lediglich aus einer Richtung beleuchtet wird, kann der Beobachter nur eine Seite genau untersuchen. Sachzusammenhänge zur abgewandten Seite bleiben im „Dunkeln“, es entsteht sozusagen ein „Erkenntnisschatten“ (vergleichbar mit der erdabgewandten Seite des Mondes).

## 5.1 Grundgerüst eines allgemeingültigen Zielsystems

Im Kontext der Allgemeinen Systemtheorie bietet die aspektbezogene Betrachtung eines Produktionssystems einen geeigneten Ansatzpunkt für die Systematisierung potentieller Zielstellungen der Anordnungsoptimierung. Dieser sog. Aspekt-System-Ansatz blendet in einer Betrachtungsebene einzelne Elemente und Relationen, deren Eigenschaften und Funktionen oder Gruppen von Elementen (Subsystem) bzw. Folgen von Relationen (Teilsystem) zur Komplexitätsreduzierung gezielt aus und fokussiert das Erkenntnisinteresse auf die verbliebenen Elemente und Relationen samt ihrer Eigenschaften. [Luhm06], [Krie96]

Für eine umfassende und differenzierte Betrachtung betrieblicher Relationen erweist sich eine funktionale Betrachtungsweise dieser Relationen als vorteilhaft. Folgende funktionalen Aspekte betrieblicher Relationen lassen sich hierbei unterscheiden:<sup>64</sup>

- Wertschöpfung und Material
- Information und Kommunikation
- Ressourcen und Energie
- Menschen und Organisation
- Kapital und Finanzen

Mit diesem Differenzierungsgrundsatz geben die betrieblichen Basisrelationen das Grundgerüst für das angestrebte Zielsystem zur systematisierten Anordnungsoptimierung in Produktionssystemen vor.

---

<sup>64</sup> Als wissenschaftlich fundierte Basis für diesen funktionalen Differenzierungsansatz dienen die Grundfunktionen des Produktionsflusses (vgl. [Schm86], [Rock78], [Kett84]), die Flusssystemtheorie (vgl. [Wirt89]), die Aspekt-System-Betrachtung des Fabrikbetriebs (vgl. [Warn95], [Kühn95], [Bern03]) sowie allgemeine Ebenen- bzw. Layer-Konzepte, wie diese z.B. bei CAD-Software-Systemen genutzt werden.

I. A. an Wirth werden die einzelnen Aspekte nachfolgend kurz erläutert. [Sche03], [Wirt89]

### *Stoffliche Relationen:*

Materialflussbeziehungen (als bestimmender Bestandteil der stofflichen Beziehungen) stellen produktions- und prozessbedingte Stoffflüsse dar, die bei der Produktentstehung notwendig sind (Roh-, Hilfs- und Betriebsstoffe) bzw. anfallen (Abfallstoffe). Diese Art der Relation stellt sicher, dass die Betriebsmittel als Elemente eines Produktionssystems ihre Fertigungsaufgabe erfüllen können. Transporteinrichtungen dienen zur funktionellen Umsetzung der Materialflussbeziehungen. Lager- und Puffereinrichtungen bilden die Schnittstellen im Materialfluss zwischen den Betriebsmitteln.

### *Informationelle Relationen:*

Informationen als Gegenstände informationeller Beziehungen und deren Anwendung im Kommunikationsprozess dienen der organisatorischen und technologischen Steuerung aller Prozesse zur Realisierung der Produktionsaufgabe. Informations- und Kommunikationsbeziehungen sind dementsprechend eng gekoppelt mit den Materialflussbeziehungen und tragen zu deren Realisierung maßgeblich bei.

### *Energetische Relationen:*

Relationen zwischen den Elementen der Energieversorgung ermöglichen den Energiefluss, der in der technisierten Produktion eine ureigene Voraussetzung für die Realisierung der Produktion darstellt. Der Energiefluss ist dabei eng verbunden mit den Material- und Informationsbeziehungen.

### *Personelle Relationen:*

Je nach Art und Form der Produktion sind die Mitarbeiter eines Produktionssystems gezwungen, Distanzen zwischen den Orten des Arbeitsanfalls zu überbrücken. Zudem stellt ein Produktionssystem auch immer ein soziales Gebilde dar, deren Hauptbestandteile die Mitarbeiter sind. Dementsprechend schließen personelle Beziehungen (in Form eines Personenflusses) auch die partnerschaftlichen Beziehungen der Mitarbeiter untereinander - d.h. die sprachliche Verständigung - mit ein.

*Ökonomische Relationen:*

Die Folge ökonomischer Beziehungen repräsentiert den Wertefluss und die anfallenden Kosten in einem Produktionssystem – also die betriebswirtschaftlichen Parameter.

Unter diesen Voraussetzungen lassen sich fünf Kategorien – sog. Zielarten – unterscheiden. Deren Gliederung und Ordnung erfolgt in einem Zielsystem, wobei die Zielarten durch mindestens eine Zielstellung mit einem entsprechend hinterlegten Zielkriterium beschrieben werden müssen (siehe Abbildung 10).

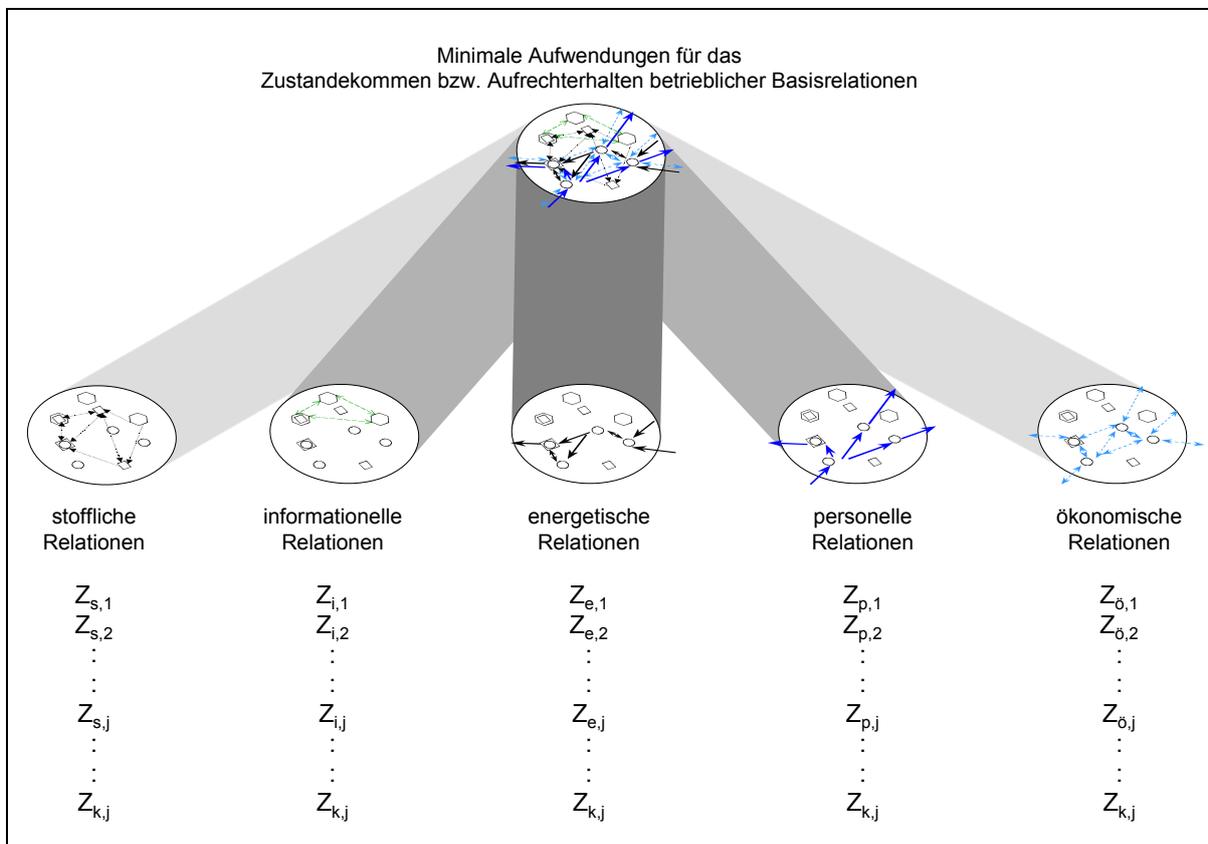


Abbildung 10: Ableitung der Zielarten aus den betrieblichen Basisrelationen

Das vorliegende Grundgerüst versteht sich als Basiskonfiguration, die den Anspruch verfolgt, den schwierigen Prozess der Zielfindung bzw. Priorisierung zu vereinfachen. Denn, so konstatiert Aggteleky: „Es gibt kein sicheres Vorgehen, das zur vollständigen Erfassung der realisierbaren Zielalternativen

führt.“ [Aggt90 S. 238] Diese Planungsaufgabe stützt sich weitestgehend auf das Fachwissen und die Erfahrung sowie Kreativität und Intuition des Planers.

Je nach Art und Umfang eines spezifischen Anwendungsfalls kann diese Basiskonfiguration weiter differenziert werden. Zangemeister bekräftigt zusammenfassend: „Diese Ordnung ... ist ein praktikabler Weg, systematisch alle entscheidungsrelevanten Ziele zu erfassen. In Verbindung mit den Möglichkeiten einer vertikalen Zielordnung hat man damit ein logisches Gerüst zur Formulierung einer vollständigen und differenzierten Bewertungsgrundlage.“ [Zang76 S. 111] Aufbauend auf dem zuvor entwickelten Grundgerüst und dem in Kap. 3.1.2 vorgestellten hierarchischen Ordnungsprinzip ergibt sich die Grundkonfiguration eines allgemeingültigen Zielsystems, die nachfolgend kurz erläutert wird.

Im Sinne einer vertikalen Grundordnung werden einzelne Elemente zu übergeordneten Systemen zusammengefasst bzw. gruppierte Elemente in Unter- bzw. Teilsystemen zerlegt. Im Ergebnis entsteht eine logisch aufgebaute Zielkette, wie in Abbildung 11 dargestellt.

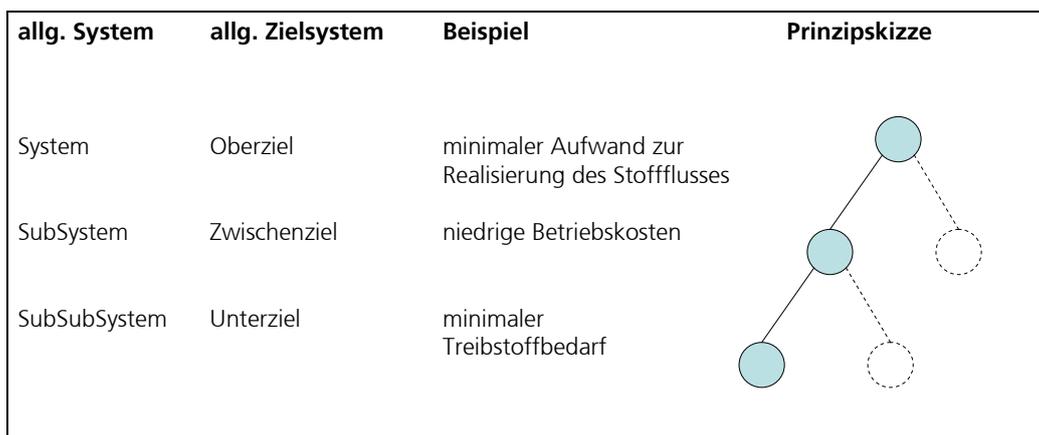


Abbildung 11: Prinzip der vertikalen Zielzerlegung

Diesem vertikalen Zerlegungsprinzip liegt folgende Annahme zugrunde:

Jeder übergeordneten Zielstellung ist eine oder sind mehrere Zielstellungen aus den unterlegten Subzielebenen zugeordnet. Dies wiederum unterstellt eine Unabhängigkeit zwischen den Zielstellungen der untergeordneten Zielebenen. [Klop99]

Der Vorteil dieser Annahme liegt vor allem im funktionalen Beziehungszusammenhang zwischen den Unter- und Oberzielen, welcher im Optimierungsgrundsatz jeweils eine Extremierung der nächstübergeordneten Zielstellung verfolgt - also diese Zielstellung minimiert oder maximiert (vgl. Tabelle 2).

Tabelle 2: Beziehungszusammenhang zwischen Ober- und Unterziel (i.A. an [Klop99])

Optimierungsrichtung	Funktionaler Zielzusammenhang
Maximierung:	$Z_{k,j}^u = f(x) = \max_{k,j} (Z_{k,j}^{u+1})$
Minimierung:	$Z_{k,j}^u = f(x) = \min_{k,j} (Z_{k,j}^{u+1})$
	mit: Index der dem Oberziel zugeordneten Zielstellung [j = 1, ..., m] Index der betrachteten Zielart [k = 1, ..., n] Rang der betrachteten Zielebene [u]

Mit dieser für das vorliegende Ordnungsproblem sowohl notwendigen als auch hinreichenden Annahme lassen sich die Zielstellungen bei der horizontalen Ordnung in Haupt- und Nebenziele differenzieren (Abbildung 12).

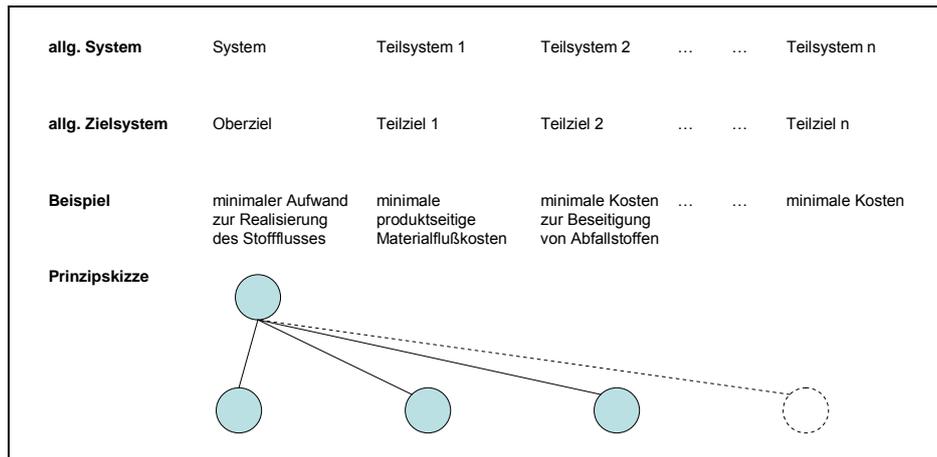


Abbildung 12: Prinzip der horizontalen Zielzerlegung

Die vorstehend beschriebene systematische Ordnung und Gliederung einzelner Zielstellungen im Sinne einer Zielhierarchie ist unmittelbar verbunden mit der Ermittlung von Prioritätswerten für die einzelnen Zielstellungen. Der Nutzen einer derartigen Systematik liegt vor allem darin begründet, dass durch die oben getroffene Annahme die Anzahl der für diese Art der Zielpriorisierung zu vergleichenden Elemente klein gehalten wird und somit ein praktikabler Einsatz möglich wird. [Zang76] Für das vorliegende Untersuchungsfeld wird dies im folgenden Abschnitt erörtert.

## 5.2 Konfiguration eines allgemeingültigen Zielsystems

Das Vorgehen zur Systematisierung fallspezifisch relevanter Zielstellungen bei der Anordnungsoptimierung ist dem in Abbildung 13 dargelegten Ablauf zu entnehmen.

Grundlage bildet das zuvor geschaffene Grundgerüst, wobei sowohl die Anzahl als auch die Zielarten an sich nicht als fixe Größen anzusehen sind. Der Anwender wählt zunächst aus einer Sammlung allgemeingültiger Zielstellungen, die dem Grundgerüst als Katalog hinterlegt sind, die für den spezifischen Anwendungsfall als potentiell relevant einzustufenden Zielstellungen aus.

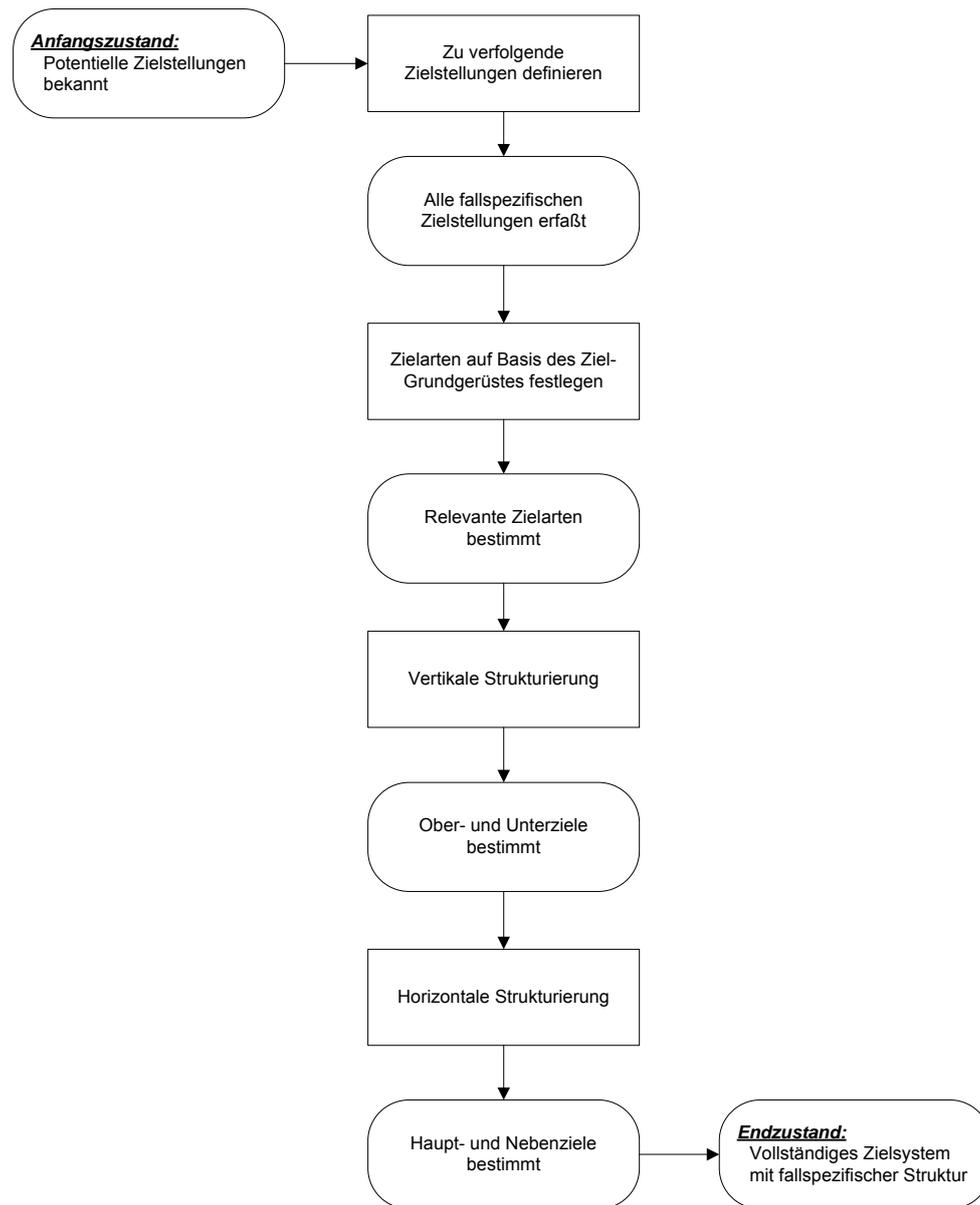


Abbildung 13: Ablaufdiagramm zur Konfiguration eines allgemeingültigen Zielsystems

Die allgemeingültigen Zielstellungen dienen hierbei vorrangig als Ordnungselemente, denen fallspezifische Zielstellungen durch den Anwender thematisch zugeordnet bzw. durch den Anwender abgeleitet werden können. Selbstverständlich muss dabei im vorliegenden Stadium von einem unvollständigen Befüllungsgrad eines derartigen Katalogs ausgegangen werden. Aus diesem Grunde steht es dem Anwender frei, eigene Definitionen fallspezifischer Zielstellungen bzw. Zielkriterien zu generieren. Eine

Überlagerung des Ordnungsprinzips „Art der Ziele“ mit dem Ordnungsprinzip „Spezifik der Ziele“<sup>65</sup> führt zu einer vorkonfigurierten Ordnungsmatrix, die im Anhang I hinterlegt ist. Ob schließlich fallspezifische Zielstellungen in allgemeiner Form einem separaten Zielkatalog zugeführt werden sollen, obliegt dem jeweiligen Anwender.

Sind alle potentiell relevanten Zielstellungen erfasst, erfolgt die Auswahl der Relationen, für deren Elemente eine optimale Anordnung unter Beachtung unterschiedlicher Zielstellung erstellt werden soll. Durch die Ermittlung von Prioritätskennzahlen nach der Methode des Sukzessiven bzw. Paarweisen Vergleiches<sup>66</sup> wird eine Rangfolge der Zielarten gebildet.

Rietz argumentiert i.A. an Porter treffend, dass dabei eine Fokussierung auf die Zielarten anzustreben ist, die für den Anwender relevant sind. [Port80], [Riet00] Da nicht alle Zielarten gleichzeitig und auf gleich hohem Niveau erreicht werden können, muss eine Reduzierung auf relevante Zielarten bzw. Zielstellungen erfolgen.

Ob bei der zugrunde liegenden Zielkonstellation zwei oder drei Zielstellungen verfolgt werden, hängt direkt vom Bewertungsmaßstab des Anwenders ab. Als Orientierung kann die Summe der Prioritätskennzahlen für die als relevant eingestuften Zielstellungen dienen. Beträgt diese mehr als 50 %, liegt keine Fokussierung im eigentlichen Sinne mehr vor. [Riet00]

Bei richtiger Anwendung der Priorisierung weisen zumeist schon die beiden höchst priorisierten Zielarten mehr als 50 % der Prioritätssumme auf.

---

<sup>65</sup> Zielstellungen gelten in ihrer Spezifik als allgemeingültig, wenn

- diese nicht fallspezifisch variieren und
- eine logisch verknüpfte Zielkette vorliegt (vgl. [Riet00]).

<sup>66</sup> Beim Sukzessiven bzw. Paarweisen Vergleich werden die Zielkriterien einer bilateralen Bewertung unterzogen, indem mit Hilfe einer quadratischen Matrix jedes einzelne Zielkriterium mit jedem anderen verglichen wird. Die Wichtigkeitsaussage wird durch einen Zahlenwert ausgedrückt:

A wichtiger als B (wichtiger als: 2),

A unwichtig gegenüber B (unwichtig: 0)

A gleichgewichtig mit B (gleichbedeutend wie: 1)

Dies untermauern einschlägige Erfahrungen im Umgang mit der Methode in der industriellen Praxis. [Grob82] Nach erfolgter Auswahl der relevanten Zielarten ist zu beachten, dass die Prioritätswerte auf die neue Grundgesamtheit  $p_k^1$  (gew.) anzupassen sind.

Für die Bestimmung der relevanten Zielarten wird folgende mathematische Beschreibung eingeführt:

$$Z_{0..}^0 = \sum_{k=1}^n (Z_{k..}^1 * p_k^1) \rightarrow \textit{Optimum}$$

$Z_{0..}^0$  ... Gesamtzielwert aller Werte  $Z_{k..}^1$  der priorisierten Zielarten  $k = n$  auf der obersten Zielebene

$Z_{k..}^1$  ... Wert der Zielarten  $k$  auf der Zielebene 1 (Der Wert der Zielart resultiert aus einem Einzelzielwert oder einer bewerteten Teilzielmenge)

$p_k^1$  ... Prioritätskennzahl der Zielart  $k$  auf der Zielebene 1

$k$  ... Laufindex der Zielart ( $k = 1, 2, \dots, n$ )

Grundlegender Zweck der Priorisierung liegt in der hierarchischen Ordnung und Gliederung der für die Anordnungsoptimierung in Frage kommenden Zielstellungen als Teilzielmenge der extrahierten Zielarten. (vgl. Ausführungen im Kap. 3.1.2)

Hierzu wird zu jedem Oberziel jedes zugehörige Unterziel innerhalb der Menge aller Unterziele auf der gleichen Zielebene gewichtet. Das gemeinsame Oberziel stellt dann einen sog. Zielknoten dar - respektive das Knotengewicht. [Klop99]

Der Vollständigkeit halber kann im Anschluss durch Multiplikation aller übergeordneten Knotengewichte der jeweilige Prioritätswert der Zielstellungen bezüglich der obersten Zielstellung der Zielhierarchie bestimmt werden.

Für die Erfassung der den Zielarten zugeordneten Zielstellungen wird folgende mathematische Beschreibung festgelegt:

$$Z_{k..}^1 = \sum_{j=1}^m (Zg_{k,j}^2 * p_{k,j}^2) \rightarrow \textit{Optimum}$$

$Z_{k..}^1$ ... Wert der Zielart k auf der Zielebene 1 (Wert der Zielart resultiert aus der unterlegten Teilzielmenge)

$Zg_{k,j}^2$ ... Zielgröße j aus der Zielart k auf der Zielebene 2 (Zielgröße j repräsentiert den Zielwert einer Menge an Zielkriterien)

$p_{k,j}^2$ ... Prioritätswert der Zielgröße j aus der Zielart k auf der Zielebene 2

$j$ ... Laufindex der Zielgröße ( $j = 1, 2, \dots, m$ )

$k$ ... Laufindex der Zielart ( $k = 1, 2, \dots, n$ )

Im methodisch einfachsten Fall wird für die Zielart k genau eine Zielstellung als relevant erachtet, die sich wiederum genau durch ein Zielkriterium eindeutig beschreiben lässt. Dann gilt ( $j=m=1$ ) und somit  $Z_{k..}^1 = Zg_{k,j}^2$  sowie  $p_{k,j}^2 = 1$ . Mit Blick auf die in Kap. 3.1.2 erläuterten Zerlegungsprinzipien entspricht dies einer Zielkette ohne jegliche Verzweigungen.

In allen Ebenen der sich aufbauenden Zielhierarchie findet dabei der bereits zuvor diskutierte Ansatz nach Porter Anwendung, so dass nur wirklich relevante Zielstellungen schließlich berücksichtigt werden.

Die Abbildung 14 fasst in exemplarischer Form die vorstehend beschriebenen Arbeitsschritte zusammen. Dabei sind die aufgeführten Zielstellungen zunächst als Vorschlag zu verstehen, an denen die Bestimmung mehrerer relevanter Zielstellungen entsprechend der Struktur des finalen Zielsystems aufgezeigt wird.

Die detaillierte Entwicklung eines methodisch fundierten und aktuellen Notwendigkeiten entsprechenden Zielkriteriums zur Optimierung betrieblicher IuK-Beziehungen im direkten Fertigungsbereich von Produktionsbetrieben schildert das nachfolgende Kapitel.



## **6. Information und Kommunikation als Optimierungskriterium bei der Betriebsmittelanordnung**

Die zunehmende Vernetzung von Fabriken in Form überbetrieblicher Kooperationen verschärft den Zwang zur aufwandsarmen Rekonfiguration und damit reaktionsschnellen Anpassung der Produktionssysteme an turbulente Umfeldanforderungen. Um eine derartige Vernetzungsfähigkeit zu ermöglichen, sind neben materiell-technischen vor allem informationell-technische Schnittstellen zu planen und zu gestalten.<sup>67</sup>

Somit stehen vorrangig informationelle Relationen zwischen den Mitarbeitern eines Produktionssystems im Fokus der nachfolgenden Untersuchungen; das sich gegenseitig Informieren und miteinander Kommunizieren.

Die Organisationstheorie spricht hierbei von der informellen Organisation oder einem sog. informellen Beziehungsgeflecht. Die Mitarbeiter bauen soziale Kontakte außerhalb der formellen Regelungen auf, die wiederum die Effizienz der gesamten betrieblichen Abläufe unterstützen bzw. aufrechterhalten. Negative Wirkungen in Form von Gerüchten und Tratsch führen zu einem zwiespältigen Umgang mit derartigen informellen Abläufen. Sind sie nun Segen oder Fluch für eine Organisation?

Diese Frage soll im Rahmen der vorliegenden Arbeit nicht beantwortet werden.

Da die Layoutplanung als ein wissenschaftliches Vorgehen zur systematischen Anordnung der Elemente eines Produktionssystems das maßgebliche Betrachtungsobjekt dieser Arbeit darstellt, wird im Folgenden eine pragmatische Sichtweise auf diese Problematik vorgezogen. Es erscheint zunächst sehr simpel, aber wie die nachstehenden Ausführungen aufzeigen werden, ist es vorab unerheblich, ob IuK-Beziehungen im Rahmen einer informellen oder formellen Handlung zustande kommen. Vielmehr müssen derartige IuK-Beziehungen zum einen relevant für eine optimale Anordnung sein und andererseits eine inhaltliche Not-

---

<sup>67</sup> Wirth nennt als Beispiele: technologische Prozesse, Kommunikation der Menschen, Steuerungs- und Informationsprozesse. [Wirth02]

wendigkeit im Sinne des Arbeitsprozesses besitzen. Die Aufbereitung dieser beiden Grundbausteine bildet die Basis zur zweckmäßigen Bestimmung der Intensität von IuK-Beziehungen, die für den betrieblichen Leistungserstellungsprozess relevant sind. Neben dem zuvor aufgezeigten Ziel-Auswahl-Prozess liegt hierin das wesentliche Potential der Layoutplanung, das es durch die Entwicklung eines entsprechenden materialflussalternativen Anordnungskriteriums auszuschöpfen gilt.

Deshalb verfolgt der sich anschließende Abschnitt das Ziel, ein Optimierungskriterium zur Bestimmung einer günstigen räumlichen Anordnung auf Basis von IuK-Beziehungen im direkten Fertigungsbereich zu entwickeln. Dem folgend bedarf es zunächst eines Filters zur Bestimmung anordnungsrelevanter IuK-Beziehungen (Kap. 6.3). Dieser wiederum muss neben den spezifischen Eigenschaften von IuK-Beziehungen (Kap. 6.2) auch die grundsätzlichen Anforderungen, die an ein Kriterium zur Anordnungsoptimierung gestellt werden, berücksichtigen (Kap. 6.1). In Analogie zu den allgemeinen Beschreibungsgrößen für den Materialfluss sind anschließend signifikante Beschreibungsgrößen für relevante IuK-Beziehungen so zusammenzufassen, dass sich ein allgemeingültiges Zielkriterium für die Bestimmung einer günstigen räumlichen Anordnung ergibt (Kap. 6.4, 6.5). Aufbauend auf diesen Schritten wird eine Vorgehensweise für die kommunikationsorientierte Anordnungsoptimierung unter Beachtung spezifischer Rand- und Rahmenbedingungen von betrieblichen IuK-Beziehungen entworfen (Kap. 6.6).

### 6.1 Anforderungen an materialflussalternative Zielkriterien

Um als Zielkriterium einer multidimensionalen Anordnungsoptimierung fungieren zu können, sind spezifische Anforderungen i.F.v. Einsatzvoraussetzungen zu beachten. Für ein potentiell-les Zielkriterium muss dabei gelten:

- Ausschließlich anordnungsrelevante Relationsarten werden..
- durch eine einheitlich skalierte Beschreibungsgröße für die Stärke und Richtung der Relationswirkung so beschrieben,...
- dass die klassischen Verfahren zur Anordnungsoptimierung verwendet werden können.

Eine essentielle Restriktion bei der Bestimmung bzw. dem Aufsuchen potentieller Zielkriterien liegt in der Anforderung, die bewährten Grundverfahren zur Anordnungsbestimmung und -optimierung als Basismethoden zu nutzen. Diese Anforderung bildet die Grundlage der im Weiteren verfolgten Idee einer Analogiebildung<sup>68</sup> von der primären Bedingung möglichst geringer Kosten für den Materialtransport hin zu zielwertspezifischen Merkmalsausprägungen von alternativen Zielkriterien.

Daraus leitet sich unmittelbar die zweite Anforderung ab - die Anordnungsrelevanz. Anordnungsverfahren optimieren den Aufwand, der zum Aufbau bzw. zur Aufrechterhaltung einer im Fokus der Optimierung stehenden betrieblichen Basisrelation notwendig ist. Eine Optimierung der Elementanordnung ist nur dann sinnvoll, wenn sich dieser Aufwand proportional zur physischen Entfernung der anzuordnenden Elemente verhält. [Wäsc84] Genau dann liegt eine Anordnungsrelevanz der Elemente auf Grundlage einer betrieblichen Basisrelation vor.

---

<sup>68</sup> Bei der Methode der Analogiebildung wird versucht, die Problemlösung eines Betrachtungsbereichs (z.B. Biologie) auf eine Problemstellung eines anderen Bereichs zu übertragen (z.B. Technik). Eine Analogie besteht dann, wenn mindestens ein Merkmal eines Analogieobjektes auch Merkmal des Suchobjektes ist. Neben der Anregung für die Lösungssuche bieten Analogien die Möglichkeit, durch Modellierungs- und Simulationstechnik das Systemverhalten in einem früheren Entwicklungsstadium zu studieren, um daraus notwendige neue Teillösungen zu erkennen und/oder gegebenenfalls schon eine Optimierung einzuleiten (vgl. [Pahl07]).

Die Stärke und Wirkrichtung einer Relation wird durch die sog. Intensität ausgedrückt, die für verschiedene Relationsarten vergleichbar sein muss. Für die Erfüllung dieser Anforderung ist es zunächst unerheblich, ob die Intensität objektiv durch eine quantitative Messgröße oder subjektiv durch eine qualitative Ordnungsgröße bestimmt wird. Eine derartige Aussage kann jedoch nur dann richtig sein, wenn auf eine dimensionslose, normierte Vergleichsgröße zurückgegriffen wird. Der bereits in Kap. 3.1.2 herausgearbeitete Ansatz zur Ermittlung einer Bewertungsfunktion wird hierbei präferiert.

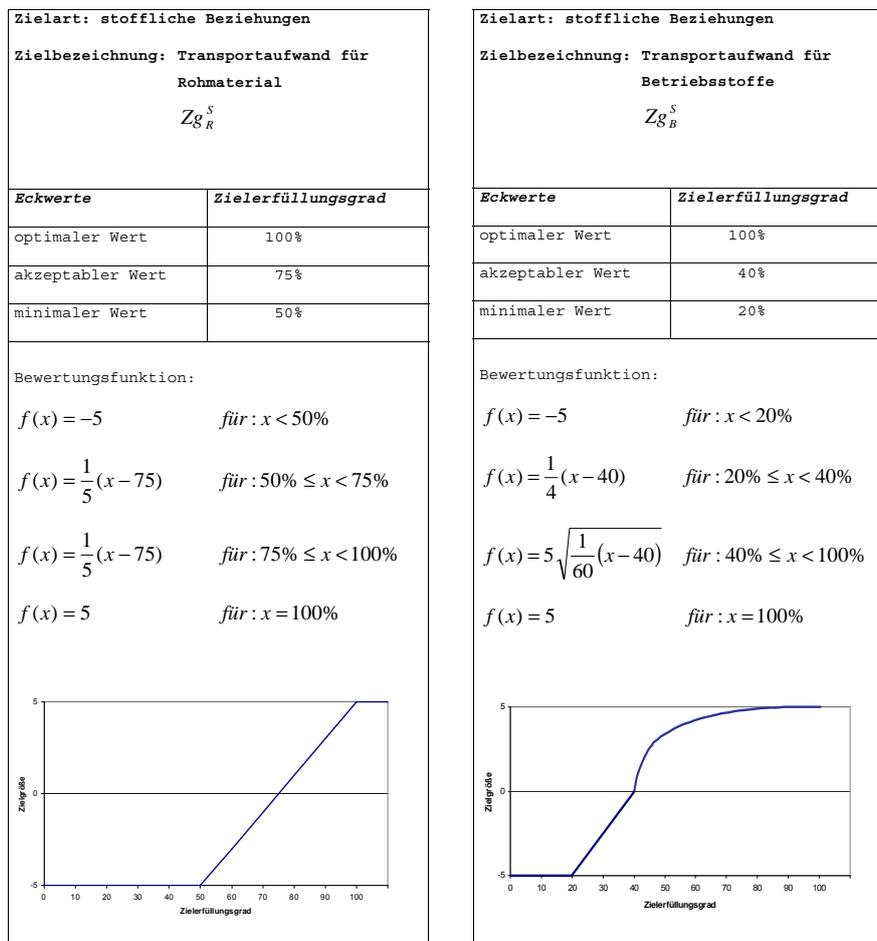


Abbildung 15: Exemplarische Ermittlung von Bewertungsfunktionen für zwei Zielstellungen

Als Basis einer rationalen Entscheidungsgrundlage bestimmt der Anwender über die spezifischen Funktionsparameter eine derartige, situativ anpassbare Bewertungsfunktion. Abbildung 15 verdeutlicht diesen Ansatz unter der Voraussetzung, dass der Erfüllungsgrad einer Zielstellung (ausgedrückt über ein Ziel-

kriterium) maximiert werden soll. Die hierbei bewerteten Zielstellungen beruhen auf dem im vorherigen Kapitel entwickelten Zielsystem.

### **6.2 Eigenschaften betrieblicher Informations- und Kommunikationsbeziehungen**

Die Selektion maßgeblicher Eigenschaften von betrieblichen IuK-Beziehungen bildet zunächst die Grundlage für das weitere Vorgehen. Aufgrund des vielseitigen Interesses als auch eines derzeitig hohen Verwendungsgrades der Begriffe Information und Kommunikation in der breiten wissenschaftlichen Diskussion werden nachfolgend die Erkenntnisse verschiedenster Wissenschaftsdisziplinen herangezogen, um eine erste Grobklassifizierung betrieblicher IuK-Beziehungen vornehmen zu können. Die verschiedensten Erklärungsansätze lassen sich zu folgenden Grundaspekten zusammenfassen:

- technisch-technologisch
- hierarchisch-organisatorisch
- technisch-organisatorisch

Der technisch-technologische Aspekt beschäftigt sich mit der Wechselwirkung zwischen der Arbeitsaufgabe und der Wahl des Mediums zur Kommunikation. Bezüglich der Medienauswahl besteht nach Picot ein enger Zusammenhang zwischen den Merkmalen der Kommunikationsaufgabe und den Charakteristika des Kommunikationsweges. Dabei existieren je nach Einflussfaktoren unterschiedliche Theorien für die Auswahl und den Einsatz bestimmter Medien im Rahmen der Media-Choice-Forschung.<sup>69</sup> Den Einfluss des Medieneinsatzes auf Arbeits- und Kooperationsprozesse untersucht die Media-Impact-Forschung. Dabei zeigen deren Untersuchungsergebnisse, dass eine massive Förderung der betrieb-

---

<sup>69</sup> Vgl. hierzu: Theorie der subjektiven Medienakzeptanz [Davi89], Social-Influence-Ansatz [Goec97], Aufgabenorientierter Ansatz [Reic99], Media-Richness-Theorie [Daft86]

lich bedingten Kommunikationsprozesse durch einen kommunikationsunterstützenden Medieneinsatz nicht zu einer Substitution der direkten Sprachkommunikation führt. [Prib96] Ein eher gegenteiliger Effekt lässt sich in den letzten Jahren beobachten, wonach sich die direkten Kontakte und die Kommunikationsfrequenz zwischen den Arbeitnehmern erhöht haben. [Doer03]

Beim hierarchisch-organisatorischen Aspekt stehen die Wechselwirkungen zwischen einem angestrebten kooperativen Arbeitshandeln in modernen Organisationskonzepten und dem formellen Charakter der Kommunikation im Mittelpunkt der Betrachtung. Böhle unterscheidet hierbei zwei Formen des kooperativen Arbeitshandelns: [Böhl02]

- Planungsbezogen-objektivierende Kooperation
- Erfahrungsgeleitet-subjektivierende Kooperation

Die planungsbezogene Kooperation ist plan-, regulier- und kontrollierbar. Eine „Selbsttätigkeit“ tritt hierbei entweder bei der inhaltlichen Ausformung oder bei dem organisatorischen Rahmen der Kooperation auf. Sie ist stets mit einem formellen Charakter der Kommunikation verbunden.

Die erfahrungsgeleitet-subjektivierende Kooperation lässt sich nicht organisieren. Die damit verbundene informelle Kommunikation unterstützt maßgeblich die betrieblichen Arbeitsabläufe. Zudem ist eine indirekte Verbesserung der Arbeitsleistung möglich, wenn z.B. „fachfremde“ Themen zu neuen Ideen führen. [Clau03]

Zu beachten bleibt, dass die letztgenannte Art der Kooperation sehr wohl betriebliche Ressourcen erfordert. Neben der Notwendigkeit einer organisatorischen Zulässigkeit der informellen Kommunikation muss diese Kommunikation vor allem während der Arbeitstätigkeit direkt am Arbeitsplatz und je nach Bedarf praktizierbar sein.

Ein drittes, technisch-organisatorisches Beschreibungsmerkmal folgt dem Grad der Formalisierung, welcher maßgeblich für die

innerbetriebliche Gestaltung der Kommunikationsprozesse und damit für ihre Verbindlichkeit im betrieblichen Ablauf ist. Systematisierte Informationen und deren formalisierter, also organisatorisch geregelter und zumeist informationstechnisch aufbereiteter Kommunikationsablauf umfassen alle Kommunikationsvorgänge, welche durch Strukturiertheit und Wiederholbarkeit in einem zielorientierten Bezug zur unternehmerischen Aufgabe stehen.<sup>70</sup>

Mitarbeiter eines Produktionsbetriebes befinden sich im Spannungsfeld der drei vorgestellten Aspekte, die sich aber nicht gegenseitig ausschließen. [Böhl02] Um den erarbeiteten Einsatzvoraussetzungen für materialflussalternative Zielkriterien zu entsprechen, wird nachfolgend ein Instrument zur modellgestützten Klassifizierung betrieblicher IuK-Beziehungen im Sinne der Anordnungsrelevanz entwickelt.

### **6.3 Anordnungsrelevanz betrieblicher Informations- und Kommunikationsbeziehungen**

Auf Basis der wesentlichen Eigenschaften betrieblicher IuK-Beziehungen wurden vorstehend drei signifikante Aspekte differenziert betrachtet, die den Ausgangspunkt zur Untersuchung der Anordnungsrelevanz für spezifische Arten betrieblicher IuK-Beziehungen bilden. Aufbauend auf den herausgearbeiteten unterschiedlichen formalen bzw. formellen Niveaustufen betrieblicher IuK-Beziehungen sowie deren Abhängigkeit vom verwendeten Übertragungsmedium<sup>71</sup>, verdeutlicht Abbildung 16 das Grundgerüst der weiteren Untersuchungsschritte, den sog. Kommunikationsraum.

---

<sup>70</sup> Vgl. Ausführungen in Kap. 2.2

<sup>71</sup> Vgl. Ausführungen in Kap. 3.2 und 6.2

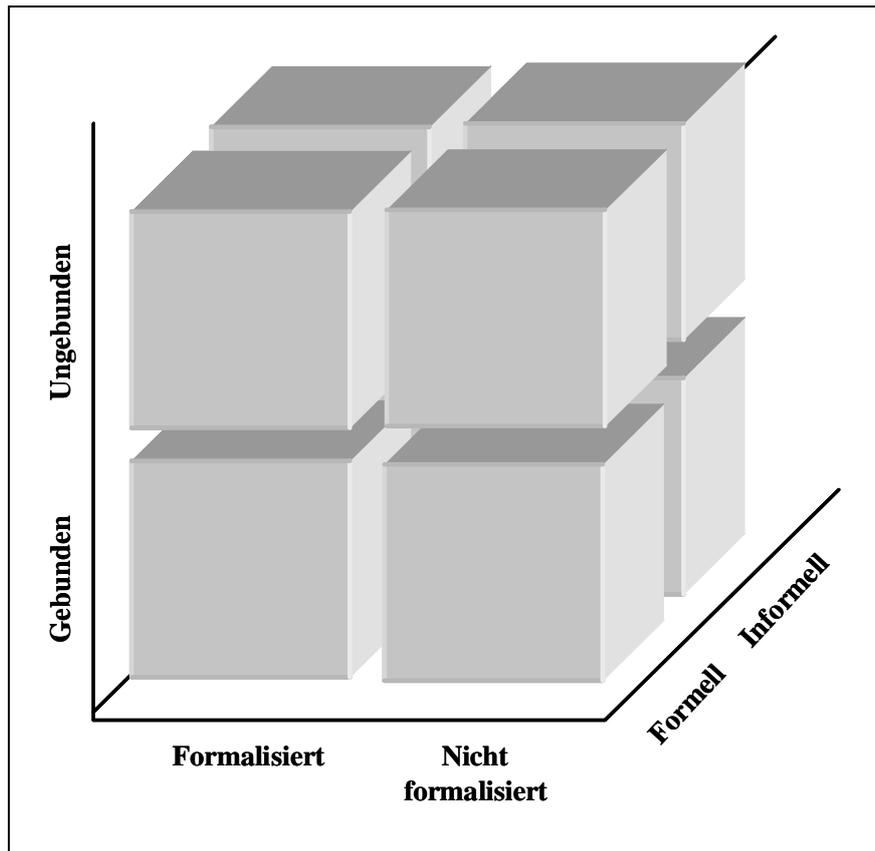


Abbildung 16: Das Modell des Kommunikationsraums

Der Kommunikationsraum basiert auf sechs unterschiedliche Ausprägungen betrieblicher IuK-Beziehungen:<sup>72</sup>

- Die gebundene Informationsübertragung fasst die geführte und materialgebundene Übertragung zusammen. Ein Informationsaustausch gilt immer dann als gebunden, wenn die Weiterleitung der Information durch ein physisch erfassbares Medium erfolgt (ein vom Menschen erschaffenes Medium). Dies kann teilweise eine temporäre Speicherung beinhalten. Beispiele für diese Übertragungsform sind Telefon, E-Mail, handschriftliche Notizen und Technische Zeichnungen, aber auch Funkübertragungen.

---

<sup>72</sup> Für detaillierte Beschreibungen zu den drei Determinanten vgl.: [Watz07], [Grab99], [Shan76]

- Die Ausprägung der ungebundenen Informationsübertragung ist an die ungeführte Übertragung angelehnt. Die Kommunikation ist ungebunden, wenn die Übertragung ohne ein physisch erfassbares Medium stattfindet und kein Transportmittel eingesetzt wird. Diese Form der Kommunikation erfolgt ohne temporäre Speicherung. Zu dieser Kategorie gehört z.B. die direkte Sprachkommunikation.
- Eine Kommunikation ist immer dann formalisiert, wenn sie einem Standard unterworfen ist. Dieser Standard kann sowohl organisatorisch als auch technisch bedingt sein. Zu dieser Kategorie zählen z.B. Stücklisten und Arbeitspläne, aber auch Sitzungsprotokolle.
- Eine Kommunikation gilt als nicht formalisiert, wenn sie keinem organisatorischen oder technischen Standard unterliegt. „Gelbe-Zettel-Notizen“ und freie Diskussionsrunden lassen sich z.B. dieser Kategorie zuordnen.
- Die formelle Kommunikation repräsentiert die Kommunikation, die vertikal innerhalb der Aufbauorganisation stattfindet. Sie hat damit immer einen offiziell geregelten Charakter (organisatorisch geregelt). Dienst- bzw. Arbeitsanweisungen sind Beispiele für diese Kategorie.
- Die informelle Kommunikation ist der Informationsaustausch, der horizontal in einer Hierarchieebene der Aufbauorganisation oder außerhalb der Aufbauorganisation vonstatten geht. Sie besitzt einen inoffiziellen nicht geregelten Charakter (außerhalb organisatorischer Regelungen). Jegliche Gespräche unter Mitarbeitern i.F.v. Small Talk oder erfahrungsbasierte Hinweise zur Arbeitsausführung stellen exemplarische Vertreter dieser Kategorie dar.

Mit Hilfe des eingeführten Kommunikationsraums wird nun die Anordnungsrelevanz der isolierten Ausprägungen betrieblicher IuK-Beziehungen unter Maßgabe der zuvor definierten Einsatzvoraussetzungen als Planungsparameter untersucht.

Eine betriebliche IuK-Beziehung ist immer dann anordnungsrelevant, wenn die physische Entfernung zwischen den Kommunikationspartnern (i.F.v. Sender und Empfänger) die störungsfreie Übertragung der Information maßgeblich beeinflusst. Gemäß der Definition der Anordnungsrelevanz muss also eine Proportionalität zwischen der physischen Entfernung und dem Aufwand für das Zustandekommen bzw. für die Aufrechterhaltung der IuK-Beziehung bestehen. Im Mittelpunkt steht daher die Frage: Wie wird eine für den betrieblichen Leistungserstellungsprozess relevante Information von einem Kommunikationspartner zum anderen transferiert?

Hierfür ist der formelle Grad einer IuK-Beziehung irrelevant.<sup>73</sup> Wie bereits zu Beginn des sechsten Kapitels aufgezeigt wurde, ist diese formelle Ausprägung vielmehr direkt abhängig von der im Produktionssystem vorfindbaren Organisationsstruktur.<sup>74</sup> Ferner fällt neben dieser formellen Determinante im Modell des Kommunikationsraums auch der Eigenschaftsblock der gebundenformalisierten IuK-Beziehungen aus der Betrachtung heraus, da hier ebenfalls keine signifikante Entfernungsabhängigkeit zwischen den Kommunikationspartnern vorliegt und zudem eine derartige Informationsverteilung die Aufgabe ablauforganisatorischer Regelungen im Unternehmen darstellt.<sup>75</sup>

---

<sup>73</sup> Vgl.: Drei-Ebenen-Modell der Semiotik (Kap. 2.2)

<sup>74</sup> Die Zusammenarbeit in einem Produktionsbetrieb ist zumeist durch niedergeschriebene Regeln und Abläufe organisatorisch geregelt und „von oben herab“ vorgeschrieben. Mithin werden derartigen Koordinierungsaufgaben durch Organisationsformen, wie z.B. der Linienorganisation (funktionsorientiert) oder der Spartenorganisation (objektorientiert) fixiert.

<sup>75</sup> Im Kontext der Untersuchung entfällt die Betrachtung der auch als Technische Kommunikation bezeichneten elektronischen Erstellung, Weitergabe und Nutzung numerischer Daten im Sinne der Betriebsdaten- bzw. Maschinendatenerfassung (BDE/MDE), eingebettet in ein Produktionsleitsystem (engl.: Manufacturing Execution System). Der Umgang mit derartigen technischen Daten (z.B. Technische Zeichnungen) unterliegt im Produktionsbetrieb gemeinhin einer technischen Norm und ist mithin der (medien-)gebundenen Informationsübertragung zuzuordnen. Spezifischen Organisationseinheiten wie z.B. dem Änderungswesen obliegt es dementsprechend, die anfallenden Formalitäten zur Erfassung, Genehmigung und Ausführung konstruktiver Produktänderungen im direkten Fertigungsbereich durchzusetzen.

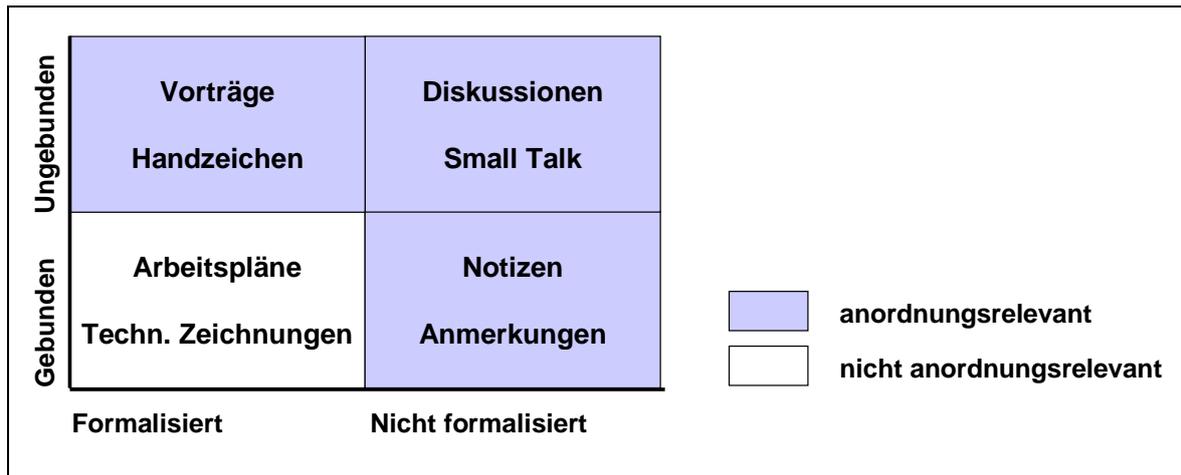


Abbildung 17: Portfolio anordnungsrelevanter IuK-Beziehungen

Diese Erkenntnisse führen zu dem in Abbildung 17 dargestellten Portfolio anordnungsrelevanter IuK-Beziehungen, das sich unmittelbar aus dem Modell des Kommunikationsraums ableitet. Das zentrale Kriterium der Anordnungsrelevanz weisen die Felder der ungebunden-formalen sowie der ungebunden- und gebunden-informalen IuK-Beziehungen auf.

Die dem gebunden-informalen Feld zuordnenbaren Arten der informationellen Beziehungen unterliegen einer Entfernungsabhängigkeit, da auf diesem Wege Informationen nicht im Sinne des Produktionsflusses und somit unmittelbar bzw. geregelt weitergegeben werden. Hierzu zählen z.B. zentrale Informationstafeln sowie Infopoints. Ein Informationsaustausch kommt hierbei nur zustande, wenn die Entfernung zwischen Arbeitsplatz und dem Informationsträger durch den Mitarbeiter überbrückt wird. Neben der Kenntnis des Ortes der Informationsbereitstellung muss für den potentiellen Empfänger der Information das Vorhandensein einer aktuellen arbeitsrelevanten Information optisch erkennbar sein. Es kann entsprechend abstrahiert werden, dass eine visuelle Kontaktaufnahme zwischen Sender und Empfänger notwendig ist.<sup>76</sup>

Zu den Arten der ungebunden-informalen IuK-Beziehungen zählt die spontane direkte Sprachkommunikation zwischen den Mitar-

<sup>76</sup> Dies wird im weiteren Verlauf der Arbeit als visuelle Kommunikation bezeichnet.

beitern, die als unmittelbare Voraussetzung für das kooperative Arbeitshandeln gilt (vgl. Kap. 6.2). Aber auch eine visuelle Komponente ist hierbei zu berücksichtigen, etwa in Form von Kontrollblicken oder nicht standardisierter Handzeichen zur schnellen Übermittlung wichtiger Informationen (z.B. Warnungen).

Ad-hoc-Meetings am Arbeitsplatz zur Beseitigung von Qualitätsmängeln unterliegen bei einer standardisierten Vorgehensweise der Gesprächsführung dem Feld der ungebunden-formalen IuK-Beziehungen. Gleiches gilt für regelmäßige Arbeitsgruppentreffen (Jour Fix), die nach einem festgelegten Ablauf (Agenda) und in einem festen organisatorischen Rahmen (Art und Anzahl der Teilnehmer) stattfinden. Für beides gilt: im überwiegendem Maße geprägt durch eine direkte Sprachkommunikation.

Handzeichen für den Informationsaustausch sind typisch für Tätigkeiten des Einweisens von Transportmitteln (z.B. Lastkraftwagen) oder der Platzierung von Objekten (z.B. Kran). Das Repertoire von Handzeichen unterliegt einem industriellen Standard. Die Anordnungsrelevanz entsteht aus der Notwendigkeit des visuellen Erkennens der Zeichen.

Schlussfolgernd aus den vorstehenden Ausführungen bleibt festzuhalten, dass im direkten Umfeld der Arbeitshandlungen in einem Produktionsbetrieb die visuelle Informationsweitergabe und die direkte Sprachkommunikation die für eine Anordnungsoptimierung relevanten IuK-Beziehungen darstellen.

Für diese beiden Arten der IuK-Beziehungen werden nachfolgend Beschreibungsgrößen entwickelt, die - zu einem materialflussalternativen Zielkriterium aggregiert - bei der Anordnungsoptimierung unter Beachtung einer differenzierten Zielkonstellation zum Einsatz kommen sollen.

### 6.4 Ableitung von Beschreibungsparametern für anordnungsrelevante Informations- und Kommunikationsbeziehungen

Als Grundlage für die Aufstellung und Extrahierung von Beschreibungsparametern anordnungsrelevanter IuK-Beziehungen dienen die Basiskenngrößen für den Materialfluss.<sup>77</sup> Zuzüglich der Erkenntnisse von Oltrogge und einer darauf basierenden Analogiebildung lassen sich die in Abbildung 18 dargestellten Parameter ableiten. [Oltr93]

Materialfluss		Informationsfluss
Transportgut (Beschaffenheit)	↔	Information (Art und Form)
Transportmenge / Transportvolumen (Anzahl / Masse des Transportgutes)	↔	Datenmenge / Informationsgehalt (Anzahl der Zeichen / Güte der Information)
Transportentfernung (Entfernung zwischen Quelle und Senke)	↔	Informationsentfernung (Entfernung zwischen Sender und Empfänger)
Transportzeit (Zeit des Transports von der Quelle zur Senke)	↔	Übertragungszeit (Zeit der Übertragung vom Sender zum Empfänger)
Transporthäufigkeit (Anzahl der Transporte je Zeiteinheit)	↔	Kommunikationshäufigkeit (Anzahl der Informationsaustausche je Zeiteinheit)
Transportmittel (Stetig- und Unstetigförderer)	↔	Übertragungsmittel (mediengebunden und medienungebunden *)
Transportkosten (Kosten der bewußten Ortsveränderung von Roh-, Hilfs- und Betriebsstoffen, Werkstücken, Produkten und Abprodukten)	↔	Informations- und Kommunikationskosten (Opportunitätskosten der Informationsverarbeitung)

\*) Ein Medium im Kontext einer Informations- und Kommunikationsbeziehung ist ein Mittel zur Darstellung von Zeichen (z.B. Zeichenblatt) oder zur Wiedergabe von Signalen (z.B. Diktiergerät), um eine zeitliche Differenz zwischen dem Senden und Empfangen (Verarbeiten) von Informationen zu überbrücken. Im Zeitalter der elektronischen Datenverarbeitung zunehmend auch als Speichermedium bekannt.

Abbildung 18: Ableitung der Beschreibungsparameter

<sup>77</sup> Vgl. Ausführungen in Kap. 3.1.1

Für die Erstellung von IuK-basierten Anordnungsplänen eines Produktionssystems ist es notwendig, den Aufwand für das Zustandekommen bzw. Aufrechterhalten der relevanten IuK-Beziehungen näher zu untersuchen. In der Betriebswirtschaft wird der Aufwand generell in Geldeinheiten gemessen und kann dementsprechend als Kosten verbucht werden. Bei der Betrachtung der sprachlichen und visuellen Kommunikation ist eine Kostenbewertung nur bedingt möglich und daher nicht für die Modellierung und angestrebte Optimierung verwendbar. Eine andere Form der Aufwandsbetrachtung ist somit notwendig.

Diesbezüglich zunächst folgende Feststellung:

Der Aufwand für das Zustandekommen bzw. Aufrechterhalten einer IuK-Beziehung ist abhängig von deren Art, Menge und Häufigkeit der Ausführung sowie von der physischen Entfernung der Kommunikationspartner und den dabei auftretenden Umwelteinflüssen.

So ist bei der sprachlichen Kommunikation ein bestimmter Stimmaufwand notwendig, damit der potentielle Empfänger die Information aufnehmen kann. Gleiches gilt für die Erkennbarkeit von Zeichen im Sinne einer visuellen Kommunikation. Als beispielhafte Umwelteinflüsse sind hierzu potentielle Störschallquellen und der vorhandene Beleuchtungsgrad zu nennen, deren Berücksichtigung in Form von kommunikativen Grenzwerten im Kap. 6.6 thematisiert wird.

An dieser Stelle wird zunächst der Mengen-, Häufigkeits- und Entfernungsaspekt näher beleuchtet.

Handelt es sich um eine anordnungsrelevante IuK-Beziehung, wird bei einer gegebenen Menge auszutauschender Informationen das Zustandekommen bzw. Aufrechterhalten von IuK-Beziehungen aufwendiger (bzw. teurer im Sinne von Opportunitätskosten), je größer die zu überbrückenden Entfernungen zwischen den Kommunikationspartnern sind. Wird eine hohe Anzahl an Informationen ausgetauscht, verschärft sich dieser Effekt.

Obwohl die Kapitalbindung und Opportunitätskosten durch aufgebaute Informationsbestände weniger relevant für das Betriebsergebnis sind als bei Materialien und Erzeugnissen, behindert eine aufwendige IuK-Beziehung einerseits die Flexibilität der Informationsprozesse und andererseits zumindest mittelbar den reibungslosen Ablauf der Fertigung.

Je häufiger also eine Information übertragen werden muss, desto höher wird der kumulierte Übertragungsaufwand. Es kann somit davon ausgegangen werden, dass eine IuK-Beziehung, die einen sehr häufigen Informationsaustausch beinhaltet, höhere Opportunitätsaufwendungen verursacht als eine mit wenigen Übertragungen.

Es gilt folgender formal dargelegte Beziehungszusammenhang, der im Weiteren beschrieben wird:

$$K_K = f(I, S)$$

mit  $I = f(H, F_w)$   
und  $F_w = f(IR, ZR)$

$$K_K = f(S, H, IR, ZR)$$

- K<sub>K</sub>... Kommunikationsaufwand für eine IuK-Beziehung zwischen zwei Kommunikationspartnern
- I... Intensität einer IuK-Beziehung zwischen zwei Kommunikationspartnern
- S... Entfernung zwischen zwei Kommunikationspartnern
- H... Häufigkeit einer IuK-Beziehung zwischen zwei Kommunikationspartnern (ausgedrückt über die Anzahl der Kontakte je Bezugszeitraum)
- F<sub>w</sub>... Faktor für die Wichtigkeit einer IuK-Beziehung zwischen zwei Kommunikationspartnern
- IR... Inhaltliche Relevanz einer IuK-Beziehung zwischen zwei Kommunikationspartnern
- ZR... Zeitliche Relevanz einer IuK-Beziehung zwischen zwei Kommunikationspartnern

In Abweichung von der klassischen Definition einer Beziehungsintensität als zeitlich bezogenen Mengenausdruck, der die Stärke einer Relation widerspiegelt, wird im Folgenden die Häufigkeit als Beschreibungsgröße der Beziehungsintensität genutzt.

Dem liegt folgende Überlegung zugrunde:<sup>78</sup>

Im Falle der als anordnungsrelevant eingestuften Arten von IuK-Beziehungen sind die Kommunikationsmittel bzw. Kommunikationshilfsmittel auf Signale (sprachliche Kommunikation: die Stimme) und Zeichen (visuelle Kommunikation: Schriftzeichen bzw. Handbewegungen) begrenzt. Zudem treten im Rahmen der hier vorgestellten Untersuchungen vor allem Informationen in den Betrachtungsfokus, die in ihrer Eigenschaft einfach, präzise und zeitlich kurz gehalten sind (unabhängig von ihrer Wichtigkeit).

Zusammengefasst drückt die Häufigkeit den Wiederholungsgrad stattfindender Informationsaustausche zwischen einem Sender und Empfänger aus. Dabei wird davon ausgegangen, dass IuK-Beziehungen über die ein sehr häufiger Informationsaustausch stattfindet, höhere Opportunitätsaufwände verursachen als IuK-Beziehungen mit geringem Informationsaustausch.

Im Gegensatz zu Materialflussbeziehungen, die sich als Notwendigkeit in Form von Transporten unmittelbar aus dem konstruktiven Produktaufbau und der betrieblichen Technologie ergeben, ist bei der Bewertung betrieblicher IuK-Beziehungen der Faktor Wichtigkeit als zusätzlich zu beurteilendes Element in die Modellierung und Optimierung mit aufzunehmen. Es ist dementsprechend im Vorfeld die Notwendigkeit einer IuK-Beziehung im Sinne der betrieblichen Arbeitsaufgabe zu bewerten (vgl. Abbildung 19).

---

<sup>78</sup> Schmigalla zum Zusammenhang zwischen Intensität und Häufigkeit: [Schm70]

Die Transportintensität ist die Stärke der Transportströme zwischen zwei Betriebsmitteln, bezogen auf einen Betrachtungszeitraum. Es handelt sich also um einen zeitlich bezogenen Mengenausdruck, der imstande ist, die Stärke des Transportstroms widerzuspiegeln. Mit der Einführung der Transporteinheit TE als Vergleichsgröße werden Unterschiede in Abmessung und im Gewicht der zu transportierenden Teile als auch Ladekapazität und -ausnutzungsgrade verschiedener Transportmittel und Transporthilfsmittel berücksichtigt.

Werden in einem Produktionssystem gleichartige Teile (bzgl. Abmessung und Gewicht) hergestellt, die standardmäßig durch gleichartige Transportmittel und Transporthilfsmittel verbracht werden, lässt sich der Transportstrom über die Häufigkeit der Transporte (z.B. Fahrten) zwischen den Betriebsmitteln angeben. Der Bezugszeitraum bleibt hierbei identisch.

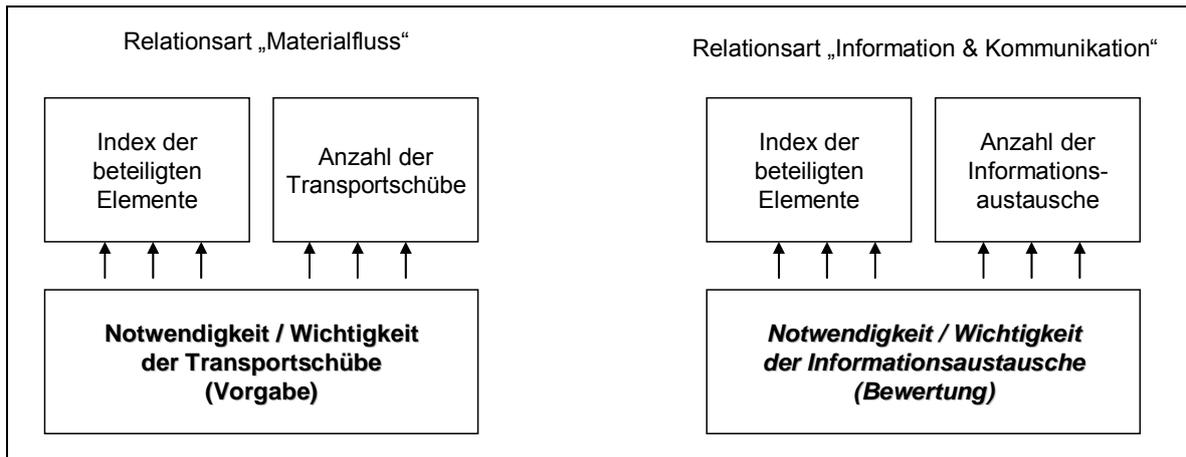


Abbildung 19: „Wichtigkeit“ als formelle Bewertungsgröße der Relationsart „Information und Kommunikation“

Der Informationsgehalt und die Übertragungszeit bestimmen mit Blick auf die herausgearbeiteten Beschreibungsparameter<sup>79</sup> dabei die Wichtigkeit einer IuK-Beziehung.

Der im Weiteren als Inhaltliche Relevanz bezeichnete Informationsgehalt wird folgendermaßen definiert:

Die Inhaltliche Relevanz (IR) einer ausgetauschten Information über eine IuK-Beziehung drückt die Notwendigkeit (Unentbehrlichkeit) einer Information für den Empfänger aus, damit dieser seine Arbeitsaufgabe vollständig erfüllen kann.

Die im Weiteren als Zeitliche Relevanz bezeichnete Übertragungszeit definiert sich wie folgt:<sup>80</sup>

Die Zeitliche Relevanz (ZR) einer ausgetauschten Information über eine IuK-Beziehung drückt den Grad der zeitlichen Nähe zwischen der Sendung und dem Empfang einer Information aus. Ist eine temporäre Vorhaltung (Zwischenspeicherung) der Information beim Sender, auf dem Übertragungsweg oder beim Empfänger möglich, wird eine

<sup>79</sup> Vgl.: Abbildung 18

<sup>80</sup> Die dargelegte Definition gilt nur im Zusammenhang mit den extrahierten, anordnungsrelevanten IuK-Beziehungen und darf nicht mit etwaigen Definitionen der Zeitlichen Relevanz im Kontext der Informationsverarbeitung in Systemen der Technischen Kommunikation verwechselt werden.

IuK-Beziehung als zeitunkritisch eingestuft. Andernfalls ist sie zeitkritisch.<sup>81</sup>

Aufbauend auf den zuvor erörterten Sachzusammenhängen wird im folgenden Abschnitt ein mathematisches Grundmodell entwickelt. Dieses Grundmodell soll zum einen die Bewertung der Notwendigkeit einer eingegangenen IuK-Beziehung im Sinne der betrieblichen Arbeitsaufgabe ermöglichen. Darüber hinaus muss die Bewertung der Notwendigkeit einer räumlichen Nähe zweier Kommunikationspartner bestimmbar werden.

Grundsätzlich gilt es, wie in Kap. 6.1 geschildert, durch eine intelligente Anordnung der Elemente in einem Produktionssystem den Aufwand des Zustandekommens bzw. der Aufrechterhaltung sprachlicher und visueller Kommunikation zu minimieren. Dabei werden mediengebundene Übertragungstechniken, die zu einem ortsunabhängigen Austausch von Informationen führen (wie z.B. funkbasierte IuK-Beziehungen), ausgeblendet. Gleiches gilt für die organisatorische Neu- oder Umgestaltung von Abläufen und Verantwortlichkeiten, die zu qualitativ und quantitativ veränderten IuK-Beziehungen führen.<sup>82</sup>

---

<sup>81</sup> Analogie zum Materialfluss:

Ist der vorgelagerte Materialpuffer eines Betriebsmittels noch ausreichend gefüllt und zusätzliches Material bis zur nächsten geplanten Lieferung nicht notwendig, ist eine aktuelle Lieferung zeitunkritisch.

Ist ein kontinuierlich fortschreitendes Betreiben des Betriebsmittels aufgrund eines leeren vorgelagerten Materialpuffers nicht möglich, ist eine aktuelle Lieferung zeitkritisch.

<sup>82</sup> z.B.: Nutzung der Technologie des Wearable Computing bzw. radikale Veränderungen der betrieblichen Struktur im Sinne des Business Process Reengineering

### 6.5 Ermittlung und Klassifizierung eines kommunikationsorientierten Zielwertes für die Betriebsmittelanordnung

Mit Hilfe der zuvor entwickelten Faktoren sind die anordnungsrelevanten Arten von IuK-Beziehungen für die Modellierung und angestrebte Optimierung von Anordnungsplänen eindeutig beschreibbar. Entsprechend der zuvor herausgearbeiteten Proportionalität, nach der Kommunikationsaufwendungen sowohl von der Entfernung zwischen den beteiligten Objekten<sup>83</sup> als auch von der Häufigkeit des Zustandekommens einer IuK-Beziehung abhängig sind, stellt sich die Minimierung des Kommunikationsaufwandes im mathematischen Kontext wie folgt dar:

$$\sum_{i_o=1}^m \sum_{j_o=1}^m \sum_{i_p=1}^m \sum_{j_p=1}^m I_{i_o j_o} \cdot S_{i_p j_p} \cdot k_{i_o j_p}^K \Rightarrow \min$$

mit  $k_{i_o j_p}^K \propto (I_{i_o j_o} \cdot S_{i_p j_p})$

und  $I_{ij} = f(H_{ij}, IR_{ij}, ZR_{ij}) = KK_{ij}$

$$\sum_{i_o=1}^m \sum_{j_o=1}^m \sum_{i_p=1}^m \sum_{j_p=1}^m KK_{i_o j_o} \cdot S_{i_p j_p} \Rightarrow \min$$

$KK$  ... Kommunikationskennwert einer IuK-Beziehung

$I_{i_o j_o}$  ... Intensität zwischen zwei Objekten

$S_{i_p j_p}$  ... Entfernung zwischen zwei Plätzen

$k_{i_o j_p}^K$  ... aufwandsbestimmender Kostenfaktor für das Zustandekommen bzw. Aufrechterhalten einer IuK-Beziehung

$H_{ij}$  ... Häufigkeit einer IuK-Beziehung zwischen zwei Objekten  
(ausgedrückt über die Anzahl der Kontakte je Bezugszeitraum)

$IR_{ij}$  ... Inhaltliche Relevanz einer IuK-Beziehung zwischen zwei Objekten

$ZR_{ij}$  ... Zeitliche Relevanz einer IuK-Beziehung zwischen zwei Objekten

---

<sup>83</sup> Ein Objekt entspricht hierbei einem Kommunikationspartner, der je nach Richtung der IuK-Beziehung als Sender oder Empfänger fungiert (vgl. [Shan76]).

Die Stärke einzelner IuK-Beziehungen wird durch einen sog. Kommunikationskennwert (KK) determiniert. Hierzu wird die Anzahl der Kontakte in einem Bezugszeitraum zwischen zwei Kommunikationspartnern (H) zum Austausch von Informationen mit der Arbeitsnotwendigkeit (IR) und der Zeitlichen Relevanz (ZR) der ausgetauschten Informationen gewichtet. Die Rechenvorschrift definiert sich wie folgt:

$$KK = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^m IR_{ij} \cdot ZR_{ij} \cdot \left( \frac{H_{ij}}{T} \right)$$

KK... Kommunikationskennwert des betrachteten Systems

H<sub>ij</sub>... Häufigkeit der Kontakte zwischen Kommunikationspartner i und j

T... Bezugszeitraum in ZE

ZR<sub>ij</sub>... Zeitliche Relevanz der Kontakte zwischen Kommunikationspartner i und j, wobei

- |                               |   |    |   |
|-------------------------------|---|----|---|
| Z <sub>R<sub>ij</sub></sub> = | { | 5, | wenn Informationen unmittelbar nach ihrem Entstehungszeitpunkt an den Empfänger übertragen werden (sehr hohe Aktualität)                                    |
|                               |   | 4, | wenn Informationen zeitnah nach ihrem Entstehungszeitpunkt an den Empfänger übertragen werden (hohe Aktualität)   |
|                               |   | 3, | wenn Informationen unabhängig ihres Entstehungszeitpunktes zu fest vereinbarten Zeiten an den Empfänger übertragen werden (signifikante Aktualität)         |
|                               |   | 2, | wenn Informationen unabhängig ihres Entstehungszeitpunktes in zeitlich unregelmäßigen Abständen an den Empfänger übertragen werden (geringe Aktualität)     |
|                               |   | 1, | wenn Informationen unabhängig ihres Entstehungszeitpunktes in zeitlich willkürlichen Abständen an den Empfänger übertragen werden (sehr geringe Aktualität) |
|                               |   | 0, | wenn die Aktualität der Information für die Erfüllung der Arbeitsaufgabe völlig irrelevant ist  |

$IR_{ij}$ ... Inhaltliche Relevanz der Kontakte zwischen Kommunikationspartner  $i$  und  $j$ , wobei

$$IR_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{wenn die Information notwendig für die Erfüllung der Arbeitsaufgabe ist (Bestätigung der Anordnungsrelevanz)} \\ 0, & \text{wenn die Information für die Erfüllung der Arbeitsaufgabe keine Bedeutung hat (Ablehnung der Anordnungsrelevanz)} \end{cases}$$

Mit Blick auf dieses abgeleitete mathematische Modell wird eine IuK-Beziehung über die „gewichtete Häufigkeit“ der Informationsaustausche bewertet.

Je wichtiger eine Kommunikationsbeziehung für die jeweilige Arbeitserfüllung ist, desto kürzer sollte ihr Übertragungsweg sein. Gleiches gilt für die Zeitliche Relevanz. Wenn Arbeiten synchron ablaufen sollen und eine Abstimmung untereinander notwendig ist, sollten diese physisch nah beieinander stattfinden. Ein zusammenfassendes Schema ist in Abbildung 20 dargestellt.

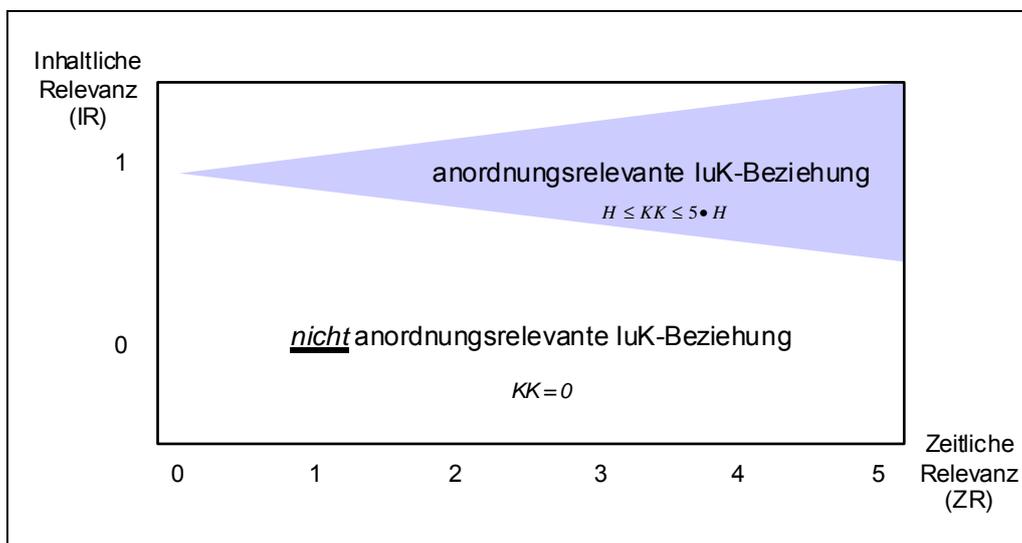


Abbildung 20: Zusammenhang zwischen der Zeitlichen und Inhaltlichen Relevanz von IuK-Beziehungen

## **6.6 Vorgehensweise zur Optimierung anordnungsrelevanter Informations- und Kommunikationsbeziehungen in Produktionssystemen**

Die Anordnung der Elemente eines Produktionssystems im Sinne anordnungsrelevanter IuK-Beziehungen basiert auf der Bestimmung der Kommunikationskennwerte zwischen den einzelnen Kommunikationspartnern. Hierfür wurden die direkt sprachliche und visuelle Kommunikation als maßgebliche Arten der informatiellen Relationen extrahiert.

Die nachfolgend repräsentierte Vorgehensweise zur Senkung anordnungsabhängiger Kommunikationsaufwände (siehe Abbildung 21) lehnt sich eng an klassische Algorithmen zur Anordnungsoptimierung an. Dies resultiert unmittelbar aus den Anforderungen der entwickelten Beschreibungsgrößen zur Berechnung des Kommunikationskennwertes.<sup>84</sup>

In den nachfolgenden Ausführungen werden zudem Überlegungen zu potentiellen Schwierigkeiten bei der Datenermittlung sowie die Berücksichtigung natürlicher Rand- und Rahmenbedingungen betrieblicher IuK-Beziehungen diskutiert und in der Vorgehensweise berücksichtigt.

---

<sup>84</sup> vgl. Ausführungen und Verweise in Kap. 6.1.

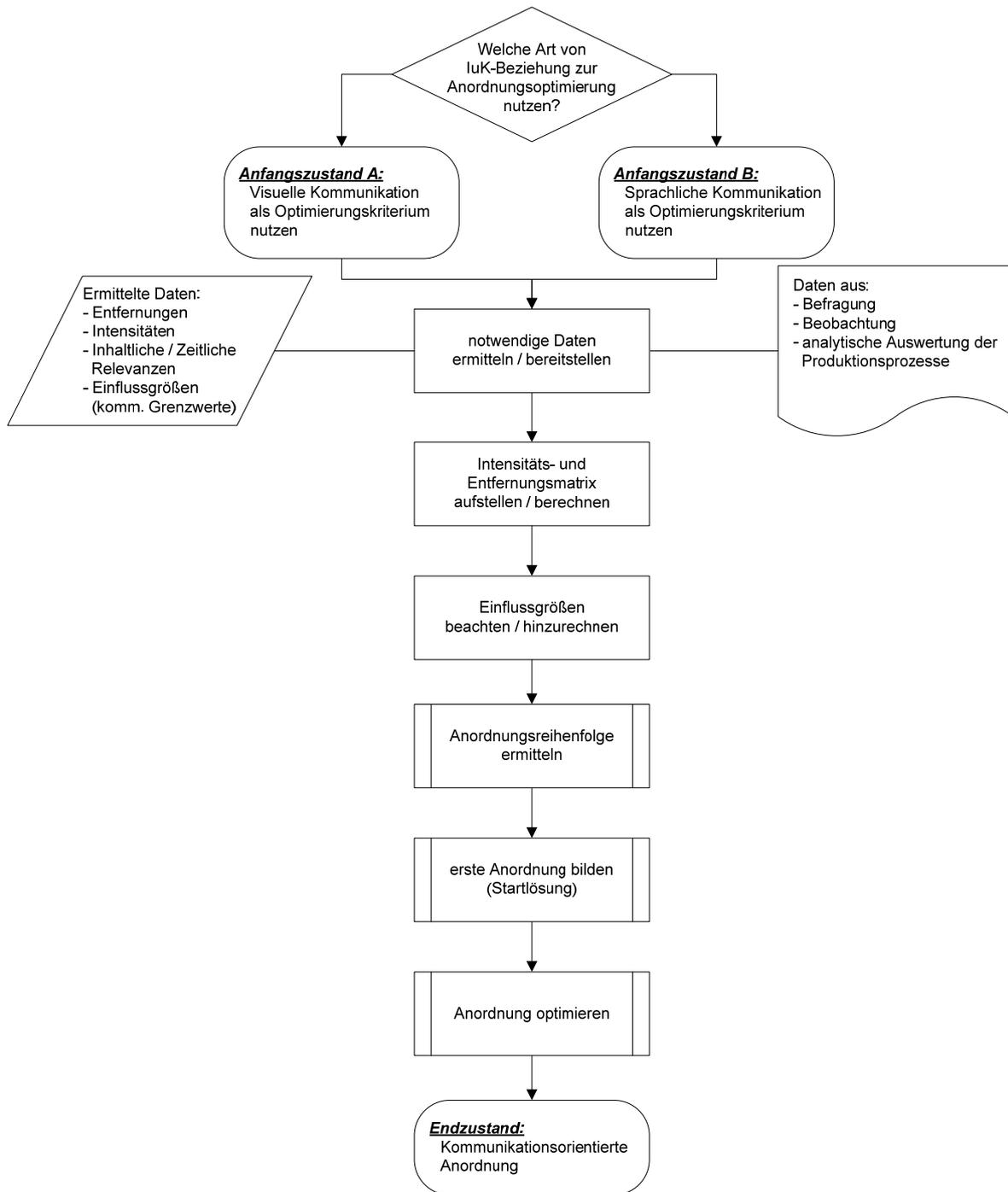


Abbildung 21: Allgemeine Vorgehensweise zur Senkung anordnungsabhängiger Kommunikationsaufwände

### 6.6.1 Datenermittlung

Für die richtige Bestimmung der Intensität betrieblicher IuK-Beziehungen durch den Kommunikationskennwert sind zunächst die entsprechenden Beschreibungsgrößen zu erfassen.

Eine ausschließlich indirekte Datenermittlung durch Auswertung betrieblicher Unterlagen ist hierbei nicht ausreichend. Schließlich werden zur Anordnungsplanung Austauschbeziehungen herangezogen, die zum Teil außerhalb der betrieblichen Organisation bzw. standardisierter Abläufe stattfinden. Somit wird eine ergänzende direkte Datenermittlung durch Beobachtung und Befragung im laufenden Betrieb notwendig. Abbildung 22 zeigt die notwendigen Daten und deren veranschlagte Erhebungsmethode in der Übersicht.<sup>85</sup>

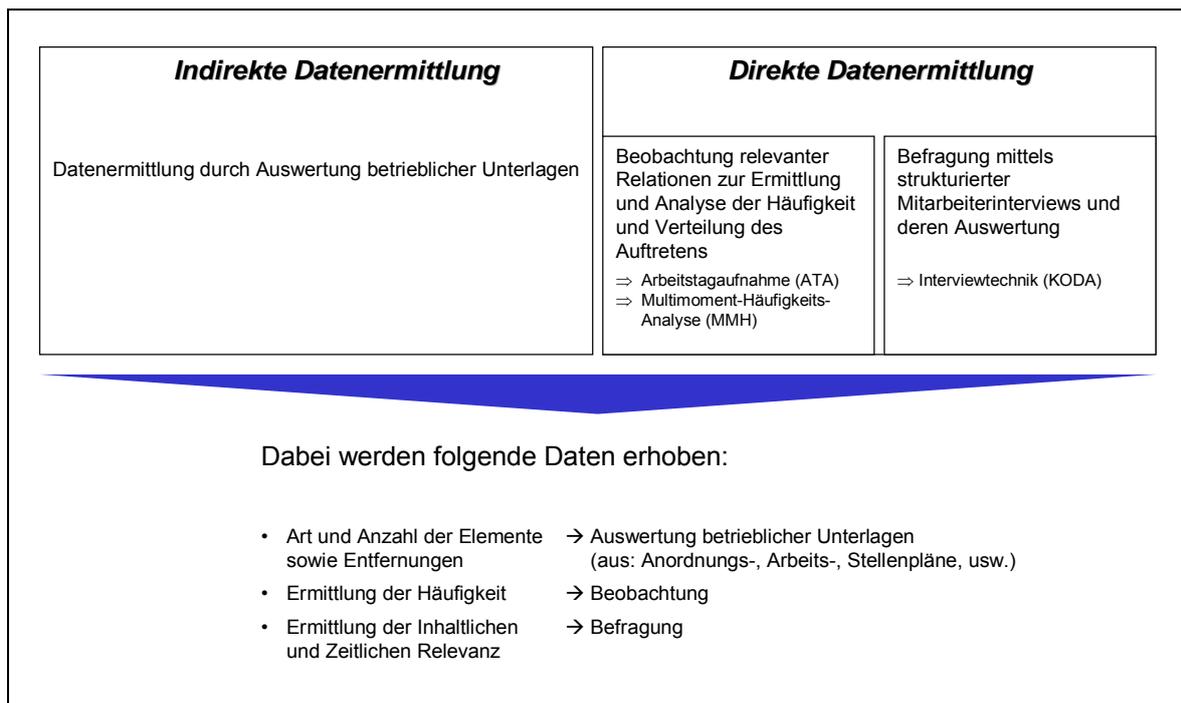


Abbildung 22: Notwendige Daten und deren Erhebungsmethoden

<sup>85</sup> Vgl.: [Kett84], [VDI3637]

### Indirekte Datenermittlung:

Bei der zumeist analytisch geprägten indirekten Datenermittlung erfolgt die Untersuchung des betrachteten Produktionssystems auf Basis vorhandener schriftlich oder elektronisch fixierter Daten. Diese indirekte Form der Datenerfassung erweist sich oftmals als sehr rationell, wobei allerdings neben der Verfügbarkeit auch die Aktualität der hierüber ermittelten Daten zu überprüfen ist.<sup>86</sup> Im Kern sind folgende Unterlagen zu analysieren (Auswahl i.A. an [Grun06]):

- Fertigungsunterlagen (z.B. Arbeitspläne mit Arbeitsfolgen, Stücklisten, Auftragslisten, usw.)
- Maschinendatenblätter
- Lager- und Transportpläne
- Bebauungs- und Lagepläne (z.B. Layouts mit Flächennutzungskennzahlen)
- Personal- und Stellenpläne

### Direkte Datenermittlung:

Mit Hilfe von Beobachtungen durch nicht unmittelbar am Arbeitsgeschehen Beteiligte ist die Häufigkeit des Auftretens bestimmter Arbeitstätigkeiten der Mitarbeiter im Produktionsprozess bestimmbar. Handelt es sich dabei um sinnvolle, sicher erkennbare Tätigkeiten, sind prinzipiell die Arbeitstagaufnahme (ATA) und die Multimomenthäufigkeitsstudie (MMH) am ehesten dafür geeignet.

Um die Plausibilität der ermittelten Daten zu erhöhen, ist es sinnvoll, eine gekoppelte Beobachtung und Befragung durchzuführen. Hierbei bietet sich zunächst die Erarbeitung einer groben Ablaufstudie an, die anschließend durch eine Befragung

---

<sup>86</sup> Bei der Auswertung von langfristig gesichertem, betrieblichem Datenmaterial auf EDV-Anlagen empfiehlt sich die Konsultation mit einem entsprechenden betriebserfahrenen Fachmann. Eine automatisierte Extraktion von Informationen aus einer Fülle von Datenmengen wird im Informationszeitalter für den Planer zu einer unausweichlichen Analysequelle. EDV-Programme, die mit Hilfe semantischer Regularien und Mustererkennung Datensätze nach gewünschten Informationen durchsuchen, werden in der Wissenschaft als Data-Mining-Software erforscht und z.T. in der Praxis bereits angewendet.

methodisch abgesichert wird. Einer Kurzbeschreibung modifizierter Arbeitsablaufstudien folgt dementsprechend die Vorstellung einer zielgerichteten Mitarbeiterbefragung im Sinne einer Kommunikationsanalyse.

Beobachtung mittels Arbeitstagaufnahme (ATA):

Im Rahmen einer Arbeitstagaufnahme werden generell all jene Zeitaufwände erfasst, die im Laufe eines Arbeitstages an einem Arbeitsplatz oder in einem Arbeitsbereich anfallen. Im Ergebnis schafft die Arbeitstagaufnahme einen Überblick über die Verteilung und Häufigkeit einzelner Zeitaufwände für Arbeitstätigkeiten. Die Aufnahme der Tätigkeiten eines Arbeitstages kann dabei sowohl durch einen Beobachter als auch prinzipiell durch Selbstaufschreibung der am Arbeitsprozess direkt beteiligten Mitarbeiter erfolgen.<sup>87</sup>

Für die Häufigkeitsermittlung von IuK-Beziehungen wird i.A. an Macher eine Arbeitstagaufnahme derart modifiziert, dass nur die Anzahl auftretender IuK-Beziehungen zwischen zwei Kommunikationspartnern als Ablaufart pro Erfassungszeitraum (Schicht, Tag, Woche) aufgezeichnet werden muss.<sup>88</sup> [Mach74]

Mit Hilfe einer derartigen ATA wird die Häufigkeit der relevanten IuK-Beziehungen über einen de facto unbegrenzten Zeitraum aufgenommen. In der willkürlichen Festlegung dieses Erfassungszeitraums liegt ein wesentlicher Nachteil der Arbeitstagaufnahme, was sich in einer fehlenden statistischen Sicherheit dieser Art der Datenermittlung widerspiegelt. [Schul05]

---

<sup>87</sup> Vgl.: Ausführungen im Anhang II

<sup>88</sup> Im Mittelpunkt dieser modifizierten Arbeitstagaufnahme steht die Identifikation einer visuellen oder sprachlichen (Direkt-)Kommunikation zwischen zwei Personen: Handelt es sich um eine visuelle oder sprachliche Kommunikation → ja / nein? → Wenn ja: Quelle und Senke der Kommunikation bestimmen!

Beobachtung mittels Multimoment-Häufigkeitsverfahren (MMH):

Erste Ansätze, Intensitätswerte betrieblich relevanter Relationen mit Hilfe des MMH zu ermitteln, gehen auf Schmigalla zurück. [Schm70] Dabei wird das MMH genutzt, um durch Zählen von Zeit verbrauchenden Transporttätigkeiten an zufällig bestimmten Zeitpunkten die prozentuelle Verteilung der Häufigkeit von Transportaufgaben in einem Produktionssystem zu bestimmen.

Die Schrittfolge eines dementsprechend modifizierten MMH auf Basis einer durch Haller-Wedel propagierten einfachen Abfrage-logik für die zu erfassenden Ablaufarten ist im Anhang III dargestellt. [HaWe69]

Unter der Maßgabe,...

- dass eine zeitparallele oder nachgelagerte Befragung der Mitarbeiter des beobachteten Arbeitsbereichs stattfindet,
- dass eine reine Zählprobe erfolgt, für die kein qualifizierter Beobachter notwendig ist und,
- dass dabei keine Messgeräte notwendig sind,

...ist eine Datenermittlung mit Hilfe der MMH praktikabel.

Nachteilig kann der fallspezifisch als sehr gering einzustufende Anteil zu ermittelnder Intensitätswerte sein. Zur Einhaltung der statistischen Sicherheit steigt hierbei die notwendige Anzahl der Beobachtungen schnell über 10.000, was als hochgradig unwirtschaftlich einzuschätzen ist (vgl. Abbildung 23).

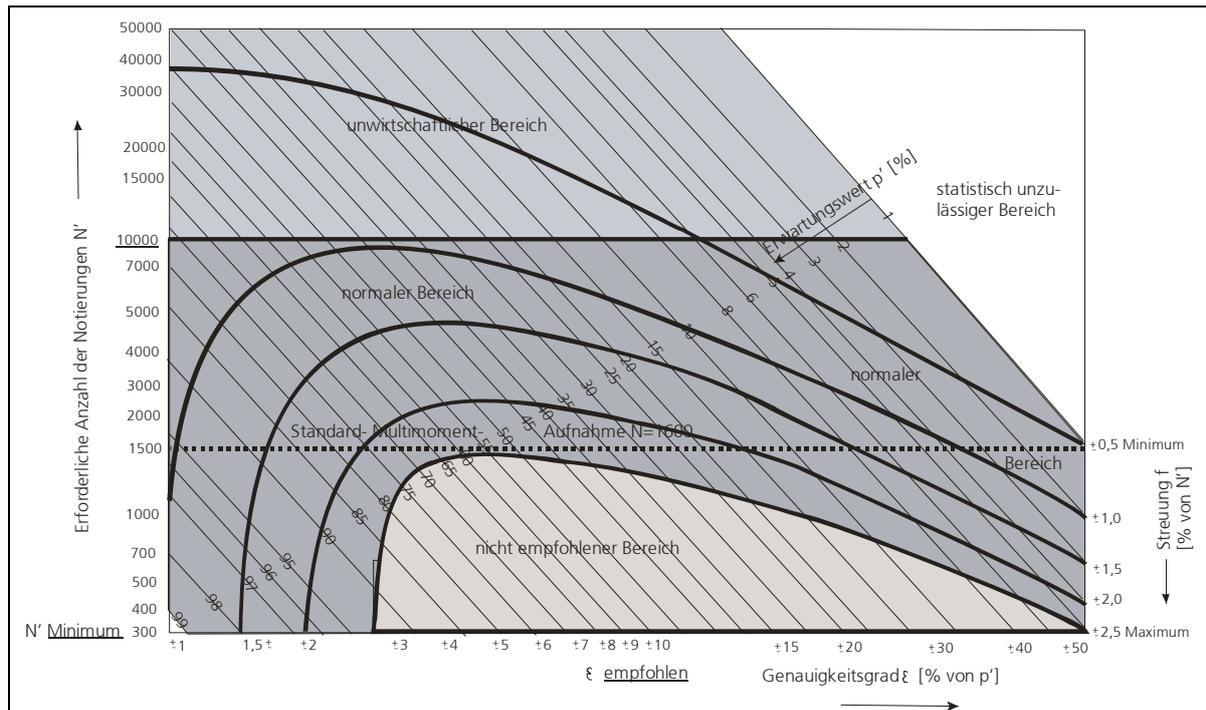


Abbildung 23: MMH-Aufnahmebereiche [HaWe69]

Befragung im Rahmen der Kommunikationsdiagnose (KODA):

Die Befragung als Teil der Datenermittlung kann prinzipiell auf zwei Wegen erfolgen: als mündliche Einzelbefragung oder als schriftliche Umfrage, gerichtet an eine größere Anzahl von Mitarbeitern. Die nachfolgende Aufzählung gibt einen Überblick über den strukturierten Einsatz einer Interviewtechnik, wie sie im Rahmen der Kommunikationsdiagnose (KODA) durch Mertens erstmalig angewendet wurde: [Mert00]

- Erfassung der Kommunikationsintensität (ausgedrückt über die Häufigkeit) und der Wichtigkeit der Information für den Empfänger (ausgedrückt über die Inhaltliche und Zeitliche Relevanz)
- Datenerfassung auf Mitarbeiterebene durch ein strukturiertes Interview
- Generelle Fragestellung: Wer kommuniziert Wie mit Wem über Was und Warum?
- Generelles Ziel: Identifizierung und Abbildung des Ist-Zustandes betrieblicher IuK-Beziehungen einer Organisationseinheit

Grundlage dieser Befragungstechnik bildet die Beschreibung informationeller Relationen zwischen zwei Kommunikationspartnern im Sinne von Lieferanten-Benutzer-Beziehungen <sup>89</sup> (siehe Abbildung 24). Im Sinne einer IuK-Beziehung verfolgt der Mitarbeiter in der Benutzerrolle das Ziel, Informationen geliefert zu bekommen, um seine Arbeitsaufgabe zu erfüllen. Der beauftragte Mitarbeiter in der Lieferantenrolle stellt die gewünschte Information gemäß seiner Arbeitsaufgabe und dem informationslogistischen Prinzip folgend zur Verfügung. <sup>90</sup> Die Verkettung ist komplett, wenn der Mitarbeiter in der Benutzerrolle die beauftragte Information so verarbeitet hat, dass er die ihm gestellte Arbeitsaufgabe erfüllen kann.

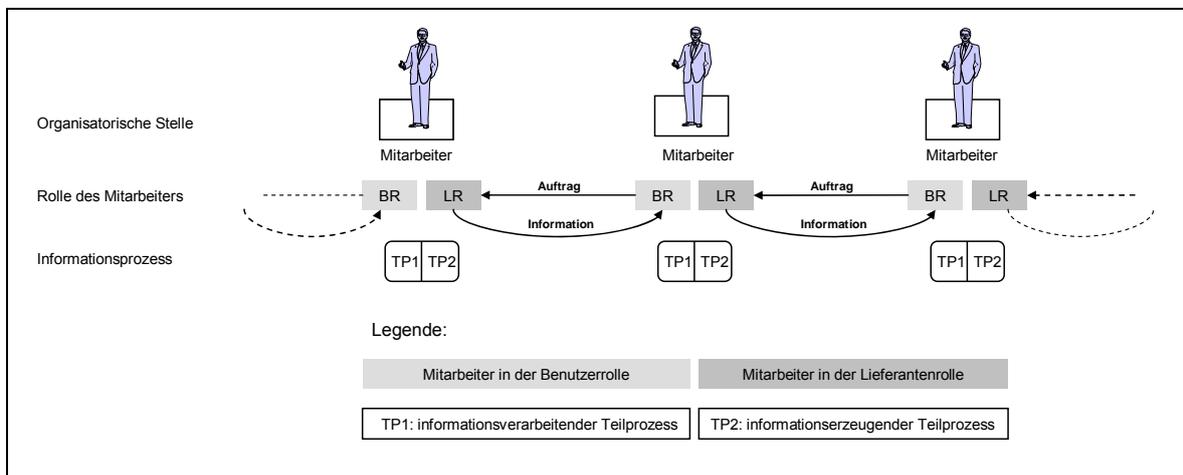


Abbildung 24: Lieferanten-Benutzer-Modell (LBM)

Aufbauend auf der Olympios-Methode wird die Lieferanten- und Benutzerrolle der Mitarbeiter innerhalb eines definierten Geschäftsprozesses durch strukturierte Interviews aufgenommen.

<sup>89</sup> Das Lieferanten-Benutzer-Modell (LBM) wiederum basiert auf dem sog. Olympios Modell. Zu weiterführenden Erläuterungen vgl.: [Mert00]

<sup>90</sup> Die richtige Information nach dem informationserzeugenden Teilprozess in der richtigen Menge, zum richtigen Zeitpunkt, am richtigen Ort, in der erforderlichen Qualität, zu den niedrigsten Kosten.

Für die Erhebung und Modellierung der IuK-Beziehungen bietet sich eine den Gegebenheiten dieser Arbeit angepasste EDV-gestützte Interviewtechnik nach dem KODA-Ansatz an. [Remu02], [Mich05]

Wird hierzu die auf mündlichen Befragungen basierende komplette Interviewtechnik angewendet, ist von einem nicht unerheblichen zeitlichen Aufwand von einer Stunde je Mitarbeiter auszugehen. Um diesem Manko entgegenzuwirken, sind folgende Anpassungen vorzunehmen:

- Grob-Analyse der Beobachtungsergebnisse
- nur Aufnahme zuvor als anordnungsrelevant identifizierter IuK-Beziehungen
- schriftliche Befragung der gewerblichen Mitarbeiter
- mündlicher Check-up mit repräsentativen Vertretern der Verantwortungsbereiche

Die hierbei benutzte Befragungslogik ist zusammenfassend im Anhang IV hinterlegt.

Sind die Beschreibungsgrößen erfasst, kann der Kommunikationskennwert für alle relevanten direkt sprachlichen und visuellen IuK-Beziehungen bestimmt werden. Als zusammenfassendes Ergebnis entsteht in Analogie zur Transportintensitätsmatrix eine Matrix der Kommunikationskennwerte über alle Elemente des betrachteten Produktionssystems, wie diese in Abbildung 25 dargestellt ist.

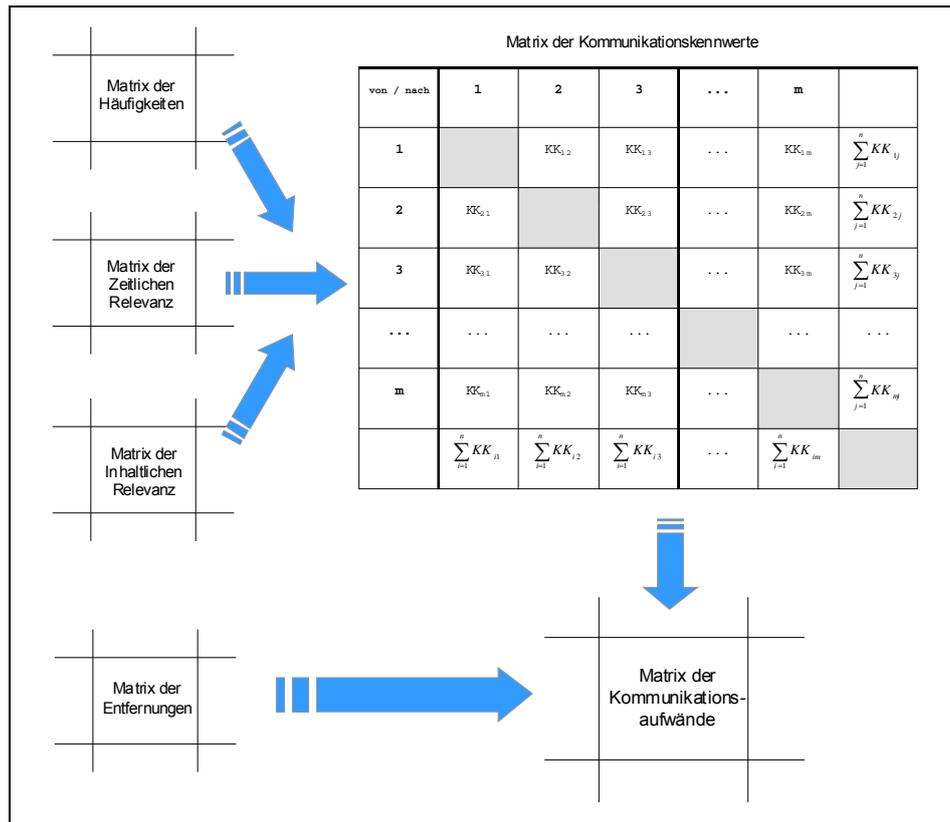


Abbildung 25: Ableitung der Kommunikationskennwerte

### 6.6.2 Berücksichtigung kommunikativer Grenzwerte

Ein wesentlicher Punkt bei der Planung und Gestaltung einer kommunikationsorientierten Anordnung von Elementen eines Produktionssystems ist die Berücksichtigung natürlicher Einflussfaktoren auf betriebliche IuK-Beziehungen. Dem Rechnung tragend sind im Teilschritt „Einflussgrößen beachten“ in Abhängigkeit von der jeweiligen informationellen Relationsart sog. kommunikative Grenzwerte<sup>91</sup> zu ermitteln.

In Anlehnung an Piwinger et al. stellt sich der Aufwand für das Zustandekommen und/oder Aufrechterhalten einer IuK-Beziehung als Koordinations- und Transaktionsaufwand für die jeweiligen Sender und Empfänger dar. [Piwi05] Bezüglich der als anordnungsrelevant extrahierten, informationellen Relati-

<sup>91</sup> Als kommunikativer Grenzwert wird hierbei die Entfernung zwischen Sender und Empfänger charakterisiert, über die eine Kommunikation ohne physische Annäherung zweier Kommunikationspartner gerade noch möglich ist - es lässt sich dementsprechend ein Kommunikationsbereich abstecken.

onsarten entspricht dieser Aufwand der Seh-, Sprach- und Höraufgaben der Kommunikationspartner. Die Anordnungsrelevanz der direkten sprachlichen und visuellen Kommunikation lässt sich genau auf diese Einflüsse aus dem Arbeitsumfeld begründen, was sich wiederum direkt auf den Kommunikationsaufwand auswirkt.<sup>92</sup> Grundsätzlich lassen sich zwei wesentliche Einflussgrößen unterscheiden:<sup>93</sup>

- Beeinträchtigung der akustischen Verständlichkeit (z.B. infolge von Störgeräuschen)
- Beeinträchtigung der visuellen Erkennbarkeit (z.B. infolge von Blendung)

Da diese Einflussgrößen maßgeblich für die Bildung einer idealisierten Betriebsmittelanordnung sind, müssen diese i.F.v. kommunikativen Grenzwerten erfasst werden. Basis dieser Grenzwertbestimmung ist eine ex ante vorliegende Anordnung des zu optimierenden Produktionssystems. Die kommunikativen Grenzwerte einer derartigen Basisanordnung<sup>94</sup> werden als Korrekturfaktoren in der zuvor erhobenen Entfernungsmatrix berücksichtigt, wodurch die in Kap. 6.1 geforderte Anordnungsrelevanz für jedes einzelne Element abprüfbar wird. Hierzu sind die Ausdehnungen der Kommunikationsbereiche je Element in einer Grenzwertmatrix GW als Längenmaße zu bestimmen und von den Werten der Entfernungsmatrix S zu subtrahieren.

Elemente, die die Gleichung  $S_{ij} - GW_{ij} \leq 0$  erfüllen, werden zu Null-elementen. Der Anwender ist somit in der Lage, kritische Elemente im Sinne der Anordnungsrelevanz zu extrahieren. Dadurch können alle möglichen Anordnungsvarianten plausibilisiert und darüber hinaus die jeweiligen Kommunikationsbereiche durch Isolinien visualisiert werden.

---

<sup>92</sup> Vgl.: Ausführungen in Kap. 6.1

<sup>93</sup> Diese Einflussgrößen sind im mathematischen Grundmodell der Kommunikation nach Shannon / Weaver als Störgrößen definiert. [Shan76]

<sup>94</sup> Basisanordnungen fungieren als Startlösung für verschiedenste heuristische Verfahren, die der Gruppe der aufbauenden bzw. vertauschenden Verfahren zuordenbar sind (vgl. Kap. 2.1).

Die nachfolgend angestellten Überlegungen und abgeleiteten Ansätze gelten unter der streng idealen Bedingung, dass sich sowohl Sender als auch Empfänger im jeweiligen Blickfeld des Anderen befinden. Eine derartige Bedingung ist für die visuelle Kommunikation restriktiv, kann doch nur auf diese Art und Weise ein Informationsaustausch erfolgen. Bei der direkten Sprachkommunikation sind hingegen auch Kommunikationsszenarien ohne direkten Blickkontakt denkbar. Im überwiegenden Maße ist jedoch eine direkte Sprachkommunikation an ein ureigenstes menschliches Interesse gekoppelt: den Kommunikationspartner zu sehen. Da die Systematisierung der Ideallayoutplanung Betrachtungsschwerpunkt dieser Arbeit ist, wird das in der Realität notwendige Herstellen eines Blickkontaktes in den nachfolgenden Ausführungen zunächst als supplementäre Bedingung im Falle einer bautechnischen Umsetzung angesehen. Exemplarische Ansätze zur realen Anwendung der kommunikativen Grenzwerte werden schließlich im abschließenden Anwendungsbeispiel aufgezeigt.<sup>95</sup>

### Kommunikativer Grenzwert der Sprachlichen Kommunikation:

Zu Beginn der Betrachtung muss der Parameter „Leistungsfähigkeit“ eingeführt werden. Dieser Parameter repräsentiert die Leichtigkeit bzw. Güte, mit der die direkte Sprachkommunikation durchgeführt werden kann. Als allgemeine Beschreibungsgrößen gibt die DIN EN ISO 9921:2003 die Verständlichkeit und Qualität der Sprache, den Aufwand des Sprechens und die Verzögerung des Sprachsignals an.<sup>96</sup> [DIN9921] Um die sprachliche Kommunikation als Planungsgröße zu nutzen, ist eine spezifische Analyse der relevanten Einflussgrößen notwendig, wobei

---

<sup>95</sup> Vgl.: Ausführungen in Kap. 7

<sup>96</sup> Die Verständlichkeit der Sprache ist die Einstufung für den Anteil der gesprochenen Sprache, der vom Empfänger verstanden wird (korrekt verstandener Prozentsatz der Mitteilung).

Die Qualität der Sprache wird durch den Umfang der hörbaren Verzerrung der Schallqualität eines Sprachsignals definiert.

Der Aufwand des Sprechens charakterisiert die Anstrengung des Sprechers, die objektiv durch den A-bewerteten Sprach(schall)pegel in 1m Abstand vom Mund des Sprechers quantitativ gemessen wird (oder subjektiv durch eine qualitative Beschreibung bestimmt wird).

Die Verzögerung des Sprachsignals ist die zeitliche Verzögerung in Form von Nachhall oder Echo eines Sprachsignals.

eine Zuordnung im Sinne des Grundmodells der Kommunikation zielführend erscheint. Abbildung 26 weist die wichtigsten Einflussgrößen auf die Leistungsfähigkeit der direkten Sprachkommunikation aus, geordnet nach Sender, Übertragungsmedium und Empfänger (angelehnt [Shan76]).

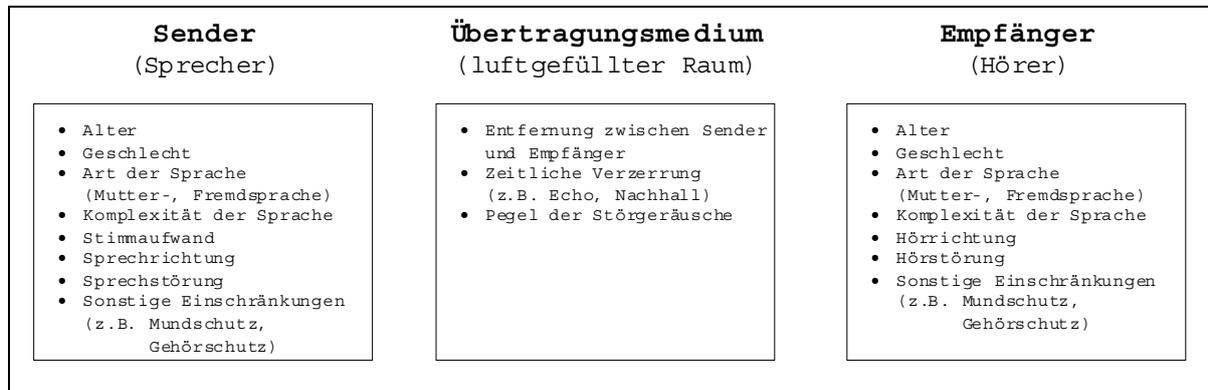


Abbildung 26: Wesentliche Einflussgrößen auf die Güte der sprachlichen Kommunikation

Für die Entwicklung einer einfach anwendbaren Beschreibungsgröße, die objektiv messbar und somit mathematisch verwendbar ist, stellt sich eine idealisierte Herangehensweise als vernünftiger Lösungsweg dar. In Anlehnung an das Konzept des homo oeconomicus<sup>97</sup> soll deshalb die direkte Sprachkommunikation zwischen zwei Menschen aus einer ergebnisorientierten Betrachtung heraus erfolgen. D.h., der Mensch wird als homo communicatus<sup>98</sup> angesehen. Dabei werden für die Sprech- und Hörleistungsfähigkeit fixierte Werte unabhängig von individuellen Eigenschaften der beteiligten Personen zugrunde gelegt. Mit einer derartigen Fixierung ergibt sich folgender vereinfachter mathematischer Zusammenhang:

$$\text{Leistungsfähigkeit} = f(\text{Verständlichkeit, Stimmaufwand})$$

<sup>97</sup> Der homo oeconomicus vollführt seine Handlungen allein nur auf der Basis der ihm vorliegenden Informationen und trifft dabei seine Entscheidungen streng wirtschaftlich rational denkend: Alles was er tut, ist auf die Maximierung seines persönlichen Nutzens auf Basis rationaler Überlegungen ausgerichtet. [Wöhe05]

<sup>98</sup> Der homo communicatus besitzt neben einer idealtypischen Sprech- und Hörleistung auch eine streng rationale Kommunikationsfähigkeit.

Als grundlegende Größen zur Beurteilung der Leistungsfähigkeit von sprachlichen Kommunikationsbeziehungen werden somit im vorliegenden Anwendungsfall der Stimmaufwand und die Sprachverständlichkeit festgelegt.

Die Beurteilung und Vorhersage der Leistungsfähigkeit der Sprachkommunikation kann durch subjektive Verfahren oder durch objektive, messtechnische Verfahren festgestellt werden. Bei der statisch-subjektiven Bestimmung der Leistungsfähigkeit kommen Probanden zum Einsatz. Ein versierter Sprecher liest dabei synthetische als auch reale Wörter vor, die durch eine repräsentative Zahl an Hörern notiert werden, je nach dem was sie verstehen. Messtechnisch-objektive Verfahren messen die wichtigsten physikalischen Eigenschaften des Übertragungsweges zwischen Sprecher und Hörer (z.B. den Sprachpegel und den Störschallpegel unter Beachtung der Reflexion, des Nachhalleffekts und psychoakustischer Effekte). Für eine einfache und methodisch abgesicherte Überprüfung der Verständlichkeit von Informationen, die per direkter Sprachkommunikation ausgetauscht werden, kommen im vorliegenden Anwendungsfall nur die messtechnisch-objektiven Verfahren in Frage, wobei sich grundsätzlich drei Verfahren eignen: [DIN45645], [DIN60268]

STI:

Sprachübertragungsindex (engl.: speech transmission index) als objektives Verfahren für die Vorhersage und Messung der Sprachverständlichkeit

SII:

Sprachverständlichkeitsindex (engl.: speech intelligibility index) als objektives Verfahren für die Vorhersage der Verständlichkeit auf Grundlage eines Artikulationsindex

SIL:

Sprach-Störschall-Pegel (engl.: speech interference level) als ein einfaches Verfahren zur Vorhersage oder Beurteilung der Sprachverständlichkeit in Fällen direkter Kommunikation in einer lärmerfüllten Umgebung durch Angabe eines Differenzwertes zwischen dem A-bewerteten Sprach(schall)pegel und dem Diffusschallpegel bzw. Mittelwert der Schalldruckpegel des Störgeräusches

Generell gilt es, diese spezifischen Methoden auf die jeweiligen Bedingungen und Zielsetzungen ihres Einsatzes anzupassen. Im vorliegenden Fall wird deshalb empfohlen, zwischen einer exakten Bestimmung der Verständlichkeit mittels dem STI-Verfahren und einer groben Bestimmung mittels dem SIL-Verfahren zu differenzieren (vgl. Tabelle 3).

*Tabelle 3: Verfahren zur groben und exakten Bestimmung der Sprachverständlichkeit*

<b>Grobes Verfahren (SIL)</b>	<b>Exaktes Verfahren (STI)</b>
- einfach	- kompliziert
- Basis: stetig vorhandener mittlerer (diffuser) Störschallpegel	- Basis: spezifischer Verständlichkeitsindex je untersuchter Relation
- Ergebnis: durchschnittlicher kommunikativer Grenzwert für alle Elemente im Produktionssystem	- Ergebnis: spezifischer kommunikativer Grenzwert je Element des Produktionssystems

Der in Abbildung 27 dargestellte Ablauf beruht auf einem derartigen bedarfsorientierten Einsatz der Verfahren.

Die Grenzentfernung der Verständlichkeit eines Sprachsignals als kommunikativer Grenzwert der sprachlichen Kommunikation wird schließlich in einer Verlaufsgraphik der Isoverbale (Isolinienkarte) visualisiert und, wie zuvor geschildert, in der Entfernungsmatrix wertmäßig berücksichtigt. In direkten Fertigungsbereichen hat sich vor allem der Einsatz des SIL-Verfahrens bewährt. Für die zeitnahe Erstellung von Isolinienkarten zeichnen sich die Ergebniswerte dieses Verfahrens durch eine hinreichende Genauigkeit aus.

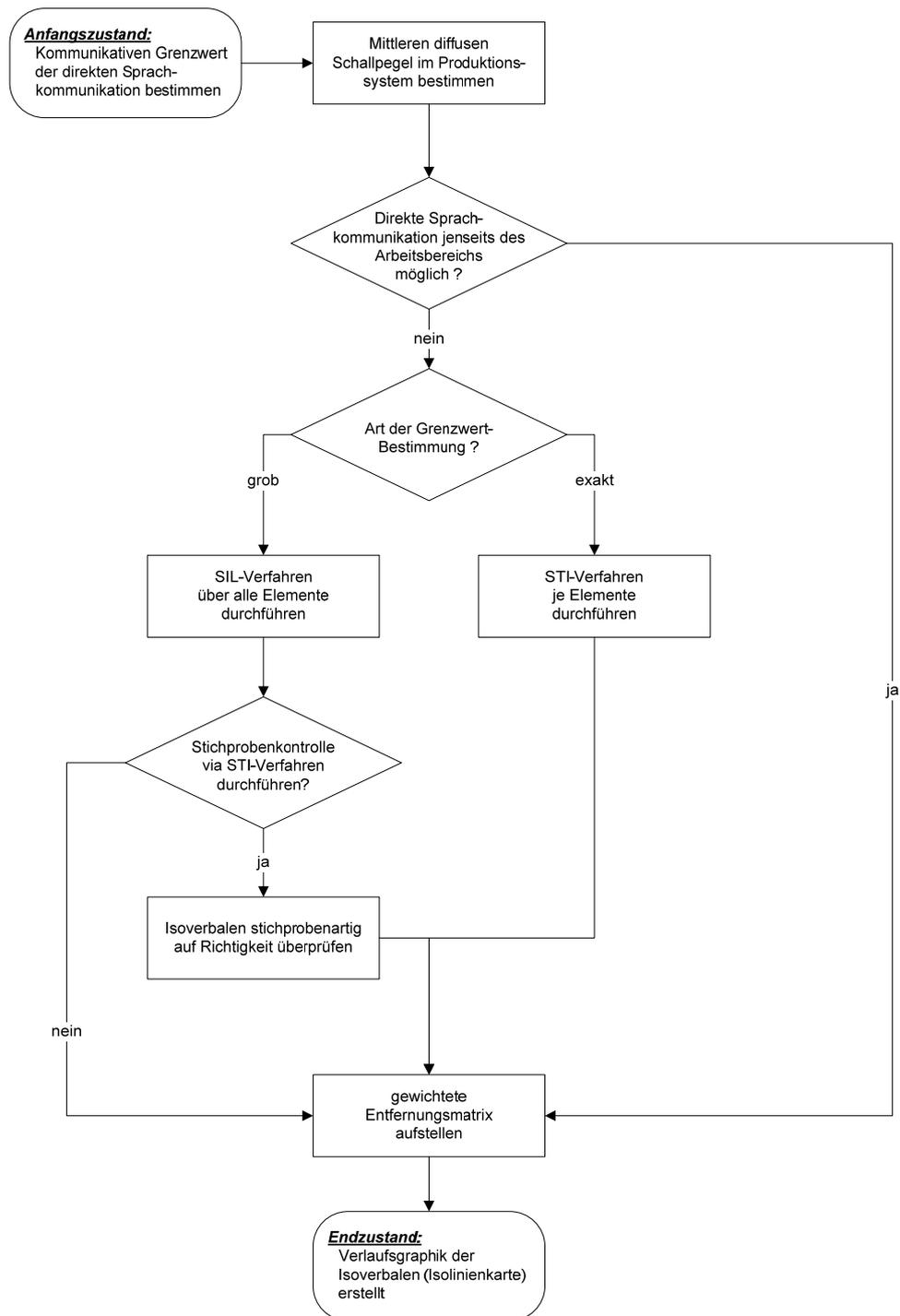


Abbildung 27: Vorgehensweise zur Bestimmung von kommunikativen Grenzwerten bei der direkten Sprachkommunikation

Kommunikativer Grenzwert der Visuellen Kommunikation:

Unter der Leistungsfähigkeit der visuellen Kommunikation soll zunächst einschränkend die Leichtigkeit verstanden werden, mit der passiv sichtbare Zeichen visuell erkennbar sind. [DIN61310] In Anlehnung an die DIN EN ISO 14738 hängt diese Erkennbarkeit im wesentlichen von den in Abbildung 28 aufgezählten Beschreibungsgrößen ab. [DIN14738]

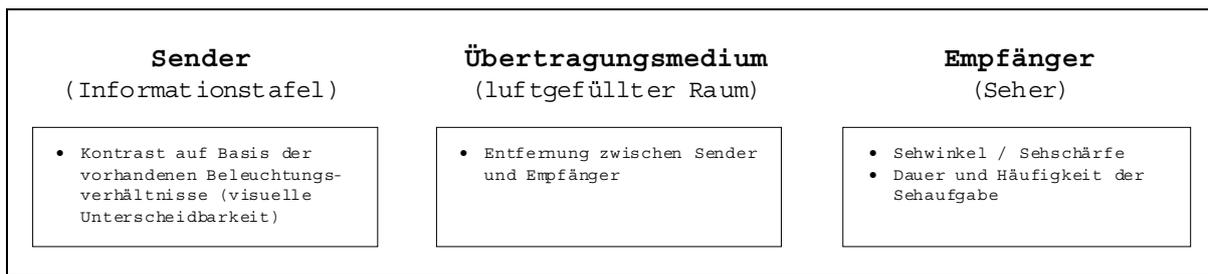


Abbildung 28: Wesentliche Einflussgrößen auf die Güte der visuellen Kommunikation

In Analogie zur sprachlichen Kommunikation besteht im Untersuchungsfeld der visuellen Kommunikation ebenfalls der Anspruch, diese Beschreibungsgrößen als objektiv messbare Werte zu bestimmen. Ausgangspunkt einer derartigen Objektivierung stellt die Differenzierung nach der Dauer und der Häufigkeit einer Sehaufgabe dar. Hierzu dient die Abstufung der Wichtigkeit von Informationen nach Prioritäten und einer entsprechenden Einteilung in Klassen, wie sie die Tabelle 4 ausweist.

Tabelle 4: Differenzierung von Informationen (nach [BMG96])

<b>Prioritäts- klasse</b>	<b>Beschreibung</b>
1	Informationen zur Warnung vor Gefahren und Hinweise für Notfälle
2	Informationen mit Entscheidungsfunktionen
3	Informationen mit Leitfunktion

Das visuelle Kommunikationsverhalten von Mitarbeitern in direkten Fertigungsbereichen fällt in die Klasse der Informationen mit Entscheidungsfunktionen. [VDI3850]

Dementsprechend lassen sich unter Berücksichtigung ergonomischer Anforderungen<sup>99</sup> folgende Mindestwerte für die wichtigsten Beleuchtungsgrößen angeben, die maßgeblich für die visuelle Unterscheidbarkeit von Objekten sind:

Kontrast:	$K \geq 50$
Leuchtdichte:	$100 \geq L \geq 200 \text{ cd/m}^2$
Beleuchtungsstärke:	$100 \geq E_m \geq 300 \text{ lx}$
Verhältnis der Reflexionsgrade:	$\rho_o / \rho_s \leq 1/3$

Darüber hinaus ist das Erkennen von Objekten abhängig von der Entfernung des Betrachters zum Objekt. Dies basiert auf der Eigenschaft einer Sehwinkel- und somit Sehschärfefverbesserung durch Annäherung des Betrachters an eben jenes Objekt bei konstant gleicher Objektgröße.

---

<sup>99</sup> Ergonomische Anforderungen an die Informationsdarstellung: [DIN894], [DIN9241]

- Einfachheit: immer möglichst einfache Form von Anzeigen wählen, um schnelle, sichere und richtige Interpretation zu gewährleisten
- Klarheit: schnelle und genaue Vermittlung von Informationen
- Unterscheidbarkeit: die angezeigte Information kann genau unterschieden werden
- Kompaktheit: dem Benutzer werden nur die Informationen gegeben, die für das Erledigen der Aufgabe notwendig sind
- Konsistenz: gleiche Information wird innerhalb der Anwendung entsprechend den Erwartungen des Benutzers stets auf gleiche Art dargestellt
- Erkennbarkeit: die Aufmerksamkeit des Benutzers wird zur benötigten Information gelenkt
- Lesbarkeit: Information ist leicht lesbar
- Verständlichkeit: die Bedeutung ist leicht verständlich, eindeutig interpretierbar und erkennbar

Dabei ist die Sehschärfe  $S$ , zumeist beschrieben über die dimensionslose Maßeinheit Visus  $V$ , das Maß für die Fähigkeit des visuellen Systems eines Menschen, in einem definierten Abstand zwei Objekte als getrennt wahrzunehmen. Eine Sehschärfe von  $S=1$  wird genau dann erreicht, wenn zwei Punkte, die einen Abstand von einer Bogenminute ( $1' = 0,01667^\circ$ ) besitzen, getrennt wahrgenommen werden können. Der mathematische Sachzusammenhang wird in Abbildung 29 dargestellt und kommt in der Größe  $f$  als Sehweiten- bzw. Distanzfaktor zum Ausdruck. Der maximale Wert des Distanzfaktors liegt nach DIN 19045 bei 400. [DIN19045] Dies entspricht einem Sehwinkel von ca. 8,5 Winkelminuten. Dabei kann ein Mensch mit einer normalen Sehschärfe ein Zeichen unter günstigen Beleuchtungsverhältnissen gerade noch erkennen.

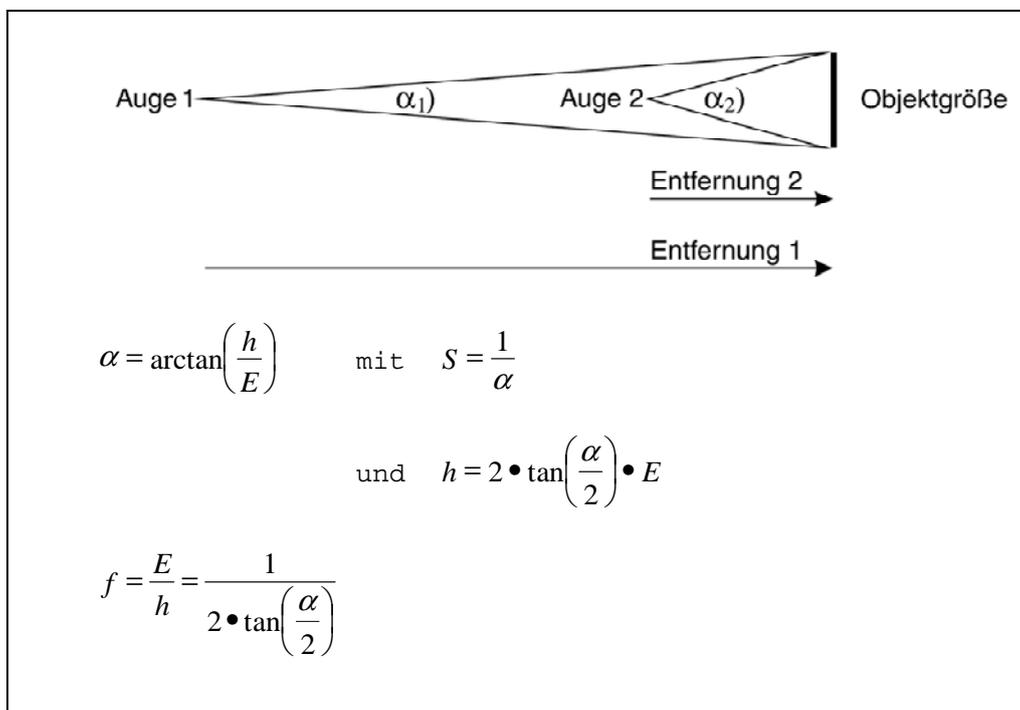


Abbildung 29: Zusammenhang zwischen der Sehschärfe eines Betrachters und dessen Entfernung zum Objekt

Mit Blick auf diesen Sachzusammenhang und den zuvor spezifizierten Mindestanforderungen für Beleuchtungsverhältnisse, um das Erkennen einer Information der Prioritätsklasse 2 für einen Menschen zu gewährleisten, lassen sich Richtwerte für die

Bestimmung der Objektgröße angeben.<sup>100</sup> Hierzu dient der Distanzfaktor  $f$ , für den im vorliegenden Anwendungsfall der idealisierten Anordnungsoptimierung die in Abbildung 30 zusammengefassten Richtwerte determiniert werden können.

**Schriftzeichen**

- ungünstige Beleuchtungsverhältnisse  
 $f = 0,12$  ( $\alpha \approx 30'$ ) [DIN1450]
- schlechte Beleuchtungsverhältnisse  
 $f = 0,06$  ( $\alpha \approx 60'$ ) [BMG96]

ABCDEFGHIJ...  
Abcdefghij...  
0123456789...

**Strichskalenanzeigen inklusive Beschriftung**

- normale Beleuchtungsverhältnisse  
 $f = 0,30$  ( $\alpha \approx 12'$ ) [DIN 894]
- ungünstige Beleuchtungsverhältnisse  
 $f = 0,12$  ( $\alpha \approx 30'$ ) [DIN43790]

**Piktogramme (i.F.v. Informationszeichen)**

- normale Beleuchtungsverhältnisse  
 $f = 0,045$  ( $\alpha \approx 75'$ )
- bei einer Grenzentfernung von Auge zu Objekt von 20m [DIN61310], [DIN60204]

**Handzeichen**

- normale Beleuchtungsverhältnisse  
 $f = 0,03$  ( $\alpha \approx 115'$ )
- bei einer Grenzentfernung von Auge zu Objekt von 20m [DIN61310], [DIN60204]

**Legende:**

	Beleuchtungsverhältnisse		
	gut/normal	ungünstig	schlecht
Kontrast $K$	$> 50$	$\approx 50$	$<< 50$
Leuchtdichte $L$	$\approx 150$	$\approx 150$	$<< 100$
Beleuchtungsstärke $E_m$	$\approx 300$	$\approx 100$	$<< 100$
Verhältnis der Reflexionsgrade $\rho_o / \rho_s$	$\approx 1/5$	$\approx 1/3$	$<< 1/3$

Abbildung 30: Richtwerte für den Distanzfaktor  $f$

<sup>100</sup> Der Mindestsehwinkel gilt hierbei in Abhängigkeit von der Auge - Objekt - Entfernung als Vorgabewert.

Mit Hilfe dieser nach Objektklassen eingegrenzten Richtwerte kann der spezifische Kommunikationsbereich (hier: Erkennungsbereich) im untersuchten Produktionssystem bestimmt werden und in einer Graphik durch Isovisuale dargestellt werden. Die dabei zugrunde liegende Vorgehensweise ist dem in Abbildung 31 dargestellten Ablauf zu entnehmen.

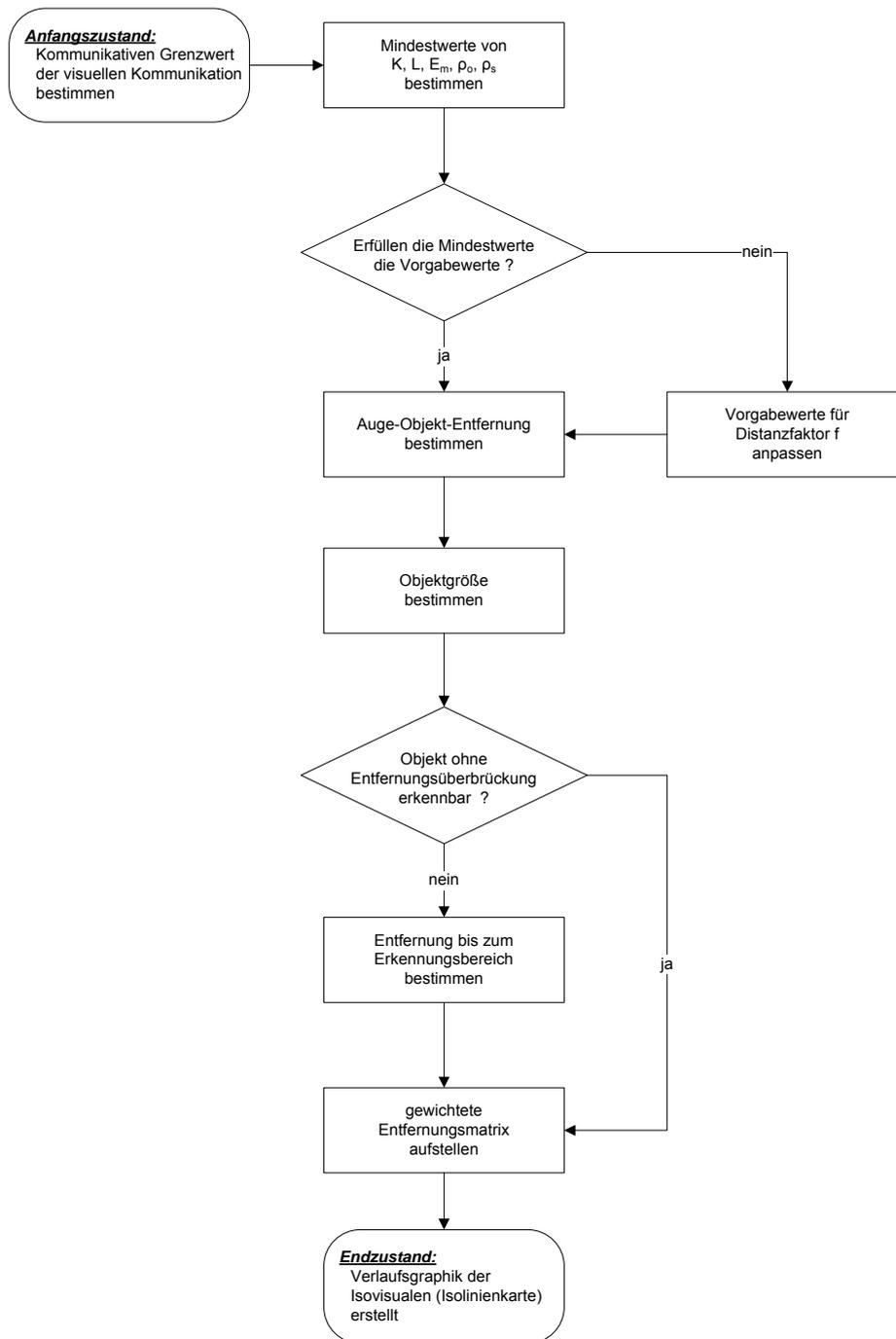


Abbildung 31: Vorgehensweise zur Bestimmung von kommunikativen Grenzwerten bei der visuellen Kommunikation

Wurden vorstehend Vorschläge zur Beachtung und Bestimmung kommunikativer Grenzwerte herausgearbeitet, gilt es im Weiteren die finalen Schritte zur Optimierung der Anordnung aufzuzeigen. Dieser Thematik widmet sich der anschließende Abschnitt.

### 6.6.3 Optimierung der Anordnung

Die Bildung und Optimierung kommunikationsorientierter Anordnungen von Produktionssystemen ist prinzipiell dem Planungsfall der Umplanung zuzuordnen. Den Ausgangspunkt derartiger Konzeptionen stellt demzufolge eine existierende Anordnung von Betriebsmitteln auf einer definierten Planungsgrundfläche dar.<sup>101</sup> Für die kommunikationsorientierte Anordnung als idealisierte Planungsaktivität ist eine derartige Startlösung wie folgt zu generieren bzw. zu abstrahieren:

- die Planungsgrundfläche stellt eine Rasterfläche in einem rechtwinkligen Koordinatensystem dar
- es existiert eine unendlich hohe Umstellflexibilität der anzuordnenden Elemente
- die Anzahl der Plätze entspricht mindestens der Anzahl anzuordnender Elemente bzw. die Fläche zur Anordnung der Elemente ist ausreichend
- der Flächenbezug wird für die Elemente durch idealisierte Flächenrechtecke hergestellt; analog erfolgt dies für die Plätze (Standortträger)
- freie Platzwahl der Elemente; jedes Element kann auf jeden Standortträger plaziert werden
- euklidische Entfernungsmessung

Wie im vorhergehenden Kapitel ausführlich beschrieben, müssen zudem in Abhängigkeit von der relevanten informationellen Re-

---

<sup>101</sup> Ist der Einsatz des Kommunikationskennwertes im Rahmen der Neuplanung eines Produktionssystems vorgesehen, ist mit erheblichen Schwierigkeiten bei der Datenermittlung zu rechnen. Soll dabei nicht auf Erfahrungs- oder Schätzwerte zurückgegriffen werden, erscheint es angebracht, die Kommunikationsorientierung eher als Planungsgrundsatz bei der Reallayoutplanung zu hinterlegen.

lationsart kommunikative Grenzwerte beachtet werden. Hierbei wird je nach Plazierung der Elemente abgeprüft, ob für das Zustandekommen bzw. Aufrechterhalten der betrachteten IuK-Beziehung eine Entfernungsüberbrückung durch die Kommunikationspartner notwendig wird. Abbildung 32 veranschaulicht dies im Sinne einer Isolinienkarte.

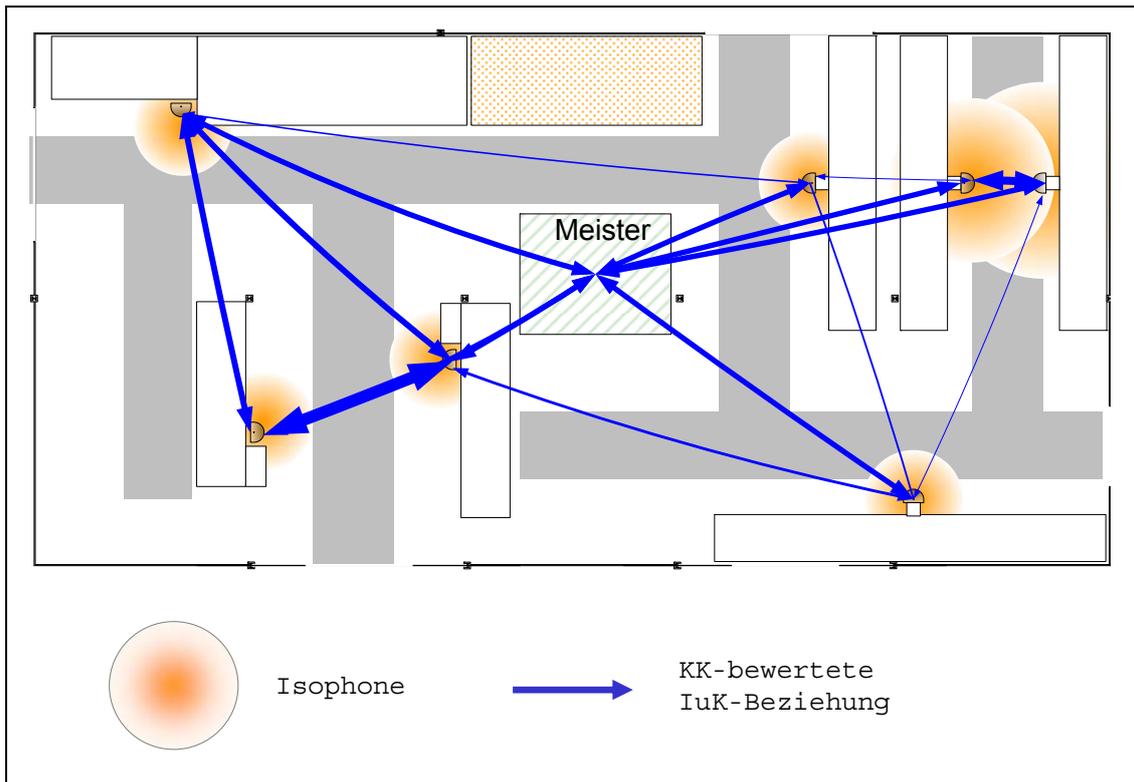


Abbildung 32: Exemplarische Isolinienkarte der sprachlichen IuK-Beziehungen in einem Produktionssystem

Da der Kommunikationskennwert im strikten Einklang zu den in Kap. 6.1 erläuterten Anforderungen an materialflussalternative Zielkriterien entwickelt wurde, ist schließlich mit dieser zusätzlichen Gewichtung der Entfernungsmatrix ein uneingeschränkter Einsatz vorliegender mathematischer Lösungsalgorithmen für die Bildung und Optimierung einer kommunikationsorientierten Anordnung möglich. Vorausgesetzt, folgende Eingangsgrößen liegen vor:

- Anzahl der anzuordnenden Elemente und der vorhandenen Standortträger
- Gewichtete Entfernungsmatrix
- Intensitätsmatrix (Matrix der Kommunikationskennwerte)
- Maßangabe zu allen relevanten Flächenarten (wie z.B. Planungs-, Hallen- und Maschinengrundfläche zzgl. potentieller Sperrflächen)

Die wissenschaftlichen Grundlagen für den Einsatz derartiger Lösungsverfahren sind bekannt und entsprechend publiziert. [Rayw96], [Fran98], [KuKo07] Die nachstehenden Ausführungen schildern demzufolge nur kurz und knapp die Grundsätzlichkeiten bei deren Einsatz.

Wie in Form eines Ablaufdiagramms in Abbildung 33 und 34 visualisiert, beginnt der dreistufige Ablauf mit der Reihenfolgebildung der anzuordnenden Elemente und führt schließlich über die Konstruktion zur Verbesserung bzw. Plausibilisierung einer idealisierten Anordnung der Elemente auf einer gerasterten Planungsgrundfläche.<sup>102</sup> Die vorgelagerte Ermittlung der Anordnungsreihenfolge kann als Vorbereitungsschritt zur rechnerisch zügigen Bildung der ersten Anordnung (Startlösung) angesehen werden.

---

<sup>102</sup> Dieser Ablauf basiert auf der Anwendung eines heuristischen Umlauf- und Vertauschungsverfahrens zur Bildung und Optimierung einer Anordnung.

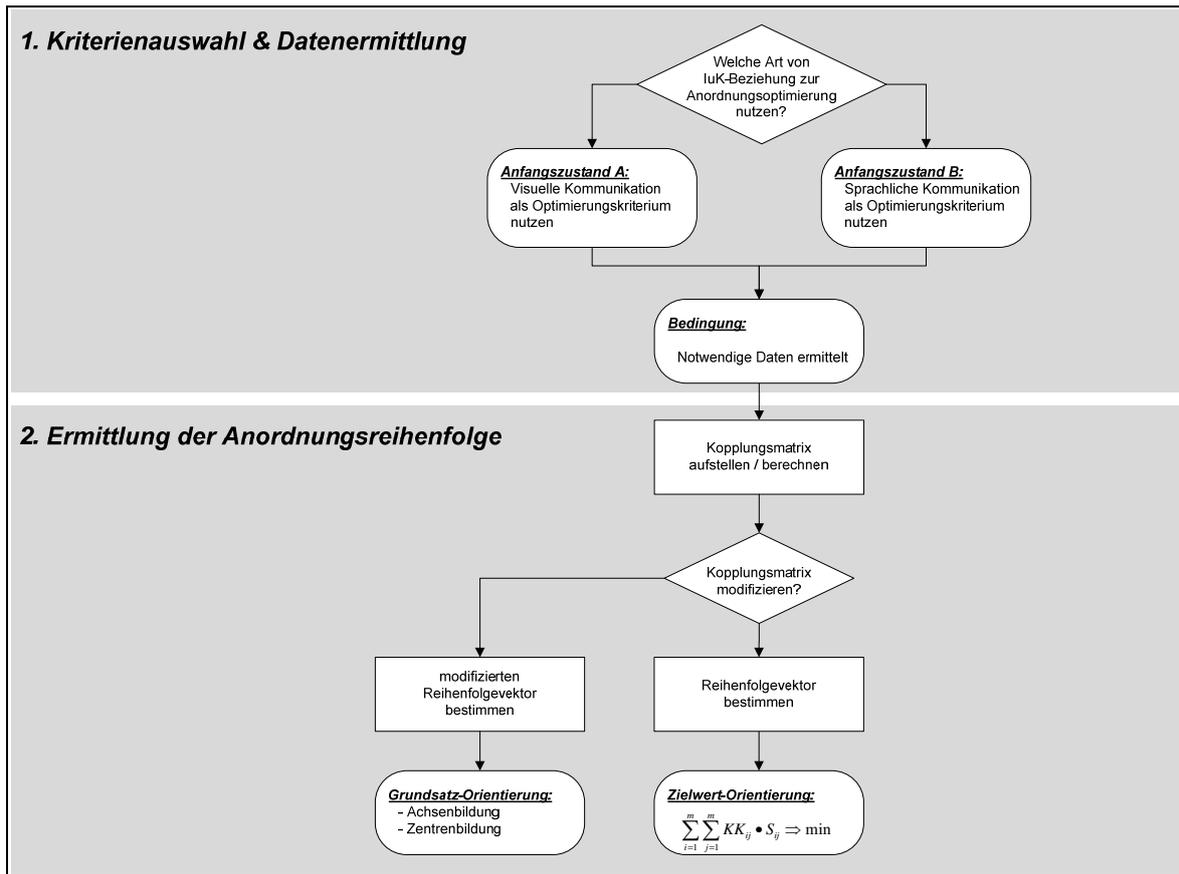


Abbildung 33: Vorgehensweise zur kommunikationsorientierten Anordnungsoptimierung (Schritte 1-2)

Durch die Modifikation der reihenfolgebildenden Kopplungsmatrix<sup>103</sup> lassen sich zudem Anordnungsprinzipien berücksichtigen, die zu spezifischen Anordnungsalternativen führen. Dabei kann die

- zielwertorientierte Herangehensweise, in diesem Fall...  
→ ...Kommunikationskennwert

von der

- grundsatzorientierten Herangehensweise, wie z.B....  
→ ...Zentrenbildung (z.B. Kommunikationszentren)  
→ ...Achsenbildung (z.B. Hauptkommunikationsachsen)

unterschieden werden.

<sup>103</sup> In der Praxis erfolgt die Modifikation einer Kopplungsmatrix zumeist über die Vergabe von Sympathiewerten, die als normierte Wichtungsfaktoren gewünschte Nachbarschaften anzuordnender Elemente bei der Reihenfolgebildung berücksichtigen (vgl. [Bran89], [VDI3595]).

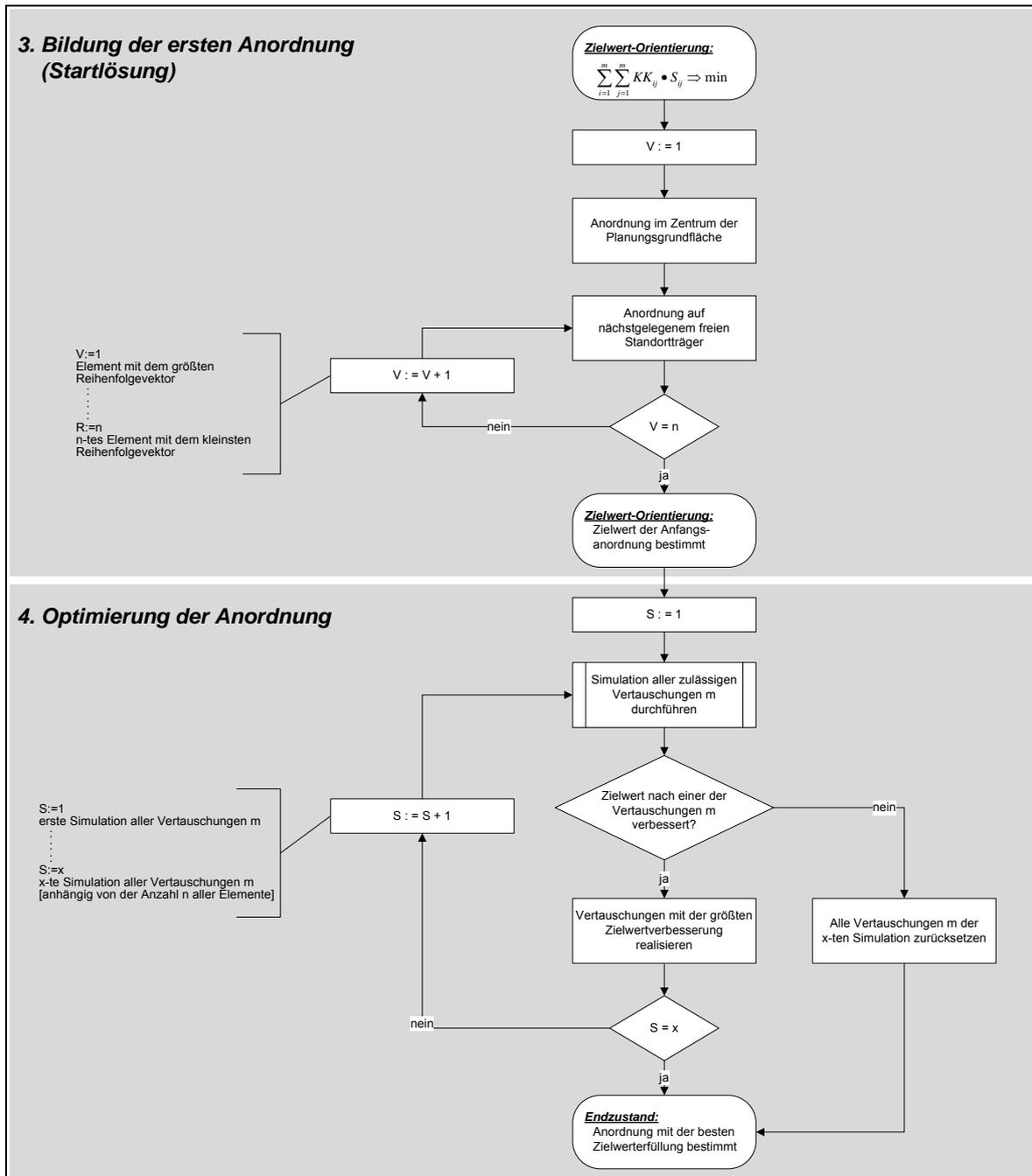


Abbildung 34: Vorgehensweise zur kommunikationsorientierten Anordnungsoptimierung (Schritte 3-4)

Primär kommt der in Abbildung 34 illustrierte zielwertorientierte Algorithmus zum Einsatz. Hierbei wird nach Bildung einer Anfangsanordnung gemäß der Zielfunktion eine Zielwertoptimierung angestrebt. Zumeist sind hierbei die Intensitäten (ausgedrückt über den Kommunikationskennwert) zunächst mit einem fixierten Wert erfasst, so dass durch Neuplazierung der Elemente die Entfernung in Abhängigkeit von der Intensität der

IuK-Beziehung zwischen zwei Elementen zu minimieren ist. Supplementär ist auch eine rein grundsatzorientierte Anordnungsoptimierung denkbar. Hierbei lassen sich i.A. an den Kooperationsgrad von Schmigalla grundsätzliche Anordnungsprinzipien erkennen. Verschiedenste Softwaresysteme zur Layoutplanung verknüpfen beide Ansätze über ein hinterlegtes Dialogsystem. Der Anwender kann dabei interaktiv über die jeweilige Vorgehensweise entscheiden. [Wage03]

Im abschließenden Kapitel werden die herausgearbeiteten Erkenntnisse an einem exemplarischen Einsatzszenario demonstriert. Hierbei liegt das Hauptaugenmerk im Verknüpfen der Erkenntnisse, um den angestrebten Beitrag zur Systematisierung der Layoutplanung als Ziel dieser Arbeit gerecht zu werden.

## **7. Anwendungsbeispiel zur kommunikationsorientierten Optimierung einer Betriebsmittelanordnung**

Anhand einer Erweiterungsplanung in einem mittelständischen Unternehmen der Holzverarbeitenden Industrie werden in diesem Kapitel die zuvor erarbeiteten Systematisierungsansätze exemplarisch validiert. Die Vorgehensweise zur Generierung optimaler Anordnungsvarianten soll dabei einer iterativen Grundlogik folgen. Hierzu wird die grundsätzlich sukzessiv ausgelegte Vorgehensweise bei der Ideallayoutplanung durch folgendes Aufgabengeflecht ersetzt:

- Ziel-Auswahl-Prozess  
...dem eigentlichen Optimierungsalgorithmus vorgelagerte Festlegung zu verfolgender Zielstellungen, die i.F.v. Optimierungskriterien Eingang in die globale Zielfunktion finden
  
- Zielwertspezifische Anordnungsoptimierung  
...Verwendung materialflussalternativer Optimierungs- bzw. Zielkriterien zur erweiterten Bewertung der optimalen Anordnung eines Produktionssystems
  
- Normierung der relevanten Zielstellungen  
...Transformation der extrahierten Zielstellungen in dimensionslose Zielgrößen
  
- Multi-Kriterien-Anordnungsoptimierung  
...zweckmäßige Generierung der optimalen Anordnung unter Beachtung mehrerer Zielstellungen mit Hilfe mathematischer Lösungsalgorithmen

Es handelt sich um ein Netzwerk von Planungsaufgaben, die entscheidungsorientiert aber unabhängig vom Detaillierungsgrad des Planungsobjektes zum Einsatz kommen. Hierbei wird im Kern die systematische Anwendung des Kommunikationskennwertes zur

kommunikationsorientierten Optimierung einer Betriebsmittelanordnung erläutert.

### **7.1 Beschreibung des Planungsbeispiels**

Das Unternehmen stellt an zwei Standorten Dachkonstruktionen für die Bauindustrie in verschiedenen Ausführungen her. Das Produktionsprogramm unterliegt in über 90% der Aufträge einer strikten Kundenspezifik.

Aufgrund einer strategischen Entscheidung der Geschäftsleitung soll die Fertigung an einem Standort konzentriert werden, was zunächst die Frage nach der ausreichenden Kapazität der vorhandenen Ressourcenelemente stellt, um den anfallenden Auftragsbestand abarbeiten zu können. Verschärfend kommt die Tatsache hinzu, dass das Unternehmen einen um 50% steigenden Auftragsbestand im betrachteten und zukünftigen Geschäftsjahr bewältigen will. Dies führte zu der Überlegung, den favorisierten Standort nach den Grundgedanken moderner Produktionskonzepte in Gänze neu zu gestalten.

Die Produktion am zu planenden Standort erfolgt in zwei Hallen. Ein dritter offener Hallenbau dient als zentrales Rohstofflager, über das nahezu der gesamte Wareneingang abgewickelt wird. (vgl. Abbildung 35).

Der Auftragsdurchlauf beginnt mit der Vorfertigung (VF), bei der - vergleichbar einer mechanischen Einzelteilmontage - aus einzelnen Holzplatten entsprechend des Arbeits- bzw. Zuschnittsplans Binder oder Schifter gefertigt werden. Es erfolgt hierbei keine stückgenaue Beschickung der einzelnen Betriebsmittel, vielmehr werden komplette Transportschübe an den Maschinen zur Verfügung gestellt, so dass sich aus jeder Bereitstellung eine Materialrückführung zum zentralen Rohstofflager (WEL) ergibt.

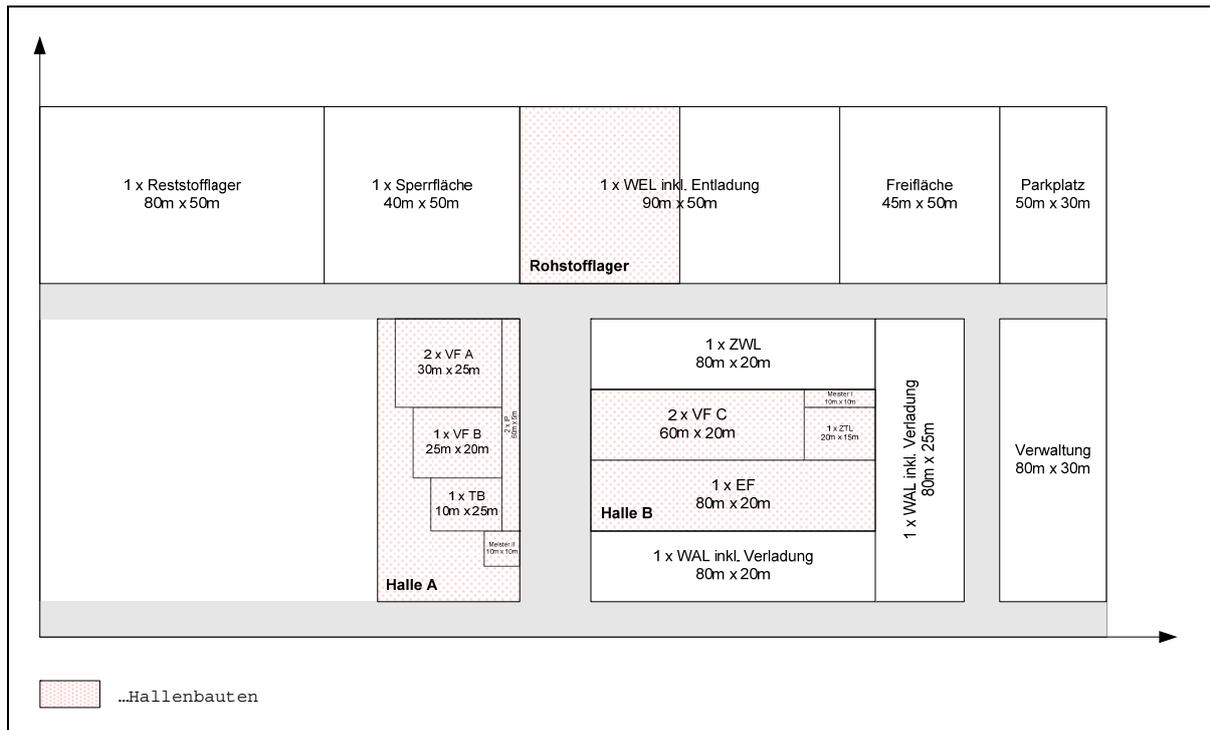


Abbildung 35: IST-Layout des gesamten Fabriksystems

Je nach Art und späterer Verwendung des Holzes ist nach der Vorfertigung eine Oberflächenbehandlung (IP) notwendig. Auch wenn auf eine Oberflächenbehandlung verzichtet werden kann und somit die dann notwendige Trocknungszeit entfällt, werden die fertiggesägten Holzlattungen zwischengelagert. Dieses Zwischenwarenlager (ZWL) dient der auftragsspezifischen Vorkommissionierung aller Zuschnittsteile, um in der Endfertigung (EF) eine auftragsspezifische Montage der Holzelemente vorzunehmen. Mit der Fertigstellung des kompletten Auftrages werden die Fertigprodukte sowie Klein- und Zukaufteile im Außenbereich kundenauftragsspezifisch disponiert und anschließend kundenbedarfsorientiert verladen und ausgeliefert (WAL). Ein vom Hauptproduktionsfluss separat zu betrachtender Bereich stellt der Teilesonderbau (TB) dar, in dem auf Einzelarbeitsplätzen kundenspezifische Sonderkonstruktionen komplett gefertigt und montiert werden.

Um ein zukunftsrobustes Fabrikssystem zu konzipieren, das mit minimalen Kosten eine optimale Nutzung der zur Verfügung stehenden Produktionskapazitäten zulässt, wurde in Abstimmung mit der Geschäftsleitung ein umfassendes ideales Planungsvorgehen beschlossen - weitestgehend ohne Rücksicht auf vorhandene Re-

striktionen. Im Mittelpunkt der weiteren Ausführungen steht nach einer einführenden Beschreibung der Planungsdaten die optimale Anordnung der Elemente des Produktionssystems der Vorfertigung.

## 7.2 Erfassung der Eingangsdaten für die Planung

Als Eingangsdaten fungieren die Ergebnisse einer zuvor ausgeführten Dimensionierung der betrieblichen Grundelemente:

- Produktionsprogramm und Arbeitspläne
- Art, Anzahl und Flächenbedarfe der Arbeitssysteme (Anordnungsobjekte)
- Maßangaben der gesamten Planungsgrundfläche abzüglich Wegeflächen und vorhandener Sperrflächen (Flächenbilanz, Grundriss- und Hallenpläne als Blocklayout des Ist-Zustandes)

Das Produktionsprogramm besteht aus komplett vorgefertigten Dachkonstruktionen, Abbund und Schalungsträger sowie Dachelementen und Fertiggiebel.

Für die Analyse des Produktionsprogramms wurde auf die Methode zur Bildung fiktiver Produkte zurückgegriffen. Hierbei werden konstruktiv ähnliche Produkte zu einer Produktklasse zusammengekommen.<sup>104</sup> Diesen sog. fiktiven Produkten werden schließlich Kapazitätsprofile der benötigten Arbeitstechniken auf Grundlage auftragsspezifischer Bearbeitungszeiten zugeordnet. Da unterschiedliche Produkte verschiedene Belastungsprofile hervorrufen, wurden am vorliegenden Beispiel fiktive Belastungszeiten auf Basis definierter statistischer Verteilungen ermittelt.

Mit Hilfe einer zukunftsprojizierenden Trendanalyse der Auftragsdaten zzgl. der zu verrechnenden Auftragssumme des zwei-

---

<sup>104</sup> Ziel dieser Herangehensweise ist die Vereinfachung des Analysieraufwandes durch die Aufgliederung des Produktsortimentes in Produktklassen, die gleiche Anforderungen an den technologischen Prozess und die technische Auslegung der notwendigen Arbeitstechniken stellen. Da ein derart gebildetes Produkt mit keinem der realen Produkte mehr voll identisch ist, wird es als fiktives Produkt bezeichnet.

ten Standortes berechnet sich das Mengenprofil, welches u.a. zur Bestimmung der zukünftig benötigten Betriebsmittelanzahl dient (vgl. Tabelle 5).

Tabelle 5: Das gruppierte Produktionsprogramm

Anzahl pro Woche (basierend auf Absatz-Prognose & Produktionsübernahme Standort B)					
	VF A	VF B	VF C	TB	EF
Produktgruppe I	4,01	0,88	4,01	0,22	10,21
Produktgruppe II	0,00	7,00	0,00	0,00	0,00
Produktgruppe III	0,24	0,00	0,24	0,00	0,33
Produktgruppe IV	7,62	2,02	7,62	1,55	16,79
Produktgruppe V	15,65	4,09	15,65	13,12	33,77
Produktgruppe VI	15,17	3,45	15,17	0,62	32,67
Produktgruppe VII	2,60	1,20	2,60	0,00	5,60
<b>t<sub>BEI</sub> in h / Woche (je Funktionseinheit)</b>	209,26	57,98	127,46	81,37	473,91
<b>Anzahl notwendiger Arbeitssysteme</b>	4	1	2	1	4

Zeitfond: t<sub>z</sub> = 90 h / Woche

Mit der Übernahme von Flächendaten aus der Analyse betrieblicher Unterlagen bzw. 3D-Daten-Aufnahme vor Ort wurde der aktuelle Flächenbedarf für die Arbeitsbereiche und -systeme aufgenommen und mit dem zuvor prognostizierten Mengenprofil hochgerechnet.<sup>105</sup> Dabei wurde die Vorgabe einer physischen Trennung der Vor- und Endfertigung in zwei separate Fertigungshallen berücksichtigt (Halle A und B). Die Bildung derartiger Technologiepools basiert auf der kombinatorischen Anwendung eines produktstruktur- und betriebsmittelorientierten Anordnungsprinzips, um das gesamte Fabrikssystem grob vorzustrukturieren. Tabelle 6 gibt diesbezüglich einen Überblick.

<sup>105</sup> Ausgehend von den Maschinen- bzw. Anlagengrundflächen wurden hierzu die Flächenbedarfe um Zusatzflächen erweitert, die aus Zuschlagsfaktoren für die Bedienung, Wartung, Zwischenlagerung und Bereitstellung resultieren.

Tabelle 6: Gegenüberstellung der Flächenbedarfe im IST-Zustand und nach der geplanten Erweiterung

Ifd. Nr.	Typ	Bezeichnung	Abk.	IST-Zustand			Erweiterung			Angaben für $A_{AB}$ und $A_{AS}$ in m <sup>2</sup>
				Anzahl	$A_{AB}$	$A_{AS}$	Anzahl	$A_{AB}$	$A_{AS}$	
1	AB	Vorfertigung A	VFA	1	750		1	1400		
1.1	AS	Typ A <sub>I</sub>	VFA_I	1		80,5	2		169	
1.2	AS	Typ A <sub>II</sub>	VFA_II	1		94,5	2		189	
2	AB	Vorfertigung B	VFB	1	480		1	480		
2.1	AS	Typ B <sub>I</sub>	VFB_I	1		120	1		120	
3	AB	Vorfertigung C	VFC	1	864		1	864		
3.1	AS	Typ C <sub>I</sub>	VFC_I	1		102	1		102	
3.2	AS	Typ C <sub>II</sub>	VFC_II	1		114	1		114	
4	AB	Oberflächenbehandlung	IP	1	300		1	300		
4.1	AS	Typ IP <sub>I</sub>	IP_I	2		91	2		91	
5	AB	Endfertigung	EF	1	1600		1	2800		
5.1	AS	Typ EF <sub>I</sub>	EF_I	2		420	4		840	
6	AB	Sonderaufertigung	TB	1	250		1	2000		
7	AB	Sozialflächen	SF	1	300		1	300		
8	AB	Wareneingangslager	WEL	1	4250		1	4250		
9	AB	Zukaufteilelager	ZTL	1	300		1	300		
10	AB	Zwischenwarenlager	ZWL	1	1600		1	1600		
11	AB	Warenausgangslager	WAL	1	2800		1	2800		
12	AB	Reststofflager	RSL	1	4000		1	4000		
notwendige Gesamtfläche $A_{AB}$					17494			21094		
vorhandene Gesamtplanungsgrundfläche (abzüglich Verwaltungs-, Sperr- und Wegeflächen)					29950			29950		
Nutzungsgrad Gesamtplanungsgrundfläche					58%			70%		--> vorhandene Grundfläche ist ausreichend
notwendige Gesamtfläche $A_{AB}$ in Halle A und B					3994			5844		
vorhandene Hallengrundfläche Halle A und B (abzüglich Sonderbau und Sozialflächen)					6100			6100		
Nutzungsgrad Hallengrundfläche Halle A und B					65%			96%		--> bei Neubau für Sonderaufertigung ist vorhandene Hallengrundfläche ausreichend

### 7.3 Anordnungsoptimierung der Arbeitssysteme in der Vorfertigung

Ein wesentlicher Aspekt zur Systematisierung der Layoutplanung liegt in der Frage begründet: Welche Ziele verfolgen wir mit der Layoutplanung überhaupt? Hierzu muss im Vorfeld der eigentlichen Aufgabenbearbeitung ein Ziel-Auswahl-Prozess durchlaufen werden.

Auswahl relevanter Zielstellungen:

Im vorliegenden Beispiel wurden in Zusammenarbeit mit der Geschäftsleitung und den Verantwortlichen des Produktionsbereichs VF diejenigen Zielstellungen aus der vorliegenden Zielordnungsmatrix ausgewählt, die im Zuge einer Neuordnung der Arbeitssysteme optimiert werden sollten. Dies erfolgte entsprechend der katalogisierten Zielarten, wobei den relevanten Zielstellungen schließlich die entsprechenden Zielkriterien zugeordnet wurden. Wie der Tabelle 7 zu entnehmen ist, wurden folgende Zielarten priorisiert:

- $Z^1_i$  ...Verbesserung der IuK-Beziehungen
- $Z^1_s$  ...Verbesserung der stofflichen Beziehungen

Der Geschäftsleitung war vor allem die Untersuchung der direkten Sprachkommunikation wichtig. Im gegenseitigen Einvernehmen wurde daher auf eine zusätzliche Wirkungsanalyse der visuellen Kommunikation gänzlich verzichtet.

Tabelle 7: Priorisierung der Zielarten

Wichtiger als	$Z^1_s$	$Z^1_i$	$Z^1_e$	$Z^1_p$	$Z^1_\delta$	$\Sigma$	$p^1_k$	$p^1_k$ (gew.)
$Z^1_s$		0	1	1	2	4	0,21	0,34
$Z^1_i$	2		2	2	2	8	0,42	0,66
$Z^1_e$	0	0		1	1	2	0,11	---
$Z^1_p$	1	0	0		2	3	0,15	---
$Z^1_\delta$	0	0	1	0		2	0,11	---
					$\sum_{k=1}^5 Z^1_k$	19		

Im Hinblick auf die stofflichen Beziehungen strebten die Verantwortlichen minimale Transportaufwendungen im Sinne folgender Zielstellungen an:

- $Z_{MF}^S$  ...produktseitiger Materialfluss
- $Z_{SP}^S$  ...Späneabfall
- $Z_{VWP}^S$  ...Vorrichtungen, Werkzeuge und Prüfmittel (VWP)
- $Z_{BS}^S$  ...Betriebsstoffe

Eine notwendige Priorisierung der Zielstellungen für die Zielart „stoffliche Relationen“ ergab die in Tabelle 8 dargestellte Konstellation.

Tabelle 8: Priorisierung der Zielstellungen für die Zielart „stoffliche Relationen“

Wichtiger als	$Z_{MF}^S$	$Z_{SP}^S$	$Z_{VWP}^S$	$Z_{BS}^S$	$\Sigma$	$p_k^S$	$p_k^S$ (gew.)
$Z_{MF}^S$		1	2	2	5	0,42	0,50
$Z_{SP}^S$	1		2	2	5	0,42	0,50
$Z_{VWP}^S$	0	0		1	1	0,08	---
$Z_{BS}^S$	1	0	1		1	0,08	---
				$\sum_{k=1}^4 Z_k^S$	12		

Gemäß den Regeln zur Aufstellung eines konsistenten Zielsystems entsteht somit eine differenzierte Zielkonstellation, die zzgl. der sich ergebenden Zielfunktion der Abbildung 36 zu entnehmen ist.

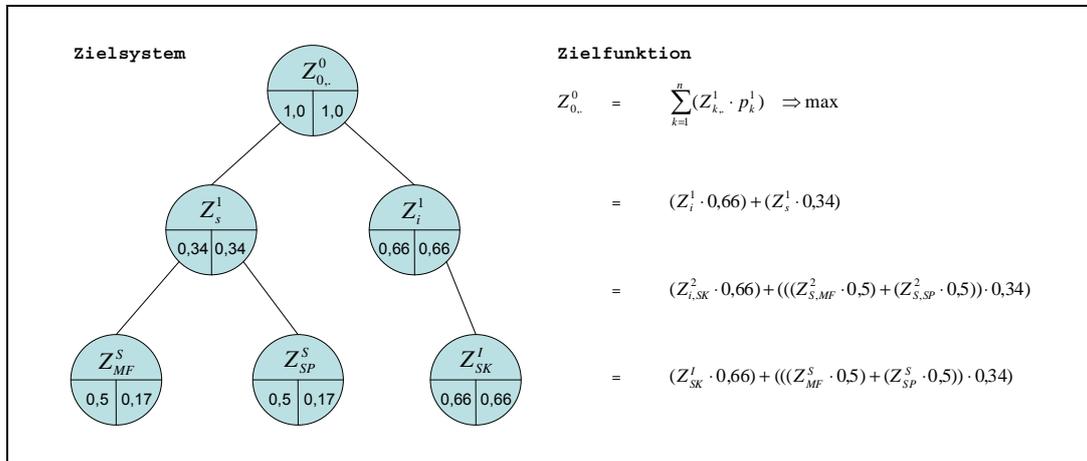


Abbildung 36: Zielsystem und Zielfunktion als Ergebnis des Ziel-Auswahl-Prozesses

Unter Anwendung der bereits erfassten Eingangsdaten für den Produktionsbereich folgt im Anschluss zunächst die zielwert-spezifische Einzeloptimierung der Anordnung, d.h. das Aufsuchen der lokalen Optima auf Basis der extrahierten Zielstellungen:

- $Z_{SK}^I$  ...Minimierung des Aufwandes für direkte Sprachkommunikation mit einer Priorität  $p_{SK}^I = 0,66$
- $Z_{MF}^S$  ...Minimierung des produktseitigen Materialtransportaufwandes mit einer Priorität  $p_{MF}^S = 0,17$
- $Z_{SP}^S$  ...Minimierung des Transportaufwandes für Verschnitt und Spanabfälle mit einer Priorität  $p_{SP}^S = 0,17$

Zielwertspezifische Anordnungsoptimierung:

Die zielwertspezifische Optimierung einer Betriebsmittelanordnung wird nachfolgend anhand der Minimierung kommunikativer Aufwände infolge direkter Sprachkommunikation erläutert.

Nachstehende Teilaufgaben sind hierbei abzuarbeiten:<sup>106</sup>

- systemimmanente Daten erfassen
- kommunikative Grenzwerte bestimmen
- Reihenfolgevektor ermitteln
- Anordnung bilden und optimieren

Zzgl. der zuvor dargelegten allg. Planungsvorgaben charakterisiert sich das Produktionssystem VF über systemimmanente Daten und Eigenschaften, die sich folgendermaßen zusammenfassen lassen:

- Strukturprinzip des Produktionssystems:  
Einzelplatzprinzip
- Anordnungsobjekte:  
8 Arbeitsplätze aufgeteilt in 7 Maschinenarbeitsplätze und einem Büroarbeitsplatz<sup>107</sup>
- Einlastung der Fertigungsaufträge:  
Einsteuerung vorpriorisierter Fertigungsaufträge über eine Wochenliste
- hoher Kommunikationsaufwand, da in ca. 40% der Fälle zur terminierten Auftragseinsteuerung keine fertigungstechnischen Unterlagen vorliegen
- kein Einsatz mediengestützter Kommunikationstechniken (z.B. Sprechfunk) im direkten Fertigungsbereich

Für die Bestimmung des Kommunikationskennwertes im betrachteten Produktionssystem sind die Häufigkeit sowie die Inhaltliche und Zeitliche Relevanz der auftretenden direkten Sprachkommunikationsbeziehungen zu erfassen.

---

<sup>106</sup> Vgl.: Abbildung 21

<sup>107</sup> Die Art und Anzahl der Arbeitsplätze i.F.v. direkten Arbeitsbereichen korreliert mit der Art und Anzahl der Arbeitssysteme. Dies führt zu einer 1:1-Zuordnung der Mitarbeiter zum jeweiligen Arbeitssystem.

Wie oft die Mitarbeiter eine direkte Sprachkommunikationsbeziehung aufbauen, wird mit Hilfe einer modifizierten Arbeitstagaufnahme (ATA) ermittelt. Diese methodisch fundierte Beobachtung erfolgte rollierend über die Früh- und Spätschicht in einem Zeitraum von vier Wochen.<sup>108</sup>

Die Inhaltliche und Zeitliche Relevanz wurden durch eine protokollierte Gruppenbefragung des Führungspersonals (Produktionsleiter, Meister, Teamsprecher) auf Basis der KODA-Befragungslogik erfasst, was zudem zur Plausibilisierung der ATA-Daten dient. Abbildung 37 stellt die mit dem Kommunikationskennwert bewertete Beziehungsmatrix der Vorfertigung als Ergebnis dieser Aufgabe dar.<sup>109</sup>

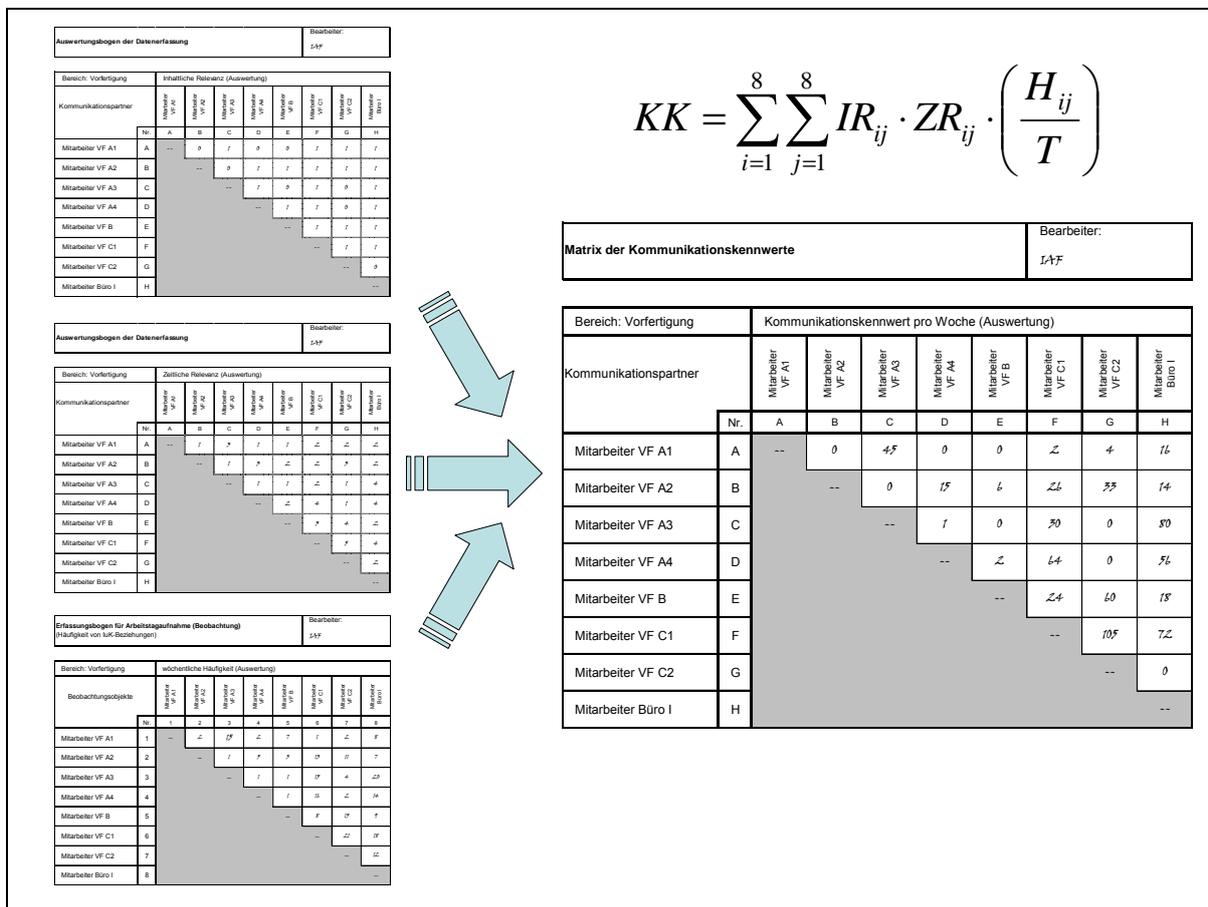


Abbildung 37: Berechnung der Kommunikationskennwerte

<sup>108</sup> Abbildung A 1 im Anhang III zeigt den verwendeten Erfassungsbogen.

<sup>109</sup> Vgl.: Ausführungen im Anhang V

Im Weiteren ist die Beeinträchtigung der akustischen Verständlichkeit als maßgeblicher kommunikativer Grenzwert zu untersuchen. Hierbei wird mit Hilfe des Sprachstörschallpegels die SIL-Methode genutzt<sup>110</sup>, deren hinreichende Genauigkeit sich über eine stichprobenartige Bestimmung des direkten Sprachübertragungsindex (STI) bestätigte. Die Verständlichkeitsgrenze im untersuchten Produktionssystem beträgt 2,33m. Dieser für die Fertigungshalle als konstanter Maximalfaktor postulierte Grenzwert weist die Anordnungsrelevanz jedweder direkten Sprachkommunikation aus. In der Praxis bedeutet dies, dass zumindest ein potentieller Kommunikationspartner gezwungen ist, für einen nicht mediengestützten Informationsaustausch den direkten Arbeitsbereich des dort tätigen Mitarbeiters aufzusuchen. Da dies für alle Anordnungsobjekte des Produktionssystems gilt, ist eine Abwertung der Entfernungsmatrix nicht notwendig (vgl. Abbildung 38).

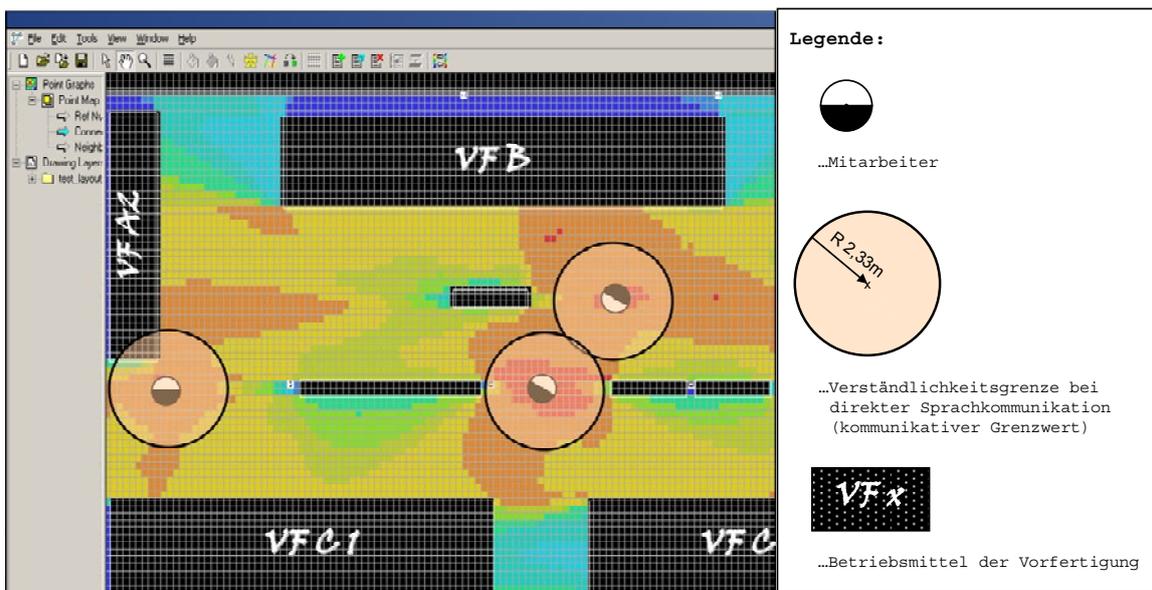


Abbildung 38: Modellbasierte Auswertung der Verständlichkeit im Produktionssystem

Nach Abschluss dieser Vorarbeiten wird die optimale Anordnung der Arbeitssysteme in einer kombinatorischen Verfahrensanwendung generiert. Hierfür ist zunächst der Reihenfolgevektor für

<sup>110</sup> Die Messung der notwendigen Schallpegel erfolgte mit Hilfe eines mobilen Schallmessgerätes.

die Anordnungsobjekte zu bestimmen, wozu die Kenngrößen Kooperationsgrad ( $K_{SK}$ ) und kumulierte Beziehungsintensität ( $KK$ ) der Anordnungsobjekte aggregiert werden. Die eigentliche Erstellung des Ideallayouts erfolgt unter Anwendung des FacToTuM-Tool-Kits, ein durch den Autor mitentwickelter rechnergestützter Arbeitsplatz zur mitarbeiterorientierten Fabrikplanung.<sup>111</sup> Im Planungsbereich der Layoutplanung kommt hierbei ein modifiziertes Umlaufverfahren sowie ein kombiniertes Deplazierungs- und Vertauschungsverfahren für die Bildung und Optimierung der Anordnung zum Einsatz. Der Weg zum optimalen Ideallayout ist in Abbildung 39 dargestellt.<sup>112</sup>

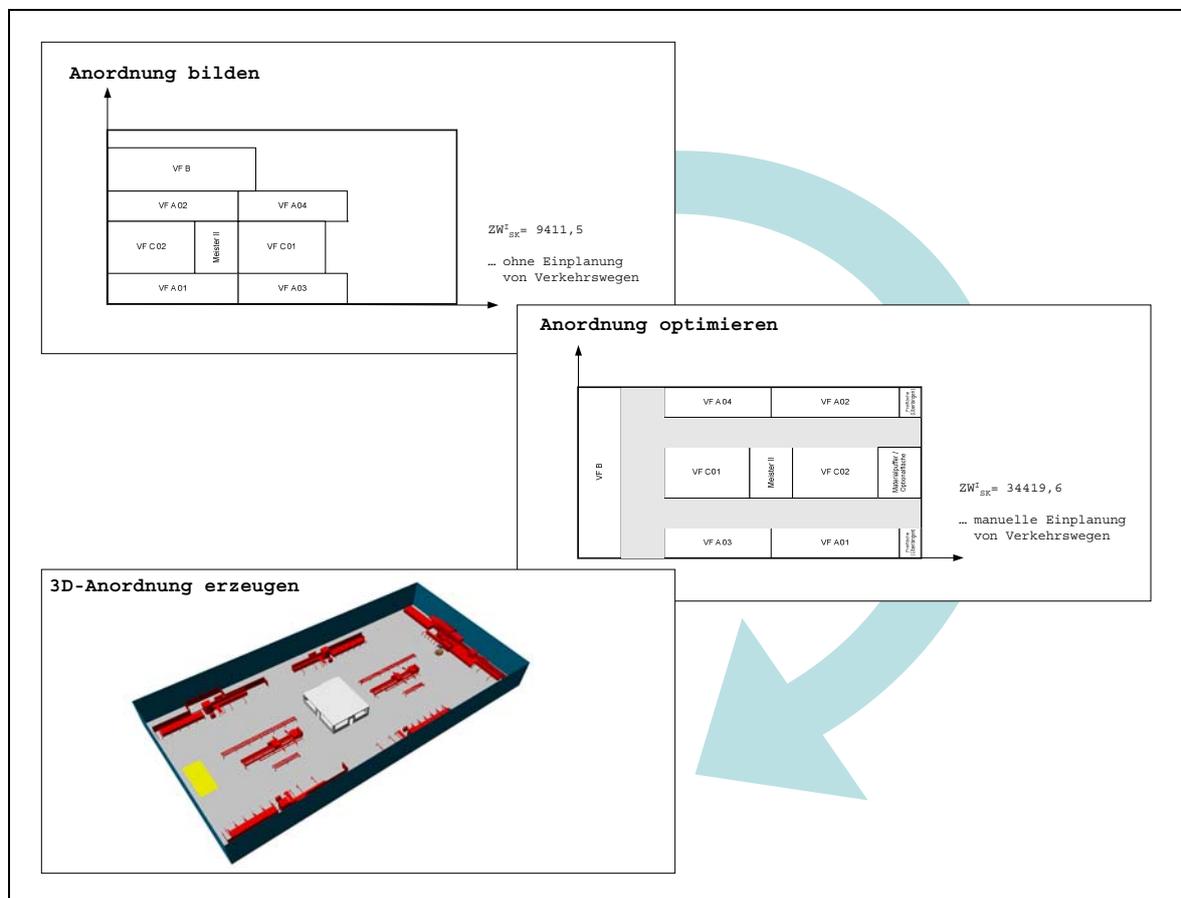


Abbildung 39: Überblick der Layoutentwicklung zur Minimierung kommunikativer Aufwände

<sup>111</sup> Für weitere Informationen zum FACTORY TOOL and TUNING MASTER vgl.: [Wage03]

<sup>112</sup> Die grob skizzierte Funktionsweise sowie der Ablaufplan zur Anwendung dieser beiden Zuordnungsverfahren sind im Anhang VI und VII hinterlegt.

Ein analoges Vorgehen erfolgt für die beiden anderen Zielstellungen.<sup>113</sup> Wurden für alle relevanten Zielstellungen die Anordnungen der Elemente entwickelt, sind die Zielwerte (resultierend aus den einzelnen Zielwertfunktionen) als Optimalwerte in eine Zielwertmatrix zu überführen. Vervollständigt wird die gesamte Zielwertmatrix schließlich mit der sukzessiven Bestimmung der jeweils offenen Zielwerte für die übrigen Zielstellungen (siehe Tabelle 9).

Tabelle 9: Zielwertmatrix

	$Z_{SK}^I$	$Z_{MF}^S$	$Z_{SP}^S$
$AO_{SK, opt}$	34419,6	101646,1	360366,8
$AO_{MF, opt}$	44429,7	89327,1	410834,3
$AO_{SP, opt}$	39542,0	91157,4	335762,0

Die spezifischen optimalen Zielwerte werden einer Zielerreichung von 100% bzgl. des jeweiligen Zielkriteriums gleichgesetzt. Unter dieser Voraussetzung wird im folgenden Abschnitt die Normierung der relevanten Zielstellungen beschrieben, um im Anschluss die multikriterielle Anordnungsoptimierung durchführen zu können.

Normierung der relevanten Zielstellungen:

Um die angestrebte Anordnungsoptimierung der Arbeitssysteme unter Beachtung einer differenzierten Zielkonstellation zu ermöglichen, sind die Zielwerte der extrahierten Zielstellungen in einem nächsten Arbeitsschritt in dimensionslose Zielgrößen zu transformieren.

---

<sup>113</sup> Zusammenfassende Übersichten sind im Anhang VIII hinterlegt.

Hierzu wurde in Abstimmung mit der Geschäftsleitung und dem leitenden Produktionspersonal für die extrahierten Zielstellungen die maximal geduldete Zielabweichung sowie der mathematische Zusammenhang zwischen der tatsächlichen Zielwerterreichung und der notwendigen geforderten Zielerfüllung als Bewertungsgrößen einer optimalen Anordnung bestimmt (sog. Zielcharakteristik). Am Beispiel der Zielstellung zur Aufwandsminimierung der direkten Sprachkommunikation wird dies im Nachgang kurz erläutert.<sup>114</sup>

Den maximalen Wert den die Zielgröße annehmen kann, stellt der Wert 5 dar. Dieser Wert entspricht einem Zielerreichungsgrad von 100%, also im Umkehrschluss dem Optimal-Wert der zielwert-spezifischen Einzeloptimierung. Im vorliegenden Anwendungsfall liegt ein als optimal zu bezeichnender Zielbereich oberhalb des Nullpunktes der Zielgröße. Die hierbei zugrunde liegende funktionale Bewertung des Zielwertes  $Z_{SK}^I$  durch die Zielgröße  $Zg_{SK}^I$  folgt dem Interesse der Geschäftsleitung, eine vorrangig kommunikationsorientierte Gesamtanordnung der Betriebsmittel zu generieren. Dabei sollen vor allem Anordnungsvarianten bevorzugt werden, deren Zielabweichung nicht mehr als 5 % beträgt. Zielerreichungsgrade jenseits dieser Marke werden allerdings als zulässige Lösungen einem abschließenden Bewertungspool zugeführt. Dadurch können auch „abgeschwächte“ Ideallösungen berücksichtigt werden, die ein hohes Realisierungspotential besitzen. Als zulässig gelten jene Anordnungsvarianten, die einen Zielerreichungsgrad von mehr als 80% aufweisen. Eine Verschlechterung unter diesen Wert wird als „nicht akzeptabel“ eingestuft. Derartige Anordnungsvarianten sind im Sinne des Zielwertes  $Z_{SK}^I$  nicht zulässig.

---

<sup>114</sup> Analoges Vorgehen bei den übrigen Zielstellungen.

Eine formale Zusammenfassung der Transformation entsprechend der ermittelten Zielcharakteristiken verdeutlicht die Abbildung 40.

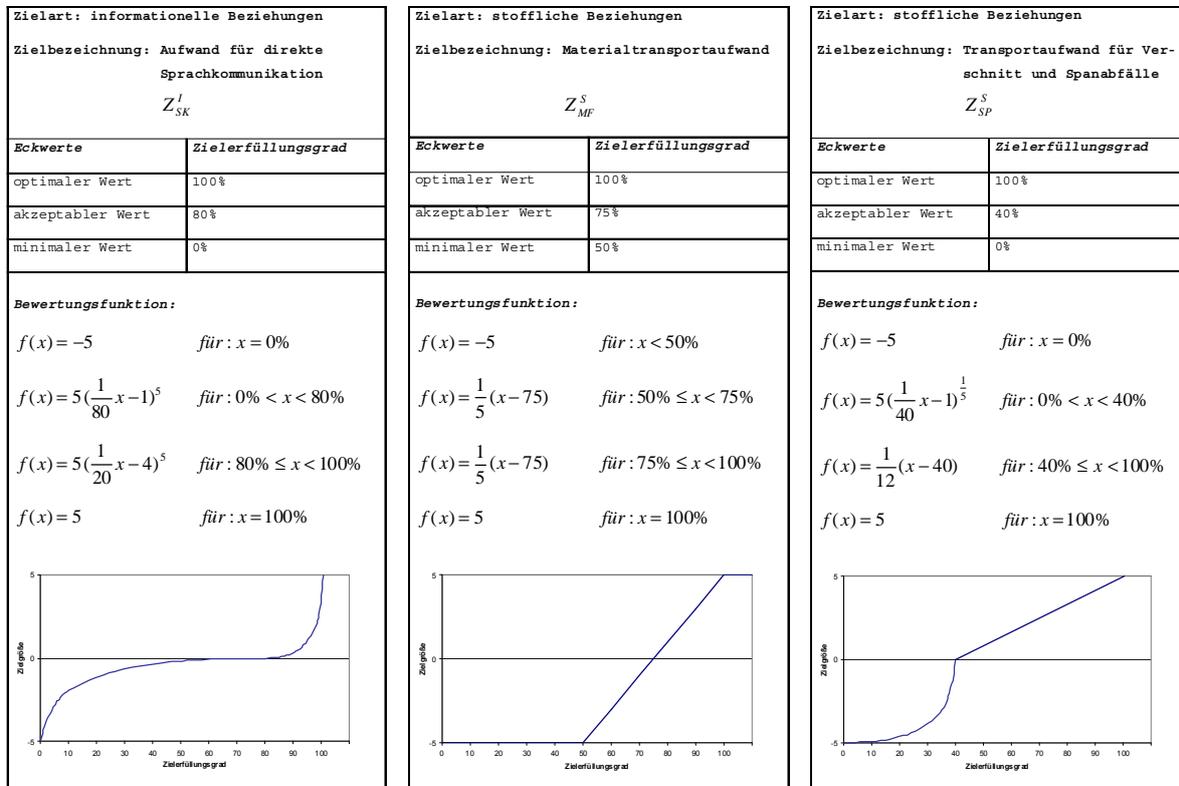


Abbildung 40: Zielcharakteristiken der extrahierten Zielstellungen

Die Bewertung einer Anordnungsvariante mit Hilfe der zuvor entwickelten Zielcharakteristiken zeigt die Abbildung 41. Als Beispiel dient wiederum die optimale Anordnung zur Aufwandsminimierung der direkten Sprachkommunikation.

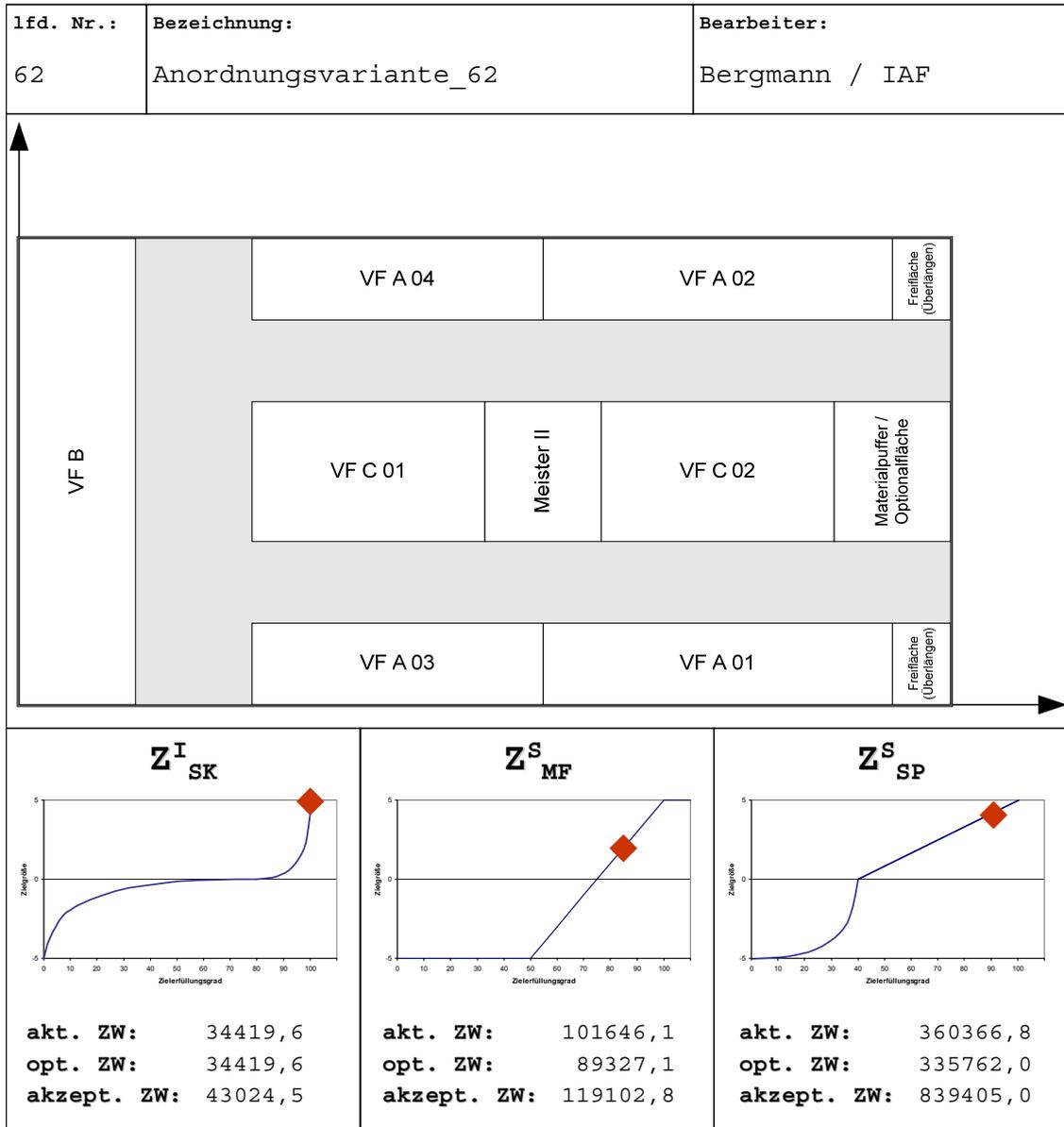


Abbildung 41: Zielcharakteristik der KK-optimalen Anordnungsvariante

Multi-Kriterien-Anordnungsoptimierung:

Basierend auf den erarbeiteten Daten ist nun eine synchrone zielgrößenorientierte Anordnungsoptimierung für alle extrahierten Zielstellungen möglich. Diese Multi-Kriterien-Optimierung erfolgt hierbei nach dem Lösungsansatz der Einzelzielwertmaximierung unter Einhaltung eines gegebenen Anspruchsniveaus für alle übrigen Zielstellungen.

Für die Anordnungsoptimierung bei Beachtung mehrerer Zielstellungen wurde das Vertauschungsverfahren nach Pack um die ständige Zielgrößenabfrage der extrahierten und gewichteten Zielstellungen ergänzt (siehe Abbildung 42 i.A. an [Boga98]).

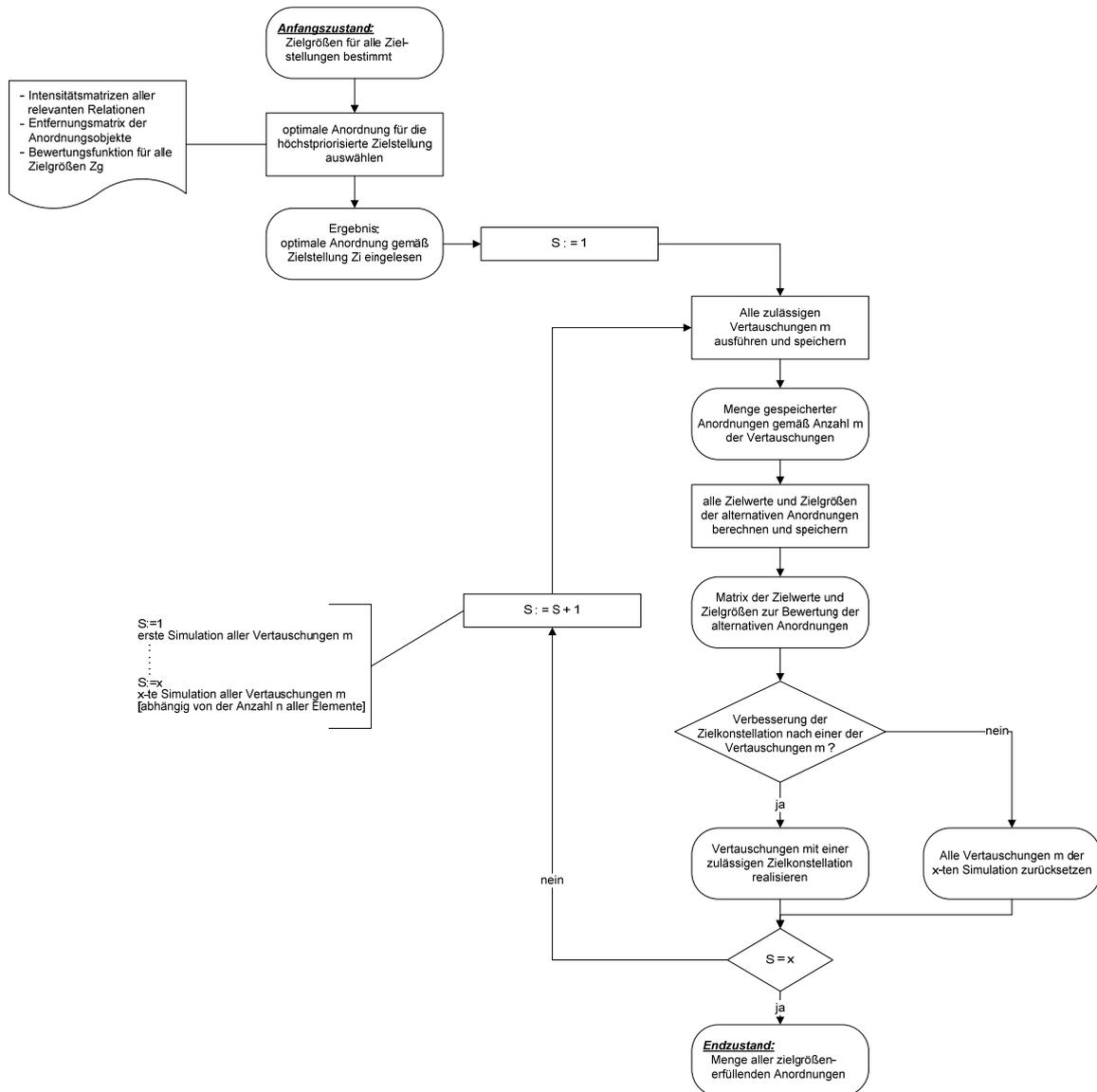


Abbildung 42: Modifiziertes Vertauschungsverfahren

Dabei werden nach einer paarweisen Vertauschung zweier Elemente jeweils die Erwartungswerte mit den geforderten Zielgrößen in der Zielgrößenmatrix auf signifikante Veränderung hin überprüft. Liegt eine Verbesserung oder zumindest keine Verschlechterung der einzelnen Zielgrößen vor, wird die Vertauschung der jeweiligen Simulationsschleife realisiert und die nächste Vertauschung ausgeführt. Ist eine Verschlechterung zu verzeichnen, gilt diese Vertauschung als ungünstig und die

nächst folgende Vertauschung muss überprüft werden. Wurden alle Vertauschungen absolviert, sind für all jene Anordnungsvarianten, die die vorgegebenen Erwartungswerte erfüllen, die Zielgrößen in eine Ergebnismatrix zu überführen. Die Tabelle 10 stellt die Top-Ten-Liste der besten zulässigen Anordnungsvarianten im Sinne der Zielfunktion dar.<sup>115</sup>

Tabelle 10: Zielgrößenbasierte Ergebnismatrix

Rang	Var. -Nr.	$Zg^0_0$	$Zg^I_{SK}$	$Zg^S_{MF}$	$Zg^S_{SP}$
1	52	3,8	3,63356	4,22816	3,86915
2	39	3,7	3,41898	4,01736	4,24327
3	60	3,4	2,93998	4,87418	3,47217
4	38	3,1	2,64943	3,95594	4,09929
5	54	2,3	1,12763	4,20282	4,67731
6	55	2,2	1,20087	4,52934	3,90771
7	41	2,1	0,96411	4,08595	4,38765
8	50	1,7	0,19232	4,37948	4,86880
9	46	1,7	0,43409	3,86395	4,30893
10	48	1,6	0,03972	4,36637	4,91924

Die Menge der zulässigen Lösungsvarianten kann dabei über die Anpassung der Erwartungswerte bzw. der funktionalen Zusammenhänge zwischen Zielwert und Zielgröße manipuliert werden. Dies entspricht einer benutzerdefinierten Einengung der zielsystemadäquaten Anordnungsvarianten.

Den Vorzug am vorliegenden Beispiel erhielt schlussendlich die Anordnungsvariante 60, da die im Zuge der angestrebten baulichen Realisierung auftretenden Restriktionen hierbei am wenigsten ins Gewicht fielen. Zu diesem Ergebnis kam auch die abschließend durchgeführte Alternativenauswahl mit Hilfe der Nutzwertanalyse, die in Form eines gruppendynamischen Ent-

<sup>115</sup> Die vollständige Ergebnismatrix aller entwickelten Anordnungsvarianten ist im Anhang IX hinterlegt.

scheidungsprozesses in einem heterogen zusammengestellten Mitarbeiter-Team der Vorfertigung durchgeführt wurde (vgl. Abbildung 43).

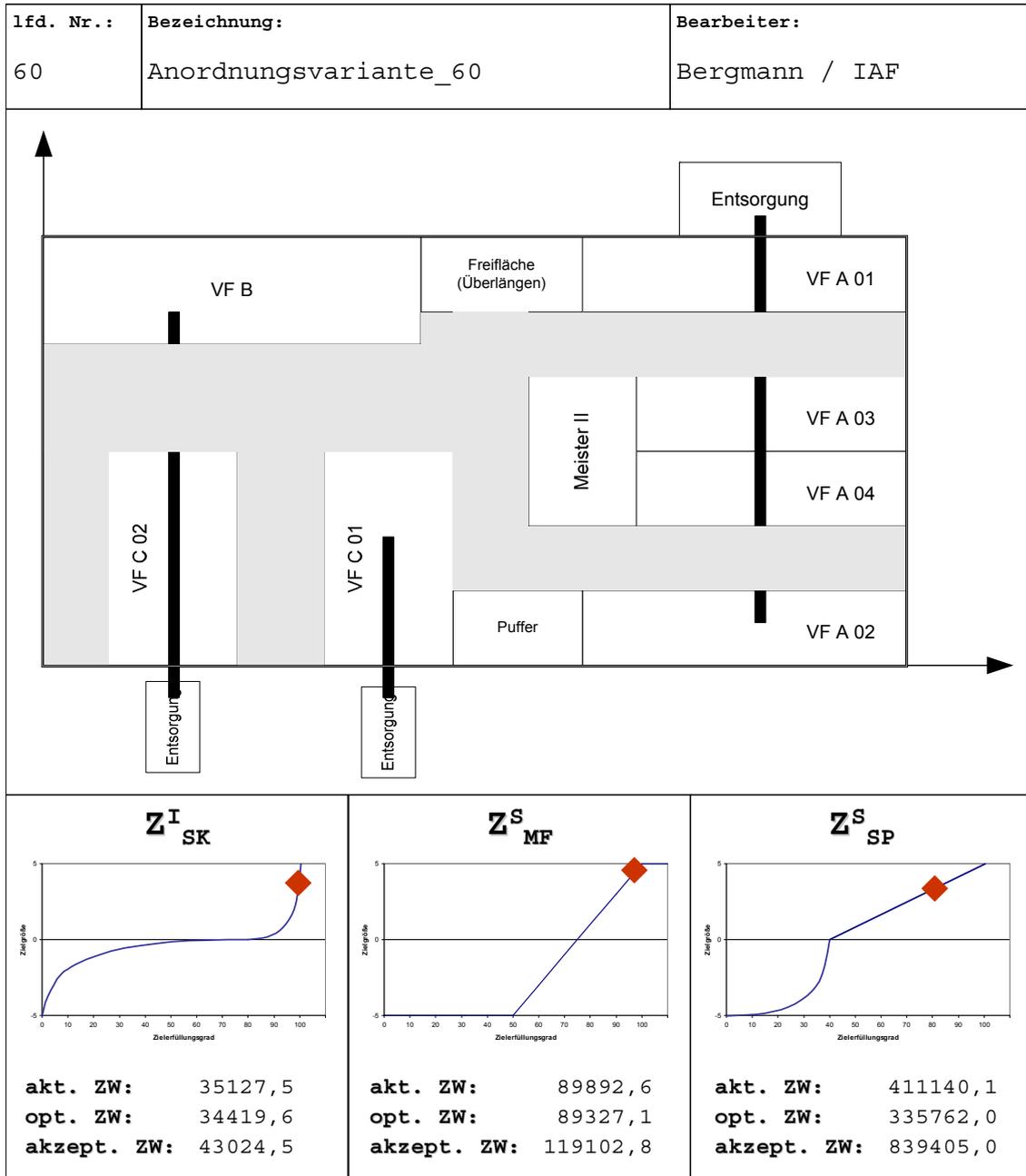


Abbildung 43: Zielcharakteristik der ausgewählten Vorzugsvariante

An der realisierten Vorzugsvariante werden nachfolgend kurz die Auswirkungen dieses prototypischen Einsatzes des entwickelten Kommunikationskennwertes als materialflussalternatives Zielkriterium einer modifizierten Multi-Kriterien-Anordnungsroutine auf den Produktionsbereich zusammengefasst.

Die vorrangig auf sprachliche IuK-Beziehungen hin optimierte Anordnung lässt eine Abstimmung der Maschinenführer über die Abarbeitung der Fertigungsaufträge zu. Unter dieser Prämisse konnten Reibungsverluste spürbar gesenkt werden, was u.a. an einer Verringerung der Durchlaufzeit von ca. 10% im abgelaufenen Geschäftsjahr festzumachen ist.

Die Verringerung der Materialflussaufwendungen als weitere Zielkomponente spiegelt sich in der Anordnung der beiden Arbeitssysteme vom Typ VF C wider. Diese sind direkt am Hauptmaterialweg angeordnet und können von dort sehr variabel beschickt werden, was zu einem schnelleren und sicheren Material- und -abtransport führt. Hierdurch konnte im laufenden Geschäftsjahr nach der Neukonzipierung des Layouts eine effektive Verringerung der Durchlaufzeit von 7 % erreicht werden.

Zur Reduzierung der Transportaufwände für Verschnitt- und Späneabfall sind in der Vorzugsvariante baulich bedingt drei, über Bandförderer angesteuerte Entsorgungsstellen vorgesehen. Im betrachteten Produktionsbetrieb ergab sich trotz dieser Abweichung von der idealen Planungsprämisse<sup>116</sup> ein Nutzen-Aspekt, der sich in zusätzlich gewonnener Arbeitszeit niederschlägt. Diese liegt bei ca. 8% mehr Haupttätigkeitszeit pro Woche für jeden Maschinenführer der Vorfertigung, da manuelle Entsorgungstätigkeiten als Nebentätigkeiten auf ein Minimum reduziert werden konnten.

---

<sup>116</sup> Zunächst war nur eine zentrale Entsorgungsstelle vorgesehen.

#### 7.4 Erkenntnisse des prototypischen Einsatzes

Wurde vorstehend der erfolgreiche Einsatz des Kommunikationskennwertes anhand einer exemplarischen Optimierung der Betriebsmittelanordnung nachgewiesen, folgt eine kurze und zugleich kritische Auseinandersetzung mit ersten Erfahrungen, die im Zuge der prototypischen Anwendung festgestellt werden konnten.

Ein zentraler Aspekt, der sich im Umgang mit dem eingesetzten multikriteriellen Aufgabengeflecht herauskristallisierte, lässt sich in folgender Fragestellung zusammenfassen: „Was wäre wenn?“ Bei der partizipativen Bearbeitung der Problemstellung stand die Variation der als relevant avancierten Zielstellungen nach einer „What-If“-Logik im Vordergrund.<sup>117</sup>

Einer u.U. nachteilig wirkenden Fülle möglicher Anordnungsvarianten stand vorteilhaft der Aufbau erfahrungsbasierter Lösungswege gegenüber, wodurch sich der einzelne Mitarbeiter als Teil der finalen Lösung, dem schließlich realisierten Layoutkonzept „wiederfand“. Generell regte der Ansatz zum „Querdenken“ an, was letztendlich auch auf die zügige rechnergestützte Generierung der Anordnungspläne zurückzuführen ist. Das Potential dieser deterministisch geprägten Bildung verschiedener Anordnungsvarianten ließ sich mit dem nachgelagerten Einsatz einer diskreten 3D-Ablauf-Simulation deutlich verbessern („Das Erleben der Lösung“ bzw. „quod erat demonstrandum“).

Darüber hinaus ergaben sich folgende Fragen, auf die im Nachgang kurz eingegangen wird.

- Wie subjektiv sind die ermittelten Daten?

Die kombinierte Datenerfassung zur Erhebung der Zeitlichen und Inhaltlichen Relevanz (Beobachtung plus Befragung) kann am durchgeführten Planungsbeispiel als erfolgreich eingestuft werden. Als wesentliches Erfolgsmerkmal ist hierbei die detaillierte Unterrichtung der Belegschaft über die aus-

---

<sup>117</sup> Mit sog. „What-if-Analysen“ wird überprüft, welche Folgen die Variation einzelner Parameter für die vorhergesagten Optima hat. Dabei werden insbesondere Veränderungen solcher Parameter in Betracht gezogen, die von realen Akteuren auch tatsächlich verändert werden können. [Suhl06]

zuführende Analyse anzusehen. Dabei lag das Hauptaugenmerk auf der Zusicherung, die erhobenen Daten nicht im Sinne einer Leistungsgradbeurteilung zu verwenden. Unter dieser Prämisse war die Quantifizierung der subjektiv gewonnenen Daten zweckmäßig.

- Weshalb werden Arbeitssysteme angeordnet?

Diesbezüglich ist das Planungsbeispiel als idealtypisch einzustufen, da hierbei vorrangig Maschinenarbeitsplätze bzw. Hauptarbeitsstellen von Arbeitssystemen betrachtet werden. Damit ist eine wesentliche Grundvoraussetzung zur Anwendung des Kommunikationskennwertes gegeben: Das Arbeitssystem stellt genau dann das Anordnungsobjekt dar, wenn der Mitarbeiter zur unmittelbaren Erfüllung seiner Arbeitsaufgabe ein ihm zugewiesenes ortsgebundenes Betriebsmittel nutzt und zur Kommunikation bzw. zum Informationsaustausch seine dort zu verrichtende Tätigkeit unterbrechen muss.

- Ist die Kommunikationsintensität abhängig von der Anordnung? Wie vorstehend erläutert, wurden im Planungsbeispiel zwar Arbeitssysteme angeordnet, verbessern soll sich dadurch aber vorrangig die Zusammenarbeit der Mitarbeiter. Es bleibt zunächst offen, wie sich durch eine derartige Anordnung die Kommunikationsintensität entwickelt. Wissenschaftliche Untersuchungen weisen einen Anstieg der Kommunikationsintensität bei „kommunikativer Nähe“ nach. Wie am Beispiel der direkten Sprachkommunikation gezeigt werden konnte, ist eine Verständigung in direkten Fertigungsbereichen jedoch nur eingeschränkt bzw. nur durch das „Herübergehen“ in den direkten Arbeitsbereich des Kommunikationspartners möglich. Dies hat zur Folge, dass solche IuK-Beziehungen nahezu ausschließlich zur Klärung betriebsrelevanter Themen bestehen und mithin als anordnungsrelevant einzustufen sind. Eine Erhöhung der Kommunikationsintensität durch das bloße Kommunizieren über vorrangig persönliche Befindlichkeiten wurde zumindest am Planungsbeispiel nicht beobachtet.

## 8. Zusammenfassung und Ausblick

Die vorliegende Arbeit verfolgt das Ziel, die Layoutplanung von Produktionssystemen durch die Bereitstellung einer allgemeingültigen Zielkonstellation und die Erarbeitung eines kommunikativen Zielkriteriums zur idealen Anordnungsoptimierung von Arbeitssystemen zu systematisieren. Die Wirksamkeit dieses Ansatzes wird schließlich anhand der kommunikationsorientierten Layoutgenerierung eines Produktionssystems in einem mittelständischen Unternehmen nachgewiesen.

Generell ist die Entscheidungssicherheit ein maßgeblicher Garant bei der erfolgreichen Planung und Gestaltung von Produktionssystemen. Um in kürzester Zeit zielführende Lösungsalternativen generieren zu können, erscheint das Bereitstellen eines breiten Lösungsraumes sinnvoll. Für derartige Optimierungs- und Entscheidungsprozesse sind adäquate Zielkriterien notwendig.

Hierzu trägt das entwickelte Zielkriterium bei, indem es die bewährten materialflussbasierten Lösungsalgorithmen für das allg. Zuordnungsproblem um den Aspekt der Information und Kommunikation sinnvoll ergänzt. Als Basis dient eine allgemeingültige, differenzierte Zielkonstellation, deren theoretischer Kern in der funktionalen Analyse und Ordnung der betrieblichen Basisrelationen liegt. Unter Zuhilfenahme eines modellbasierten Auswahlinstrumentes werden die sprachliche und visuelle (Direkt-)Kommunikation als anordnungsrelevante Arten der informationellen Basisrelation identifiziert und schließlich über den Kommunikationskennwert als adäquates Zielkriterium zur Minimierung kommunikativer Aufwände in direkten Fertigungsbereichen von Produktionssystemen formal beschrieben.

Einer deterministischen Denkweise folgend sind zur Beherrschung und Bewältigung derartig anfallender Planungsaufgaben einheitliche Vorgehensweisen notwendig.<sup>118</sup> In der Praxis sind systematische Planungsschritte, die den zukünftigen Aufbau eines Produktionssystems und der darin ablaufenden Prozesse de-

---

<sup>118</sup> vgl. diesbezüglich Aussagen bei [Aggt90]

terminieren sollen, nur bedingt einsetzbar. Vielmehr verlangt der Praktiker nach einfachen modellbasierten Handlungs- und Entscheidungslogiken, deren rechnergestützte Lösung die kreativen Handlungsaspekte bei der Planung und Gestaltung von Produktionssystemen unterstützen. Gefördert durch eine rasant fortschreitende Entwicklung im Bereich der Elektronischen Datenverarbeitung und vor allem der Datenbereitstellung<sup>119</sup> werden zukünftig digitale Planungsmodelle in nahezu jedweder erdenklichen Detailtreue und Aktualität permanent zur Verfügung stehen.

Ausgehend von diesen Überlegungen wird mit den Erkenntnissen dieser Arbeit die von Kühnle postulierte modellbasierte Planung von Produktionsnetzwerken an einem typischen Entscheidungsproblem in einem Produktionsbetrieb untersetzt. [Kühn07a] Es bleibt weiteren Forschungsarbeiten vorbehalten, den Ansatzpunkt dieser strikt modellbasierten Lösung eines umfassenden Geflechts an fabrikplanerischen Aufgaben insofern weiterzuentwickeln, dass eine schnelle und zielsichere Entscheidungsfindung unter Einsatz einfacher Unterstützungsinstrumente ermöglicht wird. Derartige Instrumente müssen demzufolge eine breite Methodenbasis aufweisen, da nur so die jeweiligen Erfordernisse spezifischer Planungsfälle ausreichend berücksichtigt werden und eine allgemeine Anwendbarkeit dennoch gewährleistet bleibt.

---

<sup>119</sup> Hier sei auf aktuelle Web 2.0-Entwicklungen verwiesen, wie z.B. Land-, Geo- und Rauminformationssysteme.

## 9. Literaturverzeichnis

- Aggt90 Aggteleky, B.:  
Fabrikplanung, Werksentwicklung und Betriebsrationalisierung (Band 1) Grundlagen - Zielplanung - Vorarbeiten; 2. Aufl., München, Wien (Hanser Verlag) 1990.
- Aggt90a Aggteleky, B.:  
Fabrikplanung, Werksentwicklung und Betriebsrationalisierung (Band 2) Betriebsanalyse und Feasibility Studie; 2. Aufl., München, Wien (Hanser Verlag) 1990.
- Alle95 Allen, T. J.:  
Managing the flow of technology transfer and the dissemination of technological information within the R&D organization; Cambridge, USA (MA) (MIT Press) 1995.
- Alle97 Allen, T. J.:  
Architecture and Communication Among Product Development Engineers; Cambridge, USA (MA) 1997.
- Augu90 Augustin, S.:  
Information als Wettbewerbsfaktor, Informationslogistik - Herausforderung an das Management; Köln (TÜV Rheinland) 1990.
- Bane06 Banerjee, D.; Syal, M.; Hastak, M.:  
Material Flow Based Facility Layout Analysis of Manufactured Housing Production Plant. In: Journal of Architectural Engineering; 12. Jg. (2006), H. 4, S. 196-206.
- Baur72 Baur, K.:  
Betriebsmittelzuordnung bei der Fabrikplanung; Mainz (Otto Krauskopf-Verl. GmbH) 1972.
- Berg05 Bergholz, M.:  
Objektorientierte Fabrikplanung; Dissertation, Aachen (Shaker Verlag) 2005.

- Bern03 Bernus, P.; Nemes, L.; Schmidt, G.:  
Handbook on Enterprise Architecture Part I: Architecture Frameworks - Organising Enterprise Architecture Knowledge; Berlin u.a. (Springer Verlag) 2003.
- Biss96 Bissel, D.:  
Beitrag zur prozessorientierten Planung dynamischer Fabrikssysteme; Dissertation, Dortmund (Verlag Praxiswissen) 1996.
- Boga98 Bogatzki, A.:  
Fabrikplanung - Verfahren zur Optimierung der Maschinenaufstellung, Theorie und Forschung; Bd. 534 Regensburg (Roderer Verlag) 1998.
- Böhl02 Böhle, F.; Bolte, A.:  
Die Entdeckung des Informellen: Der schwierige Umgang mit Kooperation im Arbeitsalltag; Frankfurt, New York (Campus Verlag) 2002.
- Bran89 Brandt, H.-P.:  
Rechnergestützte Layoutplanung von Industriebetrieben; Köln (Verl. TÜV Rheinland) 1989.
- Brem79 Bremer, J.-G.:  
Layoutplanung in der Fabrikplanung; München (Shaker Verlag) 1979.
- Brom92 Bromann, P.; Piwinger, M.:  
Gestaltung der Unternehmenskultur: Strategie und Kommunikation; Stuttgart (Schäffer-Poeschel) 1992.
- Bung99 Bungard, W.; von Bismarck, W.-B. (Hrsg.):  
Kommunikation in Unternehmen; Mannheim (Mannheimer Beiträge zur Wirtschafts- und Organisationspsychologie) 1999.
- Chen76 Chen, P.:  
Entity-Relationship Model - Toward a Unified View of Data. In: Transactions on Database Systems; Jg. 1976, H. 1, S. 9-36.

- Clau03 Claus, S.:  
Kommunikationsorientierte Gebäudegestaltung in unternehmerischen Standortgemeinschaften; Göttingen (Duehrkohp & Radicke) 2003.
- Daft86 Daft, R. L.; Lengel, R. H.:  
Organizational Information Requirements, Media Richness and Structural Design. In: Management Science, Jg. 1986, H. 5, S. 554-571.
- Dang86 Dangelmaier, W.:  
Algorithmen und Verfahren zur Erstellung innerbetrieblicher Anordnungspläne; Berlin, Heidelberg, New York (Springer Verlag) 1986.
- Dang03 Dangelmaier, W.:  
Produktion und Information: System und Modell; Berlin u.a. (Springer Verlag) 2003.
- Davi89 Davis, F. D.:  
Perceived Usefulness, Perceived Ease of Use, and User Acceptance of Information Technology. In: MIS Quarterly, Jg. 1989, H. 13, S. 319-339.
- Deib95 Deibl, M.:  
Kommunikation im Betrieb; Wien (Linde) 1995.
- DIN1450 DIN 1450:  
Schriften, Leserlichkeit; Deutsche Industrie Norm, Berlin, Köln (Beuth-Verlag) 1993.
- DIN14738 DIN EN ISO 14738:  
Sicherheit von Maschinen - Anthropometrische Anforderungen an die Gestaltung von Maschinenarbeitsplätzen (ISO 14738:2002); Deutsche Fassung EN ISO 14738:2002 + AC:2004; Deutsche Industrie Norm, Berlin, Köln (Beuth-Verlag) 2005.
- DIN19045 DIN 19045-3:  
Projektion von Steh- und Laufbildern - Teil 3: Mindestmaße für kleinste Bildelemente, Linienbreiten, Schrift- und Bildzeichengrößen in Originalvorlagen für die Projektion; Deutsche Industrie Norm, Berlin, Köln (Beuth-Verlag) 1998.

- DIN43790 DIN 43790:  
Grundregeln für die Gestaltung von Strichskalen und Zeigern; Deutsche Industrie Norm, Berlin, Köln (Beuth-Verlag) 1991.
- DIN45645 DIN 45645:  
Ermittlung von Beurteilungspegeln aus Messungen - Teil 2: Geräuschemissionen am Arbeitsplatz; Deutsche Industrie Norm, Berlin, Köln (Beuth-Verlag) 1997.
- DIN60204 DIN EN 60204-1; VDE 0113-1:  
Sicherheit von Maschinen - Elektrische Ausrüstung von Maschinen - Teil 1: Allgemeine Anforderungen (IEC 60204-1:2005, modifiziert); Deutsche Fassung EN 60204-1:2006; Deutsche Industrie Norm, Berlin, Köln (Beuth-Verlag) 2007.
- DIN60268 DIN EN 60268-16:  
Elektroakustische Geräte - Teil 16: Objektive Bewertung der Sprachverständlichkeit durch den Sprachübertragungsindex; Deutsche Industrie Norm, Berlin, Köln (Beuth-Verlag) 2004.
- DIN61310 DIN EN 61310-1:  
Sicherheit von Maschinen - Anzeigen, Kennzeichen und Bedienen - Teil 1: Anforderungen an sichtbare, hörbare und tastbare Signale (IEC 61310-1:1995 und Berichtigung 1995); Deutsche Fassung EN 61310-1:1995 VDE 0113-101:1996-09 ; Deutsche Industrie Norm, Berlin, Köln (Beuth-Verlag) 1996.
- DIN66201 DIN 66201:  
Begriffe bei Prozessrechensystemen; Deutsche Industrie Norm, Berlin, Köln (Beuth-Verlag) Mai 1981.
- DIN894 DIN EN 894-2:  
Sicherheit von Maschinen - Ergonomische Anforderungen an die Gestaltung von Anzeigen und Stellteilen - Teil 2: Anzeigen; Deutsche Fassung EN 894-2:1997; Deutsche Industrie Norm, Berlin, Köln (Beuth-Verlag) 1997.

- DIN9241    DIN EN ISO 9241-12:  
Ergonomische Anforderungen für Bürotätigkeiten mit  
Bildschirmgeräten - Teil 12: Informationsdarstel-  
lung; Deutsche Industrie Norm, Berlin, Köln (Beuth-  
Verlag) 2000.
- DIN9921    DIN EN ISO 9921:2003:  
Ergonomie - Beurteilung der Sprachkommunikation;  
Deutsche Industrie Norm, Berlin, Köln (Beuth-Verlag)  
2004.
- Doer03    Döring, N.:  
Sozialpsychologie des Internet: Die Bedeutung des  
Internets für Kommunikationsprozesse, Identitäten,  
soziale Beziehungen und Gruppen; Göttingen (Hogrefe)  
2003.
- Dole81    Dolezalek, C.M.; Warnecke, H.-J.; Dangelmeier, W.:  
Planung von Fabrikanlagen; Berlin, Heidelberg, New  
York (Springer Verlag) 1981.
- Drez02    Drezner, Z.; Hamacher, H.:  
Facility Location: Applications and Theory; Berlin  
u.a. (Springer Verlag) 2002.
- EuCo04    European Commission (Ed.):  
MANUFUTURE - a vision for 2020: Assuring the future  
of manufacturing in Europe; Luxembourg (Office for  
Official Publications of the European Communities)  
2004.
- Feli98    Felix, H.:  
Unternehmens- und Fabrikplanung: Planungsprozesse,  
Leistungen und Beziehungen; München, Wien (Hanser  
Verlag) 1998.
- Förs99    Förster, T.:  
Entwicklung einer Methode zur Bewertung der Wand-  
lungsfähigkeit von Produktionsbereichen für die va-  
riantenreiche Serienfertigung; Dissertation Magde-  
burg (Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg) 1999.

- Förs03 Förster, A.; Wirth, S.:  
Integrative modulare Produktionssystemplanung; Wissenschaftliche Schriftenreihe des Institutes für Betriebswissenschaften und Fabrikssysteme (Heft 35), Chemnitz (Technische Universität Chemnitz) 2003.
- Fran98 Francis, R. L.; McGinnis, L. F.; White, J. A.:  
Facility Layout and Location: An Analytical Approach; 2nd edition, Englewood Cliffs, New Jersey (Prentice-Hall) 1998.
- Goec97 Goecke, R.:  
Kommunikation von Führungskräften: Fallstudien zur Medienanwendung im oberen Management; Wiesbaden (Dt. Univ.-Verl.) 1997.
- Grab99 Grabowski, H.; Rude, S.:  
Informationslogistik: rechnerunterstützte unternehmensübergreifende Kooperation; Stuttgart, Leipzig (Teubner) 1999.
- Grob82 Grob, R.; Haffner, H.:  
Planungsleitlinien Arbeitsstrukturierung: Systematik zur Gestaltung von Arbeitssystemen; Berlin und München (Siemens Aktiengesellschaft) 1982.
- Grun06 Grundig, C.-G.:  
Fabrikplanung: Planungssystematik, Methoden, Anwendungen; 2., aktualisierte Aufl., München, Wien (Hanser Verlag) 2000.
- Häri97 Häring, R.:  
Die layoutflexible Fertigung: Grundlagen und technische Gestaltung mittels ortsveränderlicher Fertigungseinheiten; Düsseldorf (VDI-Verlag) 1997.
- Hart95 Hartmann, M.:  
Merkmale zur Wandlungsfähigkeit von Produktionssystemen bei turbulenten Aufgaben; Dissertation Magdeburg (Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg) 1995.
- HaWe69 Haller-Wedel, E.:  
Multimoment-Aufnahmen in Theorie und Praxis; 2., neubearb. Aufl., München (Hanser Verlag) 1969.

- Hein96 Heinrich, L. J.:  
Informationsmanagement: Planung, Überwachung und Steuerung der Informationsinfrastruktur; München, Wien (Oldenbourg) 1996.
- Henn95 Henn, G.:  
Visuelles Systemdenken für Kommunikationsarchitekturen. Aus: Sommer, D. (Hrsg.): Industriebau: radikale Umstrukturierung; Basel, Berlin, Boston (Birkhäuser) 1995. S. 94-107.
- Henn02 Henn, G.:  
Industry in the move - Architekturen des Wandels. Aus: Karlsruher Arbeitsgespräche 2002: Forschung für die Produktion von morgen; Karlsruhe (Karlsruher Forschungszentrum GmbH) 2002.
- Herb03 Herbst, D.:  
Unternehmenskommunikation; Berlin (Cornelsen) 2003.
- Hern03 Hernández, R.:  
Systematik der Wandlungsfähigkeit in der Fabrikplanung; Dissertation, Düsseldorf (VDI-Verlag) 2003.
- Hild05 Hildebrand, T.; Mäding, K.; Günther, U.:  
Plug + Produce: Gestaltungsstrategien für die wandlungsfähige Fabrik; Chemnitz (Institut für Print- und Medientechnik, TU Chemnitz) 2005.
- Jaeg91 Jäger, A.:  
Systematische Planung komplexer Produktionssysteme; Dissertation, Berlin, Heidelberg, New York (Springer Verlag) 1991.
- Kett84 Kettner, H.; Schmidt, J.; Greim, H.-R.:  
Leitfaden der systematischen Fabrikplanung; München, Wien (Hanser Verlag) 1984.
- Kies07 Kieser, A.; Walgenbach, P.:  
Organisation; 5., überarb. Aufl., Stuttgart (Schäffer-Poeschel) 2007.

- Klop99      Klopp, M.:  
Gesetzmäßigkeiten konsistenter Ziele zur Führung von  
Produktionsnetzwerken in der Serienfertigung; Dis-  
sertation, Magdeburg (Otto-von-Guericke-Universität  
Magdeburg) 1999.
- KuKo07      Kulturel-Konak, S.:  
Approaches to uncertainties in facility layout prob-  
lems: Perspectives at the beginning of the 21st Cen-  
tury. In: Journal of Intelligent Manufacturing, 18.  
Jg. (2007), H. 2, S. 273-284.
- Krie96      Krieger, D. J.:  
Einführung in die allgemeine Systemtheorie; München  
(Wilhelm Fink) 1996.
- Kühn95      Kühnle, H.:  
Prinzip der Fraktalen Fabrik verändert Informations-  
fluss. In: Maschinenmarkt, 101. Jg. (1995), H. 18, S.  
74-80.
- Kühn95a     Kühnle, H.; Braun, J.; Hüser, M.:  
Produzieren in turbulentem Umfeld. Aus: Warnecke,  
H.-J. (Hrsg.): Aufbruch zum Fraktalen Unternehmen -  
Praxisbeispiele für neues Denken und Handeln; Berlin,  
Heidelberg, New York (Springer Verlag) 1995. S. 8-36.
- Kühn96      Kühnle, H.; Henn, G.:  
Strukturplanung. Aus: Eversheim, W.; Schuh, G.; Aka-  
demischer Verein Hütte (Hrsg.): Hütte: Taschenbuch  
für Betriebsingenieure (Betriebshütte), Produktion  
und Management (Band 2); Berlin, Heidelberg, New Y-  
ork (Springer Verlag) 1996.
- Kühn99      Kühnle, H.:  
Simultane Fabrikgestaltung. In: Werkstattstechnik,  
89. Jg. (1999), H. 1/2, S. 13-17.

- Kühn03 Kühnle, H.; Bergmann, U.; Wagenhaus, G.:  
Approaches to communication orientated configuration of production systems. Aus: 4th Wroclaw Symposium in Production Automation: Science-Knowledge-Innovation; Scientific papers of the Institute of Mechanical Engineering and Automation of the Wroclaw University of Technology; Wroclaw (No. 84) 2003.
- Kühn07 Kühnle, H.:  
Post mass production paradigm (PMPP) trajectories. In: Journal of Manufacturing Technology Management, Vol. 18. (2007), H. 8, S. 1022-1037.
- Kühn07a Kühnle, H.:  
A system of models contribution to production network (PN) theory. In: Journal of intelligent manufacturing, Vol. 18 (2007), H. 5, S. 543-551.
- Kühn08 Kühnle, H.; Wagenhaus, G.; Bergmann, U.:  
Der "China - Preis - Faktor": Wirkungen der Chinesischen Industriekapazitäten auf Produktionsstrategien und Betriebsstrukturen. In: Industrie-Management, Bd. 24 (2008), H. 1, S. 23-26.
- Laux07 Laux, H.:  
Entscheidungstheorie; 7., überarb. und erw. Aufl., Berlin u.a. (Springer Verlag) 2007.
- Like04 Liker, J. K.:  
The Toyota way: 14 management principles from the world's greatest manufacturer; New York (McGraw-Hill) 2004.
- Lin99 Lin, L. C.; Sharp, G. P.:  
Quantitative and qualitative indices for the plant layout evaluation problem. In: European Journal of Operational Research, 116. Jg. (1999), H. 1, S. 100-117.
- Luhm06 Luhmann, N.:  
Einführung in die Systemtheorie; 3. Aufl., Heidelberg (Carl-Auer-Systeme-Verl.) 2006.

- Mach74 Macher, F.:  
Methoden und Verfahren des Arbeitsstudiums; Berlin  
(Verlag Die Wirtschaft) 1974.
- Mart76 Martin, H.:  
Eine Methode zur integrierten Betriebsmittelanord-  
nung und Transportplanung; Dissertation, Berlin (TU-  
Berlin) 1976.
- Masl98 Maslo, J.; von Bismarck, W.-B.; Held, M.:  
Szenarien informeller Kommunikation. Aus: Bungard, W.  
(Hrsg.): Mannheimer Beiträge zur Wirtschafts- und  
Organisationspsychologie; Mannheim 1998, S. 37-45.
- Mast02 Mast, C.:  
Unternehmenskommunikation; Stuttgart (Lucius & Luci-  
us) 2002.
- Mehr05 Mehrotra, N.; Syal M.; Hastak, M.:  
Manufactured Housing Production Layout Design. In:  
Journal of Architectural Engineering, 11. Jg. (2005),  
H. 1, S. 25-34.
- Menz00 Menzel, W.:  
Partizipative Fabrikplanung: Grundlagen und Anwen-  
dung; Dissertation, Düsseldorf (VDI-Verlag) 2000.
- Mert00 Mertens, S.:  
Herstellung der Abgeschlossenheit betrieblicher Pro-  
zesse durch Abgleich von Verantwortung und Informa-  
tionsfluss; Dissertation Magdeburg (Otto-von-  
Guericke-Universität Magdeburg) 2000.
- Mich05 Michulitz, C.:  
Kommunikationsprozessanalyse - ein interdisziplinä-  
rer Beitrag zur Analyse der Kommunikation in Organi-  
sationen; Dissertation Aachen (Shaker Verlag) 2005.
- MüSe05 Müller-Seegers, M., Gader, M.:  
Nach dem Vorbild der Natur - Kommunikationsstruktu-  
ren in der Fabrik. In: Produktionstechnik Hannover  
informiert, 6. Jg. (2005), H. 3, S. 8-9.

- Muth73 Muther, R.:  
Systematic Layout Planning; 2nd Edition, Boston  
(Cahners Books International) 1973.
- Nix05 Nix, M.:  
Web Content Management: CMS verstehen und auswählen;  
Frankfurt a. M., (Software-und-Support-Verl.) 2005.
- Nyhu04 Nyhuis, P.; Elscher, A.; Kolakowski, M.:  
Prozessmodell der Synergetischen Fabrikplanung:  
Ganzheitliche Integration von Prozess- und Raumsicht.  
In: Werkstattstechnik, 94. Jg. (2004), H. 4, S. 95-  
99.
- Nyhu05 Nyhuis, P.; Müller-Seegers, M.:  
Gestaltung kommunikationsfördernder Fabriken: Ver-  
knüpfung betrieblicher Arbeitsprozesse durch den Ab-  
bau von Kommunikationsbarrieren. In: Werkstattstech-  
nik, 95. Jg. (2005), H. 5, S. 378-382.
- Oltr93 Oltrogge, J.:  
Informationslogistik in Flugzeugüberholbetrieben;  
Dissertation, Düsseldorf (VDI-Verlag) 1993.
- Pahl07 Pahl, G.; Beitz, W.; Feldhusen, J.; Grote, K.-H.:  
Konstruktionslehre: Grundlagen erfolgreicher Pro-  
duktentwicklung, Methoden und Anwendungen; Berlin,  
Heidelberg (Springer Verlag) 2007.
- Penn99 Penn, A.; Desyllas, J.; Vaughan, L.:  
The space of innovation: interaction and communica-  
tion in the work environment. In: Environment and  
Planning B: Planning and Design, 26. Jg. (1999), S.  
193-218.
- Pico96 Pico, A.; Rohrbach, P.:  
Informations- und Kommunikationssysteme. Aus: Kern,  
W.; Schröder, H.-H.; Weber, J. (Hrsg.): Handwörter-  
buch der Produktionswirtschaft; 2., völlig neu ges-  
taltete Aufl., Stuttgart (Schäffer-Poeschel) 1996. S.  
704-717.
- Pico03 Picot, A.; Reichwald, R.; Wigand, R. T.:  
Die grenzenlose Unternehmung Information, Organisa-  
tion und Management; Wiesbaden (Gabler) 2003.

- Piwi05 Piwinger, M.; Porák, V.:  
Grundlagen und Voraussetzungen des Kommunikations-  
Controllings. Aus: Piwinger, M.; Porák, V. (Hrsg.):  
Kommunikations-Controlling: Kommunikation und Infor-  
mation quantifizieren und finanziell bewerten; Wies-  
baden (Gabler) 2005. S. 11-55.
- PMBOK04 PMBOK-Guide: A guide to the project management body  
of knowledge Newtown; Square, PA (Project Management  
Institute) 2004.
- Port80 Porter, M.:  
Competitive Strategy: Techniques for Analyzing In-  
dustries and Competitors; New York (Free Press) 1980.
- Prib96 Pribella, P.; Reichwald, R.; Goecke, R.:  
Telekommunikation im Management: Strategien für den  
globalen Wettbewerb; Stuttgart (Schäffer-Poeschel)  
1996.
- Prob06 Probst, G. J. B.; Raub, S.; Romhardt, K.:  
Wissen managen: Wie Unternehmen ihre wertvollste  
Ressource optimal nutzen; Wiesbaden (Gabler) 2006.
- Rawa06 Rawabdeh, I.; Tahboub, K.:  
A new heuristic approach for a computer-aided facil-  
ity layout. In: Journal of Manufacturing Technology  
Management, 17. Jg. (2006), H. 7, S. 962-986.
- Rayw96 Rayward-Smith, V. J.:  
Modern Heuristic Search Methods; Chichester, New  
York (Wiley) 1996.
- Reic99 Reichwald, R.:  
Informationsmanagement. Aus: Bietz, M; Dellmann, K.;  
Domsch, M.; Egner, H. (Hrsg.): Vahlens Kompendium  
der Betriebswirtschaftslehre; 4., völlig überarb.  
und erw. Aufl. (Bd. 2), München (Vahlen) 1999. S.  
221-288.
- Reic01 Reichardt, J.:  
Kommunikationsorientierte Fabrikstrukturen. Aus:  
Fabrik 2005+: Agilität und Produktivität im Fokus; 3.  
Deutsche Fachkonferenz Fabrikplanung, Stuttgart  
(Verlag moderne industrie) 2001.

- Reic06 Reichwald, R.; Piller, F.:  
Interaktive Wertschöpfung: Open Innovation, Individualisierung und neue Formen der Arbeitsteilung; Wiesbaden (Gabler) 2006.
- Reis97 Reising, W:  
Verantwortung als Ordnungskriterium zur Bildung von Produktionsstrukturen für reaktionsschnelle Serienauftragserfüllung; Dissertation Magdeburg (Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg) 1997.
- Remu02 Remus, U.:  
Prozessorientiertes Wissensmanagement - Konzepte und Modellierung; Dissertation, Regensburg (Universität Regensburg) 2002.
- Ried00 Riedl, R.:  
Strukturen der Komplexität: eine Morphologie des Erkennens und Erklärens; Berlin u.a. (Springer Verlag) 2000.
- Riet00 Rietz, S.:  
Methodik zur zieladäquaten Bildung von Fertigungsgroßstrukturen; Dissertation Magdeburg (Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg) 2000.
- Rock78 Rockstroh, W.:  
Die technologische Betriebsprojektierung (Band 1-4); Berlin (Verlag Technik) 1977.
- Romh98 Romhardt, K.:  
Die Organisation aus der Wissensperspektive: Möglichkeiten und Grenzen der Intervention; Wiesbaden (Gabler) 1998.
- Ropo99 Ropohl, G.:  
Allgemeine Technologie: Eine Systemtheorie der Technik; München, Wien (Hanser Verlag) 1999.
- Rügg02 Rügge, I.:  
Technologische und anwendungsorientierte Potenziale mobiler, tragbarer Computersysteme; Bremen (TZI-Bericht 24) 2002

- Ruud05 Ruud, T. F.; Pfister, J:  
Erfassung und Zuteilung der Informations- und Kommunikationskosten aus konzeptioneller Perspektive. Aus: Piwinger, M.; Porák, V. (Hrsg.): Kommunikations-Controlling: Kommunikation und Information quantifizieren und finanziell bewerten; Wiesbaden (Gabler) 2005. S. 57-75.
- ScDi90 Schulze Dieckhoff, M.:  
Integriertes System zur ablauforientierten Fabrikplanung; Dissertation, München (Hanser Verlag) 1990.
- Sche03 Schenk, M.; Wirth, S.:  
Fabrikplanung und Fabrikbetrieb: Methoden für die wandlungsfähige und vernetzte Fabrik; Berlin, Heidelberg, New York (Springer Verlag) 2004.
- Schm70 Schmigalla, H.:  
Methoden zur optimalen Maschinenanordnung; Berlin (Verlag Technik) 1970.
- Schm86 Schmigalla, H.:  
Rechnergestütztes Projektieren: Betriebsgestaltung im Dialog; Berlin (Verlag Technik) 1986.
- Schm95 Schmigalla, H.:  
Fabrikplanung - Begriffe und Zusammenhänge; München, Wien (Hanser Verlag) 1995.
- Schn00 Schneider, B.:  
Strategische Fabrikstrukturen - auch für mittelständische Unternehmensgrößen tragbar? Aus: Düsseldorfer Produktionstage 2000 - Menschen und Prozesse; Düsseldorf (VDI-Verlag) 2000.
- Schu05 Schultetus, W.:  
Praxisrelevanz arbeitswissenschaftlicher Erkenntnisse - Anforderungen an die Unternehmen und wirtschaftlicher Nutzen; Dissertation, Chemnitz (Technische Universität Chemnitz) 2005.
- Shan76 Shannon, C. E.; Weaver, W.:  
Mathematische Grundlagen der Informationstheorie; München (Oldenbourg) 1976.

- Shan93      Shang, J. S:  
Multicriteria facility layout problem: An integrated approach. In: European Journal of Operational Research, 66. Jg. (1993), H. 3, S. 291-304.
- Sing06      Singh, S.; Sharma, R.:  
A Review of Different Approaches to the Facility Layout Problems. In: International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 30. Jg. (2006), H. 5/6, S. 425-433.
- Somm87      Sommer, D.:  
Industriebau: Anregungen zum Mitgestalten; Wien (Verlag des ÖGB) 1987.
- Spat03      Spath, D.; Wilhelm, S.:  
Information und Kommunikation in der Produktion: Handlungsbedarfe und Handlungsempfehlungen für die Informationsbewirtschaftung direkt produktiver Bereiche; Stuttgart (Fraunhofer IRB Verlag) 2003.
- Spur94      Spur, G.:  
Fabrikbetrieb; München, Wien (Hanser Verlag) 1994.
- Sysk06      Syska, A.:  
Produktionsmanagement: Das A - Z wichtiger Methoden und Konzepte für die Produktion von heute; Wiesbaden (Gabler) 2006.
- Tkin06      T'kindt, V.; Billaut, J.-C.:  
Multicriteria Scheduling Theory, Models and Algorithms; Berlin u.a. (Springer Verlag) 2006.
- Tomp96      Tompkins, J.A.; White, Y.A.; Bozer, E.H.; Frazelle; J.M.A. Tanchoco; Trevino, J.:  
Facilities Planning; 2nd Edition, New York (John Wiley and Sons) 1996.
- Ulic05      Ulich, Eberhard:  
Arbeitspsychologie; 6., überarb. und erw. Aufl., Stuttgart (Schäffer-Poeschel) 2005.

- VDI2385 VDI-Richtlinie 2385  
Leitfaden für die materialflussgerechte Planung von Industrieanlagen; Berlin, Köln (Beuth-Verlag) 1989.
- VDI3300 VDI-Richtlinie 3300  
Materialfluss-Untersuchungen; Berlin, Köln (Beuth-Verlag) 1973.
- VDI3595 VDI-Richtlinie 3595  
Methoden zur materialflussgerechten Zuordnung von Betriebsbereichen- und mitteln; Berlin, Köln (Beuth-Verlag) 1999.
- VDI3637 VDI-Richtlinie 3637  
Datenermittlung für langfristige Fabrikplanung; Berlin, Köln (Beuth-Verlag) 1996.
- VDI3850 VDI-/VDE-Richtlinie 3850  
Nutzergerechte Gestaltung von Bediensystemen für Maschinen; Berlin, Köln (Beuth-Verlag) 2004.
- Wage03 Wagenhaus, G.; Bergmann, U.:  
Planning and configuration of production systems with FacToTuM. Aus: 4th Wroclaw Symposium in Production Automation: Science-Knowledge-Innovation; Scientific papers of the Institute of Mechanical Engineering and Automation of the Wroclaw University of Technology; Wroclaw (No. 84) 2003.
- Warn95 Warnecke, H.-J. (Hrsg.):  
Aufbruch zum Fraktalen Unternehmen - Praxisbeispiele für neues Denken und Handeln; Berlin, Heidelberg, New York (Springer Verlag) 1995.
- Wäsc82 Wäscher, G.:  
Innerbetriebliche Standortplanung bei einfacher und mehrfacher Zielsetzung; Wiesbaden (Gabler) 1982.
- Wäsc84 Wäscher, G.:  
Innerbetriebliche Standortplanung: Modelle bei einfacher und mehrfacher Zielsetzung. In: ZFBF Zeitschrift für betriebswirtschaftliche Forschung, 36. Jg. (1984), H. 11, S. 930-958.

- Wäsc87 Wäscher, G.; Chamoni, P.:  
MICROLAY: An interactive computer program for factory layout planning on microcomputers. In: European Journal of Operational Research, 31. Jg. (1987), H. 2, S. 185-193.
- Watz07 Watzlawick, P.; Beavin, J. H.; Jackson, D. D.:  
Menschliche Kommunikation: Formen, Störungen, Paradoxien; 11., unveränd. Aufl., Bern, Stuttgart, Wien (Huber) 2007.
- Wien96 Wiendahl, H.-P.:  
Grundlagen der Fabrikplanung. Aus: Eversheim, W.; Schuh, G.; Akademischer Verein Hütte (Hrsg.): Hütte: Taschenbuch für Betriebsingenieure (Betriebshütte), Produktion und Management (Band 2); Berlin, Heidelberg, New York (Springer Verlag) 1996.
- Wien01 Wiendahl, H.-P.; Reichardt, J.; Hernández, R.:  
Kooperative Fabrikplanung: Wandlungsfähigkeit durch zielorientierte Integration von Prozess- und Bauplanung. In: Werkstattstechnik, 91. Jg. (2001), H. 4, S. 139-143.
- Wien02 Wiendahl, H.-P.; Hernández, R.:  
Fabrikplanung im Blickpunkt: Herausforderung Wandlungsfähigkeit. In: Werkstattstechnik, 92. Jg. (2002), H. 4, S. 133-138.
- Wien05 Wiendahl, H.-P.; Noden, D.; Klußmann, J. H.; Breitenbach, F.:  
Planung modularer Fabriken: Vorgehen und Beispiele aus der Praxis; München, Wien (Hanser Verlag) 2005.
- Wien05a Wiendahl, H.P.:  
Betriebsorganisation für Ingenieure; 5., aktualisierte Aufl., München (Hanser Verlag) 2005.

- Wilh07     Wilhelm, B.:  
Wissensmanagement Know-How-Transfer - Standards zum verteilten Produzieren am Beispiel der Automobilindustrie. In: „Wissenschaft und Praxis“; Vortragsreihe am Institut für Betriebswissenschaften und Fabrikssysteme, Technische Universität Chemnitz, vorgelesen am 27.06.2007
- Wirt89     Wirth, S.:  
Flexible Fertigungssysteme; Berlin (Verlag Technik) 1989.
- Wirt00     Wirth, S.; Mann, H.; Otto, R.:  
Layoutplanung betrieblicher Funktionseinheiten - Leitfaden; Wissenschaftliche Schriftenreihe des Institutes für Betriebswissenschaften und Fabrikssysteme (Heft 25), Chemnitz (Technische Universität Chemnitz) 2000.
- Wirt02     Wirth, S.:  
Vernetzt planen und produzieren; Stuttgart (Schäffer-Poeschel) 2002.
- Wirt04     Wirth, S.; Erfurth, R.; Olschewski, T.:  
Mobilitätsstufenabhängige Fabrikplattformen: Flexibilisierung bestehender Fabrikstrukturen. In: Werkstattstechnik, 93. Jg. (2003), H. 4, S. 287-294.
- Wöhe05     Wöhe, G; Döring, U.:  
Einführung in die allgemeine Betriebswirtschaftslehre; 22., neubearbeitete Aufl., München (Vahlen) 2005.
- Woit77     Woithe, G.:  
Betriebsgestaltung. Aus: Beckert, M. (Hrsg.): Betriebs- und Arbeitsgestaltung, Nutzensrechnung, Operationsforschung; Leipzig (Fachbuchverl.) 1977. S. 11-240.
- Zang76     Zangemeister, C.:  
Nutzwertanalyse in der Systemtechnik: Eine Methodik zur multidimensionalen Bewertung und Auswahl von Projektalternativen; München (Wittmann) 1976.

Zülc93      Zülch, G.:  
Integrierte Fabrikplanung: Ansätze zu einer ganz-  
heitlichen Vorgehensweise. In: VDI-Z, 135. Jg.  
(1993), H. 3, S. 34-38.

**Anhang I: Ziel-Ordnungsmatrix**

*Tabelle A 1: Ordnungsmatrix zur rechnergestützten Katalogisierung potentieller Zielstellungen (konzeptionelle Darstellung)*

Zielstellung	Zielkriterium	Zuordnung zu Zielarten					Spezifika	
		stoffliche Relationen	informationelle Relationen	energetische Relationen	personelle Relationen	ökonomische Relationen	allgemeingültig	fallspezifisch
minimale produktseitige Materialflusskosten		x					x	
	Transportintensität	x					x	
minimale Kosten zur Beseitigung der Abfallstoffe		x					x	
	Späneabfallmenge	x					x	
maximaler Einsatz ungebundener Kommunikation			x				x	
	Entfernung zwischen den Arbeitsplätzen		x					x
minimaler Einsatz gebundener Kommunikation			x				x	
	Anzahl der Telefonate		x					
minimale elektrische Leistungsverluste				x			x	
	Blindleistung je Leitungslänge			x			x	
minimale Kosten zur Bereitstellung von Erdgas				x				x
	Entfernung Lager zu Einsatzort			x				x
minimaler Personenfluss der Angestellten					x		x	
	Entfernung Arbeitsplatz zu Kopierer				x			x
minimaler Personenfluss im Produktionssystem					x		x	
	Entfernung Arbeitsplatz zu Werkzeugausgabe				x			x
maximale marktwirksame Leistung						x	x	
	Ertrag					x	x	
minimale innerbetriebliche Verschwendung						x	x	
	Kosten					x	x	

## **Anhang II: Modifizierte Arbeitstagaufnahme**

Nachfolgend sind die Ablaufschritte einer modifizierten Arbeitstagaufnahme (ATA) zur Erfassung der Häufigkeit informationeller Beziehungen aufgeführt.

### 1. Untersuchungsziel formulieren

- Häufigkeit der Durchführung einer bestimmten Ablaufart / Tätigkeit ermitteln

### 2. Vorbereitung

- Konkretisierung der zu erhebenden Daten
- Geeignetes Formular bereitstellen / entwickeln (siehe hierzu Abbildung A 1)
- Zeitraum der Aufnahme festlegen
- Beteiligte informieren

### 3. Probelauf

- Ergebnisse auf Plausibilität prüfen

### 4. Ausführung der Erhebung

- Ergebnisse arbeitstäglich dem Auswerter übermitteln, um mögliche Fehlaufnahmen zu identifizieren

### 5. Aufbereitung und Verwendung der Daten

- Im vorliegenden Falle werden die Daten dem Planer zur Verwendung bei der kommunikationsorientierten Anordnungsoptimierung zugeführt.

<b>Erfassungsbogen für Arbeitstagaufnahme (Beobachtung)</b> (Häufigkeit von LuK-Beziehungen)	Beobachter:	Datum:
	IAF	03. Juli

Bereich: Vorfertigung		lfd. Nr.:	016	Beginn:	7:30	Uhr	Ende:	12:30	Uhr
Beobachtungsobjekte	Nr.	Mitarbeiter VF A1	Mitarbeiter VF A2	Mitarbeiter VF A3	Mitarbeiter VF A4	Mitarbeiter VF B	Mitarbeiter VF C1	Mitarbeiter VF C2	Mitarbeiter Büro I
		1	--		//// /	/	/	//// //	
Mitarbeiter VF A1	1					/		//// /	/
Mitarbeiter VF A2	2		--			//	////	/	////
Mitarbeiter VF A3	3			--	/	//	////	/	////
Mitarbeiter VF A4	4				--	//// /	//// /		////
Mitarbeiter VF B	5					--	/		//
Mitarbeiter VF C1	6						--	//// //	////
Mitarbeiter VF C2	7							--	////
Mitarbeiter Büro I	8								--

Abbildung A 1: Exemplarischer ATA-Erfassungsbogen

### **Anhang III: Multimoment-Häufigkeits-Analyseverfahren**

Nachfolgend sind die Ablaufschritte eines modifizierten Multimoment-Häufigkeits-Analyseverfahrens (MMH) zur Erfassung der Häufigkeiten informationeller Beziehungen aufgeführt.

Planung der MMH:

#### 1. Vorbereitung

Im ersten Schritt erfolgt die Auswahl und Beschreibung der zu beobachtenden Objekte (Arbeitssystem, Betriebsmittel, Mensch). Dies kann unter Rückgriff auf Daten aus der indirekten Datenermittlung erfolgen.

#### 2. Ablaufarten festlegen und beschreiben

Die Abgrenzung der zu beobachtenden Ereignisse und u.U. die Festlegung einzelner Beobachtungsbereiche zur Sicherstellung einer eindeutigen Beobachtung sind Inhalt des zweiten Schrittes. Weiterhin ist zu klären:

- Welche Ablaufarten sollen aufgenommen werden?
- Ist der aufzunehmende Vorgang „multimomentfähig“?

Generell gilt, je weniger Vorgänge aufgenommen werden müssen, desto einfacher ist die Aufnahme! Ist im Anwendungsfall die direkte Sprachkommunikation von Interesse, ist diese als beobachtete Ablaufart zu notieren und den beiden beteiligten Kommunikationspartnern zuzuordnen (Ablaufart „sprachliche Kommunikation“ - ja / nein? Wenn ja: Wer kommuniziert mit wem?).

#### 3. Rundgangsplan festlegen

Wenn erforderlich, ist eine Skizze für die geplanten Rundgänge zu erstellen. In Abbildung A 2 ist ein Rundgangsplan exemplarisch dargestellt.

#### 4. Erforderlichen Beobachtungsumfang bestimmen

Die Anzahl  $N$  der notwendigen Notierungen wird auf Basis des vermuteten Anteils  $p$  der fokussierten Ablaufart und des Vertrauensbereichs  $f$  unter Voraussetzung einer Normalverteilung  $z$  der Grundgesamtheit bestimmt:

$$N = \frac{z_a^2 \cdot p_i (100 - p_i)}{f^2}$$

Die sich daraus ableitende Anzahl der Rundgänge  $R$  ist abhängig von der Anzahl der Beobachter  $B$  und der Anzahl zu beobachtender Objekte  $n$ .



### 5. Auswahl eines passenden Aufnahmeformulars

Unter Berücksichtigung der Hinweise von Schmigalla und i.A. an standardisierte Aufnahmeformulare wird die Form einer Matrix zur Aufnahme der erkannten Ablaufart verwendet (siehe Abbildung A 3). [Schm70]

### 6. Rundgangszeitpunkte bestimmen

Die Zeitpunkte der Rundgänge müssen aus statistischen Gründen und zur Vorbeugung einer möglichen Beeinflussung der Ergebnisse einer Zufälligkeit unterliegen. Hierzu werden nach Bestimmung der Anzahl täglich möglicher Rundgänge mit Hilfe der standardisierten Stunden-Minuten-Zufallstafel Zufallsrundgangszeiten festgelegt.

Durchführung des MMH:

Nach dem zugrunde liegenden Zeit- und Rundgangsplan werden die Beobachtungen durchgeführt. Hinweis: Dafür ist nicht unbedingt Fachpersonal notwendig (Kosten- und Aufwandsminimierung).

### 7. Zwischenauswertung

Nach einer Anzahl von 500 Beobachtungen erfolgt eine erste Auswertung der Ergebnisse, um die Richtigkeit des geschätzten erforderlichen Umfangs der notwendigen Beobachtungen zu überprüfen. Dazu wird der tatsächliche Vertrauensbereich nach 500 Beobachtungen bestimmt. Je nach Ergebnis dieser Berechnung sind weitere Beobachtungen auszuführen oder es kann sogleich die Endauswertung erfolgen.

### 8. Endauswertung

Zu Beginn der Endauswertung wird die Gesamtanzahl aller durchgeführten Beobachtungen bestimmt. Dem folgt die zusammenfassende Darstellung der prozentualen Häufigkeiten für die beobachtete Ablaufart je Beobachtungsobjekt in einer Dreiecksmatrix. Hierfür muss die Anzahl aller beobachteten Relationsarten gleich 100% und somit als Grundgesamtheit gesetzt werden. Dadurch sind diese Anteilwerte in heuristischen Verfahren zur Anordnungsoptimierung direkt einsetzbar.

Abschließend ist der Nachweis über den erzielten absoluten Vertrauensbereich während des MMH zu ermitteln, um Dritten die Entscheidung über die Brauchbarkeit der Analyse zu ermöglichen.

#### **Anhang IV: Kommunikationsdiagnose**

Nachfolgend ist in einer kurzen Übersicht der Grundaufbau des Befragungsbogens zur Erfassung der Inhaltlichen und Zeitlichen Relevanz von IuK-Beziehungen aufgeführt.

##### Fragenkatalog A:

- eindeutige Identifizierung (Beschreibung) des Elementes (Mitarbeiters) durch Name und Funktion (Bereich und Stelle) und Einsatzort (Ort der Arbeitsausführung)

##### Fragenkatalog B:

Charakterisierung der Inputseite (Eingangsinformationen / Benutzerseite)

- Wer empfängt was, wie, wo, von wem und wieviel?
- Inhaltliche Relevanz, Zeitliche Relevanz, Häufigkeit

##### Fragenkatalog C:

Charakterisierung der Outputseite (Ausgangsinformationen / Lieferantenseite)

- Wer sendet was, wie, wo, zu wem und wieviel?
- Inhaltliche Relevanz, Zeitliche Relevanz, Häufigkeit

**Anhang V: Matrizen der Beschreibungsparameter**

Auswertungsbogen der Datenerfassung										Bearbeiter: JAF	
Bereich: Vorfertigung		Inhaltliche Relevanz (Auswertung)									
Kommunikationspartner		Mitarbeiter VF A1	Mitarbeiter VF A2	Mitarbeiter VF A3	Mitarbeiter VF A4	Mitarbeiter VF B	Mitarbeiter VF C1	Mitarbeiter VF C2	Mitarbeiter Büro I		
Nr.		A	B	C	D	E	F	G	H		
Mitarbeiter VF A1		A	--	0	1	0	0	1	1	1	
Mitarbeiter VF A2		B		--	0	1	1	1	1	1	
Mitarbeiter VF A3		C			--	1	0	1	0	1	
Mitarbeiter VF A4		D				--	1	1	0	1	
Mitarbeiter VF B		E					--	1	1	1	
Mitarbeiter VF C1		F						--	1	1	
Mitarbeiter VF C2		G							--	0	
Mitarbeiter Büro I		H								--	
Auswertungsbogen der Datenerfassung										Bearbeiter: JAF	
Bereich: Vorfertigung		Zeitliche Relevanz (Auswertung)									
Kommunikationspartner		Mitarbeiter VF A1	Mitarbeiter VF A2	Mitarbeiter VF A3	Mitarbeiter VF A4	Mitarbeiter VF B	Mitarbeiter VF C1	Mitarbeiter VF C2	Mitarbeiter Büro I		
Nr.		A	B	C	D	E	F	G	H		
Mitarbeiter VF A1		A	--	1	3	1	1	2	2	2	
Mitarbeiter VF A2		B		--	1	3	2	2	3	2	
Mitarbeiter VF A3		C			--	1	1	2	1	4	
Mitarbeiter VF A4		D				--	2	4	1	4	
Mitarbeiter VF B		E					--	3	4	2	
Mitarbeiter VF C1		F						--	3	4	
Mitarbeiter VF C2		G							--	2	
Mitarbeiter Büro I		H								--	
Erfassungsbogen für Arbeitstagaufnahme (Beobachtung) (Häufigkeit von IuK-Beziehungen)										Bearbeiter: JAF	
Bereich: Vorfertigung		wöchentliche Häufigkeit (Auswertung)									
Beobachtungsobjekte		Mitarbeiter VF A1	Mitarbeiter VF A2	Mitarbeiter VF A3	Mitarbeiter VF A4	Mitarbeiter VF B	Mitarbeiter VF C1	Mitarbeiter VF C2	Mitarbeiter Büro I		
Nr.		1	2	3	4	5	6	7	8		
Mitarbeiter VF A1		1	--	2	13	7	1	2	8	8	
Mitarbeiter VF A2		2		--	1	5	13	11	7	7	
Mitarbeiter VF A3		3			--	1	1	13	4	20	
Mitarbeiter VF A4		4				--	1	16	2	14	
Mitarbeiter VF B		5					--	8	13	9	
Mitarbeiter VF C1		6						--	21	13	
Mitarbeiter VF C2		7							--	12	
Mitarbeiter Büro I		8								--	

Abbildung A 4: Übersicht der ermittelten Beschreibungsparameter für die sprachlichen Kommunikationsbeziehungen

Anhang VI: Grundprinzip des modifizierten Umlaufverfahrens

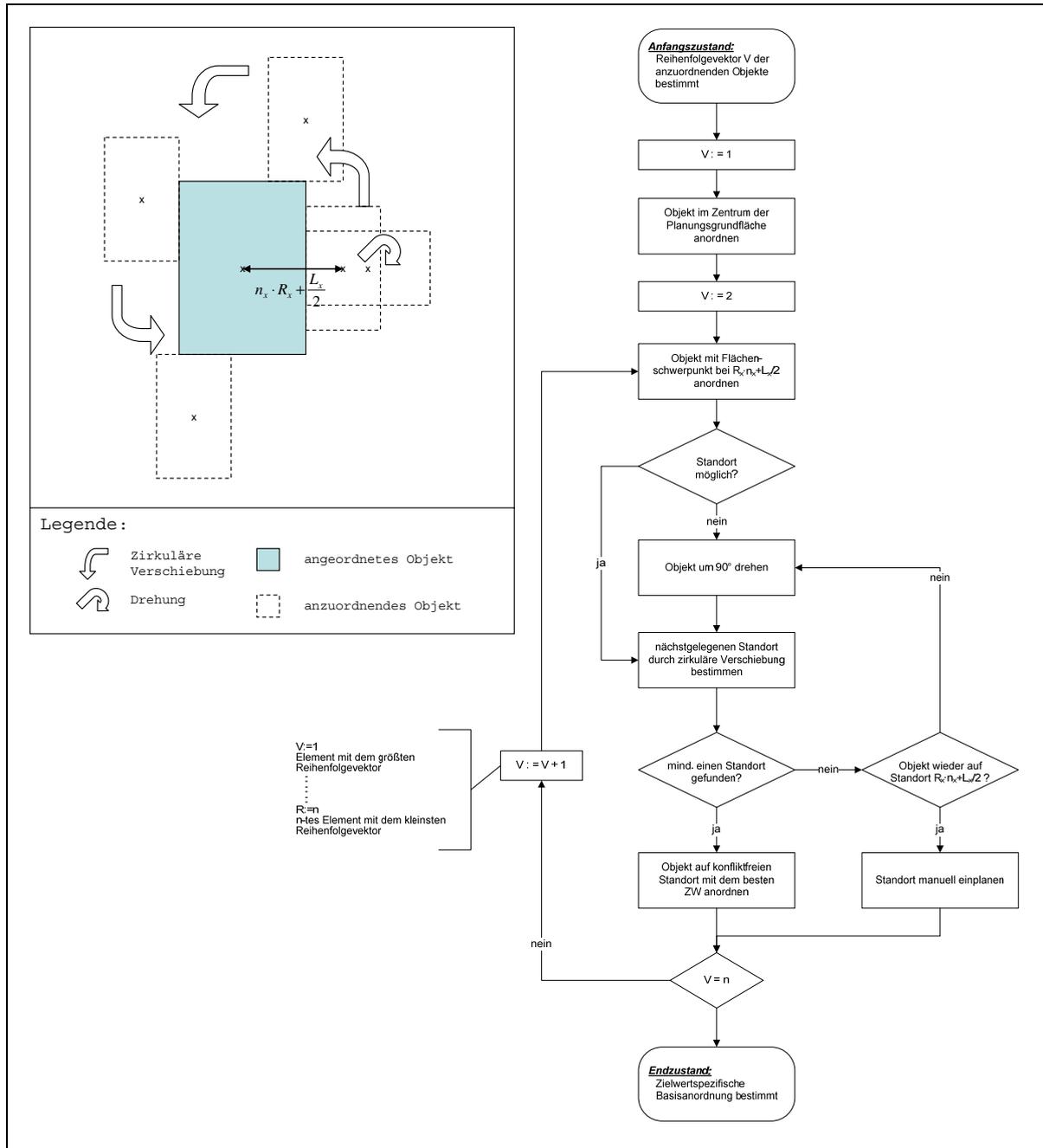


Abbildung A 5: Prinzip und Ablaufschritte des modifizierten Umlaufverfahrens

**Anhang VII: Grundprinzip des kombinierten Deplazierungs- und Vertauschungsverfahrens**

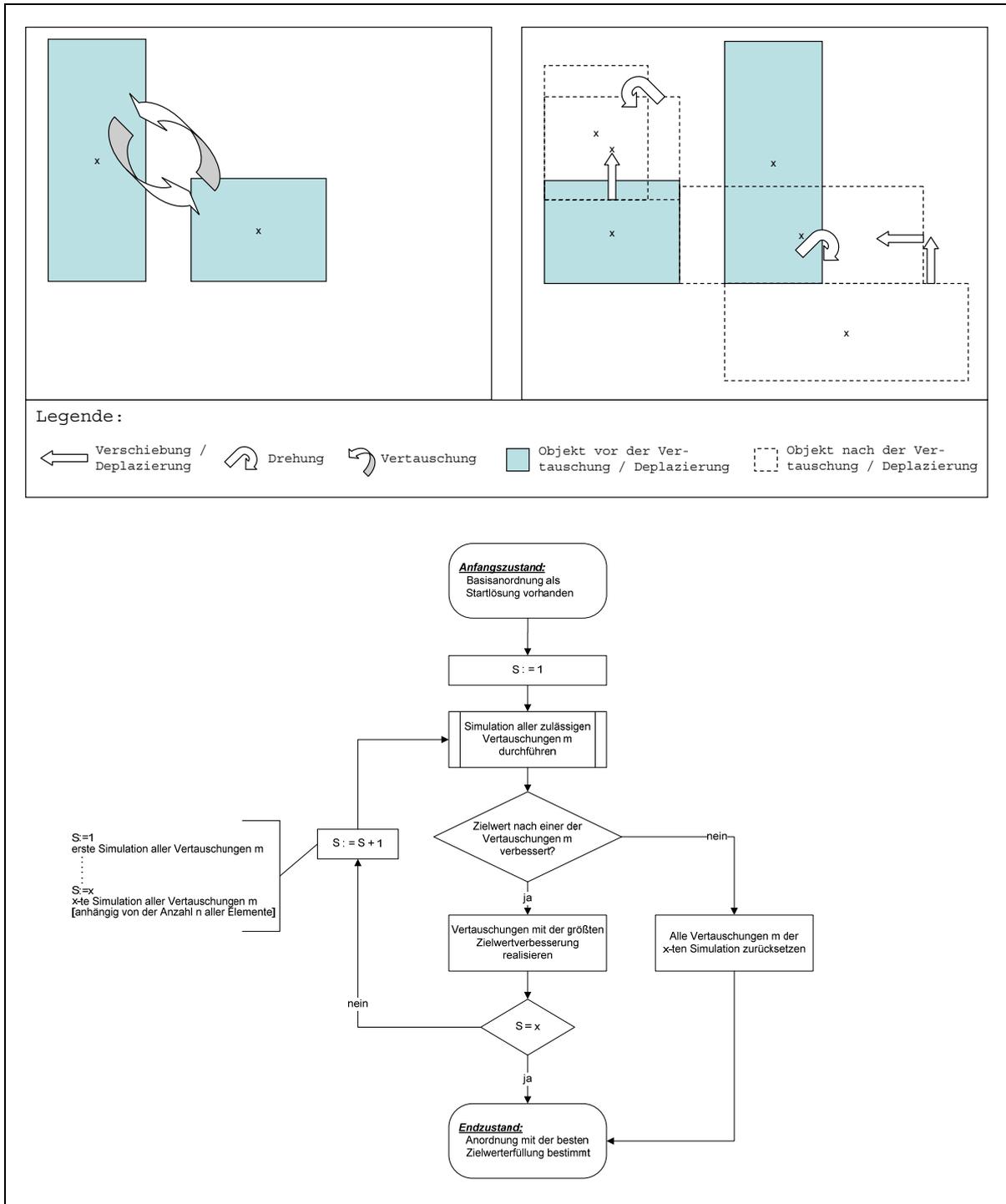


Abbildung A 6: Prinzip und Ablaufschritte des kombinierten Deplazierungs- und Vertauschungsverfahrens

Anhang VIII: Zielwertspezifische Anordnungsoptimierung

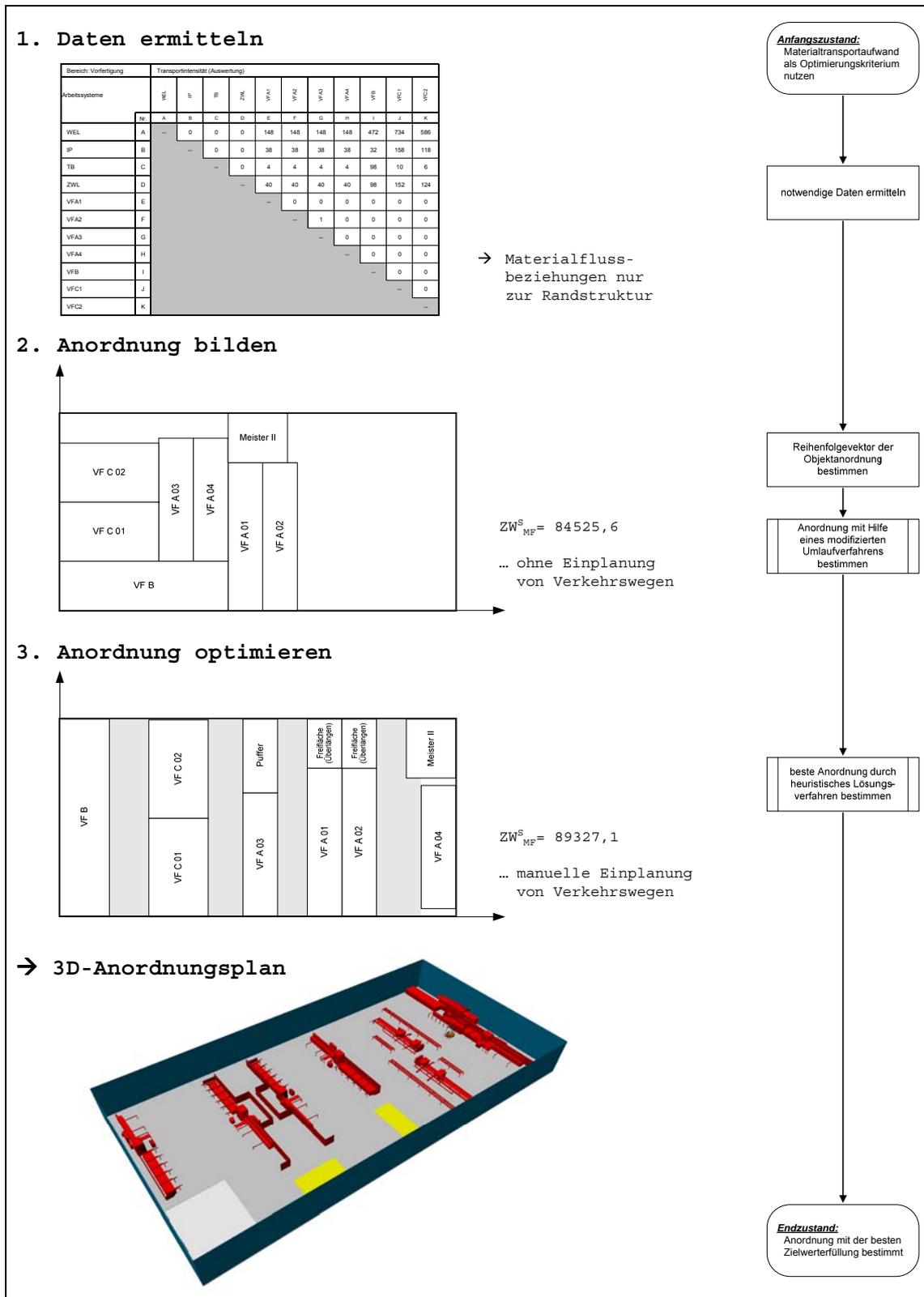


Abbildung A 7: Materialflussorientierte Anordnungsoptimierung

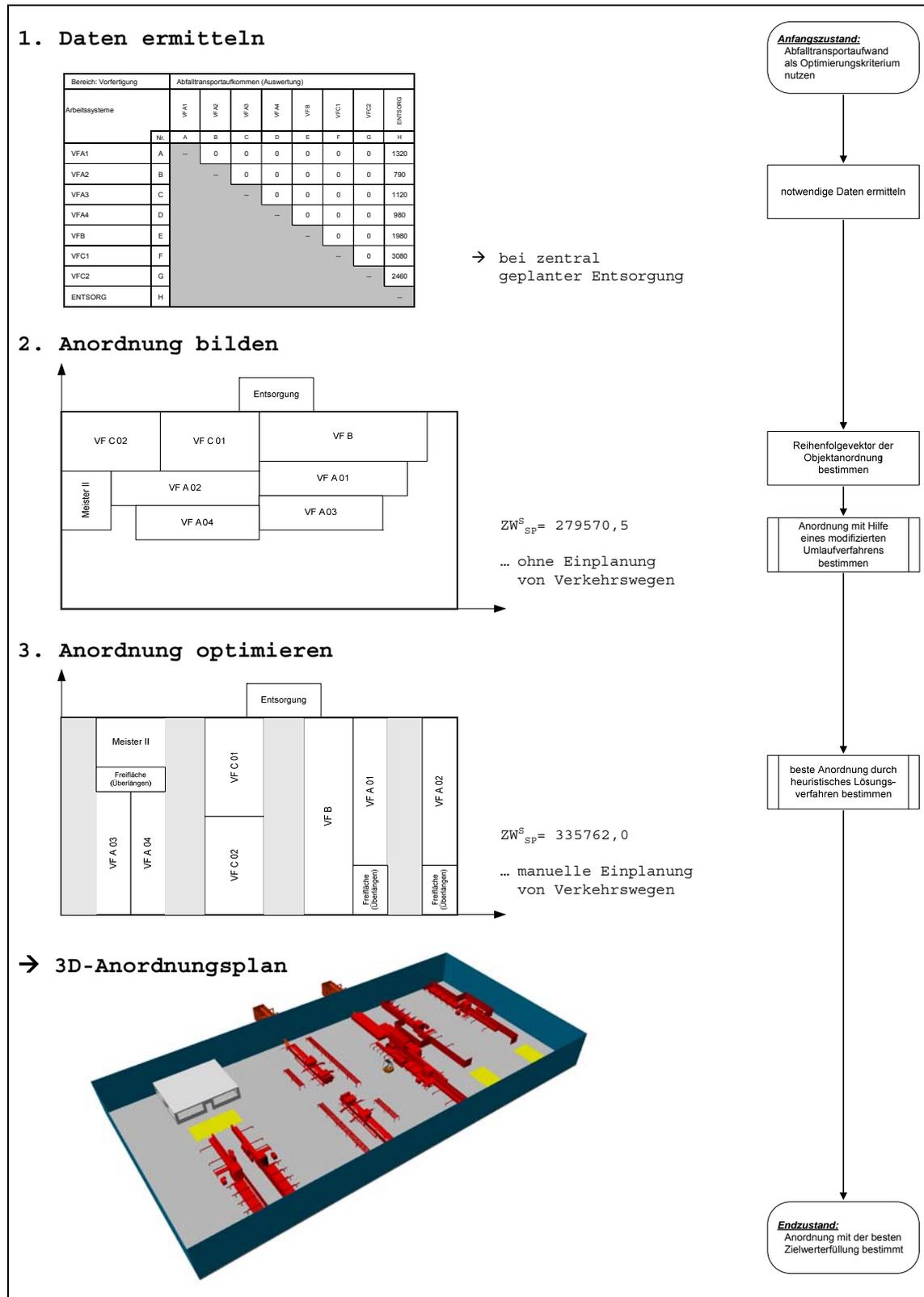


Abbildung A 8: Anordnungsoptimierung bzgl. Abfalltransportaufwand

**Anhang IX: Ergebnismatrix der Multi-Kriterien-Optimierung**

*Tabelle A 2: Ergebnismatrix der Anordnungsvarianten auf Basis einer Multi-Kriterien-Optimierung*

Rang	Var.-Nr.	Zg <sub>o</sub> <sup>0</sup>	Z <sub>SK</sub> <sup>1</sup>	Zg <sub>SK</sub> <sup>1</sup>	ZAW <sub>SK</sub> <sup>1</sup>	Z <sub>MF</sub> <sup>2</sup>	Zg <sub>MF</sub> <sup>2</sup>	ZAW <sub>MF</sub> <sup>2</sup>	Z <sub>SP</sub> <sup>2</sup>	Zg <sub>SP</sub> <sup>2</sup>	ZAW <sub>SP</sub> <sup>2</sup>
1	52	3,8	34850,7	3,63356	0,99	92912,8	4,22816	0,96	388479,2	3,86915	0,86
2	39	3,7	34931,0	3,41898	0,99	93942,7	4,01736	0,95	369297,2	4,24327	0,91
3	60	3,4	35127,5	2,93998	0,98	89892,6	4,87418	0,99	411140,1	3,47217	0,82
4	38	3,1	35260,8	2,64943	0,98	94247,1	3,95594	0,95	376450,6	4,09929	0,89
5	54	2,3	36289,2	1,12763	0,95	93035,4	4,20282	0,96	349287,5	4,67731	0,96
6	55	2,2	36217,4	1,20087	0,95	91479,9	4,52934	0,98	386410,7	3,90771	0,87
7	41	2,1	36465,3	0,96411	0,94	93605,1	4,08595	0,95	362391,2	4,38765	0,93
8	50	1,7	38064,6	0,19232	0,90	92187,3	4,37948	0,97	341132,9	4,86880	0,98
9	46	1,7	37304,2	0,43409	0,92	94706,7	3,86395	0,94	366124,0	4,30893	0,92
10	48	1,6	39290,1	0,03972	0,88	92249,7	4,36637	0,97	339047,9	4,91924	0,99
11	53	1,6	38420,0	0,12659	0,90	93035,4	4,20282	0,96	349287,5	4,67731	0,96
12	56	1,6	37917,9	0,22683	0,91	92246,8	4,36698	0,97	375234,5	4,12338	0,89
13	49	1,6	42964,7	0,00000	0,80	92249,7	4,36637	0,97	339047,9	4,91924	0,99
14	51	1,6	44789,8	0,00000	0,77	92187,3	4,37948	0,97	341132,9	4,86880	0,98
15	40	1,5	38367,5	0,13489	0,90	93605,1	4,08595	0,95	362391,2	4,38765	0,93
16	44	1,5	44444,2	0,00000	0,77	91157,4	4,59843	0,98	382176,7	3,98793	0,88
17	43	1,4	41441,9	0,00042	0,83	91157,4	4,59843	0,98	387619,1	3,88514	0,87
18	45	1,4	42137,6	0,00002	0,82	94971,5	3,81135	0,94	368186,1	4,26613	0,91
19	47	1,4	40868,4	0,00209	0,84	94706,7	3,86395	0,94	375685,6	4,11443	0,89
20	42	1,3	43934,4	0,00000	0,78	94971,5	3,81135	0,94	381032,2	4,00992	0,88
21	22	1,2	42476,8	0,00000	0,81	97188,6	3,38222	0,92	392498,2	3,79540	0,86
22	23	1,2	43454,4	0,00000	0,79	97188,6	3,38222	0,92	393474,6	3,77771	0,85
23	31	1,2	41632,5	0,00021	0,83	97694,5	3,28703	0,91	403591,5	3,59946	0,83
24	25	1,2	43220,0	0,00000	0,80	97188,6	3,38222	0,92	409421,5	3,50074	0,82
25	28	1,2	42579,0	0,00000	0,81	97694,5	3,28703	0,91	404529,9	3,58338	0,83
26	27	1,2	43111,2	0,00000	0,80	96466,9	3,51974	0,93	418721,0	3,34896	0,80
27	24	1,2	42537,4	0,00000	0,81	97188,6	3,38222	0,92	410397,9	3,48448	0,82
28	32	1,2	50605,9	-0,00038	0,68	97841,1	3,25963	0,91	403357,3	3,60349	0,83
29	33	1,2	48580,0	-0,00010	0,71	97863,9	3,25537	0,91	404211,2	3,58883	0,83
30	34	1,2	48308,7	-0,00008	0,71	97863,9	3,25537	0,91	405610,6	3,56495	0,83

Tabelle A 3: Ergebnismatrix der Anordnungsvarianten auf Basis einer Multi-Kriterien-Optimierung (Fortsetzung)

Rang	Var.-Nr.	$z_g^0$	$z_{SK}^I$	$z_{SK}^I$	$ZAW_{SK}^I$	$z_{MF}^S$	$z_{MF}^S$	$ZAW_{MF}^S$	$z_{SP}^S$	$z_{SP}^S$	$ZAW_{SP}^S$
31	35	1,2	52872,1	-0,00112	0,65	97841,1	3,25963	0,91	405753,7	3,56252	0,83
32	36	1,2	46683,8	-0,00001	0,74	97863,9	3,25537	0,91	406607,7	3,54803	0,83
33	37	1,2	45786,3	0,00000	0,75	97863,9	3,25537	0,91	408007,0	3,52443	0,82
34	26	1,1	42414,4	0,00000	0,81	97430,9	3,33650	0,92	415455,6	3,40148	0,81
35	30	1,1	42550,7	0,00000	0,81	97541,6	3,31569	0,92	418513,2	3,35228	0,80
36	29	1,1	41848,4	0,00009	0,82	97541,6	3,31569	0,92	419448,0	3,33738	0,80
37	58	-0,7	80606,2	-0,11016	0,43	169417,0	-4,45477	0,53	671596,3	0,83288	0,50
38	9	-0,7	67349,5	-0,03073	0,51	223879,4	-5,00000	0,40	685636,9	0,74757	0,49
39	8	-0,7	69815,5	-0,04161	0,49	244989,2	-5,00000	0,36	683703,3	0,75911	0,49
40	15	-0,8	80979,8	-0,11310	0,43	182237,3	-5,00000	0,49	642402,8	1,02222	0,52
41	57	-0,8	89331,5	-0,18715	0,39	174286,8	-4,74941	0,51	672290,1	0,82859	0,50
42	1	-0,8	70232,2	-0,04363	0,49	226571,2	-5,00000	0,39	766036,6	0,31926	0,44
43	14	-0,8	92269,7	-0,21652	0,37	177653,8	-4,94369	0,50	660210,4	0,90473	0,51
44	16	-0,9	95023,0	-0,24535	0,36	175843,0	-4,84013	0,51	683751,8	0,75882	0,49
45	7	-0,9	90692,5	-0,20056	0,38	188566,2	-5,00000	0,47	698189,6	0,67420	0,48
46	17	-0,9	97391,8	-0,27105	0,35	186182,0	-5,00000	0,48	656797,1	0,92676	0,51
47	3	-0,9	71145,2	-0,04824	0,48	256413,6	-5,00000	0,35	827708,6	0,04710	0,41
48	6	-0,9	92154,4	-0,21534	0,37	178561,2	-4,99479	0,50	700123,2	0,66313	0,48
49	11	-0,9	79756,9	-0,10360	0,43	193263,2	-5,00000	0,46	809955,0	0,12120	0,41
50	59	-0,9	80606,2	-0,11016	0,43	190318,2	-5,00000	0,47	833356,5	0,02419	0,40
51	18	-0,9	101866,7	-0,32155	0,34	181146,1	-5,00000	0,49	684152,7	0,75642	0,49
52	10	-1,0	92233,7	-0,21615	0,37	182443,4	-5,00000	0,49	800929,7	0,16013	0,42
53	5	-1,0	91275,2	-0,20641	0,38	200474,8	-5,00000	0,45	820084,1	0,07853	0,41
54	19	-1,0	106489,9	-0,37594	0,32	182428,9	-5,00000	0,49	693801,8	0,69954	0,48
55	12	-1,0	95023,0	-0,24535	0,36	183303,6	-5,00000	0,49	801302,5	0,15850	0,42
56	13	-1,0	98443,7	-0,28270	0,35	203030,0	-5,00000	0,44	811173,8	0,11601	0,41
57	20	-1,0	101866,2	-0,32155	0,34	197322,4	-5,00000	0,45	808806,8	0,12610	0,42
58	21	-1,1	106489,9	-0,37594	0,32	196842,9	-5,00000	0,45	816941,2	0,09166	0,41
59	2	-1,2	68693,1	-0,03643	0,50	235354,0	-5,00000	0,38	852577,1	-2,17147	0,39
60	4	-1,3	92723,7	-0,22119	0,37	190446,2	-5,00000	0,47	844952,5	-1,82988	0,40