

# **Gestaltung und Integration von Arbeitsplanungskompetenzen für hierarchielose Produktionsnetze**

Von der Fakultät für Maschinenbau der  
Technischen Universität Chemnitz

**genehmigte Dissertation**

zur Erlangung des akademischen Grades

Doktoringenieur

(Dr.-Ing.).

Vorgelegt von

**Dipl.-Ing. Jens Mehnert,**

geboren am 24. Mai 1966 in Zwickau,

**Tag der Einreichung:** 23. Februar 2004

**Gutachter:** Univ.-Prof. Dr.-Ing. habil. Holger Dürr

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Prof. E.h. Dr.-Ing. E.h. Dr. h.c. Engelbert Westkämper

Prof. Dr. Dr.-Ing. Siegfried Wirth



# Vorwort

Die vorliegende Arbeit entstand während meiner Tätigkeit als wissenschaftlicher Mitarbeiter an der Professur Fertigungslehre der Technischen Universität Chemnitz.

Herrn Prof. Dr.-Ing. habil. H. Dürr, dem Leiter der Professur, gilt meine besonderer Dank für die wissenschaftliche Betreuung und die eingehende Durchsicht der Arbeit sowie sich daraus ergebender Anregungen und Vorschläge.

Für die Anfertigung der Gutachten und die wertvollen Hinweise danke ich Univ.-Prof. Dr.-Ing. Prof. E.h. Dr.-Ing. E.h. Dr. h.c. E. Westkämper und Prof. Dr. Dr.-Ing. S. Wirth.

Bei den Kollegen und studentischen Hilfskräften der Professur Fertigungslehre sowie des Sonderforschungsbereiches 457 bedanke ich mich für die freundliche Zusammenarbeit. Hervorheben möchte ich Herrn Dipl.-Ing. E. Zürn, welcher großen Anteil an der programmiertechnischen Umsetzung der entwickelten Methoden hatte.

Besonderer Dank gilt der Deutschen Forschungsgemeinschaft, welche mit der Finanzierung des Sonderforschungsbereiches 457 "Regionale hierarchielose Produktionsnetze" die finanzielle Grundlage für die wissenschaftliche Bearbeitung bereitstellte.

Ein großes Dankeschön geht schließlich an meine Familie und insbesondere an meine Frau Mandy, welche mir durch Geduld und Verständnis den notwendigen Rückhalt sowie die erforderlichen Freiräume bei der Erstellung der Arbeit gaben.



# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>EINLEITUNG</b>	<b>1</b>
1.1	AUSGANGSSITUATION.....	1
1.2	PROBLEMSTELLUNG.....	2
<b>2</b>	<b>GRUNDLAGEN UND STAND DER TECHNIK</b>	<b>3</b>
2.1	ARBEITSPLANUNG IM VERNETZTEN UMFELD.....	3
2.2	FORSCHUNGEN ZUR ARBEITSPLANUNGSSYSTEMATIK.....	5
2.3	ZUSAMMENFASSUNG ZUM STAND DER TECHNIK.....	8
2.4	FAZIT.....	9
<b>3</b>	<b>AUFGABENSTELLUNG UND ZIELE</b>	<b>11</b>
3.1	VORGEHENSWEISE.....	12
3.2	ABGRENZUNG.....	14
<b>4</b>	<b>ZIELSYSTEM HIERARCHIELOSES PRODUKTIONSNETZ</b>	<b>15</b>
4.1	VORBETRACHTUNGEN.....	15
4.2	DIE VERNETZUNG IM HIERARCHIELOSEN REGIONALEN PRODUKTIONSNETZ.....	15
4.3	DIE IT-WERKZEUGE IM FOKUS DER KPZ-VERNETZUNG.....	18
4.4	DIE KOMPETENZZELLE ALS LEISTUNGSEINHEIT HIERARCHIELOSER PRODUKTIONSNETZE.....	20
4.5	AUSWAHL DER MODELLIERUNGSSPRACHE.....	23
<b>5</b>	<b>DER KOMPETENZRAHMEN ARBEITSPLANUNG</b>	<b>25</b>
5.1	SYSTEMATIK ZUR DEFINITION DES KOMPETENZRAHMENS ARBEITSPLANUNG ..	25
5.2	UMSETZUNG DER ENTWICKELTEN SYSTEMATIK ZUR ENTWICKLUNG DES KOMPETENZRAHMENS ARBEITSPLANUNG.....	27
5.3	EINFLUSSFAKTOREN UND ANFORDERUNGEN AN DIE ARBEITSPLANUNG .....	30
<b>6</b>	<b>DAS PARTIALMODELL DER ARBEITSPLANUNG</b>	<b>41</b>
6.1	VORBETRACHTUNGEN.....	41
6.2	BETRACHTUNGEN ZUR KOMPETENZENTWICKLUNG UND –ADAPTION IM PARTIALMODELL.....	42
6.3	PARTIALMODELL ZUR ABBILDUNG VON ARBEITSPLANUNGS-KPZ .....	44
6.3.1	<i>Methodik zur Entwicklung des Partialmodells für die Arbeitsplanung...</i>	45
6.3.2	<i>Strukturierung und Erweiterung der Arbeitsplanungsinhalte des Kompetenzrahmens .....</i>	50
6.4	RESÜMEE.....	56

---

<b>7 ENTWICKLUNG EINER ANFORDERUNGSGERECHTEN ARBEITSPANUNGMETHODIK</b>	<b>59</b>
7.1 VORBEMERKUNGEN .....	59
7.2 ARBEITSPANUNGMETHODEN IM FOKUS HIERARCHIELOSER PRODUKTIONSNETZE .....	62
7.3 HYBRIDE ARBEITSPANUNGMETHODIK .....	68
7.3.1 <i>Generierender Abschnitt der hybriden Arbeitsplanungsmethodik</i> .....	71
7.3.1.1 <i>Generierung von Prozessvarianten</i>	72
7.3.1.2 <i>Bewertung der Prozessvarianten</i>	77
7.3.1.3 <i>Informationstechnische Integration mittels Anforderungsvektoren</i>	90
7.3.2 <i>Projektierender Abschnitt der hybriden Arbeitsplanungsmethodik</i> .....	94
<b>8 ERGEBNISEVALUIERUNG</b>	<b>101</b>
8.1 ZUSAMMENSTELLUNG DER EINGANGSDATEN .....	103
8.2 BEISPIELHAFTE SUCHE NACH ARBEITSPANUNGS-KPZ .....	104
8.3 EVALUIERUNG DES GENERIERENDEN ABSCHNITTS DER HYBRIDEN ARBEITSPANUNGMETHODIK .....	105
<b>9 ZUSAMMENFASSUNG</b>	<b>117</b>
<b>10 AUSBLICK</b>	<b>119</b>
<b>11 DEFINITIONEN</b>	<b>121</b>
<b>12 LITERATUR</b>	<b>123</b>
<b>Anlagen</b>	<b>137</b>

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Vorgehensweise. ....	13
Abbildung 2: Schematisierte Darstellung der Äquivalenz Biologie und hierarchieloses Produktionsnetz (in Anlehnung an /SFB457-00/). ....	16
Abbildung 3: Sicht auf die Ebenen des hierarchielosen Vernetzungsmodells (nach /SFB457-02/). ....	17
Abbildung 4: Sicht auf die IMK-Struktur (nach Neubert /NEUB-01/). ....	18
Abbildung 5: EVCM-Schichtenmodell (nach Teich /TEIC-03/). ....	19
Abbildung 6: Sicht auf die Struktur des generischen KPZ-Modells (Darstellung als UML-Klassenmodell). ....	20
Abbildung 7: Schematisierte Sicht auf die Dekomposition des Geschäftsprozesses Arbeitsplanung. ....	26
Abbildung 8: Einbindung der Untersuchungsergebnisse in des generische KPZ-Modell (Darstellung als UML-Klassendiagramm). ....	28
Abbildung 9: Ausschnitt aus dem modellierten Kompetenzrahmen Arbeitsplanung (Darstellung als UML-Aktivitätsdiagramm). ....	29
Abbildung 10: Sicht auf den Informationsfluss praktizierter verteilter Fertigung. ....	32
Abbildung 11: Sicht auf den Materialfluss bei KMU-Netzwerken und bei Automobilproduzenten. ....	33
Abbildung 12: Sicht auf das Umfeld zur Partialmodelentwicklung (Darstellung als UML-Klassendiagramm). ....	41
Abbildung 13: Sicht auf die erarbeitete Vorgehensweise zur Kompetenzentwicklung. ....	43
Abbildung 14: Sicht auf die entwickelte Vorgehensweise zur Fachkompetenzbeschreibung. ....	45
Abbildung 15: Schematisierter Ausschnitt aus dem Aktivitätsdiagramm zur Fachkompetenzmodellierung (Darstellung als UML-Aktivitätsdiagramm). ....	46
Abbildung 16: Schematisierter Ausschnitt aus dem Aktivitätsdiagramm zur Fachkompetenzmodellierung ergänzt mit nicht-personeller Ressourcen (Darstellung als UML-Aktivitätsdiagramm). ....	47
Abbildung 17: Schematisierter Ausschnitt aus dem Aktivitätsdiagramm zur Fachkompetenzmodellierung ergänzt mit Geschäftsobjekten (Darstellung als UML-Aktivitätsdiagramm). ....	48
Abbildung 18: Schematisierter Ausschnitt aus dem Aktivitätsdiagramm zur Fachkompetenzmodellierung ergänzt mit Arbeitsplanungsmethoden (Darstellung als UML-Aktivitätsdiagramm). ....	49
Abbildung 19: Sicht auf die entwickelte Partialmodellstruktur der Arbeitsplanungskompetenz. ....	51
Abbildung 20: Schematisierte Sicht auf Sequenzen des Aktivitätsmodells. ....	53
Abbildung 21: Darstellung des nicht-personellen Ressourcenmodells für die Arbeitsplanung (Darstellung als UML-Klassendiagramm). ....	54
Abbildung 22: Ausschnitt des entwickelten GO-Modell der Arbeitsplanung (Darstellung als UML-Klassendiagramm). ....	55
Abbildung 23: Sicht auf das Methodenmodell der Arbeitsplanung (Darstellung als UML-Klassendiagramm). ....	56
Abbildung 24: Einordnung der Arbeitsplanungsmethodik in das Partialmodellumfeld (Darstellung als UML-Klassendiagramm). ....	59

---

Abbildung 25: Abschätzung zu erwartender Prozessvarianten bei zentraler Planung bezüglich des Eigenfertigungsanteils für die Herstellung der Montagezelle im Produktionsnetz.....	60
Abbildung 26: Anzutreffende Arbeitsplanungsmethoden (in Anlehnung an /KOER-97/). .....	62
Abbildung 27: Einordnung der hybriden Arbeitsplanung in das hierarchielose Vernetzungsmodell. ....	68
Abbildung 28: Einordnung der hybriden Arbeitsplanungsmethodiken die Partialmodellstruktur (Darstellung als UML-Klassendiagramm).....	69
Abbildung 29: Informationsfluss der hybriden Arbeitsplanungsmethodik.....	70
Abbildung 30: Informationsfluss des generierenden Abschnitts der hybriden Arbeitsplanungsmethodik. ....	71
Abbildung 31: Sicht auf das allgemeine Prozesskettenschema. ....	73
Abbildung 32: Analysemodell zur Prozessvariantengenerierung (Darstellung als UML-Klassendiagramm). ....	74
Abbildung 33: Systematisierungsschema zur Prozessvariantengenerierung. ....	75
Abbildung 34: Einteilung von Bewertungsverfahren.....	78
Abbildung 35: Ablauf zur Bewertung von Prozessvarianten.....	83
Abbildung 36: Sicht auf die Kriterienhierarchie. ....	84
Abbildung 37: Systematik zur Bildung des Prozessplans.....	91
Abbildung 38: Sicht auf die informationstechnische Schnittstellengestaltung zum IMK. ....	94
Abbildung 39: Informationsfluss des projektierenden Planungsabschnitts der hybriden Arbeitsplanungsmethodik. ....	96
Abbildung 40: Analysemodell der Beschreibungsvektoren von Fertigungs-KPZ (Darstellung als UML-Klassendiagramm).....	99
Abbildung 41: Einordnung der Evaluierungsschwerpunkte in das Partialmodellumfeld der Arbeitsplanung (Darstellung als UML-Klassendiagramm). ....	101
Abbildung 42: Einordnung des ausgewählten Einzelteiles „Welle“ im Referenzprodukt.....	102
Abbildung 43: Sicht auf die Konstruktions- und Auftragsdaten für das gewählte Einzelteil Welle.....	103
Abbildung 44: Konstruktionszeichnung für das betrachtete Einzelteil Welle. ....	106
Abbildung 45: Ausschnitt aus der generierten XML-Datei für das gewählte Beispiel.....	115
Abbildung 46: Sicht auf die erarbeiteten Ergebnisse. ....	118



## Abkürzungsverzeichnis

AF	Austauschformate
AHP	Analytical Hierarchy Process
AM	Arbeitsmittel
APL	Arbeitsplanung
APM	Arbeitsplanungsmethoden
AV	Anforderungsvektor
BE	Bearbeitungselement
BMBF	Bundesministerium für Bildung und Forschung
bspw.	beispielsweise
CAD	Computer Aided Design
CAM	Computer Aided Manufacturing
CODASID	Concordance and Discordance Analyses by Similarity to Ideal Designs
d.h.	das heißt
DIN	Deutsches Institut für Normung
DTD	Document Type Definition
e.V.	Eingetragener Verein
EP	Europäisches Programm
ERP	Enterprise Resource Planning
EVCM	Extended Value Chain Management
FE	Formelement
FM	Fertigungsmethoden
FP	Fertigungsvariantenplan
FS	Fertigungsstrategie
GA	Geometrieangaben
GET	Gestalt des Einzelteils
GO	Geschäftsobjekt
HSC	High Speed Cutting
HW	Hardware
ICIx	Intelligent Cluster Index
ICM	Interessenverband des Chemnitzer Maschinenbaus e. V.
IFW	Institut für Fertigungstechnik und Werkzeugmaschinen
IMK	Informationstechnischen Modellkern
IT	Informationstechnisch
KCM	Kompetenzzentrum Maschinenbau Chemnitz/ Sachsen e. V.
KE	Konstruktionselement
KFS	Kompetenznetz Fertigung Sachsen
KMU	Kleine und mittelständische Unternehmen
KOMNET	Innovative Kommunikationsnetze für die Wissensgesellschaft
KPZ	Kompetenzzellen
MAUT	Multi- Attributive- Utility- Theory
MCDM	Multi- Criteria- Decision- Making
Mio.	Millionen

MODM	Multi- Attributive- Decision- Making
NC	Numerical Control
NIKA	Netzwerk Innovation und Kompetenz in Automation
PDM	Produkt- Daten Management System
PK	Prozesskette
POMS	Product-Oriented-Manufacturing-System
PP	Prozessplan
PS	Prozessschritt
PV	Prozessvariante
QE	Qualitätseigenschaften
SAP	SAP AG (Systeme, Anwendungen, Produkte in der Datenverarbeitung)
SCM	Supply Chain Management
SFB	Sonderforschungsbereich
SW	Softwarespezifikation
SZ	Stückzahl
TP	Teilprojekt
TU	Technische Universität
u.a.	unter anderem
UML	Unified Modeling Language
VFP	Verteilter Fertigungsvariantenplan
vgl.	Vergleiche
VR	Virtual Reality
VU	Virtuelle Unternehmen
WST	Werkstoffe
XML	Extensible Markup Language
z.B.	Zum Beispiel

## Tabellenverzeichnis

Tabelle 1 Mögliche Verteilung wesentlicher Arbeitsplanungsaktivitäten. ....	27
Tabelle 2: Gegenüberstellung der Informationsstände in existierenden KMU- Netzwerken und hierarchielosen Produktionsnetzen. ....	36
Tabelle 3: Ausgewählte Einflussfaktoren des Netzwerkes und sich daraus ergebende Anforderungen an die Arbeitsplanung. ....	38
Tabelle 4: Sicht auf die Aktivitätsspezifikation. ....	53
Tabelle 5: Merkmale zur Beschreibung von Arbeitsplanungskompetenz. ....	57
Tabelle 6: Eignung der Arbeitsplanungsverfahren bezüglich wesentlicher Kriterien hierarchieloser Produktionsnetze. ....	66
Tabelle 7: Sicht auf die Informationsstruktur der Anforderungsvektoren. ....	93
Tabelle 8: Suchmerkmale bezüglich der nachgefragten Arbeitsplanungsaktivitäten. ....	104
Tabelle 9: Suchmerkmale auf Basis des Geschäftsobjektmodells. ....	104
Tabelle 10: Suchmerkmale auf Basis des nicht-personellen Ressourcenmodells. ....	105
Tabelle 11: Suchmerkmale auf Basis des Methodenmodells. ....	105
Tabelle 12: Sicht auf theoretisch mögliche Prozessvarianten der Welle. ....	107
Tabelle 13: Stammdatenübersicht für das gewählte Beispiel. ....	108
Tabelle 14: Darstellung des paarweisen Kriterienvergleichs. ....	109
Tabelle 15: Berechnete Kriteriengewichte im Stabilitätstest. ....	109
Tabelle 16: Gegenüberstellung der Rohteilparameter. ....	110
Tabelle 17: Vergabe der Wertigkeitsanteile Rohteil-Prozesskette. ....	111
Tabelle 18: Sicht auf die Ermittlung der Wertigkeitsanteile für die definierten Prozessschritte der spanenden Fertigungsstrategie. ....	112
Tabelle 19: Sicht auf die geeignetste Prozessvariante für das Beispiel. ....	113
Tabelle 20: Sicht auf die Stammdaten des ausgewählten Anforderungsvektors. ....	114



## Symbolverzeichnis

Symbol	Bedeutung
$K_i^G$	K...Kriterium; i...Laufvariable von Kriterium; G...gewichtet
n	n...Anzahl der Kriterien
$FS_{\text{Anzahl}}$	Anzahl möglicher Fertigungsstrategien
$RT_{Ki}^N$	RT...Rohteil; $K_i$ ...Kriterium i; N...normiert
$RT_{Ki}^T$	Rohteilteilnutzwert für Kriterium i
$RT^S$	Rohteilgesamtnutzwert
$RT_r^{S,N}$	normierter Rohteilgesamtnutzwert für Rohteil r
m	Anzahl der Rohteile
$PS_{\text{Anzahl}}$	Anzahl möglicher Prozessschritte
$BE_b^N$	normierter Wertschöpfungsanteil des Bearbeitungselementes b
$FM_{Ki,PSp}^N$	normierter Eignungswert eines Prozessschrittes p für Kriterium i für eine Fertigungsmethode
$FM_{Ki,PSp}^T$	Fertigungsmethodenteilnutzwert des Prozessschrittes p für Kriterium i
$FM_{PSp}^S$	Fertigungsmethodengesamtnutzwert des Prozessschrittes p
$FM_{PSp,f}^{S,N}$	normierter Fertigungsmethodengesamtnutzwert des Prozessschrittes p für die Fertigungsmethode f
$BE_{PSp}$	Wertschöpfungsanteil aller Bearbeitungselemente b des Prozessschrittes p
$BE_{b,PSp}^N$	normierter Wertschöpfungsanteil des Bearbeitungselementes b für Prozessschritt p
$FM_{PSp,f}^V$	vollständiger Fertigungsmethodengesamtnutzwert des Prozessschrittes p für die Fertigungsmethode f
k	Anzahl der Fertigungsmethoden je Prozessschritt
c	Anzahl der Bearbeitungselemente je Prozessschritt
f	Laufvariable für die Fertigungsmethoden



# 1 Einleitung

## 1.1 Ausgangssituation

„Die Arbeitsteilung dürfte die produktiven Kräfte der Arbeit mehr als alles andere fördern und verbessern“ stellte bereits 1776 Adam Smith<sup>1</sup> fest /SMIT-81/. Die in dieser Zeit beginnende Spezialisierung auf Teile des Wertschöpfungsprozesses erforderte die intelligente Planung der Arbeit, damit die geforderte Wertschöpfung zum richtigen Zeitpunkt und am richtigen Ort erfolgen konnte. Die effiziente Umsetzung dieser Anforderung ist auch heute noch, wenn auch bezüglich des Umfangs und der Komplexität der Wertschöpfungsaktivitäten auf einem höheren Niveau, Voraussetzung für ein erfolgreiches Agieren der Unternehmen am Markt.

Volkswirtschaftliche Leistungsträger sind in Deutschland vor allem klein- und mittelständische Unternehmen<sup>2</sup> (KMU). Dies unterstreichen vielfältige Studien, beispielsweise des Instituts für Mittelstandsforschung /JAHR-02/ oder des Bundesministeriums für Wirtschaft und Technologie /BMWI-02/. Daraus geht hervor, dass „KMU 57% zur Bruttowertschöpfung beitragen und 46% aller Bruttoinvestitionen“ tätigen. Darüber hinaus schaffen diese Betriebe „70% der Arbeits- und 80% der Ausbildungsplätze in Deutschland“. Im Vergleich zu den differenzierten Problemen von „rund 3,3 Mio. KMU ist es volkswirtschaftlich sicherlich bedeutend einfacher, für ca. 5000 Großunternehmen die wirtschaftlichen Rahmenbedingungen zu verbessern“ /SAMB-02/.

Trotz der widrigen Rahmenbedingungen für KMU ist es um so erstaunlicher, dass die Zahl der in dieser Unternehmenskategorie „beschäftigten Arbeitnehmer seit 1992 um ca. 1,5 Millionen“ zunahm /BMWI-02/. Doch auch dieser volkswirtschaftlich wertvolle Effekt bleibt nicht automatisch bestehen. Vielmehr bedarf es der gezielten Unterstützung dieser Unternehmen, um auch zukünftig von deren ökonomischer Stärke zu profitieren.

Speziell den europäischen klein- und mittelständischen Zulieferbetrieben der Automobilindustrie stehen schwierige Zeiten bevor. Die Erträge dieser Unternehmen verringerten sich im Jahr 2001 von 12% auf 8,2%. Obwohl diese KMU gegenüber japanischen und nordamerikanischen Wettbewerbern in Technologie und Globalisierungsgrad Wettbewerbsvorteile besitzen, ist es ihnen nicht gelungen, die von den Automobilherstellern durchgesetzten Preisreduktionen an die eigenen Sublieferanten weiterzugeben. Einen Grund dafür bilden die nur unzureichend ausgebauten Beschaffungsfunktionen sowie ungenügende Kooperationsplanungs- und steuerungsmöglichkeiten /ATK-02/. Nach einer Studie der internationalen Managementberatung A.T. Kearney sind 36% dieser für die Volkswirtschaft so wichtigen KMU existenziell bedroht. Den Grund dafür bilden u. a. eine schlechte Eigenkapitalausstattung sowie eine hohe Verschuldung /BUKE-00, HOFF-02/. In der A. T. Kearney Studie wird eine massive strukturelle Verbesserung als Lösung der identifizierten Defizite vorgeschlagen. Deshalb erweist es sich als unumgänglich, dass durch ein strategisches Beschaffungs- und Lieferkettenmanagement die Potentiale von den Sublieferanten der Automobilzulieferer uneingeschränkt erschlossen werden /HOCK-00/. In der Konzen-

---

<sup>1</sup> Smith, Adam (1723-1790) Schottischer Volkswirt und Philosoph.

<sup>2</sup> Als KMU werden Betriebe definiert, welche wenige als 250 Mitarbeiter beschäftigen und maximal 40 Mio Euro Jahresumsatz erwirtschaften.

tration auf eigene Kernkompetenzen verbunden mit gezieltem Outsourcing und einer verstärkten Integration dieser Sublieferanten in die eigenen Wertschöpfungsaktivitäten werden weitere ungenutzte Möglichkeiten zur Beibehaltung und Stärkung der Wirtschaftskraft der untersuchten KMU gesehen.

## 1.2 Problemstellung

Einen Lösungsansatz zur Umsetzung dieser Anforderungen bilden beispielsweise neue Organisationsstrukturen für kooperierende KMU /HOFM-00, WIRT-01/. Einen denkbaren Ansatz dazu könnten hierarchielose<sup>3</sup> Produktionsnetze<sup>4</sup> /WIRT-00/ darstellen. Diese Dissertationsschrift ist als ein Teil der insgesamt umzusetzenden Aufgaben zu sehen, damit sich das hierarchielose Vernetzungsmodell<sup>5</sup> als eine mögliche und praktikable Option zur Lösung der anstehenden Anforderungen im Bereich von kooperierenden KMU etablieren kann. Mit diesem Fokus wird im Rahmen der vorliegenden Arbeit der partielle Geschäftsprozess der Arbeitsplanung untersucht. Dabei stehen Fragen der Umsetzbarkeit hierarchieloser Organisationsstrukturen aus Sicht der Arbeitsplanung ebenso im Blickpunkt wie beispielsweise praktikable Bildungsmethoden für Arbeitsplanungskompetenzzellen. Daraus leitet sich eine generelle Problemstellung für den betrachteten partiellen Geschäftsprozess ab, welche zur Beantwortung der Frage beiträgt, ob die vorhandenen Defizite in KMU mit Hilfe hierarchieloser Produktionsnetze zu lösen sind, oder ob im Rahmen dieses Vernetzungsmodells andere, aber gleichfalls nachteilige Effekte eintreten, die letztendlich nicht zur Erschließung vorhandener Potentiale beitragen.

---

<sup>3</sup> Hierarchielos bezeichnet die Art der Vernetzung von Kompetenzzellen (vgl. 4.4) näher. Auf Basis von Selbstorganisation werden diese direkt, gleichberechtigt und ohne eine Rangordnung bei ihrer Auswahl zu Produktionsnetzen vereint.

<sup>4</sup> Auftragsbezogene Vernetzung von Kompetenzzellen einer Region zur Herstellung kundenspezifischer Erzeugnisse (vgl. 4.2).

<sup>5</sup> Modell ist die allgemeine Bezeichnung der bekannten Elemente eines Systems. Als System wird eine abgrenzbare Anordnung von aufeinanderfolgenden Subsystemen definiert. Systeme können sowohl materiell als auch immateriell sein.



## 2 Grundlagen und Stand der Technik

### 2.1 Arbeitsplanung im vernetzten Umfeld

Die fortschreitende Globalisierung und Liberalisierung der Märkte stellt an die Unternehmen neue Anforderungen bezüglich der Individualisierung ihrer Produkte, Preisgestaltung, Liefergeschwindigkeit und -zuverlässigkeit. Diesen Aufgaben nähert man sich durch sehr vielfältige Lösungen. Ein geeignetes Instrument für die Umsetzung der genannten Anforderungen sind Kooperationen. In diesem Zusammenhang sind vielfältige Kooperationsformen entstanden, welche sich an den sehr unterschiedlichen Randbedingungen einer Zusammenarbeit ausrichten. Dabei werden die Aufgaben der Arbeitsplanung in Netzwerken verschiedenartig in die entstandenen Konzepte und Modelle einbezogen.

Im Rahmen von Beschaffungsnetzwerken sind derzeit umfangreiche Forschungsaktivitäten zu beobachten. In diesem Zusammenhang untersucht Bohlmann /BOHL-01/ Beschaffungsnetzwerke im chemischen Anlagenbau, wobei Inhalte der Arbeitsplanung nur sehr weitläufig betrachtet werden. Weiterführende Untersuchungen in der chemischen Industrie zur Beseitigung erkannter Defizite im Bereich des Supply Chain Managements erfolgen bspw. durch Poesche. Als Lösung wird das Konzept der Agilen Produktion favorisiert, um die existierenden Wertschöpfungsketten bezüglich geringer Lagerbestände und hoher Mobilität der Ressourcen zu verbessern /POES-01, BRIG-02, WAL-02, JIAN-03/. Eine ähnliche Aufgabenstellung wurde im Bereich der Automobilindustrie durch die Umsetzung des Kunden-Lieferanten-Prinzips in effiziente Dispositionsprinzipien erreicht /DANG-00a/. Mit Hilfe einer regelbasierten Optimierung der Wertschöpfungskette werden am Beispiel der Metallhalbzeugindustrie Verbesserungspotentiale innerhalb der Auftragssteuerung aufgezeigt /BIES-01/. Auf Basis der Kennlinientheorie versucht Luczak die Auftragsabwicklung bei verteilten Standorten im Bereich des Werkzeugmaschinenbaus zu verbessern /LUZC-02/. Zusammenfassend bleibt festzustellen, dass die betrachteten Untersuchungen bezüglich verteilter Wertschöpfungsketten Inhalte der Arbeitsplanung im wesentlichen nur tangieren und mit dem Fokus Arbeitssteuerung vielfältige Lösungen entwickelt wurden.

Innerhalb des SFB 559 „Modellierung großer Netze der Logistik“ an der Universität Dortmund /SFB559-02/ werden wesentliche Grundlagen zur Gestaltung großer Netze der Logistik erarbeitet /ARNS-00/, /KUHN-01a/. Das Fachgebiet der Arbeitsplanung wird in diesem Zusammenhang bezüglich der Materialplanung tangiert. Speziell für diesen Aufgabenbereich wurde das Modell von Prozesskettenelementen /KUHN-01b/ entwickelt. Dieses dient zur Beschreibung von logistischen Teilsystemen, wobei ganze logistische Netze selbstständig mit Hilfe zahlreicher Prozesskettenelemente beschrieben werden können. Mit dem Fokus Produktionsnetzwerk entsteht im Verbundprojekt iproNet /IPRO-02/ an der Universität Karlsruhe ein internetbasiertes Softwaretool, welches die Koordination von unternehmensübergreifenden Logistikprozessen verbessern soll /GRAB-02a/.

Einen weiteren Forschungsschwerpunkt bilden Produktionsnetzwerke. Aktuelle Untersuchungen erschließen dieses Problemfeld mit sehr verschiedenen Herangehensweisen.

Im Rahmen des vom BMBF geförderten Forschungsprojektes „Netzwerkfähiges Produktionsmanagement“ /LUTZ-00/ wurde eine dezentrale Netzwerksteuerung (FAST/net) entwickelt. In diesem Zusammenhang stellt Wiendahl /WIEN-01/ Grundsätze und Anwendungsbeispiele von Monitoring und Controlling in Produktionsnetzwerken vor. Das Fachgebiet der Arbeitsplanung wird bezüglich des integrierten Kapazitäts- und Lagermonitors tangiert /WIEN-00, WIEN-02/. Forschungsschwerpunkt bildet jedoch die Auftragssteuerung mit dem Fokus der Beurteilung von Arbeitssystemkapazitäten bezüglich Hersteller-Zulieferer-Beziehungen. In diesem Zusammenhang wurde die kooperative Fabrikplanung entwickelt. Diese verfolgt die Zielsetzung, aus Prozess- (Funktionsplanung) und aus Bausicht (Formplanung) gemeinsame, ganzheitliche Lösungen zu entwerfen /WIEN-01a/. Vor diesem Hintergrund werden die Arbeitsplanungsfunktionen Methodenplanung (Gestaltung von Arbeitsplätzen) und Materialplanung (Logistiksystem, Produktionsfluss) eingehend untersucht.

Die Forschungsaktivitäten des SFB 467 „Wandlungsfähige Unternehmensstrukturen für die variantenreiche Serienproduktion“ /SFB467-02/ der Universität Stuttgart konzentrieren sich auf die Gestaltung und Führung offener, dynamischer Produktionsnetzwerke /ZAHN-00/. Im Rahmen dieser Untersuchungen werden die Gebiete der Fabrikplanung und des Auftragsmanagements zusammengeführt /WEST-99/. Innerhalb der entwickelten kontinuierlichen und partizipativen Fabrikplanung /WEST-00/ wird bezüglich der Arbeitsplanungssystematik die Investitionsplanung, Materialplanung, Methodenplanung und Arbeitsplanerstellung unter dem Gesichtspunkt der variantenreichen Serienfertigung untersucht /WEST-02/. Für die Arbeitsplanerstellung (Fertigungsplanung) werden Anforderungen formuliert /WEST-02a/, welche in Form von wandelbaren Partialmodellen für Bearbeitungsabläufe und werkstatorientierte Auftragsstrukturen ihre Umsetzung finden sollen /PRIT-01, LI-01/. Die Einbindung dieser Partialmodelle erfolgt mit dem Fokus auf die Gesamtwertschöpfung in Form von tele-basierten Systemplattformen /WEST-02b/.

Im Rahmen des Esprit-Programms EP 24986 testete Tönshoff /TOEN-00/ den Ansatz eines mediatorbasierten Produktionsmanagements. Bei dieser Softwarelösung steht die Auftragssteuerung in verteilten Produktionsnetzen im Vordergrund. Dadurch wird eine durchgängige Systemunterstützung mit direktem Zugriff auf die unterschiedlichen PPS<sup>6</sup>-Systeme gewährleistet /TOEN-00b/.

Der Thematik verteilter Fertigung nähert sich Reinhart mit Hilfe der Ergebnisse des SFB 336 „Montageautomatisierung durch Integration von Konstruktion und Planung“ der TU München /SFB336-02/. In Kombination mit den Forschungen im Rahmen des KompNetn - /KOMP-02/ und FLEXIFEIN-Projektes /FLEX-02/ entstanden Web-basierte Lösungen für die durchgängige Virtualisierung des Produktionsprozesses /REIN-01/, /REIN-02/. Eingang finden diese Arbeiten ebenfalls in der Gestaltung wandlungsfähiger Fabriken, wofür ein Prozessbaukasten entwickelt wurde /REIN-02a/.

---

<sup>6</sup> Produktionsplanungssystem

Virtuelle Unternehmen (VU) bilden die Organisationsform praktizierter Unternehmenskooperationen im Rahmen von Produktionsnetzen. Unterstützt durch Internetportale (Marktplätze) findet dieser Ansatz in unterschiedlichen Ausprägungen /WEST-01, BONI-02/ Anwender. Wiendahl bildet auf Basis des VU Komplementärverbünde /WIEN-99/, welche in besonderem Maße von KMU zur dezentralen Netzwerksteuerung /LUTZ-00/ genutzt werden können. Berger sieht im eManufacturing den Ansatz des VU umgesetzt und beschreibt einen Vernetzungsansatz bestehend aus fünf Eckpunkten /BERG-02/. Schuh setzt das Konzept des VU im Rahmen einer Virtuellen Fabrik Rhein-Ruhr um /SCHU-00, SCHU-01/. Dangelmaier entwickelt die Kooperationsplattform KOMNET im Rahmen eines BMBF-Verbundprojektes /DANG-00/. Die Arbeiten von Reinhart erweitern den Ansatz des VU (wobei eine Vielzahl von Marktplätzen am iw<sup>7</sup> entstanden sind) um VR8-Ansätze /REIN-01a/. Luczak stellt eine Software zur Unterstützung flexibler Kooperation vor /LUCZ-00/. Uhlmann nutzt ebenfalls das VU-Konzept als Basis für die Gestaltung eines dynamischen, regionalen Netzwerks mit hierarchiearmen Netzen als organisatorischen Lösungsansatz für die Kooperationsbildung im Werkzeug- und Formenbau der Region Berlin-Brandenburg /UHLM-99/. Slomp nutzt virtuelle Fertigungszellen, um den steigenden Marktanforderungen ein geeignetes Instrument zur Flexibilisierung vorhandener Ressourcen entgegenzusetzen /SLOM-03/.

Darüber hinaus wird an der Entwicklung einer Vielzahl weiterer Netzwerktypen gearbeitet. Diese haben den Prozess der virtuellen Produktentwicklung /BULL-01/, der Instandhaltung /LUCZ-99/, /BULL-01a/ oder von Serviceaufgaben /KUHN-01c/ als Schwerpunkt formuliert, wobei Fragen der Arbeitsplanungssystematik meist eine untergeordnete Bedeutung besitzen /BULL-01b/.

## 2.2 Forschungen zur Arbeitsplanungssystematik

Während noch vor einigen Jahren die Forschung an Methoden zur Automatisierung des Arbeitsplanungsprozesses im Vordergrund stand, geht es derzeit neben der Anwendung neuerer Methoden der Informatik (z. B. objektorientierte Datenbanksysteme, Workflow-Technik, Multi-Agenten-Systeme) auf die Arbeitsplanung vordergründig um die Integration und Parallelisierung der gesamten Abläufe zur Wertschöpfung, das heißt, die Arbeitsplanung wird nicht länger als das klassische Bindeglied zwischen Konstruktion und Fertigung gesehen. Vielmehr findet im Rahmen des allgemeinen Trends einer ganzheitlichen Betrachtung des Produktionsprozesses eine Integration der Arbeitsplanungssystematik in die jeweiligen dezentralen Organisationsstrukturen statt (vgl. auch /WEST-04/). Die Umsetzung basiert derzeit auf der Entwicklung von integrierenden Modellen, den Arbeitsplanungsprozess unterstützenden Simulationen und Systemen zur Informationssteuerung.

Im Rahmen des SFB 336 /SFB336-02/ wird an der Integration von Konstruktion und Planung mit dem Fokus Montage /REIN-00/ gearbeitet. Ein angestrebtes Ergebnis bildet die Entwicklung einer offenen Systemarchitektur zur Unterstützung integrierter Engineering-Prozesse /REIN-00a, REIN-00b, SFB336-02a/ sowie die Validierung im Rahmen von Me-

---

<sup>7</sup> Institut für Werkzeugmaschinen und Betriebswissenschaften (iw) der Technischen Universität München

<sup>8</sup> Virtuell Reality.

thoden für die reaktionsfähige Produktion mit dem Schwerpunkt Muster- und Prototypenbau in der Automobilindustrie /REIN-01b/.

Das Teilprojekt D1 des SFB 346 „Rechnerintegrierte Konstruktion und Fertigung von Bauteilen“ an der Universität Karlsruhe /SFB346-02/ beschäftigt sich mit der strategischen Fertigungsmittelplanung und -strukturierung in einem dynamischen Umfeld /SPAT-01, SPAT-02/. Einen Untersuchungsschwerpunkt bildet der Aufbau einer bearbeitungsobjekt-orientierten Beschreibungsmethode für den Bohr- und Fräsvorgang zur Integration der CAD/CAM/NC-Verfahrenskette /GRAB-02/.

Der SFB 361 „Modelle und Methoden zur integrierten Produkt- und Prozessgestaltung“ an der RWTH Aachen /SFB361-02/ ist durch die Zielstellung gekennzeichnet, den gesamten Entwicklungsprozess von der ersten Produktidee bis zur Gestaltung der notwendigen Arbeits- und Produktionsmittel methodisch zu unterstützen und somit zu verkürzen /KLOC-00/. Mittels Fuzzy-Sets /FALL-00/ werden sowohl Produktmerkmale als auch die Fähigkeiten der Fertigungstechnologien beschrieben /KLOC-02/. Insbesondere für den Bereich der Neukonstruktion im Rahmen unternehmensspezifischer Serienproduktion wurde eine Methodik zur konstruktionsbegleitenden Generierung und Bewertung alternativer Fertigungsfolgen erarbeitet /TROM-01/. Basierend auf diesen Untersuchungen entstand ein Softwareprototyp, welcher mit Hilfe einer parametrischen Modellierung eine systematische und effiziente Produkt- und Prozessentwicklung unterstützt /EVER-01/. Darüber hinaus untersucht Eversheim die bauteilübergreifende NC-Planung /EVER-01a/.

Der durchgängigen Gestaltung der CAx-Prozesskette nähert sich beispielsweise Haasis oder Canciglieri auf Basis der Feature-Technologie /HAAS-00, CANC-02/. Diesen Ansatz greift auch Erdrich auf und analysiert den Nutzen dieser Methodik für die Informationsflüsse in Unternehmen, wobei auch Produkt-Daten-Management (PDM) Systeme Beachtung finden /ERDI-01/. Einen vergleichbaren Ansatz nutzt auch Hesselbach, um manuelle Datenübertragungen in der CAx-Prozesskette zu verringern /HESS-00/. Die Gestaltung der Schnittstellen zwischen CAD- und CAM-Systemen sind Gegenstand der Untersuchungen von Miklozic /MIKL-01/, wobei am Beispiel des Fertigungsverfahrens Drehen ein Algorithmus zur Kopplung erarbeitet wurde. Erweiterte Perspektiven, welche sich aus der Kopplung von CAD- mit CAM-Systemen ergeben, sieht Soliman /SOLI-02/ im Rahmen von E-Manufacturing umgesetzt.

Den Feature-Ansatz zur Optimierung der Fertigung beschreibt Fetzer am Beispiel der Fräs- und Bohrbearbeitung /FETZ-00, FETZ-01/. Auf der gleichen Grundlage beschreibt Klocke Fortschritte bei der Verfahrenskombination HSC<sup>9</sup>-Fräsen-Senkerodieren /KLOC-99/ oder Schulz zur HSC-gerechten NC-Programmierung /SCHU-99/. Umsetzung fanden diese Arbeiten bspw. bei Hock, indem durch Werkstatt-orientierte Programmierung (WOP) eine Optimierung der NC-Datengenerierung erreicht wird /HOCK-00/. Am Beispiel des Fertigungsverfahrens Fräsen werden im Rahmen des SFB 368 „Autonome Produktionszellen“ /SFB368-02/ an der RWTH Aachen u. a. Entwicklungen zu einem adaptiven Prozessauslegungssystem durchgeführt /EVER-01b/. Den Ansatz von Produktionszellen nutzt auch Silva, um ein dynamisches und rekonfigurierbares System im Rahmen eines produktorientier-

---

<sup>9</sup> High-Speed-Cutting.

ten Fertigungssystem (POMS) aufzubauen /SILV-02/. Mit Hilfe einer featurebasierten Tolerierung im Bereich der Karosserieentwicklung und -fertigung beschreibt Mbang eine Möglichkeit, Produktentwicklung und Produktionsplanung effektiver zu verzahnen /MBAN-03/.

Weiterführende Untersuchungen beschäftigen sich mit den Schnittstellen zum NC-Datenaustausch. Mit Hilfe eines Assistenzsystems versucht Gerken automatisiert Informationslücken in der CAD/CAM-Prozesskette zu schließen /GERK-00/.

Auf Basis einer Flächenrückführung topologieoptimierter FE<sup>10</sup>-Modelle versucht Hessel oder Hebbal einen Brückenschlag vom FE-Volumenmodell über CAD-Geometriebeschreibungen zu fertigungstechnisch nutzbaren Produktinformationen, wobei bspw. die Non-Uniform-Rational-B-Splines<sup>11</sup> (NURBS) Anwendung findet /HESS-02, HEBB-02/. Die Verbesserung der Schnittstelle zur NC-Werkzeugmaschine ist Gegenstand der Arbeiten zur STEP-NC Programmierschnittstelle, gebündelt durch die ISO 14649.<sup>12</sup> Diese Forschungsaktivitäten leisten jeweils Beiträge zur Weiterentwicklung der Arbeitsplanungsaktivität „NC-Programmierung“.

Mit dem Schwerpunkt Kostenkalkulation stellt Frenzel einen Feature-basierten Ansatz vor, welcher auf einem generativ-analytischem Modell aufbaut /FREN-01/.

Einen innovativen Ansatz zur Optimierung von Fertigungstechnologien und Produktionsabläufen auf Basis der Grenzwertorientierung beschreibt Klocke am Beispiel der Prozesskettenbetrachtung mit dem Schwerpunkt Technologie /KLOC-01/.

Tönshoff beschreibt die Nutzungsmöglichkeiten spezieller Methoden der Informatik /TOEN-97, TOEN-98a/, hier neuronale Netze und genetische Algorithmen, für die Konfiguration von Fertigungssystemen. Im Rahmen des SFB 384 „Verfügbarkeitssicherung reaktionsschneller Produktionssysteme“ an der Universität Hannover /SFB384-02/ wurde eine Methode entwickelt, welche die rechnerunterstützte Generierung von Arbeitsplänen auf Grundlage des CAD-Modells der Produktionsanlage mit Hilfe von Technischen Elementen ermöglicht /TOEN-00a/. Des weiteren entstanden am IFW Hannover Arbeiten, welche das Erkennen von Engpassressourcen innerhalb der Werkstattsteuerung unterstützen /TOEN-01/ und über die Positionierung von technologischen Schnittstellen die Verfahrensbewertung und -auswahl mit dem Fokus Serienfertigung komplexer Bauteile erleichtern /TOEN-01a/. Darüber hinaus wurde für die variantenreiche Kleinserienproduktion ein Fertigungssteuerungsverfahren zur dezentralen bestandsorientierten Fertigungsregelung entwickelt /WIEN-01b/.

Im Rahmen des TP B5 des SFB 467 an der Universität Stuttgart /SFB467-02/ wird versucht, mit Hilfe eines objektorientiert strukturierten, wandelbaren Informationsmodells /PRIT-01/, die Anpassungsfähigkeit der Prozessplanung an die veränderlichen Randbedingungen wandlungsfähiger Produktionsbetriebe zu erhöhen /STRO-99/.

---

<sup>10</sup> Formelement.

<sup>11</sup> Technik zur Darstellung von Freiformflächen beliebiger Stetigkeit aus einem Netz von Kontrollpunkten.

<sup>12</sup> Diese Arbeiten werden im Rahmen des Esprit-Projektes 29708 von der Europäischen Union gefördert.

Lernfähigkeit in Systeme zu integrieren ist ein Weg, den Menschen bei der Bewältigung von Komplexität zu unterstützen /STEG-00, TOEN-00c, GERK-01/. Gemeinsam mit wissensbasierten Systemen /ANDE-99, KREP-01, MENZ-01/, die einer Weiterentwicklung unterliegen /FELD-99, DUERR-01, HOFM-02/, werden lernfähige Systeme in Zukunft ihre Potentiale bei der Anwendung auf unterschiedlichsten Gebieten, von Planungsaufgaben /MUTH-01, SIEL-00/ bis hin zur Unterstützung ausgewählter Entscheidungsprozesse in virtuellen Unternehmensnetzwerken /FRIE-02, MUTH-00/, einbringen.

Die Verzahnung von Arbeitsplanung und Fertigungssteuerung ist Gegenstand einer Vielzahl von Forschungsvorhaben. Dabei stehen Probleme der Überwindung von Zeit- und Informationsverlusten ebenso im Mittelpunkt wie die Verbesserung der Auftragsabwicklung. Gemeinsames Ziel dieser Forschungsaktivitäten ist, durch den Einsatz moderner IT-Technologien (z. B. Workflow-Systeme /LEYM-00, FRIE-02/, Agentensysteme /TOEN-00b, HERZ-00, TIMM-01<sup>13</sup>, DUERR-02/, Holonischen Steuerungs- und Koordinationsmethoden<sup>14</sup> /JACO-00, IFW-02/<sup>15</sup>, der Fuzzy-Logik<sup>16</sup> /FELI-02, DUERR-02a/, genetischer Algorithmen zur Optimierung sogenannter Produktionszellen /KAZE-01/ oder des Internets /COSI-01/) die erkannten Defizite für spezielle Anwendungsfälle zu lösen.

### 2.3 Zusammenfassung zum Stand der Technik

Zusammenfassend kann zum Stand der Forschung ausgesagt werden, dass die Untersuchungen zur Modellierung durchgängiger technologischer Prozessketten sehr vielschichtig und an konkreten Randbedingungen ausgerichtet sind. Auf Basis der Feature-Technologie wurden beispielsweise umsetzbare Lösungen entwickelt, welche zur Wissensbeschreibung Datenbanken nutzen, wobei die Wissensverteilung zum Beispiel durch den Einsatz von Agenten (DFG Projekt SPP 1083<sup>17</sup>) unterstützt wird. Aussagen, inwieweit sich spezifische Erkenntnisse aus den oben aufgeführten Forschungsarbeiten auf die Gestaltung der Arbeitsplanungskompetenz im hierarchielosen Produktionsnetz anwenden lassen, sind einzelfallspezifisch. In diesem Zusammenhang ist es deshalb denkbar, den im SFB 336 der TU München entwickelten Ansatz zur vernetzten, parallelen Gestaltung von Entwicklungsprozessen unter Einsatz von generischen Prozessbausteinen auf seine Integrationsfähigkeit in die betrachtete Anwendungsdomäne zu überprüfen. Weitere Unterstützung könnten die Arbeiten zur Modellierung des Partialmodells der Arbeitsplanungskompetenz in hierarchielosen Produktionsnetzen ebenfalls durch die Arbeiten des SFB 467 an der Universität Stuttgart finden, indem das dort entwickelte objektorientiert strukturierte, wandelbare Informationsmodell als Vorlage für die Gestaltung von Vorzugslösungen für die Arbeitsplanungskompetenz dienen kann. Somit bleibt auf Basis der durchgeführten Untersuchungen zum Stand der Technik festzustellen, dass spezifische Arbeiten für den Themenbereich der Arbeitsplanung unter den unterschiedlichsten Randbedingungen vorliegen. Eine ganzheit-

<sup>13</sup> Diese Forschungen wurden von der DFG im Rahmen des Projektes „Integrierte agentenbasierte Arbeitsplanung und Fertigungssteuerung (INTAPS) gefördert.

<sup>14</sup> Holonic Manufacturing Systems (HMS) nach Koestler /KOES-89/.

<sup>15</sup> Die Forschungen zu HMS werden im Rahmen des weltweiten Forschungsprogramms „Intelligent Manufacturing Systems“, Nr. 95003 gefördert.

<sup>16</sup> Mit Hilfe der Fuzzy-Logik können unscharfe Informationen informationstechnisch verarbeitet werden.

<sup>17</sup> DFG Schwerpunktprogramm: „Intelligente Softwareagenten & betriebswirtschaftliche Anwendungsszenarien“ /KIRN-02/.

liche Betrachtung des Themenfeldes der Arbeitsplanung unter dem Blickwinkel vernetzter arbeitender Kompetenzzellen erfolgte bisher nicht.

## 2.4 Fazit

Die Arbeitsplanung und anschließende Produktion nehmen innerhalb des Wertschöpfungsprozesses eine zentrale Stellung ein. Die hier im Mittelpunkt stehende Arbeitsplanung als Teil der Wertschöpfungskette besitzt einen hohen Einfluss auf die Qualität des kundeterminierten Produktionsnetzes. Deshalb können die oben aufgeführten Forschungsaktivitäten als Grundlage für weiterführende Untersuchungen zur Bereitstellung effizienter Vorgehensweisen, Instrumentarien und Entscheidungsprozesse für die zielgerichtete Entwicklung der Arbeitsplanungskompetenz innerhalb hierarchieloser Produktionsnetze dienen. Es bedarf jedoch weitreichenderer Untersuchungen, um die Arbeitsplanungskompetenz

- in Form eines Partialmodells modellieren zu können,
- die prinzipielle Praktikabilität des hierarchielosen Vernetzungsmodells aus Sicht des partiellen Geschäftsprozesses der Arbeitsplanung nachzuweisen sowie
- eine effiziente Fertigungsplanung innerhalb hierarchieloser Produktionsnetze zu gewährleisten.

Dies führt in der Folge zu einer Abgrenzung des Forschungsgegenstandes im Rahmen dieser Dissertationsschrift bezüglich der aufgeführten Arbeiten. In diesem Zusammenhang erweist es sich als notwendig, den Arbeitsplanungsprozess unter Beachtung der spezifischen Randbedingungen hierarchieloser Produktionsnetze erneut wissenschaftlich zu untersuchen und auf dieser Basis für die betrachtete Vernetzungsform in effizienter Form bereitzustellen. Mit diesen Vorgaben ist eine ganzheitliche Sicht auf den Arbeitsplanungsprozess, das Handlungsumfeld und die Kompetenz der agierenden Personen zu entwerfen und in Form eines Partialmodells der Arbeitsplanung zu bündeln. Darüber hinaus besteht zudem noch die Notwendigkeit der Integration des Partialmodells in die informationstechnische Infrastruktur des hierarchielosen Vernetzungsmodells, damit eine rechentechnisch unterstützte Arbeit der Arbeitsplanungskompetenz erfolgen kann. Letztendlich besteht der Neuheitsanspruch dieser Arbeit in der ganzheitlichen Betrachtung des partiellen Geschäftsprozesses der Arbeitsplanung innerhalb hierarchieloser Produktionsnetze. Dadurch wird ein Beitrag zur Entwicklung dieser Vernetzungsform zu einer geeigneten Option für KMU zur Eliminierung oder Reduzierung der eingangs dargestellten Defizite geleistet.





### 3 Aufgabenstellung und Ziele

Aufgrund der Kundenorientierung und der ganzheitlichen Leistungserstellung weisen hierarchielose regionale Produktionsnetze /SFB457-02/ eine hohe Dynamik auf. Diese führt zur Wandlung in den funktionalen Abläufen der Arbeitsteilung und zur Änderung der zeitlichen und räumlichen Struktur der Fertigung, wodurch neue, auf Adaption ausgerichtete Vorgehensweisen für alle Abschnitte der Wertschöpfungskette erforderlich werden /EVER-96/. Es wird zu untersuchen sein, welche neuen Einflussfaktoren sich für das Untersuchungsfeld der variantenreichen Einzel- und Kleinserienfertigung durch die Auflösung hierarchischer Strukturen und die Entstehung neuer hierarchieloser Organisationsformen zur Realisierung der Wertschöpfungskette für die Arbeitsplanung<sup>18</sup> ergeben. Bisher wird die Arbeitsplanung als ein im wesentlichen geschlossener Prozess mit einer bewährten und (je nach gewählter Methode<sup>19</sup>) weitestgehend festgeschriebenen und formalen Vorgehensweise (Planungsalgorithmen) betrachtet. Unter den Bedingungen von hierarchielosen regionalen Produktionsnetzen sind jedoch andere, weniger festgeschriebene Vorgehensweisen erforderlich, die nicht unter der Regie einer übergeordneten und hierarchische Strukturen bedingenden Steuerungs- und Überwachungsinstanz ablaufen. Ziel ist es deshalb, die Arbeitsplanung unter Berücksichtigung der Bedingungen dieser hierarchielosen Produktionsnetze so zu modularisieren und in einzelne Kompetenzen zu zerlegen, dass autonome, vernetzungsfähige funktionsorientierte Arbeitsplanungs-Kompetenzzellen (KPZ)<sup>20</sup> gebildet werden können. Diese sind dann entsprechend den unterschiedlichen Anforderungen verschiedener konkreter Produkte zusammen mit weiteren KPZ<sup>21</sup> in der Lage, ein Produktionsnetz zur Auftragsumsetzung zu bilden.

Es ist abzusehen, dass die Arbeitsplanung in ihrer vorhandenen Ausprägung als das klassische Bindeglied zwischen Konstruktion und Fertigung die vielfältigen Anforderungen von hierarchielosen Produktionsnetzen nur ungenügend erfüllen kann. Damit die Arbeitsplanung innerhalb der geänderten Randbedingungen zur Lösung der anstehenden Aufgaben beiträgt, werden im Rahmen der vorliegenden Arbeit folgende Untersuchungsziele definiert.

- I. Es ist nachzuweisen, dass sich der Arbeitsplanungsprozess in Form eines Kompetenzrahmens einordnen und inhaltlich zu Kompetenzrahmen anderer Geschäftsprozesse abgrenzen lässt. Weiterhin sind Einflussfaktoren existierender KMU-Netzwerke auf die Gestaltung der Arbeitsplanungskompetenz in hierarchielosen Produktionsnetzen zu ermitteln und in Form von Anforderungen zu definieren.
- II. Ein weiteres Ziel besteht in der konsistenten Abbildung relevanter Arbeitsplanungsinhalte auf Basis des Kompetenzrahmens in Form eines Partialmodells. Dieses enthält zusätzliche Merkmale sowie deren Beziehungen für ein rechentechnisch verar-

---

<sup>18</sup> Nach Definition des Ausschusses für wirtschaftliche Fertigung e.V. (AWF) umfasst die Arbeitsplanung alle einmalig auftretenden Planungsmaßnahmen, welche unter ständiger Berücksichtigung der Wirtschaftlichkeit die fertigungsgerechte Gestaltung eines Erzeugnisses oder die ablaufgerechte Gestaltung einer Dienstleistung sichern.

<sup>19</sup> Es wird zwischen generierenden und projektierenden Arbeitsplanungsmethoden unterschieden.

<sup>20</sup> Unter KPZ wird eine kleine, nicht mehr sinnvoll teilbare Leistungseinheit der Wertschöpfung verstanden.

<sup>21</sup> Dazu zählen bspw. Fertigungs-, Montage- oder auch Logistik-KPZ.

beitbares Beschreibungsschema im Informationstechnischen Modellkern<sup>22</sup> (IMK) des hierarchielosen Produktionsnetzes, welches zur aufwandsarmen Suche oder Abbildung von Arbeitsplanungskompetenz erforderlich ist.

- III. Die Sicherstellung der nachhaltigen Wirtschaftskraft von Arbeitsplanungs-KPZ erfordert eine entsprechende Untersetzung des entwickelten Partialmodells, wodurch aus gegebenen Kompetenzbeschreibungen geeignete Adaptions- und Entwicklungsstrategien abgeleitet werden können.
- IV. Ein weiteres Ziel besteht in der Erweiterung der Partialmodellinhalte für ein systematisches Vorgehen der Arbeitsplanungs-KPZ speziell für diese Vernetzungsform. Dadurch soll die vorhandene Dynamik des hierarchielosen Vernetzungsmodells unterstützt und auf Basis transparenter Planungsabläufe eine vertrauensvolle Zusammenarbeit, speziell auf Produktionsnetzebene, unterstützt werden.
- V. Abschließend erfolgt die Evaluierung wesentlicher Ergebnisse der vorliegenden Arbeit. In diesem Zusammenhang wird beispielhaft das Partialmodell in Bezug auf die Eignung zur Bildung entsprechender Suchanfragen für Arbeitsplanungs-KPZ sowie die zu entwickelnde Methodik für eine anforderungsgerechte Produktionsnetzkonfiguration<sup>23</sup> überprüft.

### 3.1 Vorgehensweise

Basierend auf den in Kapitel 3 definierten Zielen findet das Gegenstromprinzip /SCHM-96/ Anwendung, welches sich aus einer Top-Down-Zerlegung (Komplexitätsreduktion) und einer Bottom-Up-Implementierung (Ergebnisvalidierung) zusammensetzt. Daraus leitet sich eine an die objektorientierte Modellierung<sup>24</sup> angelehnte Methodik zur Lösungsfindung ab, welche sich in Systemanalyse, Modularisierung und Evaluierung gliedert (Abbildung 1). Basierend auf dem Gegenstromprinzip werden die Arbeitsplanungsaktivitäten unter Berücksichtigung der Bedingungen hierarchieloser Produktionsnetze modularisiert und anschließend in einzelne Kompetenzen zerlegt. Als theoretische Basis für diese Vorgehensweise zur Modellbildung dient der Ansatz nach Nethe /NETH-02/. Demnach gelten die Arbeitsplanungsaktivitäten als allgemeines Prozessmodell<sup>25</sup>, welches in eingeschränkte Prozessmodelle<sup>26</sup> (Kompetenzrahmen und Partialmodell) zerlegt wird.

---

<sup>22</sup> Der IMK stellt ein zentrales Informationsverwaltungssystem speziell für das hierarchielose Vernetzungsmodell dar. Darin werden u. a. statische Beschreibungsinformationen über KPZ sowie Methoden zur Auswertung dieser KPZ-Informationen innerhalb von Produktionsnetzbildungs- und -betriebsprozessen abgebildet /NEUB-01/.

<sup>23</sup> In diesem Zusammenhang steht die Selektion von Fertigungs-KPZ durch den IMK auf der Grundlage von entsprechend erarbeiteten technologiegetragenen Suchmustern im Mittelpunkt.

<sup>24</sup> Es entsteht eine Systemarchitektur, in deren Mittelpunkt eine Menge von Klassen sowie Interaktionsmuster, welche das Zusammenspiel der Klassen lenken, stehen. Als Klasse werden eine Menge von Objekten mit gleichen Merkmalen (Attributen), Operationen, Beziehungen und gleicher Bedeutung beschrieben.

<sup>25</sup> Das allgemeine Prozessmodell (nach Nethe) eines Systems ist ein Objekt, welches dem Beobachter erlaubt, ihm interessierende Fragen zum System mit Hilfe dieses Objektes zu beantworten. Es stellt ein Abbild von zeitlich aufeinanderfolgenden Zuständen und Zustandsübergängen eines Systems dar.

<sup>26</sup> Das eingeschränkte Prozessmodell besitzt nur geringen Detaillierungsgrad und spiegelt ausschließlich wichtige Eigenschaften des Objektes innerhalb definierter Restriktionen wieder.

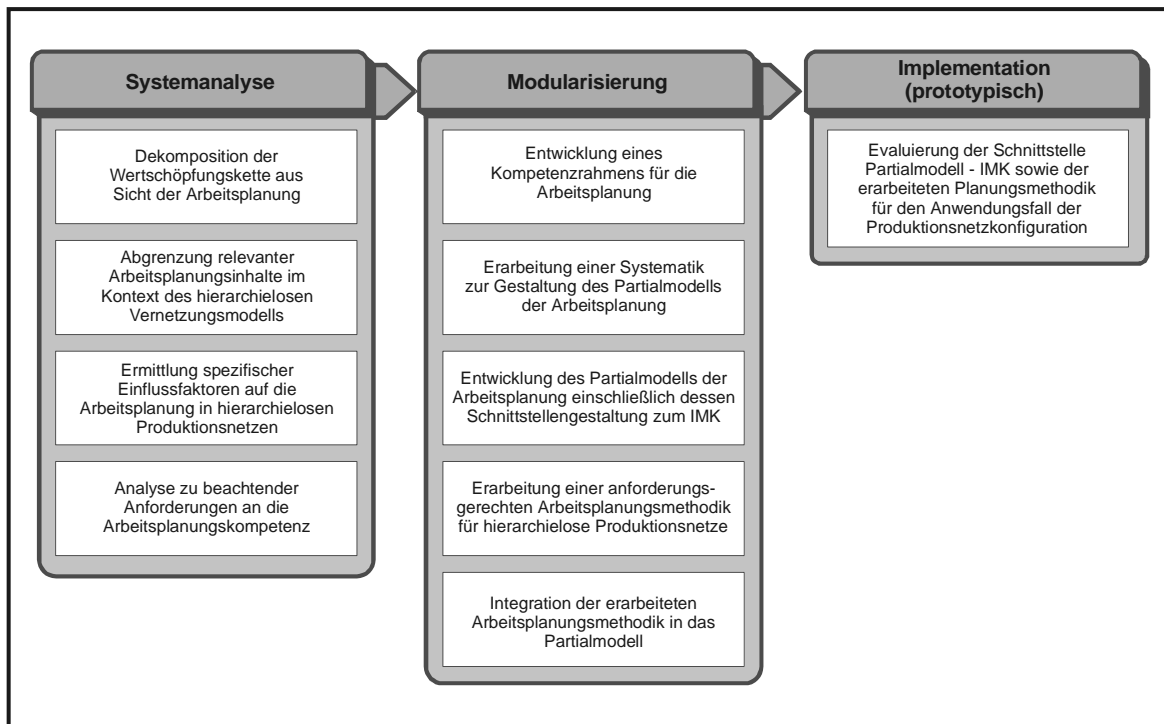


Abbildung 1: Vorgehensweise.

Im Ergebnis dieser Arbeiten werden elementare Arbeitsplanungskompetenzen definiert und gegenüber anderen Kompetenzen (z. B. der Produktentwicklung, Fertigung, Qualitätssicherung) innerhalb des entwickelten Kompetenzrahmens abgegrenzt. Auf Basis dieser Inhalte werden mit Hilfe der Projektion empirisch ermittelter Einflussfaktoren auf den Arbeitsplanungsprozess in vernetzt arbeitenden KMU auf die Randbedingungen des hierarchielosen Vernetzungsmodells relevante Anforderungen an die Gestaltung der Arbeitsplanungskompetenz definiert. Anschließend dienen diese Anforderungen zur Beschreibungserweiterung und Merkmalsstrukturierung für die Partialmodellentwicklung. Darauf aufbauend ist eine informationstechnisch weiterverarbeitbare Struktur für das Partialmodell<sup>27</sup> der Arbeitsplanungskompetenz zur Abbildung im IMK zu erarbeiten. Diese liefert das inhaltliche Gerüst, um anschließend existierende Planungsmethoden für unterschiedliche Randbedingungen innerhalb der Betrachtungsdomäne zu untersuchen, um auf dieser Basis die Anforderungen für die im hierarchielosen Produktionsnetz einzusetzende Arbeitsplanungsmethodik zu definieren. Daraus werden anforderungsgerechte Vorgehensweisen zur Arbeitsplanung in hierarchielosen Produktionsnetzen abgeleitet, anschließend in einer zugeschnittenen Methodik zusammengeführt und im Partialmodell abgebildet.

Die erzielten Ergebnisse werden abschließend prototypisch für ausgewählte Modelle und Vorgehensweisen evaluiert.

<sup>27</sup> Das Partialmodell der Arbeitsplanungskompetenz entspricht in seinem Abstraktionsgrad dem allgemeinem Prozessmodell und dient zur konsistenten Abbildung instanzierter Arbeitsplanungs-KPZ im IMK.

### 3.2 Abgrenzung

Begründet durch die große Vielfalt von Organisationsformen für Produktionsnetze und deren sehr umfangreiche Aufgaben und Aktivitäten der Arbeitsplanung werden für die vorliegende Arbeit nachfolgende Einschränkungen vorgenommen. Den Anwendungsbereich für die Gestaltung und Integration der Arbeitsplanungskompetenz bilden hierarchielose Produktionsnetze, die durch spezifische Merkmale gekennzeichnet sind:

- Das Erzeugnisspektrum ist kundendeterminiert, das heißt, es werden komplexe Produkte individuell nach den Zielvorgaben des Auftraggebers gefertigt.
- Die betrachteten Fertigungsarten werden auf die Einzelteil- und Kleinserienfertigung beschränkt.
- Die Organisationsstruktur des Produktionsnetzes ist hierarchielos.
- Die räumliche Struktur der Leistungseinheiten (KPZ) trägt regionalen Charakter.
- Alle rechtlichen und steuerlichen Aspekte bleiben unbeachtet.
- Grundlage für die Untersuchungen sind KMU.
- Die Wertschöpfung erfolgt durch direkt vernetzte KPZ.

Weiterhin werden ausschließlich Vorgehensweisen der Arbeitsplanung in metallverarbeitenden Betrieben betrachtet. Der Fokus liegt speziell auf Fragestellungen zur

- Produktionsnetzgenese,
- geeigneten Arbeitsplanungsmethoden,
- Repräsentation der Arbeitsplanungskompetenz im IMK und
- der Informationstechnologie-Integration der entwickelten Methoden und Modelle in die vorhandene Infrastruktur des hierarchielosen Produktionsnetzes.

Als Referenzprodukt<sup>28</sup> zur Veranschaulichung der erarbeiteten Ergebnisse dient ein Montagesystem (eine mobile Montagezelle) mit der Bezeichnung „System 21“ /USK-02/.

---

<sup>28</sup> Gewähltes Erzeugnis, welches zur praktischen Untersetzung der erarbeiteten Konzepte, Methoden und Modelle dient.

## 4 Zielsystem hierarchieloses Produktionsnetz

### 4.1 Vorbetrachtungen

Die gegenwärtige Zeit ist gekennzeichnet durch einen hohen Entwicklungsstand in der Informationstechnologie. Gleichzeitig rücken die Märkte der Unternehmen immer weiter zusammen und der Faktor Mensch wird oft als die teuerste Ressource betrachtet. Deshalb versuchen Großunternehmen, die Organisations- und Steuerungsprozesse ihrer Wertschöpfung vollständig zu automatisieren. Dies bedingt den Einsatz von entsprechenden IT-Systemen, welche bezüglich Beschaffung, Einführung und Wartung sehr kostenintensiv sind. Dennoch ist dieser Aufwand bei einer Serien- und Massenfertigung mit hohem Wiederholcharakter betriebswirtschaftlich gerechtfertigt. Schwer zu implementierende Geschäftsprozesse mit hohem personengebundenen Know-how in Verbindung mit geringen Stückzahlen, wie bspw. Tätigkeiten zur Arbeitsplanung, werden an sogenannte Systemlieferanten (vgl. 1.1) übertragen (ausgelagert). In der Folge entsteht für das fokale Unternehmen eine rechentechnisch vollständig beschreibbare Wertschöpfungskette, in welcher die „Störgröße“ Mensch kalkulierbar wird. Dennoch bleibt das Problemfeld der Integration des Menschen in die Produktion im Informationszeitalter als Outsourcing-Resultat bei den Systemlieferanten von Großunternehmen bestehen. Somit liegt der Ball im Spielfeld der KMU, die nun ihrerseits Lösungen zur effektiven Integration des Menschen in die Wertschöpfung finden müssen. Ein Weg zu dieser betrieblichen Reorganisation im Mittelstand sind Netzwerke, welche menschliche Kompetenzen über betriebliche Grenzen hinweg vereinen, um die Mitarbeiter dieser KMU optimal zu fördern und Raum für Innovationen zu bieten. Dies stärkt die Innovationskraft der KMU und sichert darüber ihre Marktposition im globalen Wettbewerb.

Der Sonderforschungsbereich 457 „Hierarchielose regionale Produktionsnetze“ der Technischen Universität Chemnitz beschäftigt sich mit der wissenschaftlichen Durchdringung des visionären Ansatzes kundenorientierter, hierarchieloser und regionaler Produktionsnetze auf Basis direkter Kompetenzvernetzung von Mitarbeitern in KMU, welcher von Wirth /WIRT-99/ erarbeitet wurde.

### 4.2 Die Vernetzung im hierarchielosen regionalen Produktionsnetz

Im Unterschied zu existierenden Kooperationsmodellen (vgl. 2.1), welche die Vernetzung kompletter Betriebe im Rahmen eines Supply-Chain-Managements /WANN-02, KUHN-02/ oder den Zusammenschluss unternehmensspezifischer Leistungseinheiten (vgl. 2.1, z. B. Fraktale, Segmente) unterstützen, beruht das hier betrachtete Kooperationsmodell auf einer hierarchielosen und direkten Vernetzung kleinster Leistungseinheiten, sogenannter KPZ. Das Denkmodell der hierarchielosen Kompetenzvernetzung lehnt sich an die Organisation in biologischen Lebensräumen<sup>29</sup> an. Ähnlich dem Aufbau eines Biotops<sup>30</sup>, welches aus Zellen, Zellgruppen, Organen und Organismen besteht, sind auch hierarchielose Produktionsnetze gestaltet (Abbildung 2). Das Zusammenspiel der Systemelemente erfolgt

---

<sup>29</sup> Die Idee, in der Natur vorkommende Phänomene zur Lösung technischer Aufgaben zu nutzen wurde bereits erfolgreich angewendet, z. B. zur Optimierung (Ant Colony Optimization /BONA-99/) oder zur Klassifikation (überwacht lernende neuronale Netze /ROJA-96, SCHE-97/).

<sup>30</sup> Die Bestandteile können auch als Systemelemente bezeichnet werden.

durch deren Selbstorganisation entsprechend den jeweils vorliegenden Bedingungen. Somit spiegelt das Biotop die aktuellen Einflüsse wieder und reagiert schnell und ereignisbezogen auf sich ändernde Randbedingungen. Dieses Verhalten gilt es für hierarchielose Produktionsnetze nachzubilden, um ohne überflüssigen Organisationsaufwand (bspw. hervorgerufen durch viele Hierarchiestufen) und anforderungsgerecht (d. h. dynamisch entsprechend den aktuellen Kundenbedürfnissen) die gewünschte Wertschöpfung sicherzustellen.

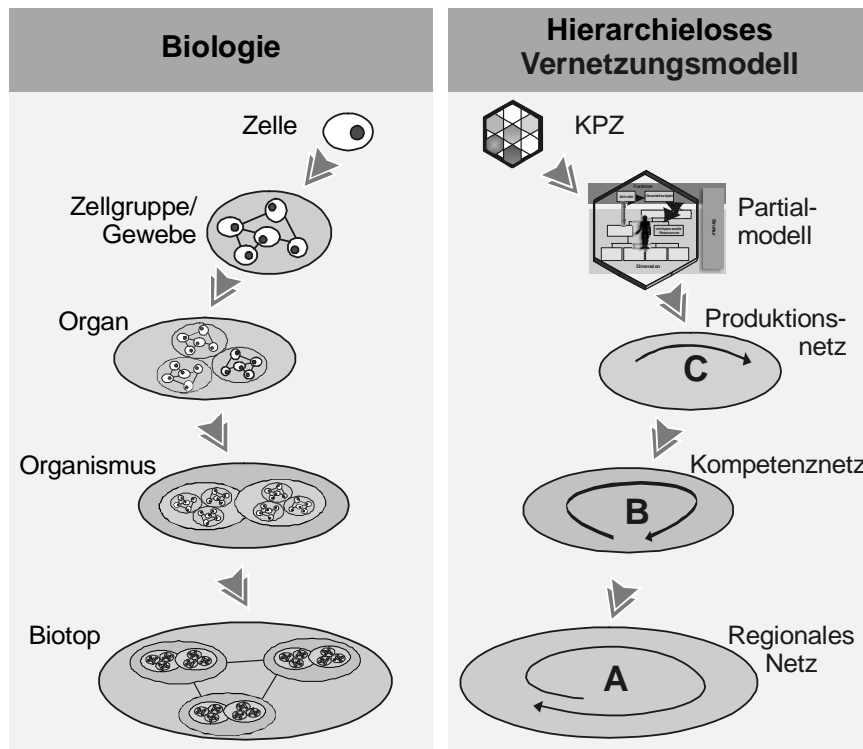


Abbildung 2: Schematisierte Darstellung der Äquivalenz Biologie und hierarchieloses Produktionsnetz (in Anlehnung an /SFB457-00/).

Das hierarchielose Vernetzungsmodell umfasst drei Betrachtungsebenen /SFB457-02a/. Als Basisebene kann das **Regionale Netz** angesehen werden. Darin existieren eine Vielzahl von KMU, welche sich auf Grundlage ihrer vorhandenen Kompetenzen und Potentiale dem Wettbewerb stellen. Auf dieser regionalen Ebene bestehen bereits mentale und infrastrukturelle Beziehungen zwischen den Unternehmen, welche sich zum Teil in Form von Interessenvereinigungen (z. B. ICM<sup>31</sup> e.V., KFS<sup>32</sup>net oder KCM<sup>33</sup> e. V.) manifestieren. Auf Basis dieser Unternehmen werden im Rahmen der zweiten Gestaltungsebene **Kompetenznetze** gebildet. Kompetenznetze weisen eine Reihe von spezifischen Eigenschaften auf, welche sie von den anderen Ordnungsebenen dieses Vernetzungsmodells unterscheiden. Dazu gehören beispielsweise ein Mindestmaß an institutionalisierten Beziehungen (z. B. einheitliche Informationsplattformen (vgl. IMK) oder definierte Qualitätsmaßstäbe). Auf dieser Basis können aus den im regionalen Netz existierenden KMU im Kompetenz-

<sup>31</sup> Interessenverband des Chemnitzer Maschinenbaus e.V. /ICM-02/.

<sup>32</sup> Kompetenznetz Fertigung Sachsen /KFSN-04/.

<sup>33</sup> Kompetenzzentrum Maschinenbau Chemnitz/Sachsen e.V. /KCM-02/.

netz eine Vielzahl von KPZ gebildet werden, welche sich entsprechend vorgegebener Beschreibungsmuster<sup>34</sup> im IMK repräsentieren. Die Herausbildung von Kompetenznetzen setzt eine dazu notwendige Infrastruktur voraus, deren Entwicklung im Rahmen des SFB457 „Hierarchielose regionale Produktionsnetze“ an der TU Chemnitz /SF457-02/ vorangetrieben wird. Dadurch entsteht die Möglichkeit, regional vorhandene Strukturen weiterzuentwickeln (wie bspw. den Arbeitskreis Produktion innerhalb des ICM oder des NIKA e.V.<sup>35</sup>), um bspw. eine gezielte und regional getragene Potentialentwicklung zu gewährleisten.

**Produktionsnetze** entstehen, wenn ein konkreter, umzusetzender Kundenwunsch auf das Kompetenznetz trifft. Unter Beachtung der Auftragsgegebenheiten werden aus dem Kompetenznetz mit Hilfe unterschiedlichster IT-Werkzeuge (IMK, EVCM<sup>36</sup>) die geeignetsten KPZ bestimmt und vernetzt. Somit sind Charakteristika wie „dynamisch“<sup>37</sup>, „auftragsbezogen“ oder „direkt vernetzt“ wesentliche Merkmale des Produktionsnetzes. In Abbildung 3 werden die Zusammenhänge zwischen Regionalem-, Kompetenz- und Produktionsnetz nochmals veranschaulicht.

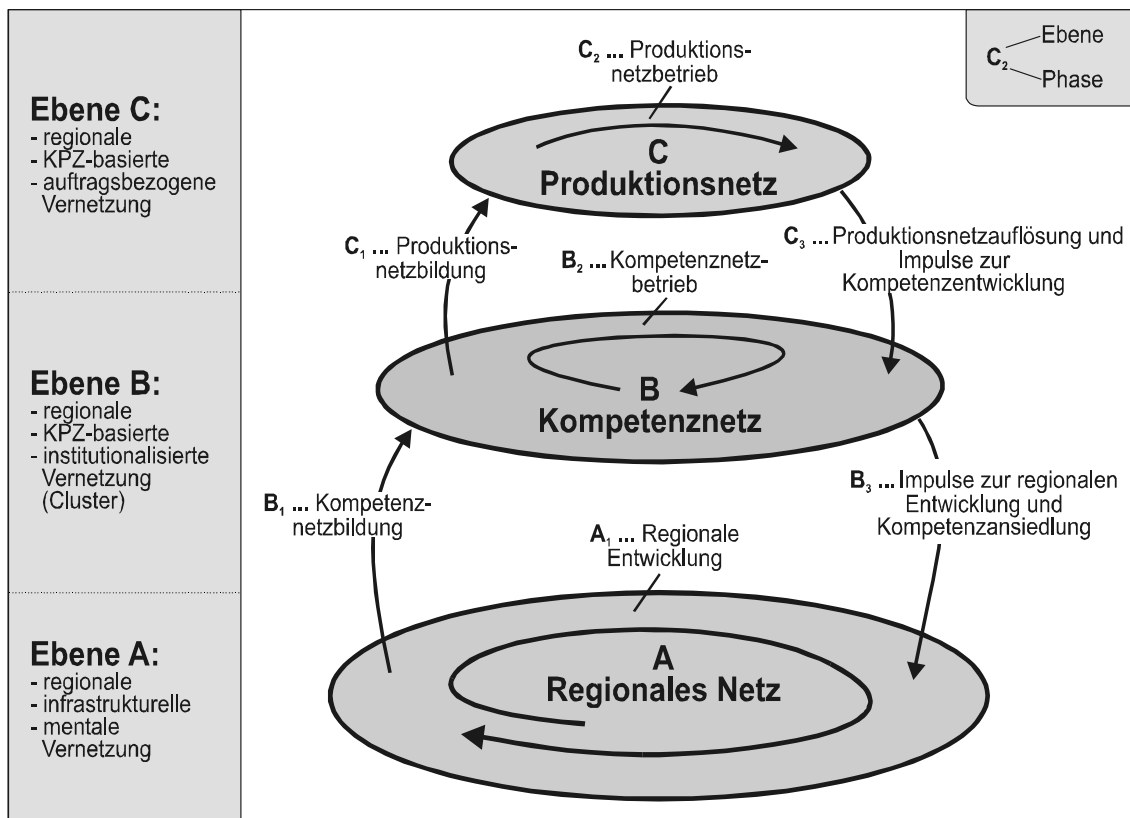


Abbildung 3: Sicht auf die Ebenen des hierarchielosen Vernetzungsmodells (nach /SFB457-02/).

<sup>34</sup> Als Beschreibungsmuster dienen den KMU die Partialmodelle für KPZ.

<sup>35</sup> Netzwerk Innovation und Kompetenz in Automation e.V. /NIKA-03/.

<sup>36</sup> Extended Value Chain Management. Dieses von Teich entwickelte Konzept stellt das favorisierte Betreibermodell für hierarchielose Produktionsnetze dar /TEIC-03/.

<sup>37</sup> Im Sinne von temporär.

### 4.3 Die IT-Werkzeuge im Fokus der KPZ-Vernetzung

Die IT-Werkzeuge des hierarchielosen Produktionsnetzes greifen auf die nach den jeweiligen Partialmodellen beschriebenen KPZ zurück. Dabei übernimmt der **IMK** u. a. die Funktion einer „Brokerinstanz“, welche die jeweils angeforderte mit den beschriebenen Kompetenzen vergleicht. Somit stellt der IMK die Bildung von KPZ aus dem Regionalen Netz (vgl. Phase B<sub>1</sub> in Abbildung 3) sicher, verwaltet die Beschreibungen im Kompetenznetzbetrieb (vgl. Phase B<sub>2</sub> in Abbildung 3) und unterstützt die Produktionsnetzkonfiguration durch den Abgleich von Kompetenzanforderungen mit den Beschreibungen der KPZ (vgl. Phase C<sub>1</sub> in Abbildung 3). In Abbildung 4 ist der prinzipielle Aufbau des IMK (nach Neubert /NEUB-01/) dargestellt. Auf eine nähere Betrachtung dieses IT-Werkzeuges des hierarchielosen Produktionsnetzes wird an dieser Stelle verzichtet und auf die Arbeiten von Görlitz und Neubert /GOER-02, NEUB-02a/ verwiesen.

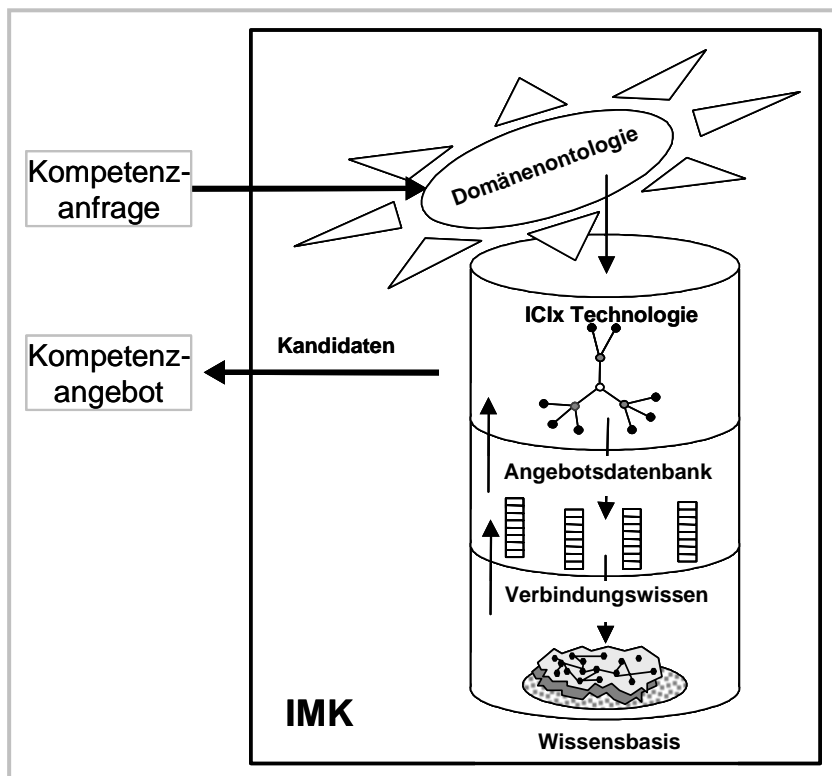


Abbildung 4: Sicht auf die IMK-Struktur (nach Neubert /NEUB-01/).

Zu den Merkmalen des **EVC**M (Abbildung 5) gehört eine Verbindungsfunktionalität zur KPZ-Information (vgl. Phase B<sub>2</sub> in Abbildung 3). In diesem Zusammenhang werden diejenigen KPZ, welche durch den IMK als geeignet ausgewählt wurden, darüber informiert und mit einer Angebotsabgabe beauftragt (vgl. Phase C<sub>1</sub> in Abbildung 3). Nach Angebotsübermittlung an das EVCM erfolgt eine Optimierung entsprechend den Zielvorgaben des Kunden. Dadurch wird eine bestmögliche KPZ-Kombination für das Produktionsnetz ermittelt (vgl. Phase C<sub>2</sub> in Abbildung 3). Die Schichten (nach Teich /TEIC-03/) des EVCM sind in Abbildung 5 dargestellt. Auf eine nähere Betrachtung dieses IT-Werkzeuges des hierarchielosen Produktionsnetzes wird an dieser Stelle verzichtet und auf die bereits erwähnte Arbeit von Teich /TEIC-03/ verwiesen.



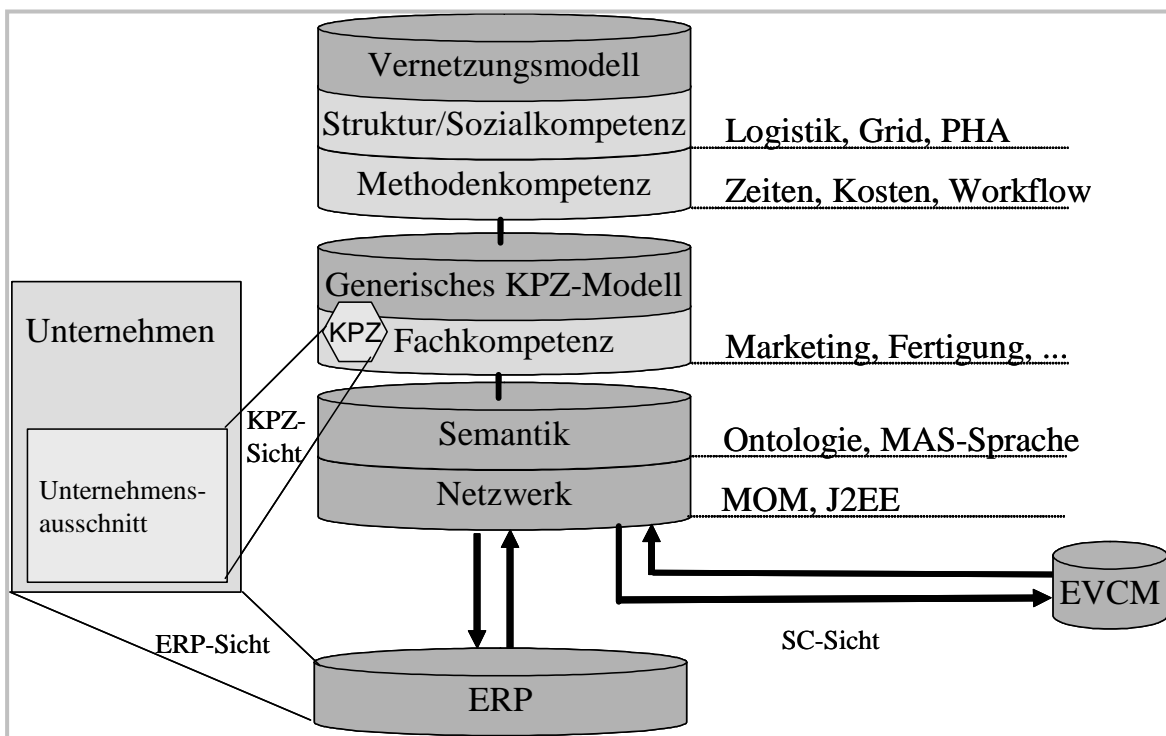


Abbildung 5: EVCM-Schichtenmodell (nach Teich /TEIC-03/).

Für das Aktivieren des hierarchielosen Vernetzungsmodells sind im wesentlichen drei Vernetzungsanlässe denkbar. Im **ersten Szenario** liegen seitens des Kunden sehr detaillierte Auftrags- und Produktparameter vor. Diese dienen (unter Umständen mit leichten Modifikation zum Abgleich der Beschreibungsstruktur) zur direkten Suche nach Kandidaten-KPZ<sup>38</sup> durch den IMK und zur anschließenden Produktionsnetzgenese durch das EVCM. Ein möglicher Hintergrund für diesen Vernetzungsanlass ist denkbar, wenn die Produktionskapazitäten des Kunden, hervorgerufen durch die herzustellende Erzeugnismenge, ausgeschöpft sind und die verbleibende Stückzahl als Fremdauftrag vergeben werden muss.

Das **zweite Vernetzungsszenario** unterstützt den Kunden bei der Lösungsfindung als Voraussetzung zur Erzeugnisspezifikation und hat seinen Ursprung im Kompetenznetz. Das hierarchielose Produktionsnetz dient dem Kunden in diesem Fall als „Problemlöser“. Diese Ausgangslage tritt ein, wenn die zu lösende Aufgabe den Einsatz eines sehr komplexen und individuell zu konfigurierenden Arbeitsmittels<sup>39</sup> erfordert. Dabei werden mit Hilfe partizipativer Planungsmethoden geeignete KPZ selektiert und Umsetzungsvorschläge erarbeitet. Nach Eingrenzung des Lösungsraumes dient die favorisierte Variante als Basis zur nachgelagerten Produktionsnetzgenese und Herstellung des nachgefragten Erzeugnisses.

Der **dritte Vernetzungsanlass** basiert auf dem regionalen Netz. Auf Grundlage der in einer Region verfügbaren Kompetenzen können darin technisch-technologische Innovationen erarbeitet und als neue Erzeugnisse der Region vermarktet werden. Dabei wird die

<sup>38</sup> Eine Kandidaten-KPZ erfüllt die vorgegebenen Suchkriterien.

<sup>39</sup> Als Arbeitsmittel werden Maschinen, Geräte und Vorrichtungen bezeichnet, welche zur Erfüllung der Arbeitsaufgabe notwendig sind, um den entsprechenden Anteil am Wertschöpfungsprozess zu erfüllen oder für den Menschen zu erleichtern.

Produktionsnetzgenese und anschließende Fertigung ohne eine direkte Auftragserteilung durch einen Kunden angeregt. Mit Hilfe dieses Vernetzungsansatzes ist es möglich, eine Region gezielt entsprechend benötigter, aber nicht vorhandener Potentiale zu entwickeln. Die erfolgten Untersuchungen im Rahmen dieser Arbeit leisten im Wesentlichen einen Beitrag zur Umsetzung des ersten Vernetzungsszenarios.

#### 4.4 Die Kompetenzzelle als Leistungseinheit hierarchieloser Produktionsnetze

Die elementaren Leistungseinheiten in hierarchielosen Produktionsnetzen sind KPZ. Sie bilden die Basis für die Elementarisierung von KMU, um sich in Kompetenznetze einbringen zu können, wozu Beschreibungsvorlagen in Form sogenannter Partialmodelle auf Basis eines generischen KPZ-Modells (Abbildung 6) genutzt werden. Im Mittelpunkt der KPZ „steht der Mensch mit seinen individuellen Fähigkeiten<sup>40</sup> und Fertigkeiten<sup>41</sup> sowie den ihm zur Verfügung stehenden nichtpersonellen Ressourcen<sup>42</sup>“ /SFB457-00/. Die KPZ „besitzt eine Funktion<sup>43</sup>, Dimension<sup>44</sup> und Struktur<sup>45</sup>“.

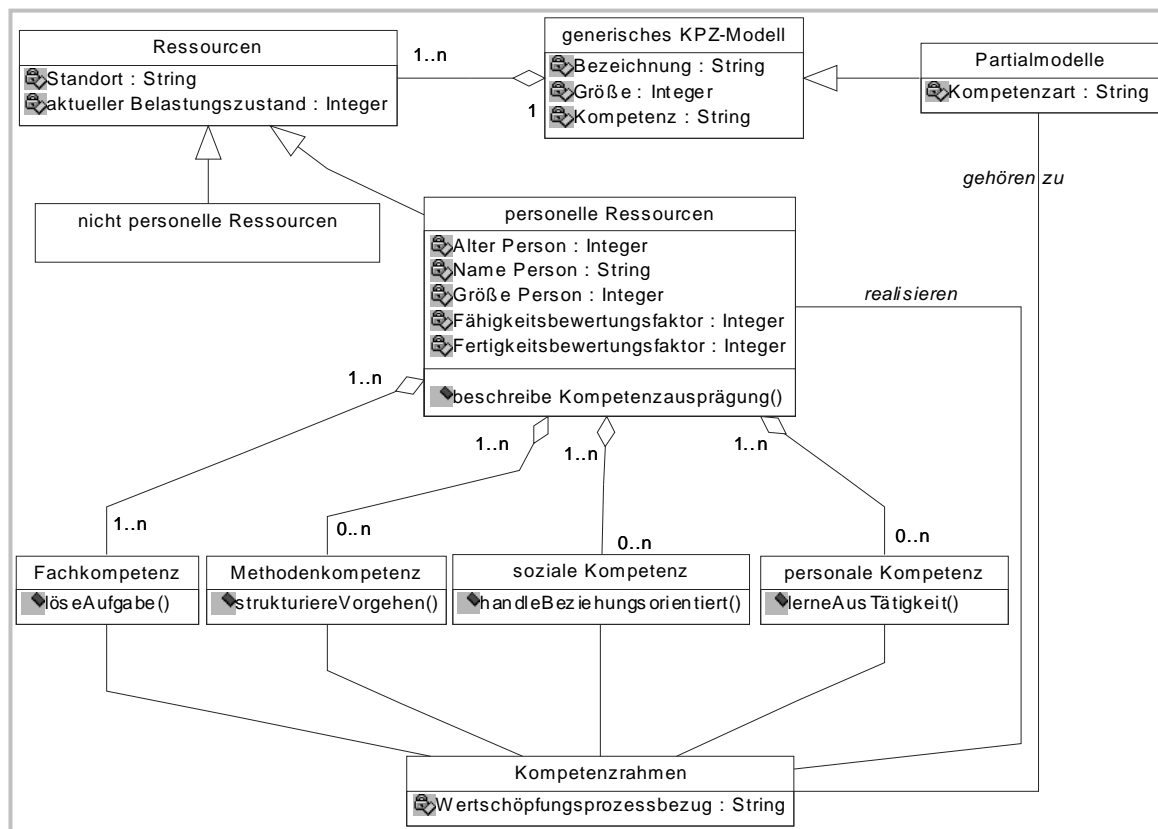


Abbildung 6: Sicht auf die Struktur des generischen KPZ-Modells (Darstellung als UML-Klassenmodell).

<sup>40</sup> „Gesamtheit notwendiger Bedingungen, um eine bestimmte Leistung zu vollbringen. Grundeigenschaften einer Person, die angeboren sind oder erworben werden“ /BEEL-02/.

<sup>41</sup> „Durch entsprechende Übung in hohem Grad (traumhaft sicher) beherrschtes praktisches Vermögen.“ /BEEL-02/.

<sup>42</sup> Alle materiellen Faktoren, welche für eine Wertschöpfung erforderlich sind (in Anlehnung an /KUHN-01a/).

<sup>43</sup> Dient zur qualitativen Beschreibung von KPZ.

<sup>44</sup> Dient zur quantitativen Beschreibung einer KPZ.

<sup>45</sup> Beschreibt die Relationen zwischen KPZ genauer.

Sie „realisiert, in Analogie zur Biologie, Grundfunktionen des Lebens (z. B. Entstehung, Wachstum, Lernen, Wandel und Niedergang). KPZ sind elementar, autonom<sup>46</sup>, kooperations-, anpassungs-, erweiterungs-, lern- und dadurch lebensfähig in Kompetenznetzen sowie Bestandteil eines regionalen Wirtschaftsraumes“. Durch die Fähigkeit zur Selbstorganisation besitzt die KPZ Schnittstellen, womit sie „einerseits betriebswirtschaftliche, materiell-technische und partnerschaftliche Beziehungen“ zu anderen KPZ unterhält und andererseits über das EVCM Bestandteil des Kompetenznetzes ist. KPZ gehen aus sinnvoll abgegrenzten Wissensgebieten, sogenannten Kompetenzrahmen<sup>47</sup> (bspw. der Arbeitsplanung) hervor.

Prinzipiell können zwei Arten von KPZ unterschieden werden: funktions- und prozessorientierte. Funktionsorientierte KPZ werden aus Kompetenzen eines Kompetenzrahmens gebildet. Dadurch besitzt dieser KPZ-Typ eine hohe Spezialisierung auf einem definierten Wertschöpfungsabschnitt (einem speziellen partiellen Geschäftsprozess).

Prozessorientierte KPZ aggregieren im Gegensatz dazu Kompetenzen aus verschiedenen Kompetenzrahmen und zeichnen sich daher durch einen erweiterten Bezug zum Wertschöpfungsprozess aus. Somit können durch diesen KPZ-Typ komplexere, d. h. über ihre in das Produktionsnetz eingebrachte Leistung hinausgehende, Anforderungen erfüllt werden. Dazu zählen z. B. die eigenständige Vermarktung ihrer Kompetenz oder die Nachweisführung innerhalb vorgegebener Qualitätsmanagementsysteme.

Grundlage für die Modellierung von KPZ ist das generische Kompetenzzellenmodell<sup>48</sup>. Dadurch werden wesensbestimmende Merkmale von KPZ beschrieben, u. a. Schnittstellen, Organisationsstrukturen oder Repräsentationsformen. In Anlehnung an die durch Erpenbeck /ERPE-99/ erfolgte Kompetenzbeschreibung vereint bereits das generische KPZ-Modell die unterschiedlichen Betrachtungsebenen von KPZ. Auf Basis dieses allgemeinen KPZ-Modells werden geschäftsprozessspezifische Teilmodelle, sogenannte Partialmodelle, gebildet. Diese konkretisieren die allgemeingültigen Merkmale des generischen KPZ-Modells auf Basis des jeweiligen Kompetenzrahmens. Solche Partialmodelle erfüllen prinzipiell zwei Aufgaben. Erstens dienen sie zur Beschreibungsunterstützung bezüglich der Abbildung von KMU im Kompetenznetz und zweitens bilden diese Partialmodelle den Ausgangspunkt, um geeignete Vorgehensweisen zum Agieren der KPZ im Kompetenznetz bereitzustellen.

Entsprechend diesen dargestellten Spezifika von KPZ grenzt sich der Gestaltungsraum zur Strukturierung und Abbildung von relevanten Beschreibungsmerkmalen für Arbeitsplanungskompetenzen zusätzlich<sup>49</sup> ein. Es wird jedoch für notwendig erachtet, die Kompe-

---

<sup>46</sup> Die Autonomie einer KPZ bezieht sich auf ihre wirtschaftliche Eigenständigkeit.

<sup>47</sup> Somit entsprechen Kompetenzrahmen partiellen Geschäftsprozessen.

<sup>48</sup> Das generische Kompetenzzellenmodell definiert und verallgemeinert wesentliche Strukturen und Elemente von KPZ.

<sup>49</sup> Allgemein ergeben sich aus der Betrachtungsdomäne des hierarchielosen Vernetzungsmodell bereits eine Vielzahl von Randbedingungen (vgl. Abschnitt 4.2).

tenzauffassung, welche dem generischen KPZ-Modell<sup>50</sup> zu Grunde liegt, einfühend vorzustellen.

Grundlage für die Kompetenzbetrachtungen bilden die Arbeiten von Erpenbeck<sup>51</sup> /ERPE-99/. Dieser versteht unter Kompetenzen psychologisch-sozialwissenschaftliche Konstrukte, sogenannte Selbstorganisationsdispositionen. Basierend auf den verschiedenen Arten selbstorganisierten Handelns (geistige, instrumentelle, kommunikative und reflexive Handlungen sowie die Handlungsgesamtheiten) können nach der Theorie von Erpenbeck Dispositionen bzw. Kompetenzen abgeleitet werden. Diese bestehen aus folgenden Grundkompetenzen (vgl. /HEYS-97/), welche sich im generischen KPZ-Modell (wenn auch in modifizierte Form<sup>52</sup>) wieder finden.

1. Die Fachkompetenz ist geprägt durch spezifische berufliche Kenntnisse und Fertigkeiten, beinhaltet deklaratives Wissen und sensomotorische Fähigkeiten. Diese Disposition zeichnet sich durch selbst-organisiertes, sachbezogenes Handlungswissen und entsprechende Verhaltensfähigkeiten aus. Sie befähigt eine Person, geistig selbstorganisiert zu handeln, ermöglicht die kreative Lösung von Problemen mit fachlichen Kenntnissen und Fertigkeiten sowie die sinnorientierte Einordnung und Bewertung von Wissen.
2. Die Methodenkompetenz besteht aus situationsübergreifend einsetzbaren kognitiven Fähigkeiten mit besonderem Bezug zur Strukturierung und Lösung von Problemen sowie zur Entscheidungsfindung. Sie ermöglicht es, instrumentell selbstorganisiert zu handeln, Aufgaben und Lösungen methodisch kreativ zu gestalten sowie geistiges Vorgehen zu strukturieren.
3. Die personale Kompetenz ist durch Persönlichkeits- und Ich-Bezug geprägt. Dies drückt sich speziell in Motivation, Einstellung, Verhalten, Werten und Selbstbildern aus. Wichtig sind hier vor allem die Fähigkeit zur Selbstwahrnehmung, zur Entfaltung eines realistischen Selbstkonzeptes und zum Selbstlernen. Diese Fähigkeiten erlauben einer Person, eigene Begabungen, Motivationen und Leistungsvorsätze zu entwickeln, sich in ihrer Arbeit (und außerhalb) kreativ zu entfalten sowie zu lernen.
4. Die Sozialkompetenz umfasst vornehmlich kommunikative und kooperative Verhaltensweisen, die Voraussetzungen zur Optimierung von Interaktions- und Gruppenprozessen mit dem Ziel der erfolgreichen Realisierung von Plänen und Aufgaben sind. Dabei handeln Menschen kooperativ und kommunikativ selbstorganisiert.

Unter Beachtung dieser vier Grundkompetenzen (fach, methoden, personal und sozial) kann im Rahmen der Partialmodellentwicklung eine Einordnung der durchzuführenden

---

<sup>50</sup> Das Partialmodell für Arbeitsplanung ist als eine für diesen Geschäftsprozess zugeschnittene Ausprägung des generischen KPZ-Modells anzusehen.

<sup>51</sup> Im Rahmen dieser Arbeit wird die Sinnfälligkeit dieser Randbedingung nicht näher betrachtet, sondern die damit in Verbindung stehenden Möglichkeiten dankbar als Vorarbeiten angenommen.

<sup>52</sup> Diesbezügliche Untersuchungen sind nicht Gegenstand der vorliegenden Arbeit. Es kann jedoch auf weiterführende Forschungsaktivitäten im Rahmen des SFB 457 verwiesen werden, bspw. von Meyer /MEYE-02/, Aderhold /ADER-02/ oder Freitag /FREI-03/.

Merkmalsbeschreibungen in das Gebiet von Fach- und Methodenkompetenz erfolgen. Vor dem Hintergrund der Sicherung der Lebensfähigkeit von Arbeitsplanungs-KPZ im Kompetenznetz ist eine auf Basis der Fachkompetenz getragene Betrachtung von Adaptions- und Entwicklungsstrategien bezüglich der Einbeziehung von personaler Grundkompetenz in die Arbeiten zur Gestaltung des Partialmodells für Arbeitsplanung von Vorteil. Der Untersuchungsbereich der sozialen Grundkompetenz wird im Rahmen dieser Arbeit zur Gestaltung und Integration von Arbeitsplanungskompetenzen für hierarchielose Produktionsnetze nicht betrachtet.

#### **4.5 Auswahl der Modellierungssprache**

Die Gestaltung des hierarchielosen Produktionsnetzes erfolgt durch eine parallele und interdisziplinäre Entwicklung von Konzepten, Modellen und Methoden. Für den darin enthaltenen Aufgabenbereich der Arbeitsplanung wurden folgende Anforderungen an die anzuwendende Modellierungssprache herausgearbeitet.

- Modellierbarkeit beliebiger Abläufe zur Visualisierung von Netzbildungs-, Organisations- und Steuerungsstrukturen
- Unterstützung einer konsistenten Begriffs- und Modellwelt
- Abbildbarkeit unterschiedlicher Netzbildungsstrategien
- Unterstützung der Flexibilität von Modellkomponenten (Abbildung von statischen und dynamischen Systemzuständen)
- Modellierbarkeit verteilt und gleichzeitig ablaufender Prozesse
- Leichte und schnelle Erlernbarkeit
- Möglichkeit zur nachträglichen Änderung von Modellen
- Programmiersprachen- und Prozessunabhängigkeit
- Existenz einer formalen Basis zum Verständnis der Modellierungssprache
- Notationsunterstützung durch Softwaretools
- Möglichkeit zur Erweiterung der Semantik für spezielle Aufgaben

Diese Anforderungen flossen in die Auswahl einer geeigneten Modellierungssprache ein. Im Ergebnis einer Bewertung von mehr als 25 in der Praxis angewandten Modellierungssprachen wurde als geeignetste die Unified Modeling Language (UML) /BOOC-99/ gewählt /SFB-02a/. Zur Unterstützung der durchzuführenden Modellierungsarbeiten dient das Softwaretool Rational Rose /BORR-01/. In der Anlage 1 sind wichtige Elemente dieser Modellierungssprache zum besseren Verständnis für Abbildungen auf UML-Basis in dieser Arbeit kurz beschrieben. Mit Hilfe dieser Modellierungssprache kann eine interdisziplinäre Zusammenarbeit, speziell zwischen den ingenieur- und informationstechnischen Bereichen, erfolgen. Im Rahmen dieser Arbeit werden in diesem Zusammenhang Analysemodelle erarbeitet, welche fachspezifische Zusammenhänge darstellen. Eine Überführung in Designmodelle wird somit nicht für die vorliegenden Problemstellungen angestrebt.



## 5 Der Kompetenzrahmen Arbeitsplanung

Im Rahmen dieses Kapitels besteht der Anspruch des prinzipiellen Nachweises, dass die Vision von hierarchielosen regionalen Produktionsnetzen in Bezug auf die vorgegebene Repräsentation<sup>53</sup> für den Problembereich der Arbeitsplanung generell praktikabel ist. Dieses Ziel wird als erreicht angesehen, wenn folgende Teilaufgaben umgesetzt werden können:

1. Entsprechend der theoretischen Basis bilden die Kompetenzrahmen eine wesentliche Voraussetzung zur Modellierung der Partialmodelle. Somit ist es erforderlich, dass sich der Arbeitsplanungsprozess derart abbilden und abgrenzen lässt, um diese Randbedingung zu erfüllen.
2. Unter Beachtung existierender KMU-Netzwerke sind wesentliche Einflussfaktoren, welche sich aus dem hierarchielosen Vernetzungsmodell ergeben, für den Kompetenzrahmen Arbeitsplanung herauszuarbeiten. Auf deren Basis werden anschließend Anforderungen an die zu modellierende Arbeitsplanungskompetenz im hierarchielosen Produktionsnetz ermittelt und auf ihre Umsetzbarkeit überprüft.

Im Rahmen dieses Arbeitspunktes wird der Untersuchungsraum der Arbeitsplanungskompetenz im hierarchielosen Produktionsnetz definiert. Dies erfolgt durch die Anwendung der Kompetenztheorie<sup>54</sup> auf den partiellen Geschäftsprozess der Arbeitsplanung. Außerdem werden durch die Dekomposition des Vorgehens zur Arbeitsplanung elementare Arbeitsplanungskompetenzen ermittelt. Anschließend erfolgt eine Analyse von Einflussfaktoren auf den Arbeitsplanungsprozess im hierarchielosen Produktionsnetz. Ziel ist die Ermittlung von Anforderungen an die Arbeitsplanungskompetenz sowohl aus empirischen Untersuchungen in existierenden KMU-Netzwerken als auch aus dem vorliegenden Vernetzungsmodell heraus.

### 5.1 Systematik zur Definition des Kompetenzrahmens Arbeitsplanung

In Abbildung 7 ist der schematische Ablauf zur Dekomposition des partiellen Geschäftsprozesses der Arbeitsplanung dargestellt. Für eine zielgerichtete Lösungsfindung wurde eine vierstufige Vorgehensweise für die Identifikation und Einordnung spezifischer Arbeitsplanungsaktivitäten entwickelt. Im Gegensatz zur allgemein definierten Theorie zur Bildung von KPZ entsprechend dem generischen KPZ-Modell, erweist es sich für die Problemstellung der Arbeitsplanung als notwendig, eine erweiterte Betrachtung dieses Modellierungsprozesses durchzuführen. Ein Grund dafür liegt in dem nahezu ausschließlich personengebundenem Kompetenzprofil dieses Geschäftsprozesses. Dadurch wird eine feingranularere Modellierung des Prozesses zur Kompetenzabbildung und –abgrenzung notwendig, da erst nach Abschluss der Analyse relevanter Arbeitsplanungsinhalte sowie deren Abbildung im Kompetenzrahmen zur Entwicklung einer geeigneten Beschreibungsmaske, dem sogenannten Partialmodell, übergegangen werden kann. Nachfolgend wird die für die Arbeitsplanungskompetenz erarbeitete Systematik beschrieben (Abbildung 7).

---

<sup>53</sup> Im Rahmen eines Kompetenzrahmens für Arbeitsplanung.

<sup>54</sup> Modellvorstellung von einer kunden- und problemorientierten direkten und hierarchielosen Vernetzung von KPZ zu Produktionsnetzen (nach Wirth).

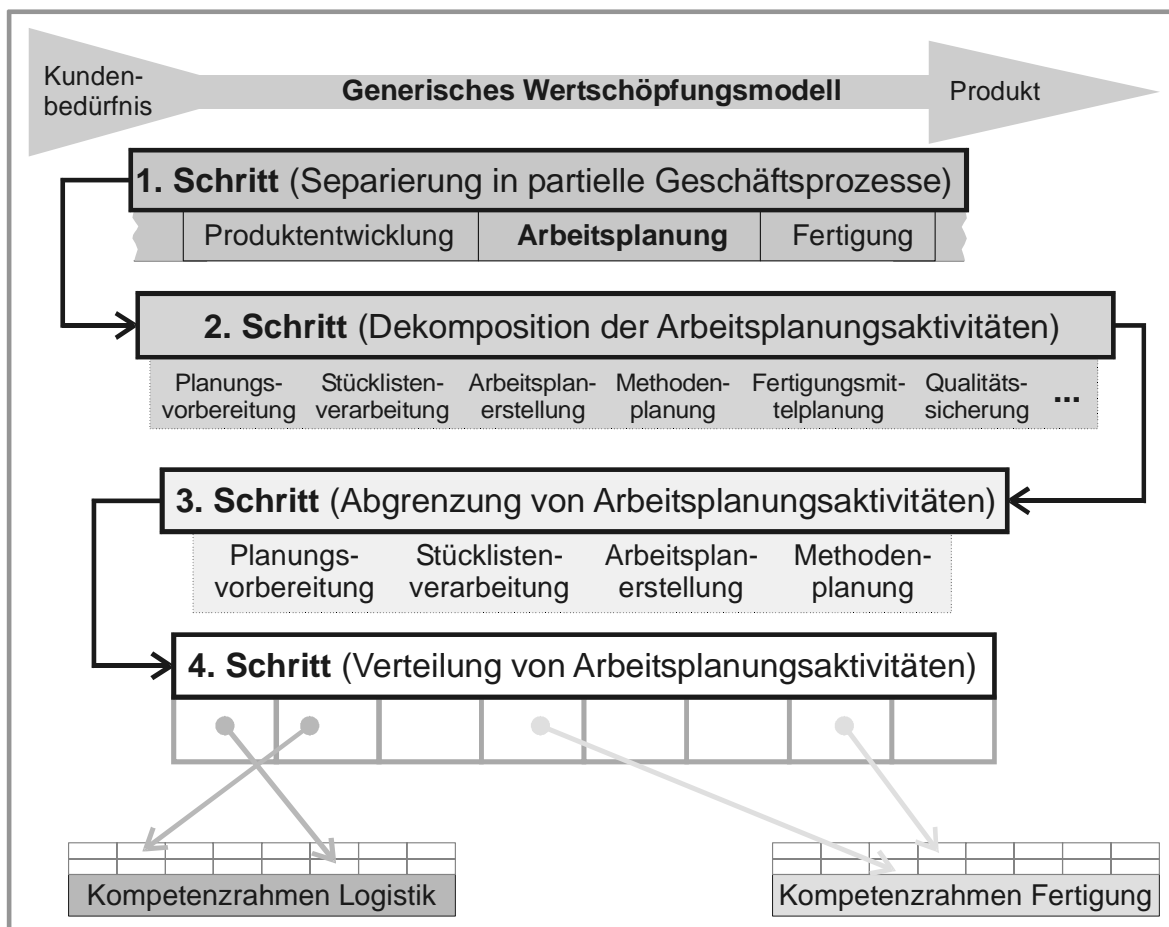


Abbildung 7: Schematisierte Sicht auf die Dekomposition des Geschäftsprozesses der Arbeitsplanung.

Im **ersten Schritt** zur Entwicklung des Kompetenzrahmens für Arbeitsplanung wird, basierend auf dem generischen Modell des Wertschöpfungsprozesses<sup>55</sup>, eine Separierung in partielle Geschäftsprozesse, wie beispielsweise Marketing, Arbeitsplanung, Fertigung usw. vorgenommen. Im Ergebnis entstehen spezifische Kompetenzbeschreibungen, wobei im Rahmen der vorliegenden Arbeit ausschließlich arbeitsplanungsrelevante Inhalte weitere Betrachtung finden.

Im **zweiten Schritt** erfolgt die Dekomposition dieser Arbeitsplanungsinhalte in für diesen partiellen Geschäftsprozess allgemein typische Aktivitäten. Im Ergebnis entsteht eine detaillierte Beschreibung des allgemeinen Arbeitsplanungsprozesses, welche entsprechend den zu beachtenden zeitlichen Abhängigkeiten bezogen auf die definierten Aktivitäten strukturiert wird. Somit steht für weitere Untersuchungen ein feingranularer Betrachtungsraum zur Verfügung.

Im **dritten Schritt** erfolgt, im Unterschied zur in Abbildung 6 dargestellten KPZ-Bildung, die Abgrenzung der (feingranularen) Aktivitätsbeschreibungen des Betrachtungsraums für die Arbeitsplanungskompetenz unter Beachtung der Randbedingungen des Vernetzungsmodells. Dadurch wird eine geschäftsprozessspezifische Einordnung und anschließende

<sup>55</sup> Menge aller unternehmerischen Aktivitäten zur Lösung eines Kundenproblems. Die Umsetzung erfolgt durch KPZ.



Abgrenzung der definierten Aktivitäten möglich. Im Ergebnis entsteht der Kompetenzrahmen für Arbeitsplanung innerhalb des hierarchielosen Vernetzungsmodells. Dieser stellt die Grundlage für die im Rahmen dieser Arbeit noch durchzuführende Partialmodellentwicklung (vgl. Abschnitt 6) dar.

Im **vierten Schritt** werden die aus den Betrachtungen abgegrenzten (ehemaligen) Arbeitsplanungsaktivitäten entsprechend ihres Tätigkeitsinhaltes analysiert und anschließend an die jeweiligen Kompetenzrahmen angelagert. Dies stellt einen Zwischenschritt im Vergleich zum in Abbildung 6 dargestellten generischen KPZ-Modell dar, da zu diesem Zeitpunkt noch keine Partialmodelle und somit KPZ, vorhanden sind. Dadurch entsteht eine eindeutige Abgrenzung der Arbeitsplanungsaktivitäten innerhalb des Kompetenznetzes auf Basis des entwickelten Kompetenzrahmens. Erst nach dieser definierten inhaltlichen Abgrenzung ist es sinnvoll, das Partialmodell der Arbeitsplanungskompetenz zu modellieren.

## 5.2 Umsetzung der entwickelten Systematik zur Entwicklung des Kompetenzrahmens Arbeitsplanung

Die Unterteilung und Abgrenzung wesentlicher Arbeitsplanungsinhalte<sup>56</sup> ist in Tabelle 1 mit ihrer möglichen Zuordnung zu den entsprechenden Kompetenzrahmen innerhalb des auszugestaltenden Kompetenznetzes dargestellt.

Arbeitsplanungsaktivitäten	Nummer zur dezimalen Klassifikation	mögliche Zuordnung zu Kompetenzrahmen
Planungsvorbereitung	1.1.1	Arbeitsplanung
Stücklistenverarbeitung	1.1.2	Arbeitsplanung
Arbeitsplanerstellung	1.1.3	Arbeitsplanung
NC-Programmierung	1.1.4	Fertigung
Fertigungsmittelplanung	1.1.5	Fertigung und Montage
Kostenplanung	1.2.1	Controlling
Qualitätssicherung	1.2.2	Qualitätssicherung
Investitionsplanung	1.2.3	Fertigung/ Controlling
Methodenplanung	1.2.4	Arbeitsplanung
Materialplanung	1.2.5	Logistik

*Tabelle 1 Mögliche Verteilung wesentlicher Arbeitsplanungsaktivitäten.*

Die Nutzung einer Baumstruktur /LI-02/ für die Identifikation und Darstellung der definierten Arbeitsplanungsaktivitäten erleichtert eine nachgelagerte IT-Weiterverarbeitung innerhalb der Arbeiten zur Partialmodellentwicklung. Ebenfalls wird durch diese Darstellung (Ordnungsnummer der Aktivität in Klammern) die klassische, d. h. die sequenzielle

<sup>56</sup> Auf Basis der entwickelten vierstufigen Systematik.

(tayloristische<sup>57</sup> /TAYL-67/) Vorgehensweise der Arbeitsplanung hervorgehoben. Die Umsetzung der entwickelten Systematik zur Abgrenzung von Arbeitsplanungsaktivitäten zeigt, dass die Aktivitäten zur NC-Programmierung, Fertigungsmittelplanung, Kostenplanung, Qualitätssicherung, Investitionsrechnung und Materialplanung an die in Tabelle 1 beschriebenen Kompetenzrahmen des hierarchielosen Produktionsnetzes auszulagern sind. Der Grund dafür liegt in dem hohen Spezialisierungsgrad der aus diesen Kompetenzrahmen zu entwickelnden Partialmodelle für KPZ /vgl. DUERR-01a/. Somit wird bereits bei der Dekomposition des Wertschöpfungsprozesses und der Bildung von Kompetenzrahmen dem geforderten hohen Spezialisierungsgrad der KPZ Rechnung getragen.

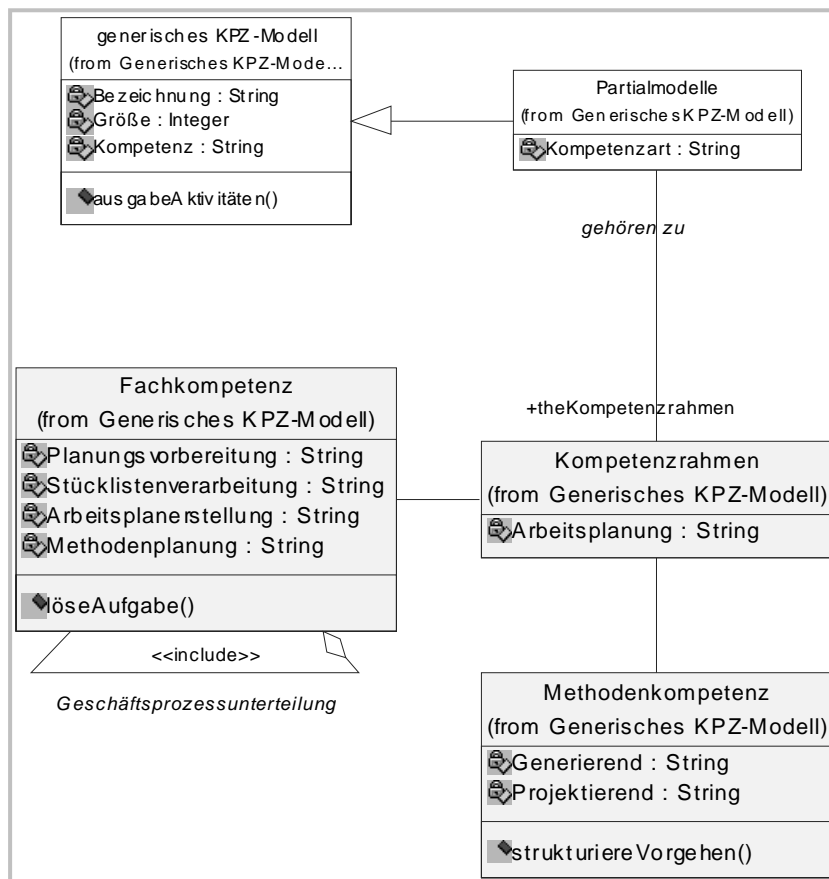


Abbildung 8: Einbindung der Untersuchungsergebnisse in des generische KPZ-Modell (Darstellung als UML-Klassendiagramm).

Im Ergebnis dieser Abgrenzung werden im Kompetenzrahmen der Arbeitsplanung des hierarchielosen Produktionsnetzwerkes vor allem Arbeitsplanungsaktivitäten zur Planungsvorbereitung, Stücklistenverarbeitung, Arbeitsplanerstellung und Methodenplanung repräsentiert. Abbildung 8 zeigt die Erweiterung bzw. Modifikation des generischen KPZ-Modells in Bezug auf den erarbeiteten Kompetenzrahmen der Arbeitsplanung. Für die weitere Untersetzung der Klasse Fachkompetenz wurden die relevanten Arbeitsplanungsaktivitäten in Form eines Aktivitätsdiagramms in UML modelliert. Dadurch lassen sich die ineinander greifenden Planungsschritte, im Vergleich zu einem Klassendiagramm, anforde-

<sup>57</sup> Taylor, Frederick Winslow (1856-1915) Amerikanischer Ökonom.

rungsgerechter darstellen. Abbildung 9 zeigt für die Aktivität der Arbeitsplanerstellung den Abschnitt der Rohteilbestimmung. Nachfolgend werden die als wesentlich definierten Planungsinhalte näher beschrieben.

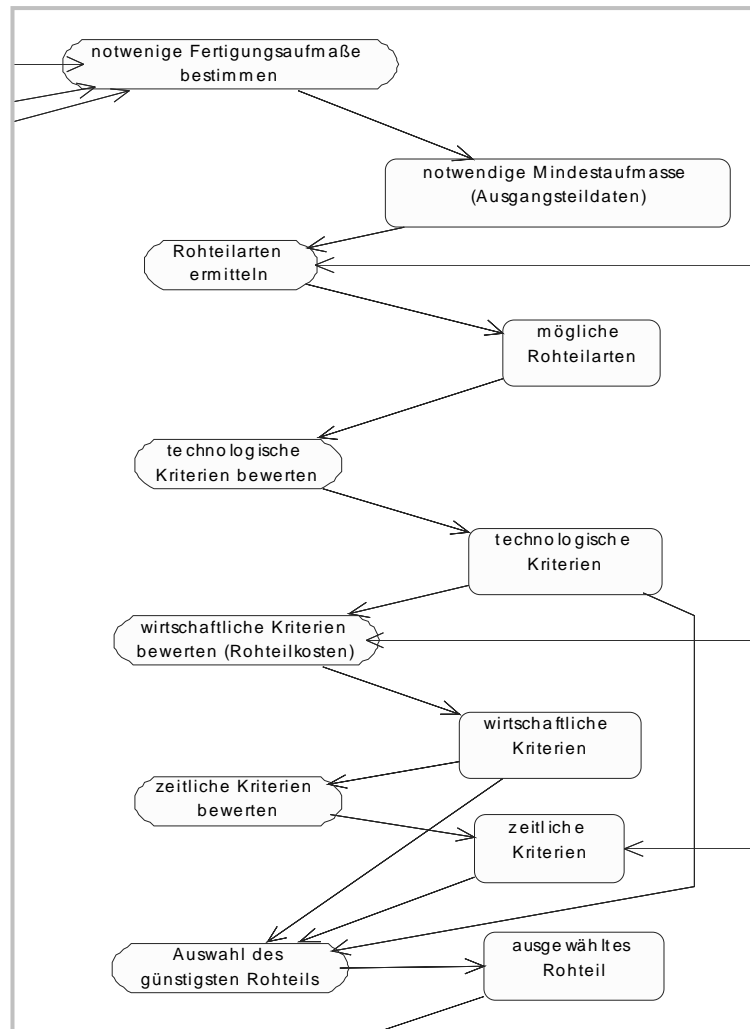


Abbildung 9: Ausschnitt aus dem modellierten Kompetenzrahmen Arbeitsplanung (Darstellung als UML-Aktivitätsdiagramm).

Die **Planungsvorbereitung** stellt die Schnittstelle der Arbeitsplanung zur Konstruktion dar. Ziel ist es, die Konstruktionsunterlagen auf ihre Umsetzbarkeit und Vollständigkeit zu prüfen, bei Notwendigkeit die Entwicklung von Sonderfertigungsmitteln festzustellen und eine Entscheidung über die anzuwendende Arbeitsplanungsmethode zu treffen. Die Tätigkeiten der Planungsvorbereitung werden für die meisten Anwendungsfälle innerhalb des hierarchielosen Produktionsnetzes als prozessorientierte Kompetenzkomponente der Arbeitsplanung an die Produktentwicklungs- und Konstruktionskompetenz angelagert. Aktuelle Forschungsergebnisse unterstützen diese These /vgl. EVER-01, REIN-00a, GERK-01/. Die Abbildung der Aktivitäten zur Planungsvorbereitung können darüber hinaus weitestgehend softwareunterstützt erfolgen /vgl. WEST-01, TROM-01, MENZ-01/. In diesem Zusammenhang kann auf sehr umfangreiche Forschungsergebnisse zurückgegriffen werden,

welche einen effizienten Abgleich mit existierenden Unterlagen zu fertigungstechnisch ähnlichen Teilen unterstützen /KREP-01, KOER-97, KNOB-99/.

Die Stückliste stellt den Informationstransfer, in Verbindung mit den Konstruktionszeichnungen, zwischen der Konstruktion und Arbeitsplanung sicher /REFA-85/. Die Planungsaktivität der **Stücklistenverarbeitung** ergänzt die Konstruktionsstückliste um relevante Auftrags- und Herstellungsinformationen. Dies können beispielsweise Angaben zu Rohteilen oder Arbeitsmittelzuordnungen sein. Dadurch entsteht die Fertigungsstückliste, welche auf die Belange einer nachfolgenden Produktion zugeschnitten ist. Sie dient den sich anschließenden Planungsaktivitäten als Hilfsmittel zur Arbeitsplanerstellung sowie zur Durchführung und Nachkalkulation. Die Gestaltung der Planungsaktivität Stücklistenverarbeitung für den betrachteten Anwendungsfall bedarf besonderer Sorgfalt, damit die hierarchische Produktstruktur keine Hierarchie bei der Netzwerkgenese hervorruft. Weiterhin muss bei der Beschreibung von Einzelteilen, Halbzeugen oder Rohteilen eine einheitliche Bezeichnung (Semantik) erfolgen, um effektiv die auf dieser Aktivität beruhenden Planungsschritte durchführen zu können.

Das Ergebnis der Planungsaktivität **Arbeitsplanerstellung** ist ein erzeugnisbezogener Arbeitsplan. Dieser dokumentiert die Reihenfolge aller Prozessschritte, die zur technisch richtigen, wirtschaftlich zweckmäßigen und qualitätssichernden Fertigung eines Arbeitsgegenstandes notwendig sind. Die Anforderungen, die das hierarchielose Vernetzungsmodell an die Arbeitsplanung stellt, werden zeigen, ob das in Abschnitt 5.1 beschriebene tayloristische Vorgehen zur Erstellung von Arbeitsplänen für diese Anwendung uneingeschränkt geeignet ist. Die Subaktivitäten „Rohteil bestimmen“, „Prozessschrittfolge ermitteln“, „Fertigungsmittel zuordnen“, „Prozessdaten bestimmen“, „Zusammenfassung aller Daten zum Arbeitsplan“ sowie „auftragsabhängige Folgedokumente des Arbeitsplanes erstellen“ wurden detailliert abgebildet und dienen der Beschreibungsdatenbank des IMK zur Weiterverarbeitung. Diese Planungsaktivität besitzt großen Einfluss auf die Qualität der Produktionsnetzgenese und ist deshalb Gegenstand weiterer Untersuchungen (vgl. Abschnitt 7.3.1).

Die Planungsaktivität **Methodenplanung** beinhaltet die Planung und Entwicklung neuer Methoden, Verfahren und Hilfsmittel für die Fertigung sowie für die Arbeitsplanung selbst. Durch die darin enthaltene Aktivität „Entwicklung neuer Methoden für die Fertigung“ erfolgt die Konzipierung, Einführung, Überwachung und Verbesserung neuer Fertigungsmethoden und -verfahren. Das Wissen um neue Arbeitsplanungs- und Fertigungsmethoden dient der Einführung neuer bzw. der Verbesserung bestehender Lösungen. Die kreative Gestaltung und Einbringung der Methodenplanung in das zu erarbeitende Partialmodell wird als ein wesentlicher Garant für eine langfristige und erfolgreiche Entwicklung der Arbeitsplanungskompetenz im hierarchielosen Produktionsnetz erachtet. In der Folge stellt die Planungsaktivität Methodenplanung die Basis zur Beschreibung der Arbeitsplanungskompetenz im Partialmodell dar.

### **5.3 Einflussfaktoren und Anforderungen an die Arbeitsplanung**

Für die Modellierung des Partialmodells der Arbeitsplanung sind neben der Abbildung entsprechender Inhalte auch geeignete Vorgehensweisen im Rahmen der Gestaltung der Me-

thodenkompetenz zu entwickeln, welche einerseits die erforderlichen Prozesse zum Betrieb hierarchieloser Produktionsnetze gewährleisten und andererseits existierende Defizite im Planungsbereich vernetzter arbeitender KMU verringern oder eliminieren. Vor diesem Hintergrund wurden Vorgehensweisen zur Arbeitsplanung in KMU-Netzwerken untersucht. Dabei konnten in regional ansässigen Unternehmen<sup>58</sup> bestehende Defizite bei der vernetzten Produktion ermittelt werden. Den Ausgangspunkt der empirischen Untersuchungen bildete dabei ein Fragebogen, welcher speziell nachfolgende Themen beinhaltete:

- Wie und durch wen erfolgt der Kontakt zum Endkunden einschließlich des Kundenmanagements?
- Welchen Stellenwert besitzen Kaufteile (Norm- u. Standardteile) in den Produkten?
- Durch wen werden die Tätigkeiten für die Montage der Einzelteile und Baugruppen zum Endprodukt geplant und organisiert (vgl. Aktivität Stücklistenverarbeitung)?
- Auf welcher Basis werden Entwicklungs- und Konstruktionsleistungen geplant und durchgeführt (vgl. Aktivität Planungsvorbereitung)?
- Wie und durch wen werden die Informationen zu den Kooperationspartnern verwaltet?
- Wo befindet sich die Planungskompetenz zur Auftragskoordination im Netzwerk, welche Arbeitsplanungsmethoden werden eingesetzt und welche Softwaretools unterstützen diese Aufgaben (vgl. Aktivitäten „Arbeitsplanerstellung“ und „Methodenplanung“)?

Die empirischen Untersuchungen verfolgten das Ziel, existierende Defizite speziell im Bereich der Fertigungsplanung in KMU-Netzwerken zu identifizieren. Auf dieser Grundlage sollen anschließend Anforderungen an die Gestaltung der Arbeitsplanungskompetenz im Partialmodell abgeleitet werden. Zur Bewertung der Ergebnisse der empirischen Untersuchungen wurde die Methode des Benchmarkings genutzt, wobei die Lieferketten der Automobilhersteller als Maßstab dienten.

Eine erste Aussage basiert auf der Untersuchung des Informationsflusses. Dabei veranschaulicht eine schematisierte teilespezifische Zuordnung der beteiligten KMU im Rahmen der Strukturstückliste, dass mit jeder unternehmensübergreifenden Wertschöpfung ein Informationsbruch entsteht (Abbildung 10). Dieser ist die logische Konsequenz nicht existierender oder inkompatibler IT-Systeme, wodurch sich eine aufwandsarme unternehmensübergreifende Zusammenarbeit erschwert (z. B. CAD<sup>59</sup>/CAM<sup>60</sup>-, ERP- oder PDM<sup>61</sup>-Systeme). Zur Visualisierung dient beispielhaft die verteilte Herstellung des Referenzproduktes, des mechatronischen Montagesystems „System 21“ /USK-02/.

Ebenfalls behindert ein fehlendes bzw. inkompatibles Konzept zum Interface- und Content-Management innerhalb der untersuchten KMU-Netzwerke die Durchgängigkeit der Fertigungsplanung zur unternehmensübergreifenden Wertschöpfung. Dadurch erhöht sich für jeden Kooperationspartner der Verwaltungs- und Koordinationsaufwand. Die weitere Auswertung der durchgeführten empirischen Untersuchungen zeigt, dass in existierenden

---

<sup>58</sup> Die empirischen Untersuchungen fanden innerhalb des BMBF-Projektes InnoSachs, TP 4 InnoRegio statt.

<sup>59</sup> CAD – Computer Aided Design.

<sup>60</sup> Computer Aided Manufacturing.

<sup>61</sup> Produkt-Daten-Management-Systeme.

KMU-Netzwerken sowohl bei den horizontalen (identisches Fertigungsspektrum) als auch bei den vertikalen (unterschiedliches Fertigungsspektrum) Kooperationspartnern die Schwachstellen im Informationsfluss festzustellen sind. Im Gegensatz dazu stellen aktuelle und von den Automobilproduzenten eingesetzte SCM-Systeme zumindest über die erste Kooperationsebene mit dem sogenannten First Supplier<sup>62</sup> (Systemlieferant) eine konsistente und redundanzfreie Lösung zur Fertigungsplanung und Koordination des unternehmensübergreifenden Wertschöpfungsprozesses dar /DIES-02, LOGI-03/.

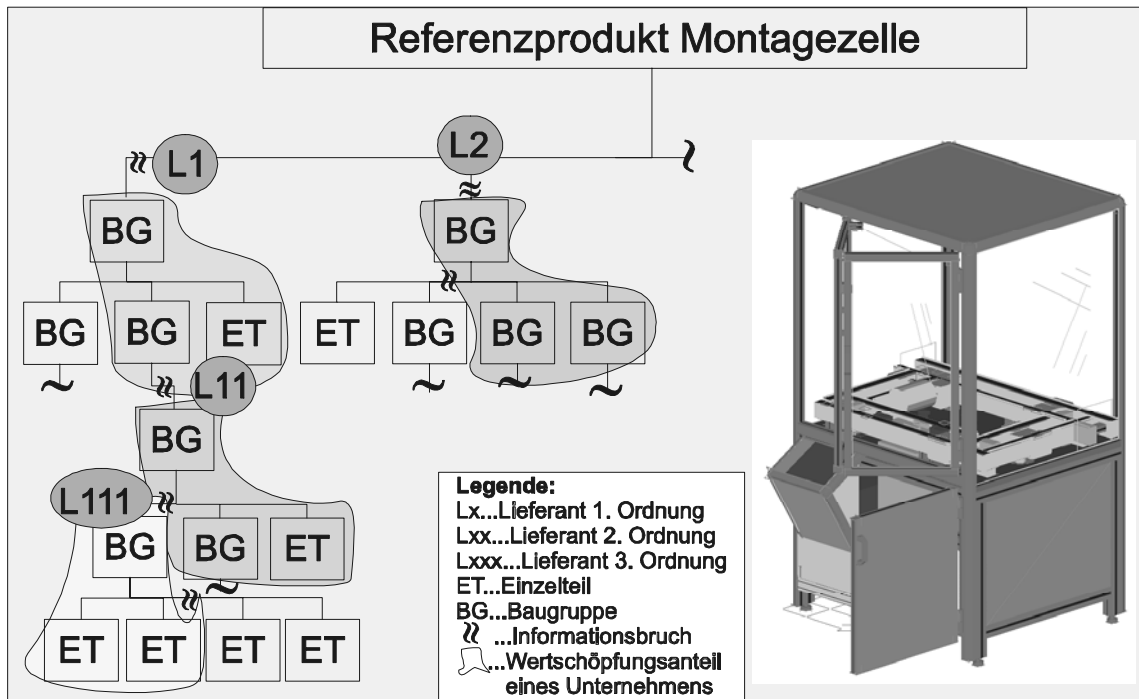


Abbildung 10: Sicht auf den Informationsfluss praktizierter verteilter Fertigung

Ähnliche Defizite in KMU-Netzwerken wurden auch in weiteren Untersuchungen /MEYE-00, FISC-03/ festgestellt. Weitere Schwachstellen liegen beispielsweise in den internen Organisationsstrukturen der Finalproduzenten<sup>63</sup>, welche als Kooperationsinitiator, -koordinator und Ansprechpartner gegenüber dem Kunden eine Schlüsselposition im KMU-Netzwerk einnehmen. Basierend auf dem damit verbundenen Wissen bezüglich

- der Struktur des komplexen Finalproduktes,
- der aktuellen Auslastungssituation im eigenen Unternehmen,
- den abgeschlossenen Rahmenverträgen mit Lieferanten,
- den Fähigkeiten der Kooperationspartner (Leistungsspektren) und
- den jeweils auftragsspezifischen Kundenzielen

<sup>62</sup> Erster Zulieferer der Automobilhersteller, welcher auf Basis definierter Randbedingungen eigenständig die Entwicklung und Produktion von Systembaugruppen übernimmt.

<sup>63</sup> Der Finalproduzent definiert sich als Auftragnehmer des Kunden, welcher die Garantie- und Serviceleistungen für das gewünschte komplexe Erzeugnis gewährleistet.

erfolgt durch die Finalproduzenten eine zentrale Fertigungsplanung sowie die Organisation und Steuerung der verteilten Wertschöpfung (Abbildung 11).

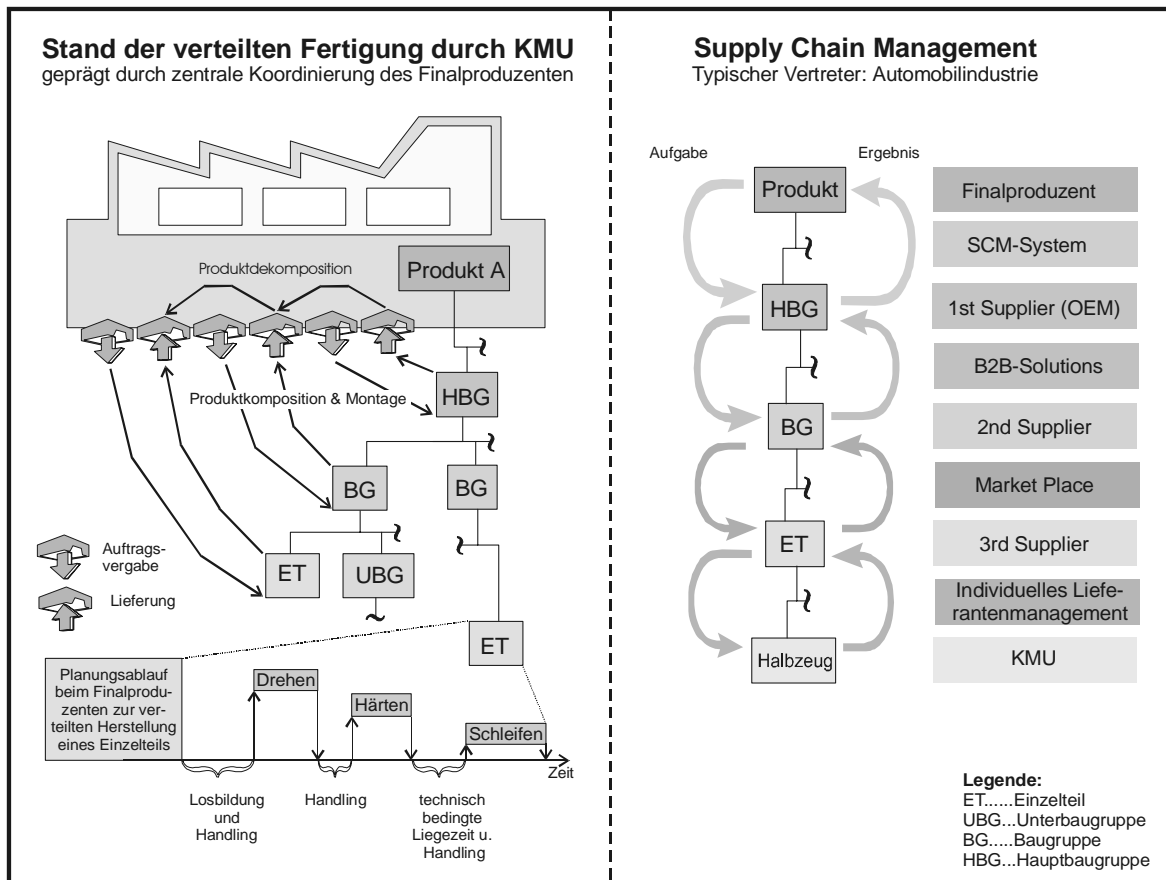


Abbildung 11: Sicht auf den Materialfluss bei KMU-Netzwerken und bei Automobilproduzenten.

Im Gegensatz dazu wurde keine dezentrale Fertigungsplanung im KMU-Netzwerk bei den untersuchten Kooperationen in Bezug auf unternehmensübergreifende Wertschöpfungsprozesse beobachtet. Ein Grund, weshalb ausschließlich eine zentrale Fertigungsplanung eingesetzt wird, ist in dem von allen Finalproduzenten befürchteten unkontrollierbaren Know-how-Abfluss zu Lieferanten oder Auftraggebern zu sehen. Deshalb erfolgt die Fertigungsplanung zur verteilten Wertschöpfung, mit dem Ziel der Kooperationsinitiierung, in allen untersuchten KMU-Netzwerken zentral durch den Finalproduzenten. Die darauf aufbauende Auswahl der Kooperationspartner orientiert sich von der Einzelteilherstellung über die Vormontage von Baugruppen bis zur Komplettierung zu Hauptbaugruppen entsprechend an der Strukturstückliste der Konstruktion und der aktuellen Unternehmensphilosophie. Der Arbeitsplanung des Finalisten dienen diese Randbedingungen als Basis für eine sehr subjektive (d. h. mitarbeitergetragene) Auswahl und Einbindung potentieller Lieferanten.

Dabei unterliegt die Integration der jeweiligen Kooperationspartner einer Klassifizierung entsprechend dem nachfolgend aufgeführtem Ranking:

1. Kooperationspartner mit Rahmenvertrag,

2. Kooperationspartner mit engen Geschäftsbeziehungen ( weil z. B. spezielle Lieferbedingungen existieren),
3. Kooperationspartner mit mentalen Verflechtungen auf Mitarbeiterebene oder
4. Kooperationspartner, die als neutral einzustufende Lieferanten anzusehen sind.

Die Beachtung von eventuell existierenden Ansprüchen der Kooperationspartner an den durchzuführenden gemeinsamen Wertschöpfungsprozess ist als gering zu bewerten und besitzt bezüglich neutral eingestufte Lieferanten keine zu beachtende Relevanz für den Finalproduzenten. Trotz der minimalen Einbindung der Kooperationspartner in die Initiierung des KMU-Netzwerkes<sup>64</sup> bezüglich Ort, Umfang oder Zeitpunkt der Wertschöpfung, erweist sich die weitestgehend „manuelle“ Koordination und Steuerung der verteilten Wertschöpfung durch den Finalisten als erheblich aufwendiger im Vergleich zu den Automobilproduzenten mit SCM-Systemen /BUSC-02/.

Ein wesentlicher Unterschied besteht für KMU-Netzwerke in der direkten Kontaktierung nahezu aller Kooperationspartner durch den Finalproduzenten, wobei selbst geringfügige Fertigungsaufgaben (z. B. die Reinigung von Gussteilen oder das Brünieren) durch diesen geplant, beauftragt und disponiert werden. Zu diesen hochspezialisierten Unternehmen, welche in die Klasse der neutral eingestuften Lieferanten einzuordnen sind, bestehen oftmals nur sehr lose Geschäftsbeziehungen, wodurch deren Preisgestaltung wiederum sehr stark auf das jeweils aktuell zu vergebende Auftragsvolumen zugeschnitten ist. Daher werden die Einzelteile für diese Kooperationspartner von mehreren Aufträgen beim Finalisten gesammelt, um das zu vergebende Auftragsvolumen zu erhöhen. Erst nach Erreichen einer „kritischen“ Losgröße erfolgt dann die Auftragsvergabe mit nachgelagerter Fertigung bei diesen Lieferanten. Anschließend werden diese Einzelteile entsprechend des geplanten weiteren Fertigungsablaufs durch den Finalisten disponiert und wieder anderen Kooperationspartnern zugeführt. Die Montage zu Baugruppen erfolgt nach dem gleichen Ablaufschema bei entsprechend kompetenten Kooperationspartnern.

Zusammenfassend können auf Basis der empirischen Untersuchungen im wesentlichen drei Unterschiede im Vergleich zum Lieferkettenmanagement von Automobilherstellern herausgearbeitet werden.

**Erstens** wird die zentrale Fertigungsplanung sowie Auftragskoordination und Disposition seitens der Finalisten bewusst in Kauf genommen, um das Wissen über Lieferanten, deren Leistungsspektrum und –fähigkeiten gegenüber anderen Netzwerkpartnern oder Auftraggebern nicht offen legen zu müssen. In der Folge entstehen längere Lieferzeiten durch die geschilderten Einzelteildispositionen (Losgrößenbildung), wodurch eine Verlängerung der Lieferzeit zu erwarten und seitens des Finalisten dem Kunden zu kommunizieren ist.

Der **zweite** Unterschied zum Lieferkettenmanagement von Automobilproduzenten liegt in der jeweils vorhandenen IT-Infrastruktur der KMU-Netzwerke. Während die Automobilhersteller und ihre First Supplier über leistungsfähige Softwaretools zur Wertschöpfungs-

---

<sup>64</sup> Durch das Ausklammern der Lieferanten bei der Fertigungsplanung zur verteilten Wertschöpfung ist mit einer Komplexitätsabnahme zu rechnen.



planung und -steuerung verfügen (in der Regel SAP/R3<sup>65</sup>), existieren in KMU-Netzwerken sehr heterogene IT-Strukturen. In diesem Zusammenhang wurden drei Szenarien aus Sicht der Fertigungsplanung und Kooperationsorganisation beobachtet.

- Das KMU besitzt ein eigenes ERP-System.
- Das KMU nutzt ein gehostetes ERP-System im Rahmen einer Application-Service-Providing (ASP) Funktionalität.
- Das KMU verfügt über kein ERP-System.

Es kann somit festgestellt werden, dass selbst im Sonderfall, der Existenz von ERP-Systemen bei allen zu vernetzenden KMU, es eher zufällig möglich wäre, einen konsistenten Informationsfluss herzustellen. Die Ursache hierfür liegt in der Heterogenität anzutreffender ERP-Systeme. Die damit verbundenen sehr verschiedenartigen Programmarchitekturen und Businesslogikfunktionen besitzen unterschiedlichste Konzepte und Instrumente zur Datenverwaltung und -auswertung. Darin ist eine Ursache für den meist erfolglosen Versuch der Kopplung dieser heterogenen Systeme in KMU-Netzwerken zu sehen.

**Drittens** bindet das ausgeprägte Schutzbedürfnis der eigenen Wertschöpfung zusätzlich Kapazitäten beim Finalproduzenten und führt darüber hinaus zu den bereits dargestellten Auslastungsschwankungen bei den Kooperationspartnern. Für derart in den verteilten Wertschöpfungsprozess integrierte KMU erhöht sich mit dem Ansteigen der jeweiligen Auftragsvolumina tendenziell auch die Abhängigkeit vom Finalisten. In Konsequenz dessen werden Auslastungsschwankungen der Arbeitsmittel bei diesen Unternehmen durch die „Losgrößenbildung“ beim Finalisten zunehmen. Eine Kompensation kann durch diese KMU nur in geringem Maß erfolgen, da deren Informationsstand sowie die vorhandene Organisationsstruktur nicht für derartig komplexe Fertigungsplanungsprozesse konzipiert sind. In Folge dessen bleibt die Kapazitätsplanung und in Konsequenz auch die Auslastungsoptimierung der Ressourcen der Kooperationspartner weitestgehend unberücksichtigt. Begründet ist dies durch ein asymmetrisches Informationsniveau im KMU-Netzwerk. Dieses nutzt einseitig dem Finalproduzenten, wodurch in der Folge auch die Kooperationspartner anhand seiner Unternehmensphilosophie ausgewählt werden. Weiterhin besteht durch das personengebundene Wissen des Arbeitsplaners über das Leistungsvermögen der Lieferanten eine undefinierte Stellgröße bezüglich der betrachteten Problematik. Nicht zuletzt führen die zu beachtenden IT-Randbedingungen im KMU-Netzwerk zu keiner durchgängigen IT-Lösung, mit welcher eine rechentechnische Kopplung der kooperierenden KMU möglich wäre, damit der erhöhte Planungsaufwand einer unternehmensübergreifenden Wertschöpfungsplanung beherrschbar wird und bleibt. Im Gegensatz dazu integrieren die Systemlieferanten der Automobilhersteller ihre Lieferanten direkt in einen nahezu kontinuierlich ablaufenden Wertschöpfungsprozess, welcher eine unternehmensübergreifende Auslastungsoptimierung begünstigt.

Als Ergebnis der empirischen Untersuchungen bleibt festzustellen, dass der aktuell anzutreffende verteilte Wertschöpfungsprozess innerhalb von KMU-Netzwerken durch eine Vielzahl von Einzelinteressen, subjektiven Entscheidungen und unterschiedlichsten IT-

---

<sup>65</sup> ERP-System der Weltmarktführers in diesem Bereich erweitert um SCM-Funktionen.

Standards geprägt ist. Eine unternehmensübergreifende Optimierung der Ressourcenauslastung, der Materialströme sowie eine Durchgängigkeit in den Informationsflüssen konnte bei keinem der untersuchten KMU-Netzwerke festgestellt werden. Daraus leiten sich als Anforderungen für die Gestaltung der Arbeitsplanungskompetenz in hierarchielosen Produktionsnetzen ab, dass

- die derzeit noch vorhandenen Informationsbrüche deutlich zu verringern bzw. zu eliminieren sind,
- die Auswahl und Integration der Kooperationspartner (KPZ) nach einer transparenten und objektiven Methodik erfolgen muss,
- auch unterschiedliche IT-Gegebenheiten zur Fertigungsplanung im Produktionsnetz genutzt werden müssen,
- die Anforderungen des Kunden und nicht die Interessen einer KPZ (eines Kooperationspartners) die Produktionsnetzbildung bestimmen dürfen,
- die angetroffenen Dispositionen der Materialflüsse zu verbessern sind,
- für die Bewertung möglicher Technologievarianten ein Zielsystem zu entwickeln ist, welches die erweiterten Möglichkeiten hierarchieloser Produktionsnetze sowohl mit den Kundenwünschen als auch den individuellen Ansprüchen der Fertigungs-KPZ<sup>66</sup> vereint.

Merkmal	Informationsstand in	
	untersuchten KMU-Netzwerken	Hierarchielosen Produktionsnetzen
<b>Nutzbare Ressourcen</b>	Bekannt und überschaubar (begrenzt auf eigene und die der Kooperationspartner)	Vielfältig (Annahme: ca. 10 <sup>6</sup> existierende KPZ in einer Region) <sup>67</sup>
<b>Technologische Freiheitsgrade</b>	Beschränkt, da durch betriebliche Randbedingungen <sup>68</sup> eingeschränkt	Offen, da Produktionsnetzbildung entsprechend den Kundenvorgaben
<b>Sonstige Einschränkungen</b>	Vorhanden, bspw. Lieferantenauswahl nach Vorgaben der Geschäftsführung	Nicht vorhanden

Tabelle 2: Gegenüberstellung der Informationsstände in existierenden KMU-Netzwerken und hierarchielosen Produktionsnetzen.

<sup>66</sup> Fertigungs-KPZ repräsentieren Wertschöpfungseinheiten, welche die erforderlichen Fertigungsumfänge innerhalb des Produktionsnetzes realisieren.

<sup>67</sup> Grundlage für diese Annahme bilden die Mitgliedsfirmen im Technologiefeld Maschinenbau des TCC /TCC-03/.

<sup>68</sup> Basis für die Fertigungsplanung zur verteilten Wertschöpfung ist die jeweilige Unternehmensstrategie des Finalproduzenten.

In Tabelle 2 sind arbeitsplanungsrelevante Randbedingungen bezüglich des Informationsstandes in existierenden KMU-Netzwerken und dem hierarchielosen Vernetzungsmodell gegenübergestellt. Diese bilden ihrerseits wieder den Ausgangspunkt, um eine anschließende Auswertung der Befragungen von KMU /SCHA-01/, mit Hilfe einer tabellarischen Gegenüberstellung von Anforderungen und Einflussfaktoren für den Arbeitsplanungsprozess in hierarchielosen Produktionsnetzen, vornehmen zu können. Diese Charakteristika bilden eine Basis zur anforderungsgerechten Modellierung des Partialmodells für Arbeitsplanung im Rahmen dieser Arbeit. In Tabelle 3 sind die erarbeiteten Einflussfaktoren und deren Auswirkungen auf die Arbeitsplanung veranschaulicht. Die formulierten Anforderungen an die Arbeitsplanungskompetenz sind ein wesentlicher Baustein für die Entwicklung des Partialmodells der Arbeitsplanung. Dadurch wird dem Anspruch Rechnung getragen, die erkannten Vorteile des hierarchielosen Vernetzungsmodells (hohe Dynamik durch direkte KPZ-Vernetzung, Transparenz, Hierarchielosigkeit) zu fördern.

Einflussfaktor	Anforderung an die Arbeitsplanungskompetenz
Hierarchielose Organisation der Leistungserstellung	Bereitstellen von Methoden, Modellen u. Instrumentarien zur Planung und zum Betrieb von Netzwerken, Schaffung der Grundlagen zur Selbstorganisation
Wertschöpfung durch kleinste Leistungseinheiten (KPZ)	direkte Vernetzung der KPZ sowie Nutzung der vielfältigen Kompositionsmöglichkeiten von KPZ
Überwiegend regionale Kooperationen	Nutzung und gezielte Weiterentwicklung des bestehenden Vertrauens zwischen regionalen KPZ
Fertigungsart begrenzt auf Einzelteil und Kleinserienfertigung	Fokussierung bei der Erstellung entsprechender Planungsmethoden und –modelle auf diese Fertigungsarten
Kundendeterminiertes Erzeugnisspektrum	Unterstützung der Fertigungsplanung durch Bereitstellung geeigneter Planungsmethoden
Ausgangsbasis der KPZ sind KMU	Anpassung von Planungsvoraussetzungen und Planungsmethoden auf diese Unternehmenskategorie
Meist temporäre sowie hohe dynamische Struktur des Vernetzungsmodells	Entwicklung von flexiblen und dynamischen Kompetenzzellstrukturen und geeigneter Arbeitsplanungsmethoden
Selbstlernprozesse in den KPZ durch Weitergabe positiver Eigenschaften	Abbildung der Prozessketten im IMK u. Bereitstellung von Beratungskompetenz für die KPZ-spezifische Stärken-Schwächen-Analyse zur Optimierung
Hohe Bedeutung der Vertrauensbildung und -entwicklung zwischen den KPZ	Transparenz bei der Produktentwicklung, Prozesskettenentwicklung und Selektion von KPZ
Sehr großer Pool von vorhandenen oder beschaffbaren Ressourcen	Technologieoffene und auftragsneutrale Planung der erforderlichen Fertigungsabläufe
Hohe Kompetenz bei der Erarbeitung innovativer Lösungen	Detaillierte Beschreibung der Arbeitsplanungs-KPZ im IMK und Möglichkeit der Anlagerung von Kompetenzkomponenten anderer KPZ
Notwendige Unterstützung zur gezielten Investitions-Planung von Fertigungs-KPZ	Bereitstellung von Funktionalitäten zur Technologieanalyse und –beratung

Einheitliches Konzept zum Informationsaustausch	Definition von relevanten Schnittstellen und Semantik der Informationsinhalte
Semantik der Informationsinhalte	Modulare Konzeption der genutzten Funktionalitäten und Abbildung dieser in einer einheitlichen Notation
Notwendigkeit der Überführung semantischer Informationsinhalte in maschinenverarbeitbarer Form	Stringente Abbildung der Arbeitsplanungsprozesse einschließlich deren Interaktionen in einer ontologiebasierter Datenbank des IMK
Externe Schnittstellengestaltung des Netzwerkes	Beschreibung der Fertigungs-KPZ durch Nutzung allgemeingültigen Wissens (z.B. DIN)
Durchgängigkeit in den Informations- u. Warenflüssen	Einbindung der Arbeitsplanung in das Betreibermodell des Netzwerkes
Vermeidung von Suboptima entsprechend den Kundenvorgaben	Ressourcenoffene Planung von Fertigungsszenarien und Nutzung vollständiger Prozessketten zu deren Bewertung
Ganzheitlicher Ansatz präventiver Qualitätssicherung	Einbindung der Arbeitsplanungs-KPZ und -methoden in das Qualitätsmanagement des Netzwerkes
Mögliche Existenz mobiler KPZ zur Leistungserstellung	Ressourcenoffene Planung von Fertigungsszenarien, Nutzung vollständiger, alternativer PK zur Bewertung
vorhandene empirische Studien zu existenten Netzwerken	Nutzung der Erfahrungen bestehender Kooperationen zur Arbeitsplanung in Netzwerken und Eliminierung derer Schwachstellen
Einbindung bestehender Informationssysteme der KPZ in das Betreibermodell	Nutzung der Funktionalitäten bestehender Informationssysteme von KPZ bei der Arbeitsplanung im Netzwerk (PDM-, ERP-Systeme)
Schnelle Reaktion des Netzwerkes auf Anfragen	Einbindung der Arbeitsplanungskompetenz in das Betreibermodell und Nutzung moderner Planungsmethoden (z.B. Simultaneous Engineering)
Formalismus bei der KPZ Selektion und Auswahl	Anwendung von identisch strukturierten Planungsalgorithmen bei der Generierung der Prozessketten
Überführung der hierarchischen Produktstruktur in hierarchielose Kooperationen	Ressourcenneutrale Planung möglicher Fertigungsszenarien und anforderungsgerechte Selektion von KPZ zur Auftragsrealisierung
Struktur und Ausrichtung von KPZ (funktions-/ prozessorientiert, Anzahl und Art der Kompetenzkomponenten)	Modulare Struktur der KPZ-Arbeitsplanung zur anforderungsgerechten Repräsentation von Kompetenzkomponenten
Automatismus bei der KPZ-Suche	Generischer Ablauf zur Beschreibung von benötigten Kompetenzen
Berücksichtigung unscharfer Beschreibungsparameter bei der KPZ Selektion	Einbindung von „Soft Facts“ bei der Generierung des Anforderungsvektors
Darstellung der KPZ im Netz	Strukturierung der Arbeitsplanungs-KPZ entsprechend dem generischen Kompetenzzellenmodell
Schnelle Reaktion des Netzwerkes auf Störungen	Vorhalten von definierten Fertigungsalternativen

*Tabelle 3: Ausgewählte Einflussfaktoren des Netzwerkes und sich daraus ergebende Anforderungen an die Arbeitsplanung.*

Als ein **erstes Ergebnis** bezogen auf die Dekomposition des Geschäftsprozesses der Arbeitsplanung bleibt festzustellen, dass die Arbeitsplanungsaktivitäten in Form eines Kompetenzrahmens (im Rahmen dieser Arbeit als UML-Aktivitätsdiagramm) abgebildet werden können. **Zweitens** ist es möglich, die allgemeinen Arbeitsplanungsinhalte entsprechend den Randbedingungen des hierarchielosen Vernetzungsmodells abzugrenzen. Daraus folgt, dass eine Einbindung der Arbeitsplanung in die Randbedingungen des hierarchielosen Vernetzungsmodells entsprechend der beschriebenen vierstufigen Vorgehensweise möglich ist. Somit kann die Anwendung der Kompetenztheorie und des Kompetenzbegriffs für den Geschäftsprozess Arbeitsplanung in Bezug auf die Gestaltung eines Kompetenzrahmens (entsprechend Abbildung 9) als generell geeignet angesehen werden.

Als ein **drittes Ergebnis** bleibt im Rahmen dieses Abschnitts festzustellen, dass es prinzipiell möglich ist, die spezifischen Einflussfaktoren von hierarchielosen Produktionsnetzen mit den sich daraus ergebenden Anforderungen an die Arbeitsplanungskompetenz zu erfüllen. Dazu bedarf es jedoch einer erweiterten Beschreibung der im Kompetenzrahmen definierten Arbeitsplanungsinhalte. Diesem Anspruch wird durch die Modellierung des Partialmodells Arbeitsplanung nachgekommen. Darin können die im Kompetenzrahmen definierten Aktivitäten entsprechend den gestellten Anforderungen zur Kompetenzabbildung und –suche durch den IMK sinnvoll untersetzt, strukturiert und informationstechnisch verarbeitbar repräsentiert werden

**Viertens** bleibt im Hinblick auf die erkannten Defizite in KMU-Netzwerken festzustellen, dass das hierarchielose Vernetzungsmodell enormes Potenzial (bezüglich Konzentration auf Kompetenzen, Wertschöpfungsprozessabbildung und direkter Vernetzung sich selbst organisierender KPZ) besitzt, um sich als eine geeignete Alternative zu empfehlen. Speziell die Arbeitsplanungskompetenz kann dabei einen wichtigen Beitrag zur Lösung der ermittelten Probleme in existierenden KMU-Netzwerken leisten, wenn das hierarchielose Vernetzungsmodell zur Organisation der unternehmensübergreifenden Herstellungsprozesse eingesetzt wird.



## 6 Das Partialmodell der Arbeitsplanung

### 6.1 Vorbetrachtungen

In Fortführung der vorangegangenen Ausführungen ist festzustellen, dass die speziellen Gegebenheiten des hierarchielosen Vernetzungsmodells die Notwendigkeit der Entwicklung eines speziell für den partiellen Geschäftsprozess der Arbeitsplanung zugeschnittenen Partialmodells erfordern. Dadurch wird neben einer auf die Randbedingungen der Betrachtungsdomäne zugeschnittenen Beschreibungsvorlage für entsprechende KPZ auch die Verringerung existierender Schwachstellen in KMU-Netzwerken sichergestellt. Somit gewährleistet das zu entwickelnde Partialmodell für den Geschäftsprozess der Arbeitsplanung die Transformation der in den existierenden KMU vorhandenen Kompetenzen (vgl. Abbildung 3 regionale Netzebene) zu Arbeitsplanungs-KPZ im Kompetenznetz. In der Folge wird es notwendig, diese KPZ aufwandsarm zu verwalten, damit sie effizient und auftragsabhängig in Produktionsnetze integriert und mit einem durchgängigen Schnittstellenkonzept vernetzt werden können. Die Umsetzung dieser Aufgabe wird prinzipiell durch die IT-Werkzeuge des hierarchielosen Produktionsnetzes sichergestellt, wobei diese jedoch ein entsprechendes Partialmodell voraussetzen. Aus diesem Grund ist es erforderlich, die Identifikation der im regionalen Netz vorhandenen Arbeitsplanungskompetenzen der KMU mit Hilfe des Konstruktes Partialmodell entsprechend zu unterstützen, zu strukturieren und mit dem Ziel einer rechentechnischen Verwaltung abzubilden. Somit gewährleistet das Partialmodell eine Informationsorganisation von arbeitsplanungsrelevanten Kenngrößen, auf deren Basis zielführende Merkmale zur Suche nach jeweils geeigneten Arbeitsplanungs-KPZ im Kompetenznetz aus gegebenen Auftrags- und Produktinformationen abgeleitet werden können.

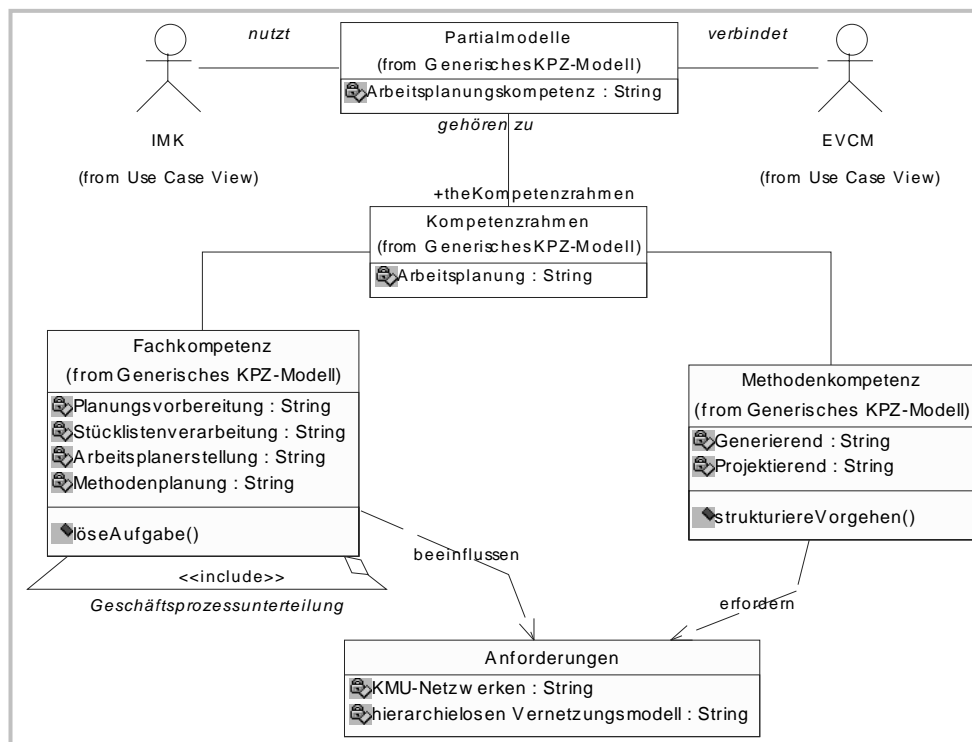


Abbildung 12: Sicht auf das Umfeld zur Partialmodelentwicklung (Darstellung als UML-Klassendiagramm).

In der Folge sind Arbeitsplanungs-KPZ durch den IMK unter Beachtung der jeweiligen Randbedingungen festzustellen und anschließend durch das EVCM in Produktionsnetze integrierbar (Abbildung 12). Somit dient das Partialmodell als informationstechnisches Instrument, um aus gegebenen Organisationseinheiten (z. B. KMU) KPZ zu bilden (vgl. Abbildung 3, Phase B<sub>1</sub>) und diese im Anschluss entsprechend konkreter Erfordernisse in Produktionsnetze (vgl. Abbildung 3, Phase C<sub>1</sub>) einzubinden. Neben dieser, die Kompetenz der Arbeitsplanung beschreibenden Funktion, dient das Partialmodell außerdem noch als Hilfsmittel zur gezielten Kompetenzentwicklung sowie zur Unterstützung der jeweiligen KPZ im methodischen Bereich.

Vor diesem Hintergrund besteht im Rahmen dieses Abschnitts das Ziel in der Entwicklung eines Partialmodells für den partiellen Geschäftsprozess der Arbeitsplanung, wobei die Ergebnisse des Abschnitts 5 aufgegriffen und weiterentwickelt werden. Dabei wird der Untersuchungsfokus auf die Modellierung fach- und methodenkompetenzspezifischer Beschreibungsmerkmale<sup>69</sup> entsprechend des definierten Kompetenzrahmens gelegt. Weiterführende Betrachtungen<sup>70</sup> bezüglich einer komplexeren Abbildung von Arbeitsplanungs-KPZ, welche sich beispielsweise aus dem generischen KPZ-Modell (vgl. Abbildung 6) ableiten, sind nicht unmittelbarer Gegenstand dieser Arbeit.

## 6.2 Betrachtungen zur Kompetenzentwicklung und –adaption im Partialmodell

In hierarchielosen Produktionsnetzen werden KMU ihre Ressourcen mit dem Schwerpunkt Mitarbeiterkompetenzen in Form von eigenständig lebensfähigen KPZ bereitstellen. Diese humanzentrierte Betrachtung der KPZ unterstützt den Ansatz, durch die optimale Kombination benötigter Kompetenzen Synergien zu ermöglichen und auf dieser Basis gezielt Raum für Innovationen zu öffnen. In diesem Zusammenhang ist es notwendig, die Arbeitsplanungs-KPZ bei der Sicherung bzw. Erweiterung ihrer Kompetenz<sup>71</sup> zu unterstützen. Im Rahmen der vorliegenden Arbeit werden diesbezügliche Fragestellungen vor dem Hintergrund diskutiert, welche Anforderungen sich daraus für das Partialmodell ableiten. Somit besteht die Aufgabe, eine prinzipielle Strategie zur Kompetenzadaption oder -entwicklung für den Geschäftsprozess Arbeitsplanung zu erarbeiten. Vor diesem Hintergrund wurde deshalb für den partiellen Geschäftsprozess der Arbeitsplanung ein vierstufiges Vorgehen zur Kompetenzadaption oder -entwicklung erarbeitet (Abbildung 13).

Im Rahmen des **ersten Schrittes** werden die vorhandenen Arbeitsplanungskompetenzen identifiziert. Die rechentechnische Weiterverarbeitung der ermittelten Fähigkeiten und Fertigkeiten erfolgt im IMK des hierarchielosen Produktionsnetzes unter Verwendung der noch vorzustellenden Partialmodellstruktur. Somit wird für die jeweils abgebildete Arbeitsplanungs-KPZ ein auf Basis von Fach- und Methodenkompetenz reflektiertes Kompetenzprofil verfügbar. Dieses dient im **zweiten Schritt** als Grundlage für eine Kompetenzanalyse. Dabei werden auf Basis der Aktivitätsbeschreibungen<sup>72</sup> nachgefragte und angebo-

---

<sup>69</sup> Vgl. dazu Abschnitt 5.2 Tabelle 1.

<sup>70</sup> Dazu zählen beispielsweise Untersuchungen zur Einbindung von Soft-Facts in das Partialmodell.

<sup>71</sup> Somit beim Lernen, wodurch ein Bezug zur personalen Grundkompetenz entsteht.

<sup>72</sup> Das Modell zur Abbildung von den hier erwähnten Aktivitätsbeschreibungen wird im nächsten Abschnitt (6.3.1) vorgestellt.



tene Kompetenzen sowie die Häufigkeit der erfolgten Teilnahme am Produktionsnetz ermittelt. Als Ergebnis des zweiten Schrittes können somit Aussagen getroffen werden, weshalb unter bestimmten Randbedingungen<sup>73</sup> die betrachtete Arbeitsplanungs-KPZ nicht ausgewählt wurde. Die dadurch festgestellten Defizite im Bereich der Fach- und Methodenkompetenz werden im **dritten Schritt** bewertet. Dabei werden die Defizite bezüglich ihrer zu erwartenden zukünftigen Auswirkungen auf die betrachtete Kompetenz untersucht. Im Ergebnis des dritten Schrittes entsteht somit eine Prognose, welche Kompetenzentwicklung auf Basis der erfolgten Erhebung zur Defizitbeseitigung beiträgt. Daraus können im **vierten Schritt** günstige Entwicklungsszenarien abgeleitet und der spezifische<sup>74</sup> Entwicklungsbedarf, aufgezeigt werden. Somit kann eine Eingrenzung bezüglich der anzueignenden Kompetenz erfolgen, wodurch die Frage nach dem „Was zu lernen ist“ beantwortbar ist. Auf dieser Grundlage können geeignete Kompetenzentwicklungs<sup>75</sup>- oder -adaptionismöglichkeiten<sup>76</sup> vorgeschlagen werden.

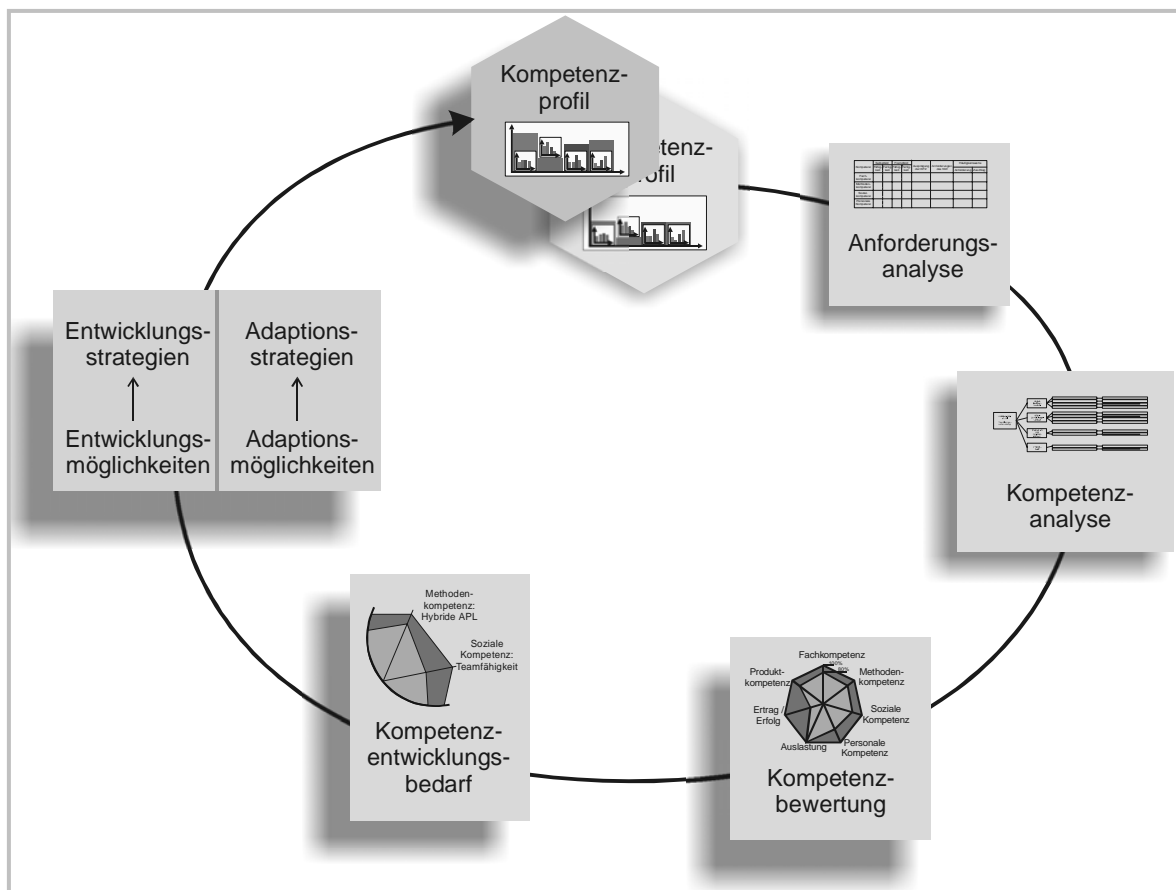


Abbildung 13: Sicht auf die erarbeitete Vorgehensweise zur Kompetenzentwicklung.

<sup>73</sup> An dieser Stelle ist anzumerken, dass auch mangelnde Sozialkompetenz einen Grund für keine Teilnahme am Produktionsnetz darstellt. Wie als Einschränkung jedoch bereits beschrieben, wird im Rahmen dieser Arbeit eine derartige Konstellation nicht betrachtet.

<sup>74</sup> Somit auf die jeweils individuellen Gegebenheiten der betrachteten Arbeitsplanungs-KPZ zugeschnittenen.

<sup>75</sup> Eine Kompetenzentwicklungsstrategie beinhaltet die Aneignung von Kompetenz aus einem anderen Kompetenzrahmen.

<sup>76</sup> Adaptionismöglichkeiten zeigen Wege zur Kompetenzentwicklung innerhalb des Kompetenzrahmens der Arbeitsplanung auf.

Diese münden in entsprechende Lernkonzepte<sup>77</sup>, welche den individuell geeignetsten Weg zur Wissenserlangung aufzeigen. Nach der Beendigung dieser vierstufigen Vorgehensweise ist es notwendig, das entsprechende Kompetenzprofil der KPZ zu aktualisieren, damit aktuelle Kompetenzbeschreibungen dem IMK zur Bildung von Produktionsnetzen zu Verfügung stehen. Auf Grundlage dieser Betrachtungen sind die identifizierten Beschreibungsmerkmale von Arbeitsplanungskompetenzen mit entsprechenden Parametern zu untersetzen. Diesen gilt es im Rahmen der Einbindung von personaler Grundkompetenz in das Partialmodell auszubauen. Für den in der vorliegenden Arbeit definierten Betrachtungsraum bezüglich einer fach- und methodenkompetenzgetragenen Beschreibung von Arbeitsplanungs-KPZ reicht das vorgestellte Untersuchungsstadium zur Ermittlung von Schnittstellenanforderungen für die Einbeziehung personaler Kompetenz in die Partialmodellstruktur aus. Im Resultat sind folgende Merkmale in einer ersten Näherung einzubinden:

- die Bewertungsart zur Kompetenzermittlung<sup>78</sup> (selbst oder fremd),
- der Bewertungsfokus<sup>79</sup> (Einteilung in Fähigkeiten und Fertigkeiten) sowie
- der Controllingaspekt<sup>80</sup> (Statistik der Kompetenznachfrage und –integration in Produktionsnetze).

Im Verlauf einer weiterführenden Modellierung sind diese Ergänzungen bezüglich der definierten Merkmale zu beachten und können in Form von entsprechenden Attributen in die jeweiligen Klassen eingearbeitet werden.

### **6.3 Partialmodell zur Abbildung von Arbeitsplanungs-KPZ**

Die Gestaltung des Partialmodells für den partiellen Geschäftsbereich der Arbeitsplanung sollte auf Basis einer entsprechenden Bildungsmethodik erfolgen. Diese stellt sicher, dass die anzutreffende Komplexität des relevanten Betrachtungsraumes ausreichend durchdrungen und anschließend in der gewünschten Form auch dargestellt werden kann. In der Folge können entsprechende Merkmale und Abhängigkeitsverhältnisse identifiziert, deren Informationsgehalt überprüft und strukturiert werden. Anschließend erfolgt die rechentechnische Abbildung nach einheitlichen und transparenten Maßstäben. Dies erweist sich als erforderlich, damit auf Basis der vorhandenen Verwaltungsinstrumente (z. B. IMK, EVCM) eine automatisierte Datenhaltung und –nutzung als eine Grundvoraussetzung zur direkten Vernetzung von KPZ einsetzbar ist. Vor diesem Hintergrund wurde eine entsprechende Methodik zur Modellierung der Arbeitsplanungskompetenz in Form eines Partialmodells entwickelt. Diese unterstützt die Identifikation, Strukturierung und Abbildung der Fach- und Methodenkompetenz innerhalb des betrachteten Systems.

---

<sup>77</sup> Dadurch wird die Frage beantwortet, wie soll die KPZ sich am besten das relevante Wissen aneignen.

<sup>78</sup> Mit welcher Methode kann die personengebundene Kompetenz des Arbeitsplaners in geeigneter Weise erfasst werden?

<sup>79</sup> Nach welcher Systematik werden die denkbaren Ausprägungen von Arbeitsplanungskompetenzen bewertet und gegliedert?

<sup>80</sup> Was ist ein geeignetes Instrument zur Bewertung der vorhandenen Kompetenz einer Arbeitsplanungs-KPZ und wie kann ich diese effektiv kommunizieren?

### 6.3.1 Methodik zur Entwicklung des Partialmodells für die Arbeitsplanung

Entsprechend den gestellten Anforderungen im Rahmen einer rechtechnisch basierten Abbildung von arbeitsplanungsrelevanten Beschreibungsmerkmalen erweist es sich als zielführend, auf die in Abschnitt 5 vorgestellten Ergebnisse zurückzugreifen. Somit bilden die im Kompetenzrahmen Arbeitsplanung enthaltenen Aktivitäten (vgl. Tabelle 1) die Grundlage der nachfolgenden Untersuchungen.

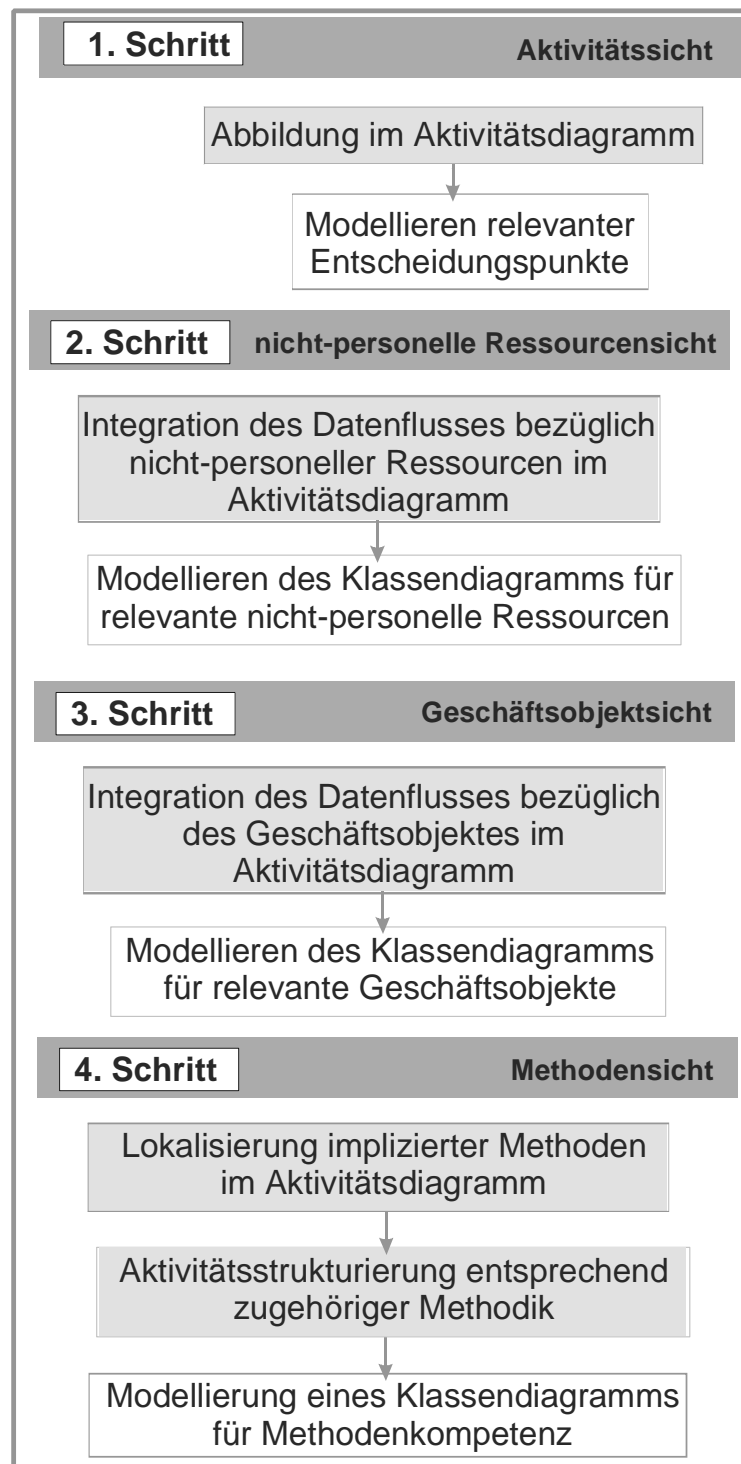


Abbildung 14: Sicht auf die entwickelte Vorgehensweise zur Fachkompetenzbeschreibung.

In Abbildung 14 ist die entwickelte Vorgehensweise zur Untersetzung der Fachkompetenzbeschreibung, basierend auf dem erarbeiteten Kompetenzrahmen, dargestellt. Im Unterschied zu den definierten Aktivitätsbeschreibungen des Kompetenzrahmens zeichnet sich für die Fach- und Methodenkompetenzmodellierung im Rahmen der Partialmodellentwicklung ein wesentlich breiterer Betrachtungsraum ab. Es ist zu erkennen, dass die Aktivitätsbeschreibungen innerhalb des Partialmodells mit ergänzenden Merkmalen zu untersetzen sind, welche sich auf das Geschäftsobjekt, die genutzten nicht-personellen Ressourcen sowie die eingesetzten Methoden ausdehnen. Nachfolgend werden die erarbeiteten Schritte näher erläutert.

In Fortführung der erarbeiteten Vorgehensweise zur Definition des Kompetenzrahmens Arbeitsplanung entsteht im Rahmen des **ersten Schrittes** aus den Aktivitätsbeschreibungen das Grundgerüst für die Fachkompetenzdarstellung im Partialmodell. Zur Absicherung einer nachgelagerten Analyse werden deshalb die vorhandenen Arbeitsplanungsaktivitäten mit Zustandsbetrachtungen ergänzt. Dabei entsteht zusätzlich zur vorhandenen reihenfolgebezogenen Beschreibung der entsprechenden Aktivitäten (Fachkompetenzen) eine Darstellung der jeweiligen Zustände in Bezug auf den Informationsfluss. Außerdem werden vorhandene Entscheidungspunkte innerhalb des Planungsfortschritts in Form von Aufspaltungen<sup>81</sup>, Zusammenführungen<sup>82</sup> oder Rauten<sup>83</sup> weiter untersetzt. Das derart erweiterte Aktivitätsdiagramm bildet einen Zwischenschritt für weitere Betrachtungen im Rahmen der zu entwickelnden Methodik.

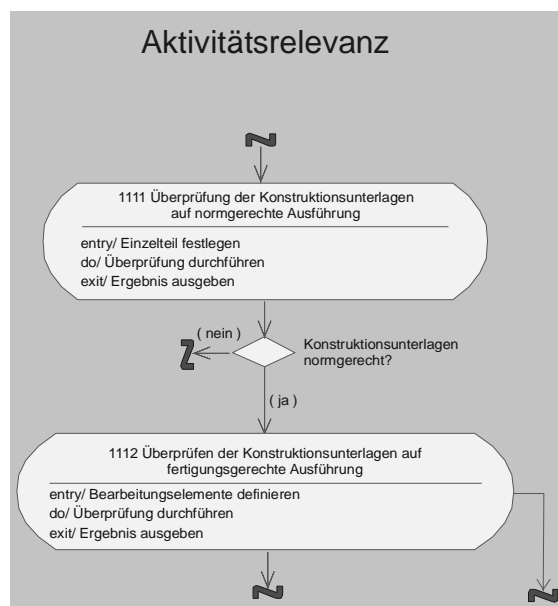


Abbildung 15: Schematisierter Ausschnitt aus dem Aktivitätsdiagramm zur Fachkompetenzmodellierung (Darstellung als UML-Aktivitätsdiagramm).

<sup>81</sup> Im nachfolgenden Verlauf der Aktivitäten sind zwei oder mehr Wege (Handlungsalternativen) möglich.

<sup>82</sup> Zwei oder mehr Wege (Handlungsalternativen) werden zusammengeführt.

<sup>83</sup> Diese repräsentieren entsprechende Abhängigkeiten in Form von wenn – dann – Beziehungen.

Mit Hilfe des **zweiten Schrittes** erfolgt eine Erweiterung des Aktivitätsdiagrammes auf der Betrachtungsebene von nicht-personellen Ressourcen<sup>84</sup>, welche für die Umsetzung der jeweils betrachteten Arbeitsplanungsaktivität benötigt werden. Diese finden in Form von unspezifizierten Objekten, jedoch mit Klassenbezug, Eingang in das bestehende Aktivitätsdiagramm unter Beachtung ihrer Aktivitätszugehörigkeit. In der Folge entstehen entsprechende Beziehungen zu Klassen von nicht-personellen Ressourcen. Daraus folgt, dass ein Modell zur Abbildung relevanter Klassen von nicht-personellen Ressourcen in Form eines Klassendiagramms auf dieser Grundlage modellierbar ist. Darin werden die entsprechend im Rahmen des Aktivitätsdiagramms abgebildeten Klassen vervollständigt. Dazu gehört eine Attributierung sowie Strukturierung zur weiteren Detaillierung. In diesem Zusammenhang können bereits auf Grundlage der Attributierung mögliche Merkmale für eine Beschreibung oder Suche der zu Grunde liegenden Fachkompetenz abgeleitet werden. Im Ergebnis entsteht ein auf den partiellen Geschäftsprozess der Arbeitsplanung zugeschnittenes Klassendiagramm zur Repräsentation relevanter nicht-personeller Ressourcen (Abbildung 16).

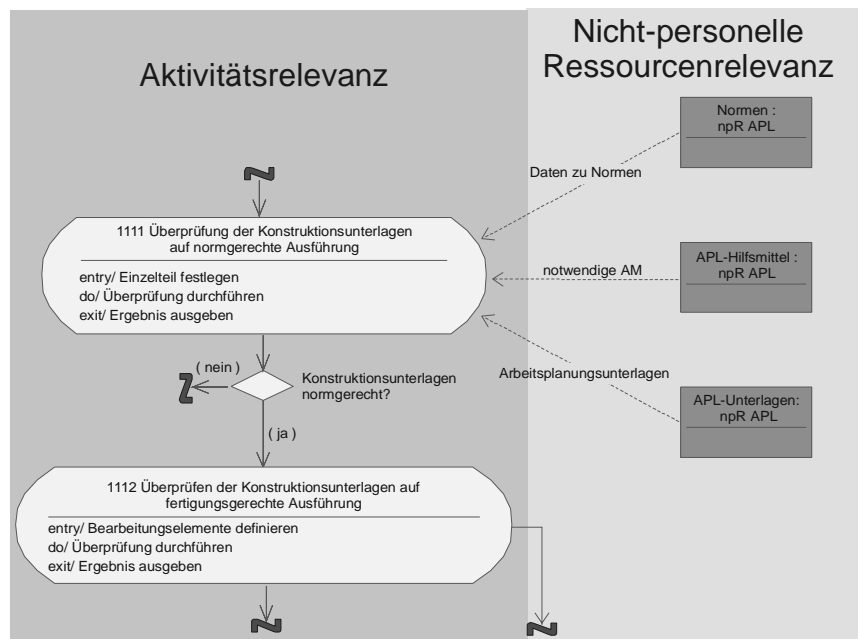


Abbildung 16: Schematisierter Ausschnitt aus dem Aktivitätsdiagramm zur Fachkompetenzmodellierung ergänzt mit nicht-personeller Ressourcen (Darstellung als UML-Aktivitätsdiagramm).

Der **dritte Schritt** erweitert das vorhandene Aktivitätsdiagramm auf der Betrachtungsebene des Eingangsinformationsbedarfs, welcher für die Umsetzung der jeweils betrachteten Aktivität erforderlich ist. Dabei werden diese Informationen in Form von Geschäftsobjekten in einem gleichbenannten Modell zusammengefasst.

Diese Einordnung stellt eine Konsequenz bezüglich des sehr engen Bezugs zum jeweiligen Erzeugnis, welches die entsprechenden Daten liefert, dar. In Analogie zur Einbindung der nicht-personellen Ressourcen finden auch hier unspezifizierte Objekte, jedoch mit Klassenbezug, Eingang in das bestehende Aktivitätsdiagramm. Dabei erfolgt diese Integration

<sup>84</sup> Arbeitsmittel der Arbeitsplanungs-KPZ, z. B. Hard- und Software.

unter Beachtung der entsprechenden Aktivitätszugehörigkeit. In der Folge entstehen entsprechende Beziehungen zu Klassen von Geschäftsobjekten<sup>85</sup>. Daraus leitet sich der Bedarf ab, dass ein Modell zur Abbildung relevanter Klassen von Geschäftsobjekten in Form eines Klassendiagramms zu entwickeln ist. Darin werden die entsprechend im Rahmen des Aktivitätsdiagramms abgebildeten Klassen vervollständigt. Dazu gehört eine Attributierung sowie Strukturierung zur weiteren Detaillierung. In diesem Zusammenhang können bereits auf Grundlage der Attributierung mögliche Merkmale für eine Beschreibung/ Suche der zu Grunde liegenden Fachkompetenz abgeleitet werden. Im Ergebnis entsteht ein auf den partiellen Geschäftsprozess der Arbeitsplanung zugeschnittenes Klassendiagramm zur Repräsentation relevanter Geschäftsobjekte (Abbildung 17).

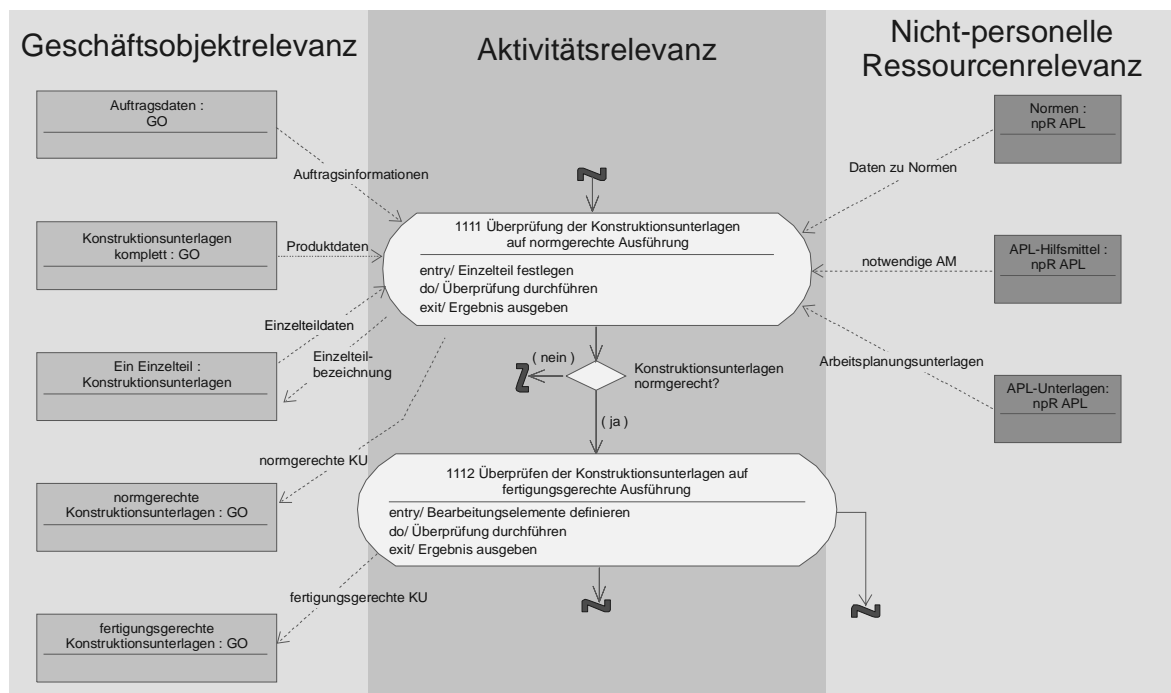


Abbildung 17: Schematisierter Ausschnitt aus dem Aktivitätsdiagramm zur Fachkompetenzmodellierung ergänzt mit Geschäftsobjekten (Darstellung als UML-Aktivitätsdiagramm).

Im Rahmen des abschließenden **vierten Schrittes** der entwickelten Vorgehensweise zur Modellierung arbeitsplanungsspezifischer Fachkompetenz erfolgt eine Kopplung<sup>86</sup> mit der Methodenkompetenz entsprechend der dargestellten Kompetenzerlegung nach Erpenbeck /ERPE-99/. Im Rahmen dieser Betrachtung wird unterstellt, dass mit Hilfe der Methodenkompetenz entsprechende Aktivitätskombinationen innerhalb der Fachkompetenzbeschreibung zusammengefasst und bezeichnet werden<sup>87</sup>. In der Folge spiegelt eine spezielle Methode die Aneinanderreihung eindeutig definierter Aktivitäten<sup>88</sup> wieder. Somit sind die im

<sup>85</sup> Dazu zählen bspw. Arbeitsplanungsunterlagen, das herzustellende Produkt oder Konstruktionsunterlagen.

<sup>86</sup> Nach Erpenbeck repräsentiert die Methodenkompetenz strukturierte Vorgehen, d. h. auf den vorliegenden Problembereich übertragen eine entsprechende Folge von Aktivitäten.

<sup>87</sup> Für die Aktivitäten der Arbeitsplanung kann bspw. eine Unterscheidung in generierend und projektierend getroffen werden. Je nach angewandeter Methode werden sich unterschiedliche Aktivitätsstrukturen ergeben.

<sup>88</sup> Und dadurch im übertragenem Sinn Tätigkeiten des Arbeitsplaners.

Rahmen der Modellierung des Aktivitätsdiagramms für die Arbeitsplanung bereits erwähnten Entscheidungspunkte zu untersuchen. Dies erfolgt vor dem Hintergrund einer möglichen Zuordnung existierender Arbeitsplanungsmethoden zu abgebildeten Aktivitätsfolgen.

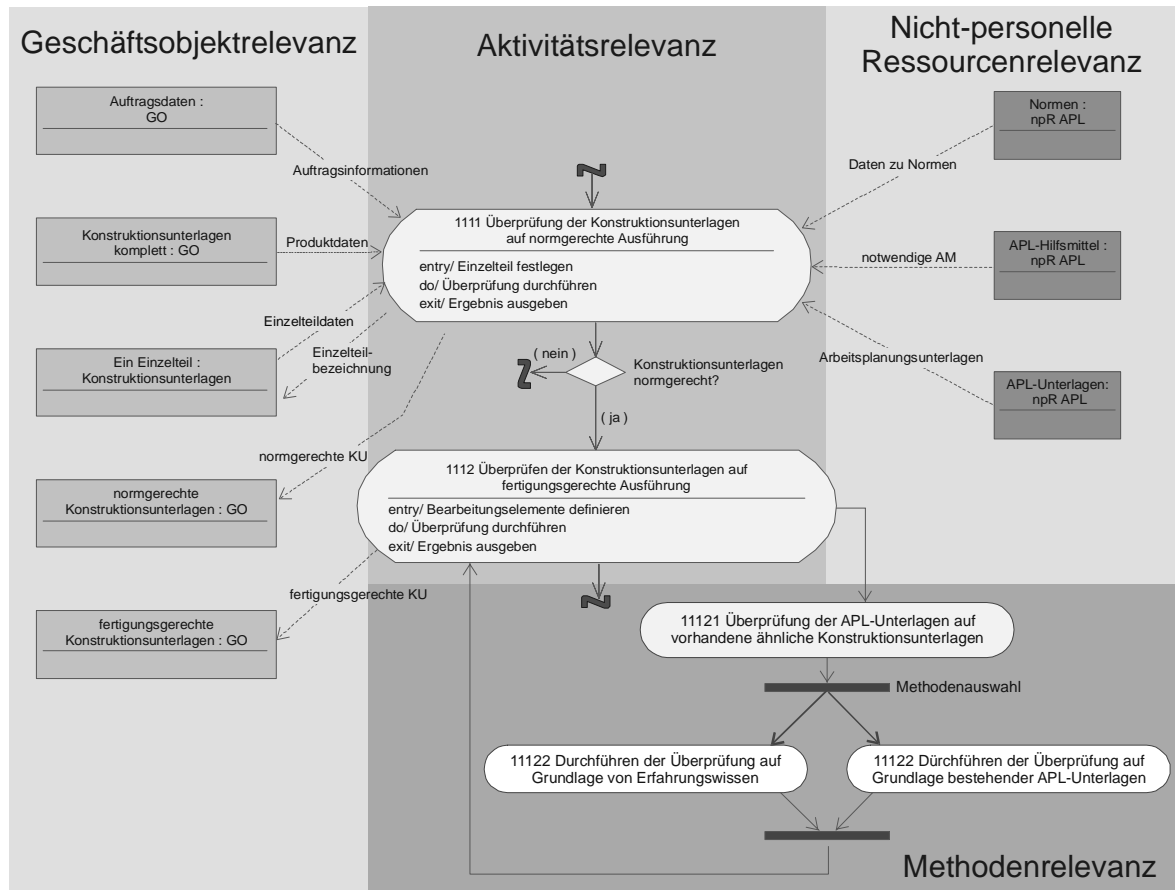


Abbildung 18: Schematisierter Ausschnitt aus dem Aktivitätsdiagramm zur Fachkompetenzmodellierung ergänzt mit Arbeitsplanungsmethoden (Darstellung als UML-Aktivitätsdiagramm).

Im Ergebnis können im Aktivitätsdiagramm existierende Entscheidungsalternativen methodenspezifisch modelliert und bezeichnet werden. Mit diesen derart strukturierten und bezeichneten Aktivitätskombinationen ist es möglich, wesentliche Methodenmerkmale in Form von Attributen in ein Klassendiagramm zu überführen. Somit entsteht ein die Methodenkompetenz bezüglich der Arbeitsplanung beschreibendes abstraktes<sup>89</sup> Methodenmodell, welches auf den Aktivitätsbeschreibungen der Fachkompetenz basiert. In der Folge führt die Präferenzierung einer speziellen Arbeitsplanungsmethode zu entsprechend strukturierten Aktivitäten. In Abbildung 14 ist die entwickelte Bildungsmethodik zur Gestaltung des Partialmodells für den partiellen Geschäftsbereich der Arbeitsplanung schematisch dargestellt.

Aus Sicht einer unterstützenden Beschreibung von Arbeitsplanungskompetenz bildet die Integration der methodischen Grundkompetenz eine geeignete Anreicherung bezüglich der Strukturierung relevanter Aktivitätsreihenfolgen. Auf Grundlage dieser Bildungsmethodik

<sup>89</sup> Als abstrakt wird in diesem Zusammenhang die eingeschränkte Sicht der Darstellung in Form eines Klassendiagramms auf die dynamischen Aktivitätsfolgen der jeweiligen Arbeitsplanungsmethode bezeichnet, wobei mit dieser Art der Modellierung relevante Methodenmerkmale und Assoziationen vorteilhafter repräsentiert werden können.

ist es möglich, eine entsprechende Struktur für das Partialmodell der Arbeitsplanung zu erarbeiten. Dafür erweist es sich jedoch im Vorfeld als zweckmäßig, die existierenden mit eventuell noch benötigten zusätzlichen Beschreibungsmerkmalen anzureichern.

### **6.3.2 Strukturierung und Erweiterung der Arbeitsplanungsinhalte des Kompetenzrahmens**

Auf Basis der entwickelten Bildungsmethodik für das Partialmodell der Arbeitsplanung wurden in Verbindung mit den Arbeitsplanungsinhalten des Kompetenzrahmens (vgl. Abschnitt 5.2) ergänzende Merkmale identifiziert. Dadurch wird es nun möglich, mit einem Fokus auf beschreibende Attribute Klassendiagramme zu entwickeln, welche die Grundlage für eine Datenbankstruktur für das Partialmodell der Arbeitsplanung im IMK liefern. Für eine Strukturierung bietet es sich an, die vorhandenen Bezeichnungen der erarbeiteten Sichten als Bezeichnungen für die jeweils zu entwickelnden Modelle zu übernehmen. Somit können vier Modelle gebildet werden:

- Aktivitätsmodell
- Nicht-personelle Ressourcenmodell
- Geschäftsobjektmodell und
- Methodenmodell

Mit Hilfe dieser Modelle ist es somit möglich, den nächsten Modellierungsschritt zur Abbildung informationstechnisch verwertbarer Merkmale der Arbeitsplanungskompetenz im IMK zu vollziehen. Im Ergebnis entsteht ein Partialmodell für den Geschäftsprozess der Arbeitsplanung, welches den erforderlichen Rahmen für eine aufwandsarme Beschreibung vorhandener bzw. Suche erforderlicher Arbeitsplanungskompetenz bietet. Für eine ökonomische und soziale Bewertung<sup>90</sup> der auf Basis dieser Modelle im Kompetenznetz abgebildeten Arbeitsplanungs-KPZ sind zusätzliche Informationen erforderlich. Im Rahmen dieser Arbeit besteht jedoch nicht der Anspruch einer näheren Untersuchung dieser betriebswirtschaftlichen und sozialen Aspekte in Bezug auf die Arbeitsplanungskompetenz. Es erfolgt dennoch im Rahmen des zu gestaltenden Partialmodells die Vergabe entsprechend bezeichneter „Platzhalter“. Mit Hilfe dieser Platzhalter können im Rahmen weiterer Forschungsarbeiten erste Untersuchungen unter Nutzung des entwickelten Partialmodells der Arbeitsplanung innerhalb betriebswirtschaftlicher und sozialer Vernetzungsaspekte vorgenommen werden. In diesem Zusammenhang ist es möglich, die vorhandenen Modelle mit entsprechenden Hauptmerkmalen zu beschreiben sowie die vorerst nicht betrachteten Vernetzungsaspekte als noch zu entwickelnde Modelle vorzumerken.

- Aktivitätsmodell Arbeitsplanung (Bezeichnung der Arbeitsplanungstätigkeit)
- Nicht personelles Ressourcenmodell APL<sup>91</sup> (Bezeichnung der zur Aktivitätsumsetzung benötigten nicht-personellen Ressourcen)
- Geschäftsobjektmodell APL (Bezeichnung des relevanten Geschäftsobjektes in Verbindung mit den daraus abgeleiteten Informationen)

---

<sup>90</sup> Im Rahmen der EVCM-Funktionen zur Generierung des Produktionsnetzes.

<sup>91</sup> Arbeitsplanung (APL).





Im Ergebnis repräsentiert das entwickelte Partialmodell eine für den Geschäftsprozess der Arbeitsplanung erweiterte Sicht des generischen KPZ-Modells auf der Grundlage des erarbeiteten Kompetenzrahmens. Nachfolgend werden die einzelnen Modelle beschrieben.

Im **Aktivitätsmodell** der Arbeitsplanungskompetenz ist der allgemeine Ablauf zur Arbeitsplanung abgebildet. Dadurch kann die nachgefragte oder angebotene Dienstleistung zur Arbeitsplanung sehr detailliert formuliert werden. In der Folge wird eine erste Spezifikation bezüglich der vakanten Arbeitsplanungskompetenz durch diese Spezifikation für eine Suche oder Beschreibung möglich. Die dafür genutzte Beschreibungshierarchie der Aktivitäten basiert auf dem bereits vorgestellten Aktivitätsdiagramm entsprechend den Arbeitsplanungsinhalten des Kompetenzrahmens (vgl. Abschnitt 5.2) zur

- Planungsvorbereitung
- Stücklistenverarbeitung
- Arbeitsplanerstellung und
- Methodenplanung.

Auf Grund der bereits erfolgten auszugsweisen Darstellung des Aktivitätsdiagramms wird an dieser Stelle auf eine Abbildung verzichtet. Die Analyse dieser Arbeitsplanungsaktivitäten zeigt jedoch, dass speziell zur Umsetzung der in dieser Arbeit gestellten Ziele zur Konfiguration des Produktionsnetzes sowie zu dessen Betrieb insbesondere die Aktivitäten zur Arbeitsplanerstellung und Methodenplanung einen überragenden Stellenwert besitzen. Dies ist durch deren hohen Einfluss (speziell der Aktivitäten zur Arbeitsplanerstellung) auf die dazu notwendigen Planungstätigkeiten begründet. In der Folge besteht der Bedarf nach einer Systematisierung von geeigneten Abläufen zur Umsetzung dieser Aufgaben in hierarchielosen Produktionsnetzen im Einklang mit den definierten Anforderungen. Im Ergebnis erwächst aus diesen Überlegungen heraus der Anspruch an das Partialmodell, ein geeignetes methodisches Gerüst als Richtschnur für effiziente Planungsaktivitäten im hierarchielosen Produktionsnetz bereitzustellen. Somit besteht Handlungsbedarf in Bezug auf die Erarbeitung und anschließende Integration einer geeigneten Planungsmethodik zur Produktionsnetzkonfiguration und zum Produktionsnetzbetrieb. Diesbezügliche Untersuchungen erfolgen im Rahmen des nächsten Abschnitts (7).

Zur Vereinfachung der Tätigkeitsbeschreibungen als Bestandteil der Fachkompetenzabbildung wurde das Aktivitätsdiagramm in UML-Notation in eine Baumstruktur<sup>92</sup> überführt (Abbildung 20). Dadurch ist eine übersichtliche Beschreibungsvorlage für Arbeitsplanungsaktivitäten zur Nutzung durch existierende Kompetenzträger entstanden, welche aufgrund ihres Ursprungs eine informationstechnische Weiterverarbeitung im IMK ermöglicht.

Zur Sicherung der betriebswirtschaftlichen und Soft-Facts betreffenden „Platzhalter“ werden die Aktivitätsbeschreibungen entsprechend dem Schema der Tabelle 4 ergänzt. Daraus geht ebenfalls hervor, dass die im vorangegangenen Abschnitt erarbeiteten Anforderungen

---

<sup>92</sup> Zur aufwandsarmen Überführung in eine Explorer-Darstellung.

zur Kompetenzentwicklung und -adaption entsprechenden Eingang im Partialmodell gefunden haben.

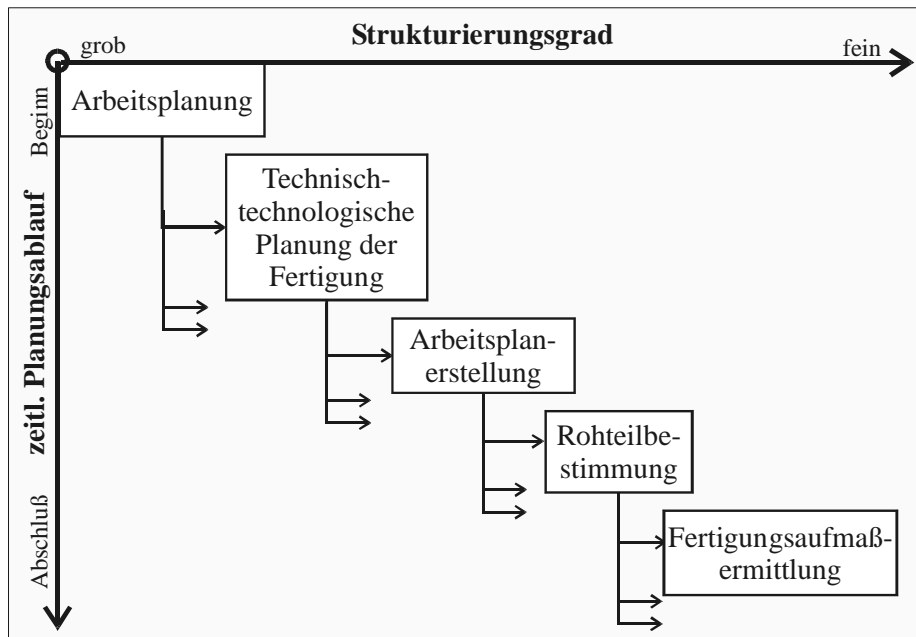


Abbildung 20: Schematisierte Sicht auf Sequenzen des Aktivitätsmodells.

In der Folge können Prozesse, welche die Informationen dieses Teilmodells benötigen in einer ersten Näherung unterstützt (z. B. zur Fachkompetenzbewertung) werden. Darüber hinaus ist es möglich, entsprechende Änderungen oder Modifikationen vorzunehmen, wodurch sich lediglich die Spezifik der „Platzhalter“ ändert, nicht jedoch die vorhandenen Abhängigkeiten zu den UML-Diagrammen im Rahmen der Beschreibung der Arbeitsplanungskompetenz im IMK.

Bezeichnung Aktivität	Ökonomische Parameter		Soft-Fact-Parameter				Häufigkeit					
	Dauer	Kosten	Bewertungsart		Bewertungs- fokus		Anforderung (A)/ Zuschlag (Z)					
Spezifika					Selbst	Fremd	Fähig- keit	Fertig- keit	Periode		Gesamt	
U	V	W	X	Y					A	Z	A	Z

Tabelle 4: Sicht auf die Aktivitätsspezifikation.

Das **nicht-personelle Ressourcenmodell** unterstützt die zielgerichtete Beschreibung von Arbeitsplanungs-KPZ, indem es die zur Umsetzung der jeweiligen Aktivität erforderlichen Arbeitsmittel charakterisiert. Darüber hinaus kann davon ausgegangen werden, dass es zur Ermittlung von betriebswirtschaftlichen Parametern genutzt wird. Vor diesem Hintergrund dienen folgende Merkmale zur Beschreibungsunterstützung:

- Hard (HW)- und Softwarespezifikationen (SW) zur Durchführung und Übermittlung der Arbeitsplanungsaktivitäten
- Mögliche Austauschformate (AF) zum Informationstransfer

In der Folge beschreibt die Arbeitsplanungskompetenz sowohl ihre vorhandenen als auch durch sie nutzbare Arbeitsmittel (AM) in Bezug auf die Umsetzung der relevanten Aktivität. In Abbildung 21 ist das entwickelte nicht-personelle Ressourcenmodell als Bestandteil des Partialmodells der Arbeitsplanung in Form eine UML-Klassendiagramms dargestellt.

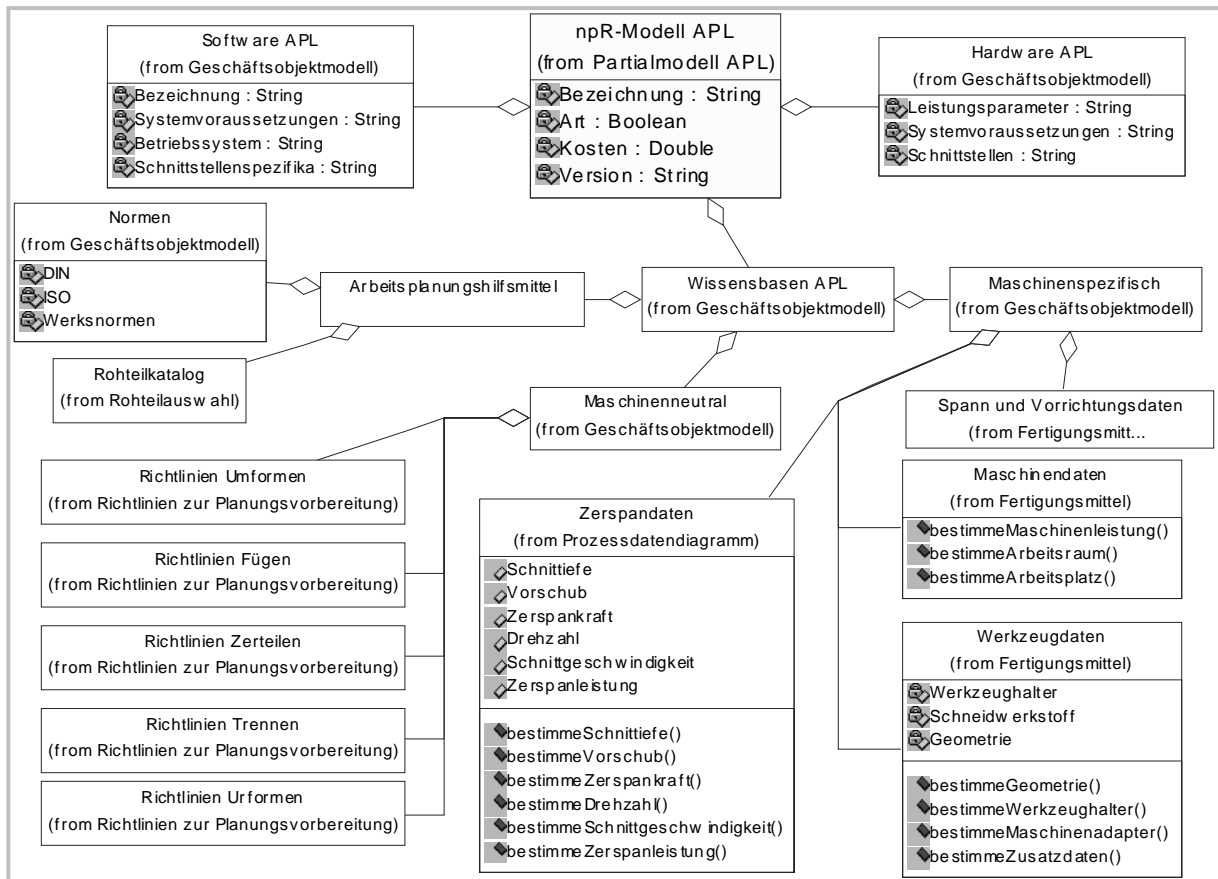


Abbildung 21: Darstellung des nicht-personellen Ressourcenmodells für die Arbeitsplanung (Darstellung als UML-Klassendiagramm).

Das **Geschäftsobjektmodell** stellt den Bezug der Arbeitsplanungskompetenz zum Gegenstand (dem zu fertigenden Einzelteil) der jeweiligen Aktivität her. In der Folge stellt das entsprechende Geschäftsobjekt (GO) das Ergebnis einer vorangegangenen Aktivität dar. In diesem Zusammenhang werden somit Arbeitsplanungskompetenzen

- im Zusammenhang mit der Gestalt des Einzelteils (GET),
- auf Basis spezifischer Werkstoffe (WST),
- in Form von definierten Geometrieangaben (GA) des Einzelteils,
- unter Beachtung von Konstruktionselementen (KE) am Einzelteil,
- im Rahmen definierter Qualitätseigenschaften (QE) des Einzelteils sowie

- bezüglich der nachgefragten Stückzahl (SZ)

weiterführend entsprechend diesen Merkmalen beschrieben. Dadurch wird es möglich, relevante Merkmale automatisiert aus den Konstruktionsdaten zu gewinnen und für die Bildung von Anforderungsvektoren zur Suche nach Arbeitsplanungs-KPZ zu nutzen. Als Gegenpart kann zur Beschreibungsdetailierung der dargestellte Produktbezug genutzt werden. Abbildung 22 zeigt einen Ausschnitt aus dem entwickelten Geschäftsobjektmodell für die Arbeitsplanung.

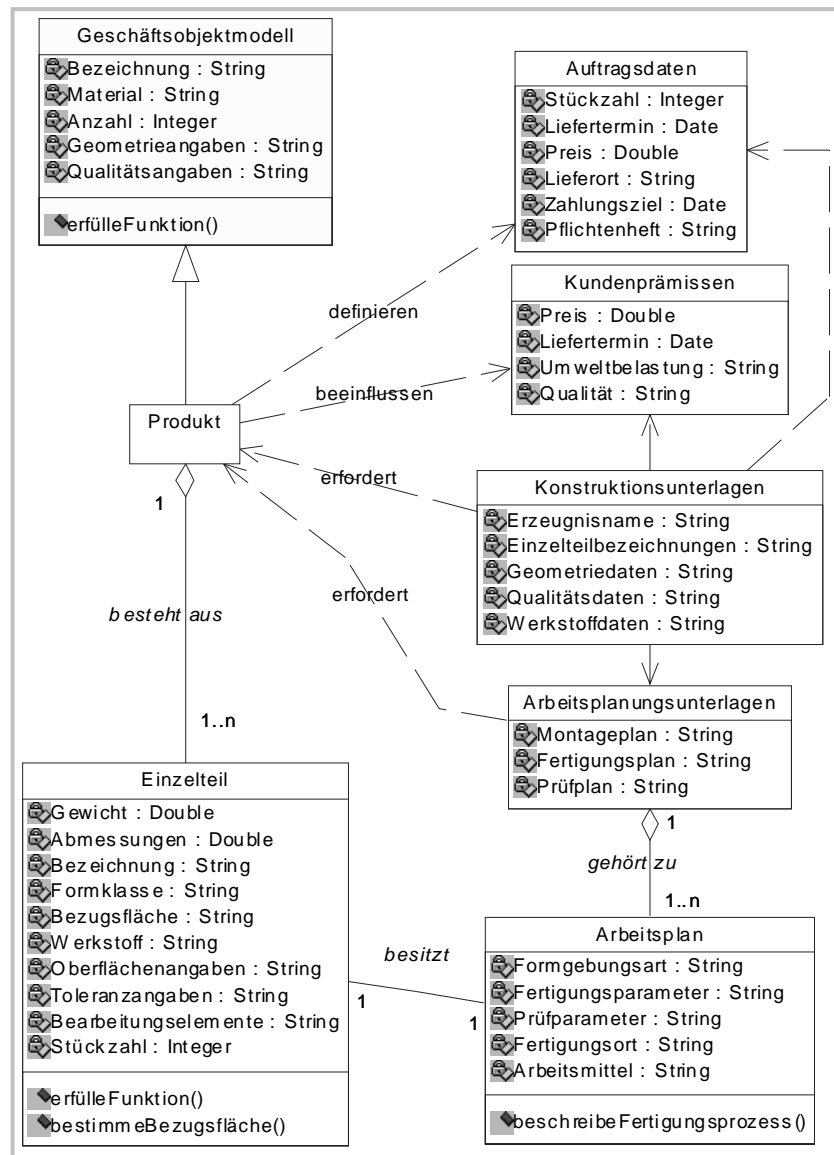


Abbildung 22: Ausschnitt des entwickelten GO-Modell der Arbeitsplanung (Darstellung als UML-Klassendiagramm).

Mit Hilfe des **Methodenmodells** werden die bereits abgebildeten Arbeitsplanungsmethoden (APM) ergänzt (vgl. Abbildung 19). Dabei grenzt sich die jeweils zu Grunde liegende Aktivität oder aber auch Methode bezüglich entsprechender Fertigungsmethoden<sup>93</sup> (FM) ein. Darin werden, im Unterschied zur im Kompetenzrahmen beschriebenen Aktivität Me-

<sup>93</sup> In Anlehnung an /DIN8-74/ und entsprechend der Definition in Abschnitt 11.

thodenplanung, neben Arbeitsplanungs- auch Fertigungsmethoden oder Bewertungsmethoden zur Kompetenzbeschreibung genutzt (Abbildung 23). In der Folge können die Beschreibungsmerkmale mit diesem Fokus detailliert werden, wodurch eine weitere Eingrenzung des im IMK vorhandenen Suchraumes zu erwarten ist.

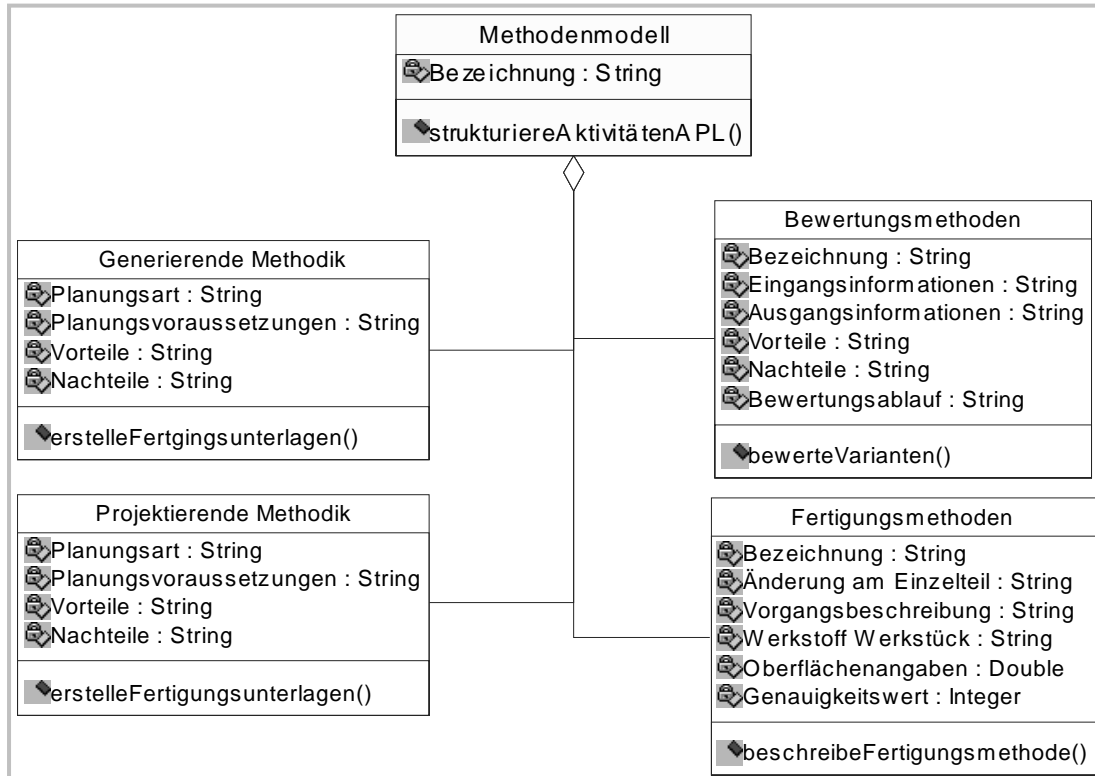


Abbildung 23: Sicht auf das Methodenmodell der Arbeitsplanung (Darstellung als UML-Klassendiagramm).

Neben dieser Funktionalität zur Beschreibungsdetailierung von Arbeitsplanungskompetenzen im IMK leistet das Methodenmodell einen wesentlichen Beitrag, damit Arbeitsplanungs-KPZ bezüglich ihrer Vorgehensweisen im hierarchielosen Produktionsnetz eine geeignete Unterstützung bei den erforderlichen Planungsaufgaben erhalten können. Vor diesem Hintergrund gilt es zu prüfen, ob die enthaltenen Arbeitsplanungsmethoden diesem Anspruch gerecht werden können. Vor diesem Hintergrund sind weiterführende Untersuchungen, wie bereits im Rahmen der Ausführungen zum Aktivitätsmodell dargestellt, notwendig.

## 6.4 Resümee

Auf Basis der im vorangegangenen Abschnitt beschriebenen Modelle innerhalb des Partialmodells der Arbeitsplanung ist es möglich, die in Tabelle 4 (Seite 53) als U, V, W, X, Y dargestellten Spezifika entsprechend der jeweiligen Anwendung<sup>94</sup> und den zu beachtenden Auftragsgegebenheiten zu konkretisieren. Dadurch kann der IMK konkrete Kompetenzanfragen und Kompetenzbeschreibungen für den Geschäftsprozess der Arbeitsplanung verwalten. In Tabelle 5 sind die relevanten Merkmale dazu abgebildet.

<sup>94</sup> Darunter wird in diesem Kontext die Suche oder Beschreibung von Arbeitsplanungskompetenzen verstanden.

Das Partialmodell der Arbeitsplanung stellt somit auf der Grundlage dieser Merkmale einerseits die rechentechnische Abbildung von Arbeitsplanungs-KPZ im IMK auf Basis von UML-Diagrammen sicher und ermöglicht andererseits dem Anwender eine einfache Beschreibung seiner Kompetenz in Form von hierarchisch strukturierten Eingabeschemata. Dabei besteht im Rahmen dieser Arbeit die Eingrenzung auf fach- und methodenkompetenzrelevante Kriterien.

Bezeichnung Aktivität											
[Aktivitätsmodell dient als Vorlage]											
Nicht-personelle Resource				Geschäftsobjekt						Methode	
HW	SW	AF	AM	GET	WST	GA	KE	QE	SZ	FM	APM

*Tabelle 5: Merkmale zur Beschreibung von Arbeitsplanungskompetenz.*

Die vorangegangenen Ausführungen zeigen, dass sich die Arbeitsplanungskompetenz entsprechend den Randbedingungen hierarchieloser Produktionsnetze in Form eines Partialmodells beschreiben lässt. Dabei erfolgte vordergründig die fachkompetenzgetragene Merkmalsidentifikation und -abbildung. Dadurch wird bereits eine zielgerichtete Suche nach bzw. eine aufwandsarme Beschreibung von Arbeitsplanungs-KPZ im Kompetenznetz ermöglicht, wobei die vorhandenen IT-Werkzeuge auf dieser Grundlage entsprechende Funktionen sicherstellen. Ergänzende Kenngrößen können im Rahmen weiterer Untersuchungen die in Form von „Platzhaltern“ dargestellten Modelle<sup>95</sup> untersetzen, wodurch betriebswirtschaftliche und soziale Bewertungen durchführbar werden.

In Bezug auf eine methodische Unterstützung der Arbeitsplanungs-KPZ, unter Beachtung der spezifischen Randbedingungen hierarchieloser Produktionsnetze sowie der in Abschnitt 5.3 erarbeiteten Anforderungen wurde weiterer Untersuchungsbedarf festgestellt. Es ist die Frage zu beantworten, in wie weit diese umfangreichen Anforderungen netzorientierte Vorgehensweisen für den Arbeitsplanungsprozess erfordern. Zusätzlich besteht die Notwendigkeit, den Arbeitsplanungs-KPZ ein methodisches Gerüst an die Hand zu geben und dieses im Methodenmodell abzubilden, welches sie befähigt, die anfallenden Arbeitsplanungsprozesse in hierarchielosen Produktionsnetzen durchzuführen.

<sup>95</sup> Dadurch werden das Kosten- und Soft-Fact-Modell vervollständigt.







bildet werden, weil dessen vorhandene Ablauf- und Organisationsstrukturen eine derartige Konstellation unterstützen (vgl. Abschnitt 5.3). In der Folge ist absehbar, dass die erkannten Defizite bezüglich bestehender Informationsbrüche in KMU-Netzwerken reduziert und durchgängige Informations- und verbesserte Materialflüsse innerhalb der im Produktionsnetz arbeitenden Fertigungs-KPZ erreicht werden können. Deshalb wird eine derartige Konstellation näher betrachtet. Eine Aussage, in wie weit sich eine zentral planende Arbeitsplanungs-KPZ in hierarchielosen Produktionsnetzen umsetzen lässt, liefert die Abschätzung zu erwartender Prozessvarianten entsprechend der existierenden Vorgehensweise zur Erstellung von Arbeitsabläufen in KMU-Netzwerken. Dazu werden die Einzelteile des Referenzproduktes (Das Montagesystem besteht aus 1470 Einzelteilen von welchen 222 keine Norm- und Standardteile (und somit Fertigungsteile) sind.) näher betrachtet. Das Ergebnis dieser Abschätzung liefert rund  $1,2 \cdot 10^{24}$  denkbare Planungsvarianten (Abbildung 25) zur Herstellung eines Einzelteils.

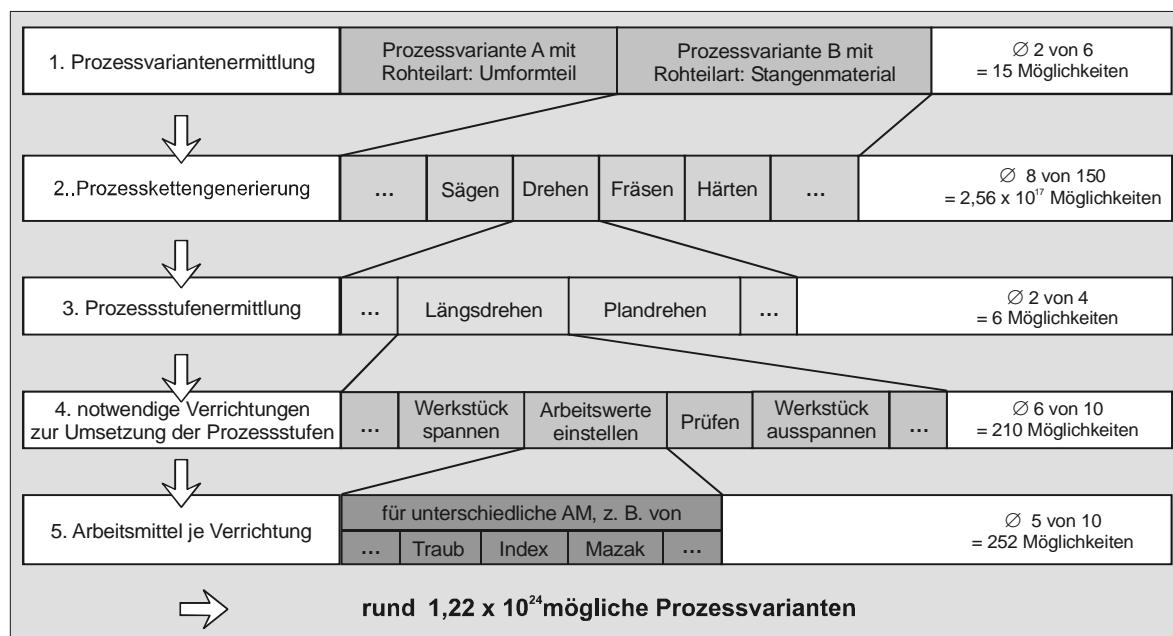


Abbildung 25: Abschätzung zu erwartender Prozessvarianten bei zentraler Planung bezüglich des Eigenfertigungsanteils für die Herstellung der Montagezelle im Produktionsnetz.

Auf ähnlich komplexe Planungsverhältnisse sind auch Muthsam<sup>97</sup> /MUTH-01/, Brömsen<sup>98</sup> /BROE-01/ oder auch Tempelhof<sup>99</sup> /SCHI-81/ gestoßen. Somit kann festgestellt werden, dass für hierarchielose Produktionsnetze die Installation einer (gegebenenfalls auch modifizierten oder angepassten) zentral planenden Arbeitsplanungs-KPZ, welche bestehende Strukturen zur Arbeitsplanung in KMU-Netzwerken nutzt, als Lösungsansatz aufgrund der damit verbundenen hohen Komplexität für das betrachtete Vernetzungsmodell nicht zielführend ist. Darüber hinaus sprechen weitere Fakten gegen eine derart zentral planende Arbeitsplanungskompetenz in hierarchielosen Produktionsnetzen. Dies sind beispielsweise

<sup>97</sup> Bei der Abschätzung zu erwartender Varianten bei einer ganzheitlichen Optimierung von Aufspannungsinhalten.

<sup>98</sup> Bei der Abschätzung von Kombinationsmöglichkeiten für eine Technologiekette.

<sup>99</sup> Bei Komplexitätsbetrachtungen möglicher Arbeitsfolgen.

- der beträchtliche Aufwand zur zentralen Verwaltung von dezentral, d. h. bei den Fertigungs-KPZ, abgelegten Planungsunterlagen (Arbeitsplänen). Dies würde eine Archivierung und permanente Aktualisierung dieser auftrags- und kompetenzzellenspezifischen Unterlagen durch die zentral agierende Arbeitsplanungs-KPZ innerhalb des Kompetenznetzes bedeuten. In Folge dessen kann mit einer Erhöhung des „administrativen Overheads“ zur Fertigungsplanung gerechnet werden, welcher konträr zur Dynamik des hierarchielosen Vernetzungsmodells steht.
- ein kompetenzzellenübergreifendes Planungssystem, welches alle vorhandenen Arbeitsmittel einschließlich ihrer Auslastung über die gesamte Wertschöpfungskette (Fertigungstiefe) möglichst in Echtzeit abbildet. Dies stellt die Voraussetzung dar, um ein kompetenzzellenübergreifendes Scheduling<sup>100</sup> durchführen zu können. Erst dann wird es möglich, die in Abschnitt 5.3 erkannten und nachteiligen Auslastungsschwankungen bei durch KPZ beschriebenen Kooperationsmitgliedern zu verringern bzw. zu eliminieren. Aktuelle ERP-Systeme (z. B. SAP R/3, Baan ERP 5.0c, Axapta 3.0) stellen diese Funktionalität jedoch nur eingeschränkt und derzeit auch lediglich zwischen zwei Kooperationspartnern zur Verfügung.
- Funktionalitätsdefizite in bestehenden ERP-Systemen bezüglich einer aufwandsarmen Anbindung an die IT-Infrastruktur hierarchieloser Produktionsnetze (z. B. Art und Weise der Gestaltung von Zugriffsrechten auf die Ressourcen in einem verteilten Produktionssystem bestehend aus KPZ, oder Ressourcenbeschreibungen, welche für den IMK des hierarchielosen Produktionsnetzes nutzbar sind).
- für KMU zu mächtige IT-Lösungen hinsichtlich Beschaffungs-, Einführungs- und Wartungsaufwand (speziell bezüglich der Sicherstellung der Datenaktualität).

Im Ergebnis dieser Überlegungen ist eine zentral planende Arbeitsplanungs-KPZ für die betrachteten Anwendungsfälle nicht geeignet. Es bleibt jedoch festzustellen, dass die im hierarchielosen Vernetzungsmodell einzusetzende Arbeitsplanungskompetenz so zu gestalten ist, dass sowohl die notwendige Dynamik als auch die erforderliche Durchgängigkeit des Wertschöpfungsprozesses hinsichtlich Informationen und Stoffströmen effizient sichergestellt werden kann. Des weiteren dürfen durch die Arbeitsplanungskompetenz vorhandene Synergien der Kooperationspartner nicht unterdrückt, sondern müssen vielmehr gefördert werden. Letztendlich besteht an die Arbeitsplanung im hierarchielosen Produktionsnetz der Anspruch, zielgerichtet, transparent (d. h. nach objektiven Kriterien) und darüber hinaus noch nachvollziehbar zu sein.

Die Arbeitsplanungskompetenz im hierarchielosen Produktionsnetz sollte außerdem in ein effektives Controlling- und Steuerungskonzept, welches als Funktionalität des EVCM bereitgestellt wird, eingebunden werden können. Somit besteht der Anspruch an die in hierarchielosen Produktionsnetzen einzusetzende Arbeitsplanungsmethodik, ein dezentral anwendbares Vorgehensmodell bereitzustellen. Darüber hinaus ist für den betrachteten Problembereich mit Hilfe der vorhandenen IT-Werkzeuge ein durchgängiger Informationsfluss abzusichern.

---

<sup>100</sup> Planung der Reihenfolge von Arbeitsmitteln innerhalb definierter Zielvorgaben.

## 7.2 Arbeitsplanungsmethoden im Fokus hierarchieloser Produktionsnetze

Die in den untersuchten KMU-Netzwerken übliche hierarchisch sequentielle Vorgehensweise für die Erstellung von Arbeitsplänen beim Finalproduzenten kann ein denkbarer Grund für die Existenz der in Abschnitt 5.3 beschriebenen Defizite sein. Die vielfältigen Spezifika hierarchieloser Produktionsnetze erfordern jedoch eigene Vorgehensweisen zur Arbeitsplanung. Deshalb besteht die Aufgabe, existierende Arbeitsplanungsmethoden auf ihre Eignung unter Beachtung der unterschiedlichen Phasen<sup>101</sup> innerhalb des Vorgehensmodells zu untersuchen. Eine Gliederung anzutreffender Arbeitsplanungsmethoden zeigt Abbildung 26 (in Anlehnung an /KOER-97/).

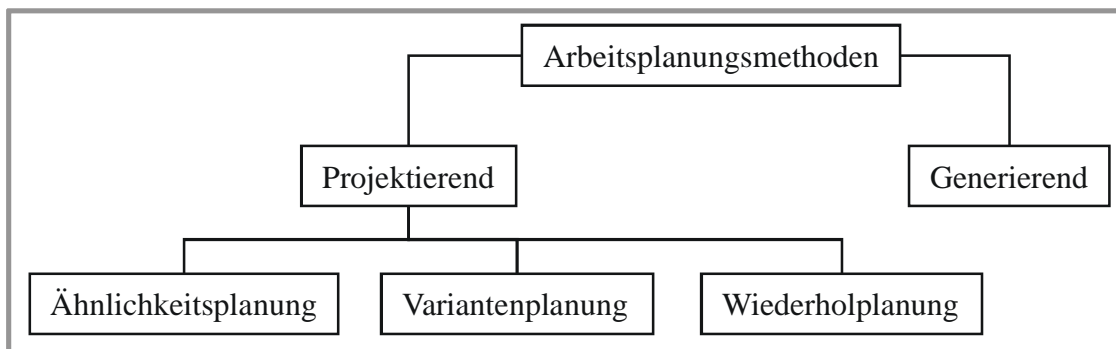


Abbildung 26: Anzutreffende Arbeitsplanungsmethoden (in Anlehnung an /KOER-97/).

Daraus wird ersichtlich, dass prinzipiell zwei Vorgehensweisen existieren. Diese basieren auf unterschiedlichen Ansätzen.

Bei der generierenden Methodik erfolgt eine vollständig neue Gestaltung des Fertigungsprozesses. Im Gegensatz dazu werden bei der projektierenden Methodik mehr oder weniger umfangreich existierende Planungsunterlagen genutzt und für die jeweils aktuellen Randbedingungen modifiziert. Diese Vorgehensweise zur Arbeitsplanung kann in weitere Ausprägungen unterteilt werden:

- Bei der Wiederholplanung finden existierende Arbeitsplanungsunterlagen in vollem Umfang Anwendung. Dabei gilt als Randbedingung, dass sich keine Änderungen bezüglich Konstruktions- und Auftragsdaten sowie bei den einzusetzenden Arbeitsmitteln ergeben haben.
- Für die Ähnlichkeitsplanung ist nach Koerth „eine Systematisierung/ Klassifizierung des zu fertigenden Teilesortimentes“ notwendig, damit „ein dem zu planenden Werkstück ähnliches Teil ermittelt wird. Die dafür bereits erstellten Fertigungsunterlagen werden kopiert und gemäß den aktuellen Anforderungen modifiziert.“
- Die Variantenplanung lehnt sich methodisch an die Variantenkonstruktion /vgl. PAHL-86/ an. Dabei erfolgt nach Koerth bei dieser Arbeitsplanungsmethodik „ein noch stärkeres Systematisieren des Teilespektrums durch das Bilden von Teilefamilien. Zusätzlich werden Teilefamilie zugehörige Fertigungsprozesse und Fertigungsunterlagen systematisiert und als sogenannte „Standard-Prozesse bzw.

<sup>101</sup> In Anlehnung an Abbildung 3 werden hier speziell die Phasen Produktionsnetzbildung und Produktionsnetzbetrieb angesprochen.

-Standardprozessabschnitte“ (vgl. /JACO-02/) mit verschiedenen Detaillierungsniveaus gespeichert. Diese stellen den Ausrüstungsbedingungen entsprechende technisch-organisatorische und wirtschaftliche Optimallösungen dar. Für das konkret zu planende Teil wird der Typenprozess (bzw. für ein einziges Fertigungselement der zugehörige Typenprozessabschnitt) gesucht und die Fertigungsunterlagen wiederum den aktuellen Anforderungen angepasst /KOER-97/.“

Im Rahmen dieser Arbeit wurden bereits wesentliche Merkmale des hierarchielosen Vernetzungsmodells einschließlich ihres Einflusses auf die Arbeitsplanungskompetenz diskutiert (vgl. 5.3). Bezüglich einer geeigneten Vorgehensweise für die Arbeitsplanungskompetenz in hierarchielosen Produktionsnetzen sowie die darauf basierende Abbildung im Partialmodell sind die Kriterien dynamisch, hierarchielos, direkt vernetzt und kompetenzzellenbasiert in besonderer Weise zu beachten. Im Einzelnen wird

- I. durch das Kriterium **dynamisch** die kundenwunschspezifische Konfiguration von Produktionsnetzen aus dem Kompetenznetz charakterisiert. Daraus folgt, dass sich für jeden eingelasteten Kundenauftrag ein temporär agierendes Produktionsnetz, bestehend aus Fertigungs-KPZ, konstituiert. Das bedeutet, dass auf Basis einer geeigneten Planungsmethodik sowie unter Beachtung der jeweils aktuellen Konstruktions- und Auftragsdaten ein technisch-technologischer Eignungsabgleich zur Eingrenzung des Suchraumes des IMK im Kompetenznetz für potentiell geeignete Fertigungs-KPZ durchgeführt werden muss.
- II. mit dem Kriterium **hierarchielos** die gleichberechtigte Stellung aller KPZ im Kompetenznetz charakterisiert. Somit kann in hierarchielosen Produktionsnetzen von einem symmetrischen<sup>102</sup> Informationsniveau ausgegangen werden. Daraus leitet sich ab, dass für die temporäre, transparente und nachvollziehbare Genese von Produktionsnetzen Zielvorgaben dienen, welche allen KPZ bekannt und zugänglich sind. In der Folge besteht an die Arbeitsplanungsmethodik der Anspruch, auf Basis dieser Zielvorgaben entsprechende Wertschöpfungsfolgen aus technisch-technologischer Sicht zu erarbeiten und zu bewerten. Diese Planungsabläufe sind als Bestandteil des Methodenmodells in das Partialmodell der Arbeitsplanung zu integrieren.
- III. durch das Kriterium **direkt vernetzt** die Fähigkeit der KPZ veranschaulicht, auf der Grundlage eines hohen Grads an Selbstorganisation temporäre, d. h. auftragsspezifische Verknüpfungen mit anderen KPZ einzugehen bzw. den dafür notwendigen Prozess anzuregen. Insbesondere für die im hierarchielosen Produktionsnetz anzuwendende Arbeitsplanungsmethodik heißt das, dass speziell die Fertigungs-KPZ bei der aussagekräftigen und rechentechnisch weiterverarbeitbaren Beschreibung ihrer vorhandenen technisch-technologischen Kompetenzen Unterstützung finden müssen. Im Ergebnis wird somit durch die im Methodenmodell der Arbeitsplanungskompetenz informationstechnisch beschriebenen technisch-technologischen Wertschöpfungsfol-

---

<sup>102</sup> Im Vergleich zu den einseitigen Informationsständen der Kooperationspartner in KMU-Netzwerken (Finalist vollständig, Netzwerkpartner je nach Notwendigkeit) sind jeder KPZ alle Auftragsinformationen zugänglich.

gen die Gestaltung der Repräsentationsstruktur und –inhalte für Fertigungs-KPZ beeinflusst und teilweise auch vorgegeben.

- IV. mit dem Kriterium **kompetenzzellenbasiert** die Ausprägung der vorhandenen Leistungseinheiten zur Wertschöpfung charakterisiert. In diesem Zusammenhang sind die in Abschnitt 4.4 definierten Merkmale von KPZ allgemein und Fertigungs-KPZ im besonderen bezüglich ihres Einflusses auf die einzusetzende Arbeitsplanungsmethodik zu beachten. Dieses Kriterium betrifft insbesondere eine auf die technisch-technologischen Möglichkeiten der hochspezialisierten Fertigungs-KPZ zugeschnittene Vorgehensweise, wodurch sich die Planungsgranularität definiert.

Nachfolgend werden die existierenden Arbeitsplanungsmethoden bezüglich ihrer Eignung entsprechend diesen vier definierten Kriterien diskutiert. Das Ziel dieser Untersuchungen besteht in der Aussage, in welcher Art das methodische Gerüst des Partialmodells der Arbeitsplanung anforderungsgerecht zu gestalten ist.

Bei Anwendung der generierenden Arbeitsplanungsmethode im hierarchielosen Produktionsnetz ist es möglich, dass Kriterium **dynamisch (I)** einzuhalten, weil von sehr heterogenen Auftrags- und in der Folge auch Produktdaten ausgegangen werden kann. Gegen eine projektierende Arbeitsplanungsmethodik sprechen die existierenden Randbedingungen der Betrachtungsdomäne. Unter Beachtung dieser würde sich für die Arbeitsplanungs-KPZ ein mehrdimensionaler Suchraum nach vorhandenen Planungsunterlagen innerhalb des Kompetenznetzes aufspannen. Suchkriterien stellen diesbezüglich die auftragspezifischen Randbedingungen (z. B. Lieferzeit, Lieferpreis, Qualitätsspezifika), die jeweils aktuellen Konstruktionsunterlagen sowie sich ständig ändernde technisch-technologische Potentiale im Kompetenznetz dar. Vorhandene Abhängigkeiten zwischen diesen Suchkriterien (z. B. Zusammenhang zwischen Lieferpreis und konstruktiver Lösung oder Lieferzeit und Technologievariante) erhöhen zusätzlich die Planungskomplexität bei einer projektierenden Vorgehensweise. Darüber hinaus besteht bei dieser Planungsmethodik noch die spezifische Forderung nach einer einheitlichen Systematisierung zur Einzelteilklassifikation einschließlich deren rechentechnischer Repräsentation. Unter Beachtung dieser Anforderungen seitens der projektierenden Vorgehensweise ist die generierende Arbeitsplanungsmethodik für die Sicherung des Kriteriums dynamisch (d. h. einer dynamischen Produktionsnetzgenese aus dem Kompetenznetz) als vorteilhafte einzuschätzen.

Das Kriterium **hierarchielos (II)** führt ebenfalls bezüglich der Favorisierung einer Arbeitsplanungsmethodik zur generierenden Vorgehensweise. Der Grund für diese Aussage liegt in der auf eine Planungshistorie aufbauenden projektierenden Methodik. Bei dieser Vorgehensweise werden lediglich jene vorhandenen Planungsabschnitte modifiziert, welche sich zum vorangegangenen Fertigungsauftrag unterscheiden. Die Einschätzung des Änderungsbedarfs würde dabei auf der subjektiven Wahrnehmung der jeweiligen Arbeitsplanungs-KPZ basieren. Aufgrund der anzutreffenden Gegebenheiten obliegt es somit dem individuellen Verständnis der konkreten KPZ Arbeitsplanung, die vorhandenen Unterlagen für identische, aber möglicherweise für den aktuellen Auftrag nicht optimale, technologische Parameter zu modifizieren. Dabei ist zu befürchten, dass die notwendige Planungstransparenz leidet und ähnlich wie bei den untersuchten KMU-Netzwerken A-symmetrien in den Informationsniveaus entstehen können. In der Folge wird das Krite-

rium hierarchielos aufgeweicht, da mit der Übernahme vorhandener technologischer Abläufe die spätere Integration bestimmter Fertigungs-KPZ vorhersehbar erscheint. Somit besteht bei der projektierenden Vorgehensweise die Gefahr, durch einen hohen Anteil an Subjektivität in den Entscheidungsprozessen der Arbeitsplanungs-KPZ die notwendige Transparenz und Nachvollziehbarkeit als Voraussetzungen für eine dauerhafte hierarchie-lose Produktionsnetzbildung nicht in dem gebührenden Maß abzusichern.

Das Kriterium **direkt vernetzt (III)** besitzt bezüglich der Beurteilung von Arbeitsplanungsmethoden eine untergeordnete Bedeutung. Wichtig aus Sicht der Arbeitsplanung ist für eine direkte Vernetzung von Fertigungs-KPZ deren Gestaltung von Beschreibungsmerkmalen und Schnittstellen in Äquivalenz zu den Suchanfragen auf Basis technisch-technologischer Vorgaben. In diesem Zusammenhang wird für die aufwandsarme Identifikation der entsprechenden Merkmale die projektierende Vorgehensweise favorisiert. Es erweist sich unter den relevanten Randbedingungen als vorteilhaft, auf bestehende Unterlagen der Fertigungs-KPZ zurückzugreifen zu können. Der zu erwartende und fertigungs-kompetenzzellenspezifische Informationsumfang sollte auf Grund des hohen Spezialisierungsgrades ein überschaubares Spektrum von Alternativen bezüglich des technisch-technologischen Leistungsvermögens liefern. Auf dieser Basis können vorhandene Kompetenzen effektiv ermittelt und dargestellt werden. Dabei unterstützt die Fertigungshistorie eine aufwandsarme Kompetenz- und Schnittstellenbeschreibung in Form direkt abgebildeter oder durch Ergänzung zusätzlich identifizierter möglicher technisch-technologischer Potentiale. Darauf aufbauend können anschließend unter Beachtung einer direkten Vernetzung kompetenzzellenspezifische Schnittstellen aufwandsarm identifiziert und verallgemeinert werden. Im Gegensatz dazu wird bei der generierenden Arbeitsplanungsmethodik nicht von vorhandenen Beschreibungen ausgegangen. Vielmehr sind die technisch-technologischen Potentiale und weiterführend auch die Schnittstellenausprägung neu zu erarbeiten und abzubilden. Der dafür notwendige Aufwand kann als größer im Vergleich zur Nutzung bestehender Beschreibungen angesehen werden. Dies wird um so deutlicher, wenn entsprechende Abbildungen von technisch-technologischen Potentialen der Fertigungs-KPZ in ERP-Systemen existieren und diese zur Repräsentation in hierarchielosen Produktionsnetzen mit geringem Anpassungsaufwand genutzt werden können.

Das Kriterium **kompetenzzellenbasiert (IV)** charakterisiert die Leistungseinheiten der Wertschöpfung. Für die Arbeitsplanung leiten sich daraus zwei Anforderungen ab. Erstens sind diese hochspezialisierten Wertschöpfungseinheiten mit einer geeigneten Planungsgranularität in Bezug auf den Anwendungsfall Produktionsnetzbildung zu konfigurieren. Aus Sicht der dafür anzuwendenden Planungsmethodik gilt die gleiche Aussage wie für das Kriterium dynamisch. Zweitens besteht die Aufgabe des methodischen Gerüsts im Methodenmodell der Arbeitsplanung, die Fertigungs-KPZ bei ihren internen Planungsabläufen zu unterstützen. Dabei ist zu erwarten, dass auf Grund des hohen Spezialisierungsgrades der Fertigungs-KPZ bestehende Planungsunterlagen mit überschaubarem Aufwand zu verwalten sind und deshalb im Rahmen einer projektierenden Planungsmethodik genutzt werden können. Es gestaltet sich einfacher, bestehende Informationen zu verwalten und auftrags-spezifisch zu modifizieren, als für jede Bearbeitungsaufgabe neue Planungsunterlagen zu

erstellen. Somit wird für diese Aufgabe die projektierende Methodik als vorteilhafter betrachtet.

Zur Darstellung der Ergebnisse bezüglich existierender Arbeitsplanungsmethoden zur Erfüllung spezifischer Merkmale des hierarchielosen Produktionsnetzes wurde eine Übersicht erarbeitet (Tabelle 6). Darin erfolgt eine Gegenüberstellung der wesentlicher Merkmale (I bis IV) mit den existierenden Methoden zur Arbeitsplanung sowie deren Einordnung in die betrachteten Ebenen und Phasen des hierarchielosen Vernetzungsmodells (Abbildung 3).

Kriterium	Arbeitsplanungsmethode		Bezug zu Ebene und Phase im Vorgehensmodell (vgl. Abbildung 3)
	generierend	projektierend	
I. Dynamisch	++	o	C <sub>1</sub>
II. Hierarchielos	++	-	B <sub>2</sub>
III. Direkt vernetzt	+/-	+/-	C <sub>2</sub>
IV. Kompetenzzellenbasiert	-	++	B <sub>2</sub> / C <sub>2</sub>
Legende: ++...sehr gut; +...gut; o...möglich; -...kaum geeignet; +/-...teilweise geeignet			

*Tabelle 6: Eignung der Arbeitsplanungsmethoden bezüglich wesentlicher Merkmale hierarchieloser Produktionsnetze.*

Im Ergebnis dieser Gegenüberstellung bleibt festzustellen, dass die Beschränkung auf eine der beiden existierenden Arbeitsplanungsmethoden für die Planungsaufgaben in hierarchielosen Produktionsnetzen unter Beachtung der definierten Merkmale nicht zielführend ist. Es konnte jedoch herausgearbeitet werden, dass auf Kompetenznetzebene die generierende und auf Produktionsnetzebene die projektierende Arbeitsplanungsmethodik die Umsetzung der vorhanden Randbedingungen besser unterstützt. Daraus folgt, dass die existierenden Arbeitsplanungsmethoden als in sich abgegrenzte Vorgehensweisen die anstehenden Anforderungen für das betrachtete Vernetzungsmodell a priori nicht gewährleisten.

Somit besteht die Aufgabe, eine auf die neuartigen Problemfelder hierarchieloser Produktionsnetze zugeschnittene Arbeitsplanungsmethodik zu entwickeln, welche außerdem noch zur Überwindung der unter Abschnitt 5.3 beschriebenen Defizite beiträgt bzw. diese reduziert. Anschließend ist die erarbeitete Methodik in das Methodenmodell der Arbeitsplanung zu integrieren.

Im Ergebnis dieser Betrachtungen kann festgestellt werden, dass aus den bisher erfolgten Untersuchungen zur Bildung des Kompetenzrahmens und des Partialmodells der Arbeitsplanung speziell drei Merkmale in besonderer Weise bei der Entwicklung einer auf hierarchielose Produktionsnetze abgestimmten Arbeitsplanungsmethodik zu beachten sind.



1. Die Planungstiefe und -granularität ist auf die Gegebenheiten des hierarchielosen Produktionsnetzes abzustimmen<sup>103</sup>. Dadurch wird sichergestellt, dass die Auftrags- und Konstruktionsdaten effektiv und transparent für die Suche nach Kandidaten-KPZ<sup>104</sup> auf Basis technisch-technologischer Anforderungen zur anschließenden Produktionsnetzbildung<sup>105</sup> genutzt werden können.
2. Es ist ein für die Arbeitsplanungskompetenz nutzbares Zielsystem aufzubauen, welches zur Bewertung möglicher Technologiealternativen eingesetzt werden kann. In diesem Zusammenhang gilt es darauf zu achten, dass Konformität zu dem eingesetzten Zielsystem für den Produktionsnetzbetrieb<sup>106</sup> besteht.
3. Bei der zu entwickelnden Arbeitsplanungsmethodik ist auf Transparenz und Nachvollziehbarkeit der Planungsergebnisse zu achten. Darüber hinaus wird es als notwendig erachtet, die im hierarchielosen Produktionsnetz vorhandenen IT-Werkzeuge für die relevanten Abläufe in geeigneter Weise einzusetzen.

---

<sup>103</sup> In diesem Zusammenhang ist darauf zu achten, dass sich eine zentrale Planung der erforderlichen Arbeitsabläufe nicht eignet.

<sup>104</sup> Als Kandidaten-KPZ werden an dieser Stelle Fertigungs-KPZ verstanden, welche auf Grund ihres Kompetenzprofils die technologischen Anforderungen an den jeweiligen Fertigungsschritt erfüllen.

<sup>105</sup> Dies bedingt eine durchgängige Gestaltung des Informationsflusses, wobei speziell der IMK und das EVCM zu integrieren sind.

<sup>106</sup> In diesem Zusammenhang stehen bspw. Funktionalitäten des EVCM zur Optimierung von Vernetzungsvarianten für Fertigungs-KPZ zur Verfügung.

### 7.3 Hybride Arbeitsplanungsmethodik

Die Analyse der in Tabelle 6 dargestellten Gegenüberstellung zeigt, dass die generierende Arbeitsplanungsmethodik speziell bei den Phasen zur KPZ-Organisation ( $B_2$ ) als auch bei der Konfiguration von Fertigungs-KPZ ( $C_1$ ) als Basis zur Produktionsnetzbildung besser geeignet ist als die projektierende Vorgehensweise. Im Gegensatz dazu kann festgestellt werden, dass speziell beim Produktionsnetzbetrieb die projektierende Methodik zur Planung der internen technologischen Abläufe bei den Fertigungs-KPZ Vorteile besitzt. Das Ergebnis der konsequenten Weiterführung dieser Analyse sowie der durchgeführten Untersuchungen stellt die hybride Arbeitsplanungsmethodik dar (Abbildung 27). Diese ermöglicht es, die Vorteile der temporären, dynamischen und hierarchielosen Produktionsnetzbildung auf Basis einer Neuplanung mit den in KMU (und somit auch in den Fertigungs-KPZ) existierenden technisch-technologischen Beschreibungen zur aufwandsarmen KPZ-Bildung auf der Grundlage von projektierenden Vorgehensweisen für eine direkte und kompetenzzellenbasierte Vernetzung zu kombinieren. Auf Basis dieser hybriden Planungsmethodik können die anstehenden Aufgaben der Arbeitsplanung in hierarchielosen Produktionsnetzen am besten erfüllt werden (Abbildung 28).

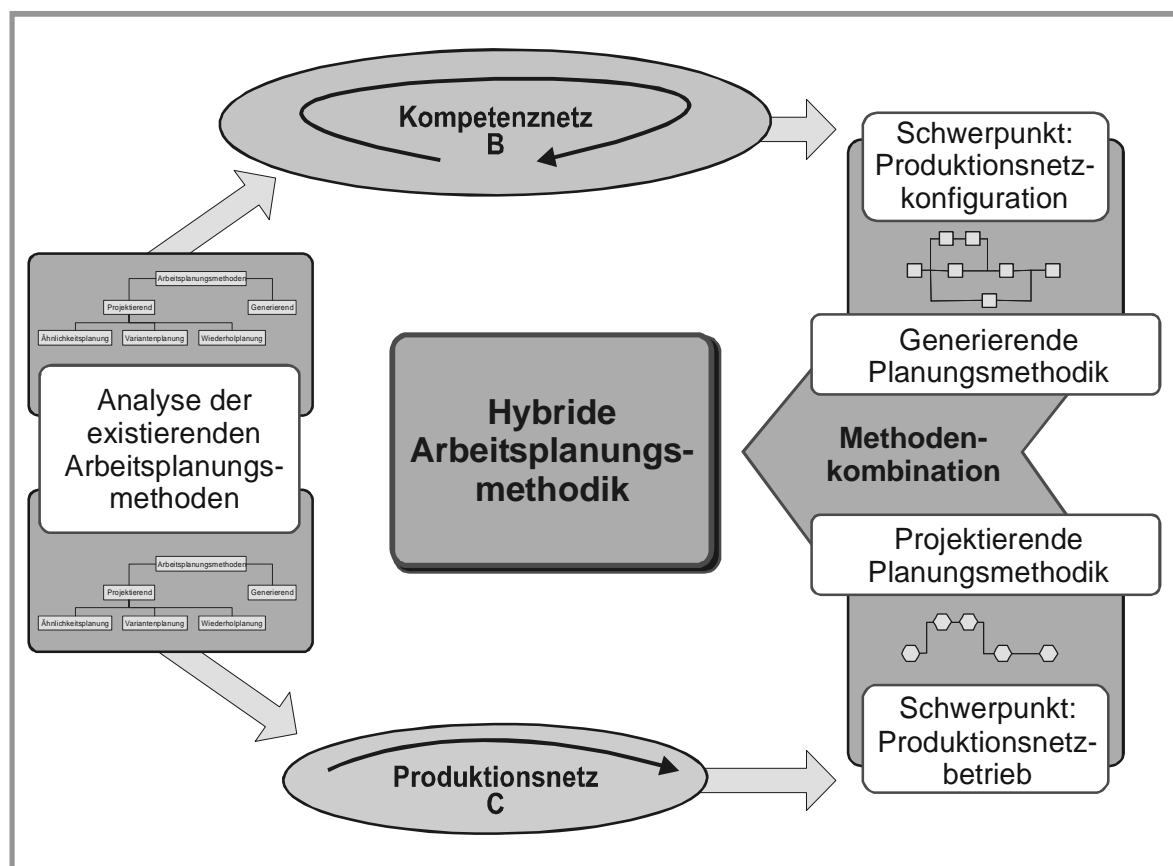


Abbildung 27: Einordnung der hybriden Arbeitsplanung in das hierarchielose Vernetzungsmodell.

Für die Produktionsnetzbildung erfolgt auf Basis der Betrachtungsebene Kompetenznetz eine generierende Vorgehensweise zur Transformation von Auftrags- und Konstruktionsdaten in technisch-technologische Beschreibungen als Grundlage für die Suche geeigneter Fertigungs-KPZ zur Produktionsnetzgenese (Kandidatensuche auf Kompetenznetzebene).

Dabei wird die Planungsgranularität auf Grund einer auftragsneutralen Betrachtung bewusst auf einem groben Detaillierungsniveau belassen. Dies ermöglicht in Bezug auf die Umsetzung durch Arbeitsplanungs-KPZ eine offene Gestaltung der Planungsprozesse, da je nach auftragsspezifischen Gegebenheiten eine zentrale oder dezentrale Planung der entsprechenden Wertschöpfungsumfänge möglich ist.

Nach Konfiguration des Produktionsnetzes werden die zu dessen Betrieb notwendigen Planungsabläufe innerhalb der Fertigungs-KPZ im Rahmen der projektierenden Methodik durchgeführt (Anpassung vorhandener Arbeitspläne der selektierten Fertigungs-KPZ an die spezielle Fertigungsaufgabe). Dabei dienen die vorhandenen Informationen der jeweiligen Fertigungs-KPZ sowie die (grobe) Planungsergebnisse zur Produktionsnetzgenese als Eingangsinformationen für eine der Fertigungsaufgabe angepasste Planungstiefe. Die Gestaltung dieses Planungsabschnittes im hierarchielosen Produktionsnetz ist mit Hilfe dezentral agierender KPZ umzusetzen. Es kann in diesem Zusammenhang jedoch nicht a priori festgelegt werden, durch welche Art von KPZ<sup>107</sup> die relevanten Prozesse zur Fertigungsplanung erfolgen.

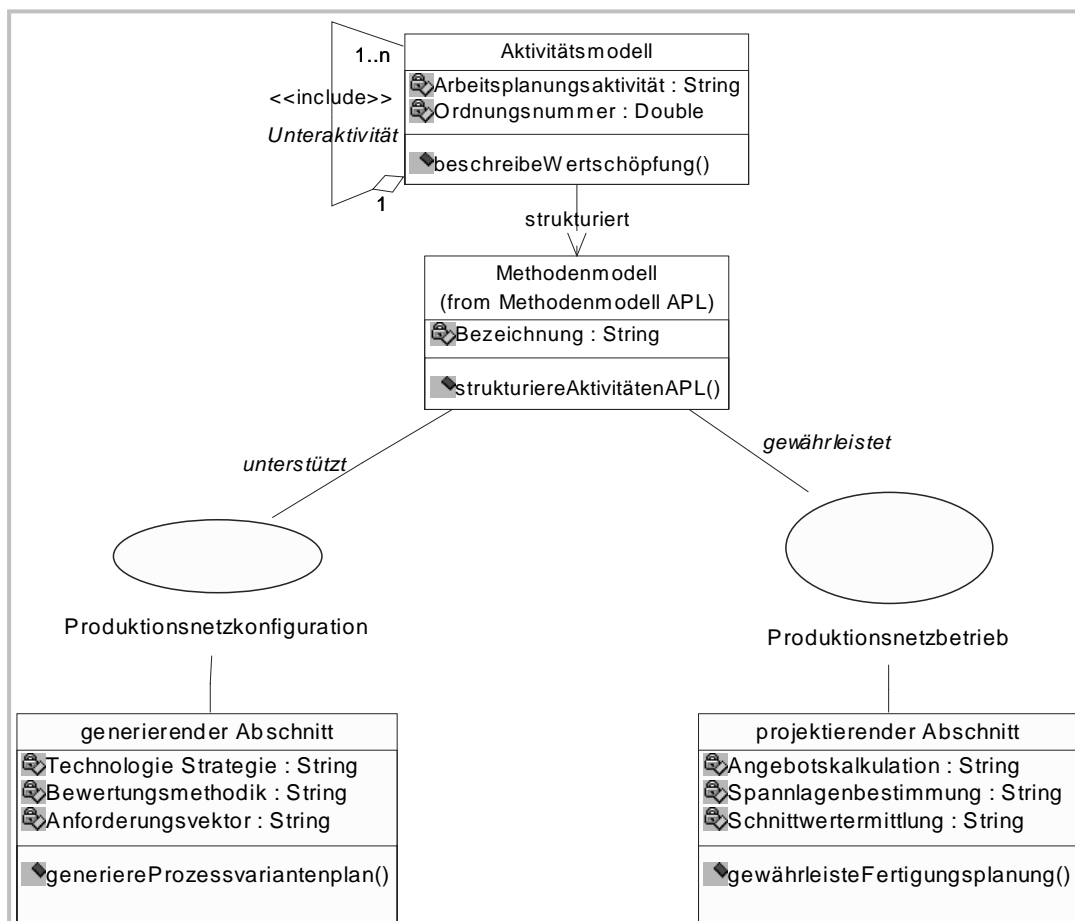


Abbildung 28: Einordnung der hybriden Arbeitsplanungsmethodiken in die Partialmodellstruktur (Darstellung als UML-Klassendiagramm).

<sup>107</sup> Mögliche Ausprägungen von KPZ können funktions- oder prozessorientiert sein sowie ihre überwiegende Kompetenz innerhalb des KPR Fertigung oder Arbeitsplanung besitzen.

Somit stellt die hybride Arbeitsplanungsmethodik ein speziell für hierarchielose Produktionsnetze entwickeltes methodisches Gerüst dar und ist in das Methodenmodell des Partialmodells der Arbeitsplanung zu integrieren. Für die Einbindung der hybriden Arbeitsplanungsmethodik in die Strukturen des hierarchielosen Vernetzungsmodells erweist es sich jedoch als notwendig, die spezifischen Informationsinhalte in einem entsprechenden Begriffsgefüge (vgl. Abschnitt 11) darzustellen. Dazu erfolgte eine Systematisierung entsprechend den durchlaufenen Stadien zur Produktionsnetzbildung (Abbildung 29). Dadurch wird sichergestellt, dass innerhalb des hierarchielosen Vernetzungsmodells einheitliche Informationsträger existieren und auf Basis dieser eine rechentechnisch unterstützte Organisation der Wertschöpfung möglich ist. Mit Hilfe der hybriden Arbeitsplanung können die benötigten Informationen zur Verarbeitung in den IT-Werkzeugen des hierarchielosen Vernetzungsmodells in Form eines Prozessplanes bereitgestellt werden. Im Ergebnis kann auf dieser Basis durch den IMK im Kompetenznetz ein Abgleich von Anforderungs- mit Beschreibungsvektoren für die Auswahl geeigneter Fertigungs-KPZ erfolgen. Im Ergebnis entsteht der Fertigungsvariantenplan, welcher dem EVCM als Eingangsinformation dient, damit entsprechend geeignete Fertigungs-KPZ benachrichtigt und zur Angebotsabgabe aufgefordert werden. An dieser Stelle findet der Übergang vom generierenden zum projektierenden Abschnitt der hybriden Arbeitsplanungsmethodik statt. Somit wird die Kalkulation und Ausarbeitung von Angeboten in den Fertigungs-KPZ mit Hilfe einer projektierenden Vorgehensweise unterstützt. Nach erfolgter Übermittlung der Angebote und Optimierung der betriebswirtschaftlichen Kenngrößen wählt das EVCM die geeignetsten Fertigungs-KPZ aus und vernetzt diese zum Produktionsnetz. Die im Anschluss in diesen Fertigungs-KPZ zu leistenden Planungsaufgaben werden ebenfalls mit Hilfe des projektierenden Abschnitts methodisch unterstützt.

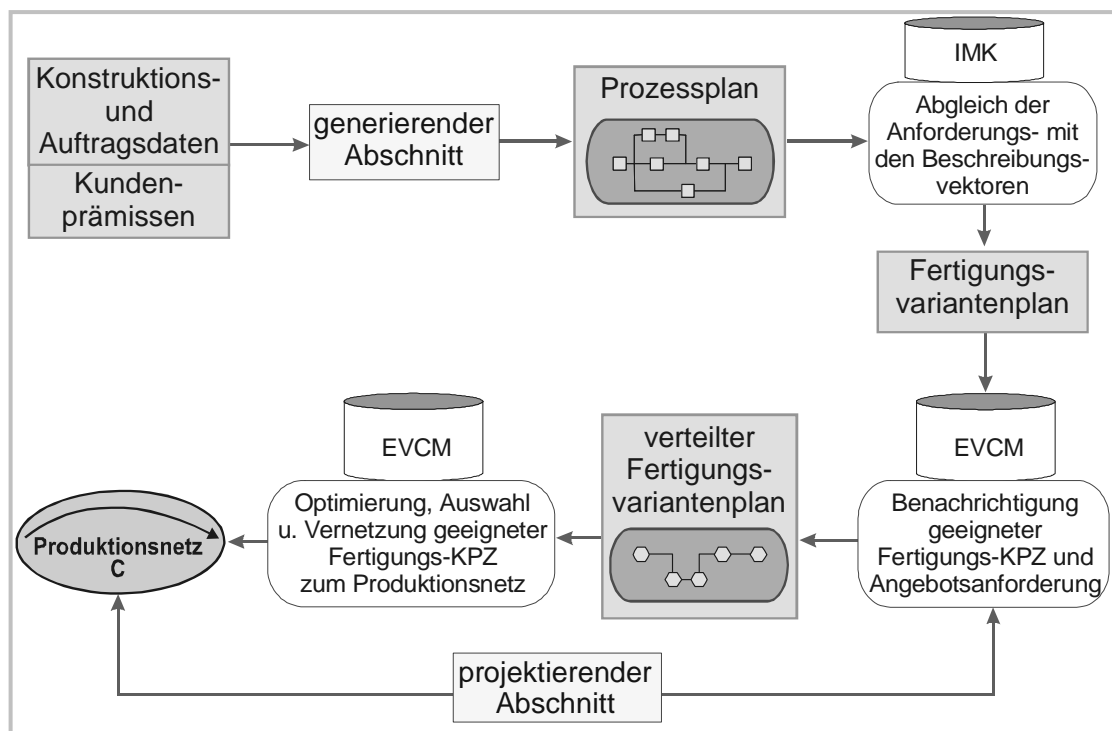


Abbildung 29: Informationsfluss der hybriden Arbeitsplanungsmethodik.

Im Ergebnis entsteht das methodische Gerüst zur Integration in das Partialmodell der Arbeitsplanung. Dadurch wird auf Basis der im Methodenmodell abgebildeten hybriden Arbeitsplanungsmethodik eine Vorgabe entsprechend erforderlicher Planungsaktivitäten, den einzubindenden IT-Werkzeugen sowie der Gestaltung des Informationsflusses im Kontext der Anwendungsfälle Produktionsnetzkonfiguration und Produktionsnetzbetrieb erreicht. Dies bedingt weiterführend die Modifikation des vorhandenen Aktivitäts- und nicht-personelle Ressourcenmodells im Rahmen des Partialmodells der Arbeitsplanung.

### 7.3.1 Generierender Abschnitt der hybriden Arbeitsplanungsmethodik

Für das Fertigungsspektrum hierarchieloser Produktionsnetze, mit dem Fokus Einzelteil- und Kleinserienfertigung, erweist sich entsprechend den im vorangegangenen Abschnitt dargestellten Überlegungen die generierende Methode für die Planung möglicher technologischer Prozessvarianten zur anschließenden Produktionsnetzbildung als vorteilhaft. Somit ist dieser Planungsabschnitt auf die spezifischen Randbedingungen hierarchieloser Produktionsnetze zugeschnitten. Er beinhaltet drei Schwerpunkte, welche zur Entwicklung eines methodischen Gerüsts innerhalb des Methodenmodells der Arbeitsplanung beitragen.

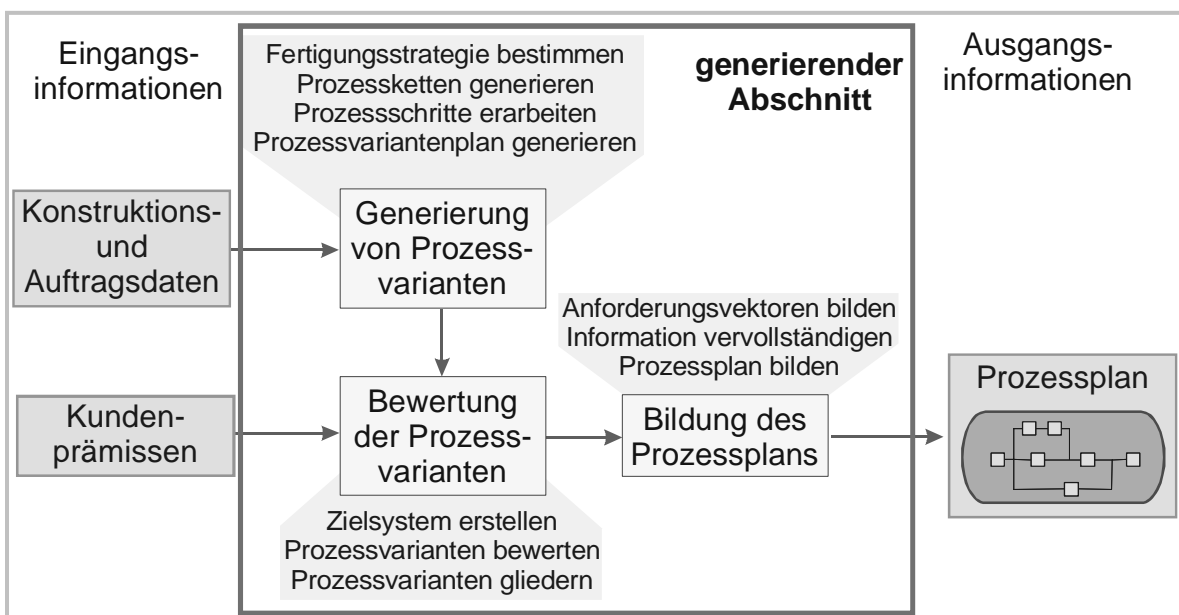


Abbildung 30: Informationsfluss des generierenden Abschnitts der hybriden Arbeitsplanungsmethodik.

1. Innerhalb der Generierung von Prozessvarianten werden aus den konstruktiven und auftragsspezifischen Vorgaben technologisch mögliche Fertigungsalternativen erzeugt. Dabei erfolgt eine ressourcenneutrale Betrachtung. Es besteht die Notwendigkeit, für die Prozessvariantengenerierung eine Vorgehensweise zu systematisieren, welche auf Basis einer groben Planungsgranularität die vorhandene Planungskomplexität reduziert.

2. Im Rahmen der Bewertung der Prozessvarianten erfolgt die Überführung der Kundenprämissen in ein für die Arbeitsplanungskompetenz nutzbares Zielsystem<sup>108</sup>. Dieses dient im Anschluss zur Bewertung und Gliederung der generierten Prozessvarianten.
3. Zum Abschluss des generierenden Planungsabschnittes erfolgt die informationstechnische Aufbereitung mit Hilfe von Anforderungsvektoren, welche die Bestandteile des Prozessplans bilden. Diese stellen einerseits die Schnittstelle zum IMK her und dienen andererseits den Fertigungs-KPZ als Eingangsinformation zur Durchführung der Aufgaben im Rahmen des projektierenden Abschnitts.

Im Anschluss werden diese drei Schwerpunkte des generierenden Abschnitts näher beschreiben.

### 7.3.1.1 Generierung von Prozessvarianten

Der nachfolgend beschriebene Ablauf ist als ein Bestandteil des Aktivitätsmodells im Rahmen des Partialmodells der Arbeitsplanung zu sehen. Die beschriebenen Vorgehensweisen stellen den technologischen Teil des generierenden Abschnitts der hybriden Arbeitsplanungsmethodik dar, welcher das methodische Gerüst für die Aktivitätsstrukturierung im Methodenmodell vorgibt. Unter diesem Fokus wurde die in Kapitel 5.2 dekomponierte Arbeitsplanungsaktivität zur Arbeitsplanerstellung aufgegriffen. Dabei bestand das Ziel, die bereits beschriebene Planungskomplexität (vgl. Abschnitt 7.1) in geeigneter Weise zu reduzieren und dennoch zielführende Information für eine effiziente Produktionsnetzbildung bereitzustellen.

Den Ausgangspunkt für die Generierung von Prozessvarianten bilden Fertigungsstrategien. Diese beschreiben auf einem sehr groben Detaillierungsniveau technologisch sinnvolle Kombinationen von Rohteilen und Hauptformgebungsverfahren<sup>109</sup>. Dazu dienen die Fertigungsverfahrenbeschreibungen<sup>110</sup> im Rahmen der DIN 8580 /DIN8-74/ der ersten Hierarchiestufe<sup>111</sup> als Beschreibungsgrundlage, wodurch die Planungskomplexität<sup>112</sup> gegenüber der bereits dargestellten Abschätzung (vgl. Abbildung 25 Seite 60) zunächst auf Grund der erweiterten technisch-technologischen Möglichkeiten in hierarchielosen Produktionsnetzen<sup>113</sup> von 15 auf 20 Alternativen steigt. Die Basis für diese Annahme bildet die Erkenntnis, dass im Gegensatz zur Fertigungsplanung in Unternehmen durchschnittlich drei von sechs Fertigungsstrategien (in Abbildung 25 lediglich 2 von 6 Prozessvarianten) denkbare

---

<sup>108</sup> Für die Beurteilung technologischer Fertigungsalternativen benötigt die Arbeitsplanungskompetenz entsprechende Kriterien, nach welchen eine Bewertung durchgeführt werden kann.

<sup>109</sup> Vergleiche hierzu die Definition Fertigungsstrategie (Abschnitt 11).

<sup>110</sup> Diese sind in der DIN 8580 mit Ziffer.Ziffer.usw. dargestellt.

<sup>111</sup> Die Verfahrensbeschreibungen der ersten Hierarchiestufe der DIN 8580 werden nachfolgend zur Systematisierung als Fertigungsstrategien bezeichnet.

<sup>112</sup> Auf dieser Basis entstehen bei maximal 3 sinnvollen von 6 möglichen Fertigungsstrategien 20 Alternativen (vgl. Gleichung 2).

<sup>113</sup> Es wird davon ausgegangen, dass die in hierarchielosen Produktionsnetzen vorhandenen Kompetenzen den technologischen Gestaltungsraum gegenüber existierenden KMU-Netzwerken um eine Fertigungsstrategie erhöhen.

technisch-technologische Umsetzungswege darstellen. In der Folge sind somit 20 mögliche Fertigungsstrategien (FS)<sup>114</sup> zu betrachten (Gleichung 1).

$$FS_{\text{Anzahl}} = \frac{6!}{3!(6-3)!} = 20 \quad \text{Gleichung 1}$$

Die nächste Planungsstufe stellen Prozessketten dar. Diese repräsentieren den prinzipiellen technologischen Ablauf zur Erzeugung der geforderten Fertigteilform. In diesem Zusammenhang wurde auf ein allgemeingültiges Darstellungsschema (in Anlehnung an Dürr /AWIS-02/) zurückgegriffen. Die dafür genutzte Systematik ist schematisch in Abbildung 31 dargestellt.

Dabei kombinieren Prozessketten entsprechend den jeweils zu beachtenden technologischen Anforderungen Prozessschritte, welche zur weiteren Unterteilung dienen und sinnvoll abgegrenzte Fertigungsinhalte symbolisieren. In der Folge wird die Herstellungsreihenfolge von Bearbeitungselementen<sup>115</sup> (BE) des jeweils zu fertigenden Einzelteils entsprechend den generierten Prozessketten festgelegt.

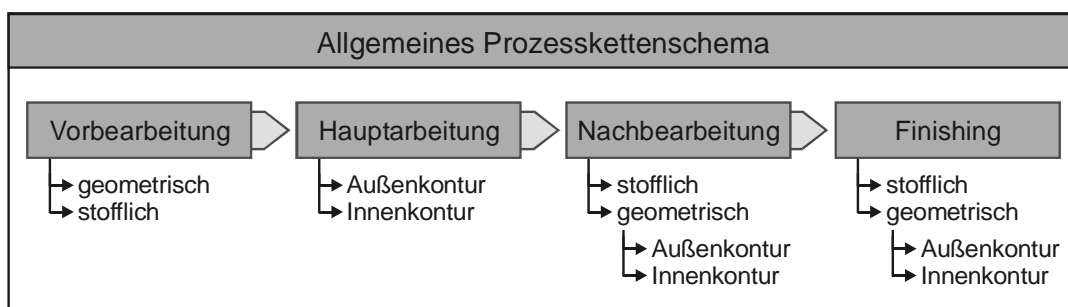


Abbildung 31: Sicht auf das allgemeine Prozesskettenschema.

Somit gilt für die BE, dass sie als Informationsträger bezüglich konstruktiver Informationen mit fertigungstechnischem Fokus (z. B. Geometrie-, Qualitäts- und Lagedaten) dienen. Vor diesem Hintergrund erfüllen sie im Wesentlichen nachfolgend aufgeführte Funktionen.

- Durch die BE werden alle, am jeweils zu fertigendem Einzelteil gegebenen, Geometrie-, Werkstoff- und Qualitätsinformationen repräsentiert. Auf dieser Basis kann bspw. die Entscheidung der Arbeitsplanungs-KPZ abgestützt werden, in deren Ergebnis die Vergabe des Wertigkeitsfaktors auf Prozentbasis innerhalb der Bildung einer einheitlichen Basis für Rohteil- und Prozesskettenkombinationen durchgeführt wird.
- Die BE dienen als Kontrollinstrument, damit jede Prozessvariante alle auf Basis des Fertigteils definierten BE enthält. Dadurch wird die Arbeitsplanungs-KPZ bei der Kontrolle der generierten Prozessketten im Vergleich zum notwendigen Wertschöpfungsumfang unterstützt.
- Mit Hilfe der BE erfolgt eine Gewichtung der Prozessschritte bezüglich ihres Einflusses auf die Fertigteilgestalt. Dies ermöglicht erst die Vergleichbarkeit der Prozessschritte einer Prozesskette untereinander sowie vor dem Hintergrund, dass mit Hilfe

<sup>114</sup> Für die Abschätzung wurde von einer Kombination ohne Wiederholung ausgegangen.

<sup>115</sup> Die Definition von Bearbeitungselementen erfolgte in Anlehnung an /BERG-86/.

entsprechend zu berechnender Eignungswerte sinnvolle Prozessschrittkombinationen in Form von Prozessketten zu generieren und zu bewerten sind.

In Abbildung 32 ist das entwickelte Analysemodell bezüglich der genutzten Informationsträger zur Prozessvariantengenerierung dargestellt. Es zeigt eine statische Sicht auf diese (repräsentiert durch Klassen) sowie deren Zusammenspiel (Art der Verbindung zwischen den Klassen) im Rahmen eines UML-Klassendiagramms.

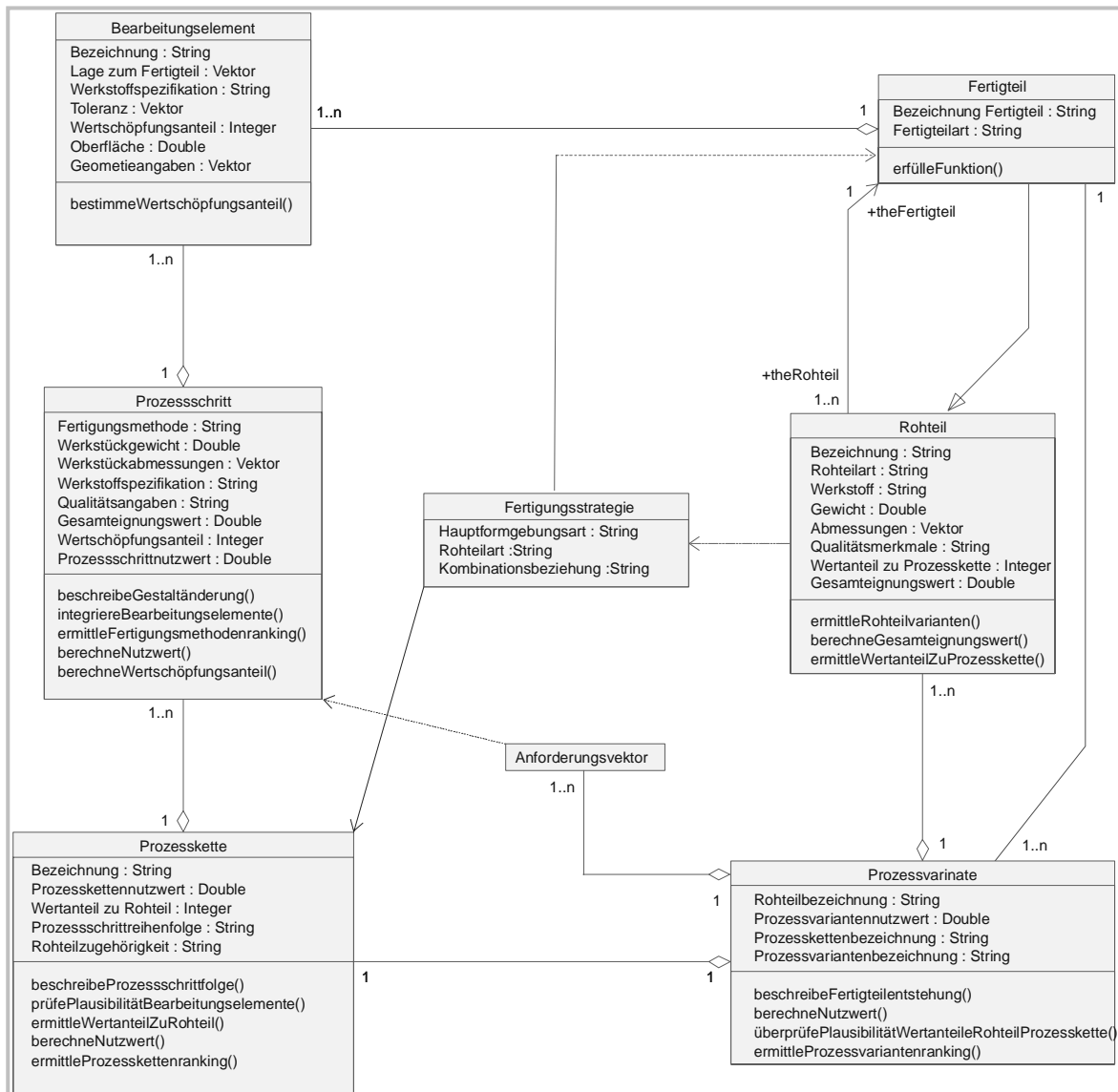


Abbildung 32: Analysemodell zur Prozessvariantengenerierung (Darstellung als UML-Klassendiagramm).

In diesem Zusammenhang erfolgt mit Hilfe der Prozessschritte als Informationsträger lediglich eine grobe Planung möglicher Fertigungsalternativen, wobei bspw. keine Betrachtung der Spannlage des Werkstücks oder des jeweils einzusetzenden Werkzeugs durchgeführt wird. Prozessschritte beinhalten vielmehr die Beschreibung der prinzipiellen Formgebungstechnologie für ein oder mehrere BE bezüglich der anzuwendenden Fertigungs-



methode<sup>116</sup> (z. B. Drehen, Fräsen, Bohren) sowie die Geometrie- und Qualitätsinformationen der entsprechenden BE.

Dabei verdeutlicht der Planungshintergrund (die aufwandsarme Produktionsnetzkonfiguration auf Basis zielgerichteter Suchmuster für Fertigungs-KPZ) den gestellten Anspruch an die Planungsgranularität innerhalb dieses Planungsabschnitts. Im Gegensatz zu den Anforderungen an die Arbeitsplanung in Unternehmen oder KMU-Netzwerken ist für die Randbedingungen des hierarchielosen Vernetzungsmodells im Rahmen der Phase Produktionsnetzkonfiguration (vgl. Abbildung 3 Seite 17) eine weniger detaillierte Planung der jeweiligen Herstellungsprozesse erforderlich. Es besteht für die Arbeitsplanung in diesem Zusammenhang lediglich die Aufgabe, aufwandsarm technisch-technologische Parameter vorzugeben, auf deren Basis geeignete Fertigungs-KPZ durch den IMK im Kompetenznetz gesucht und anschließend durch das EVCM vernetzt werden können. Somit reicht eine Planungstiefe aus, auf deren Grundlage technisch-technologische Parameter geplant werden, die eine lückenlose Verkettung benötigter Technologien innerhalb des Produktionsnetzbetriebes gewährleisten.

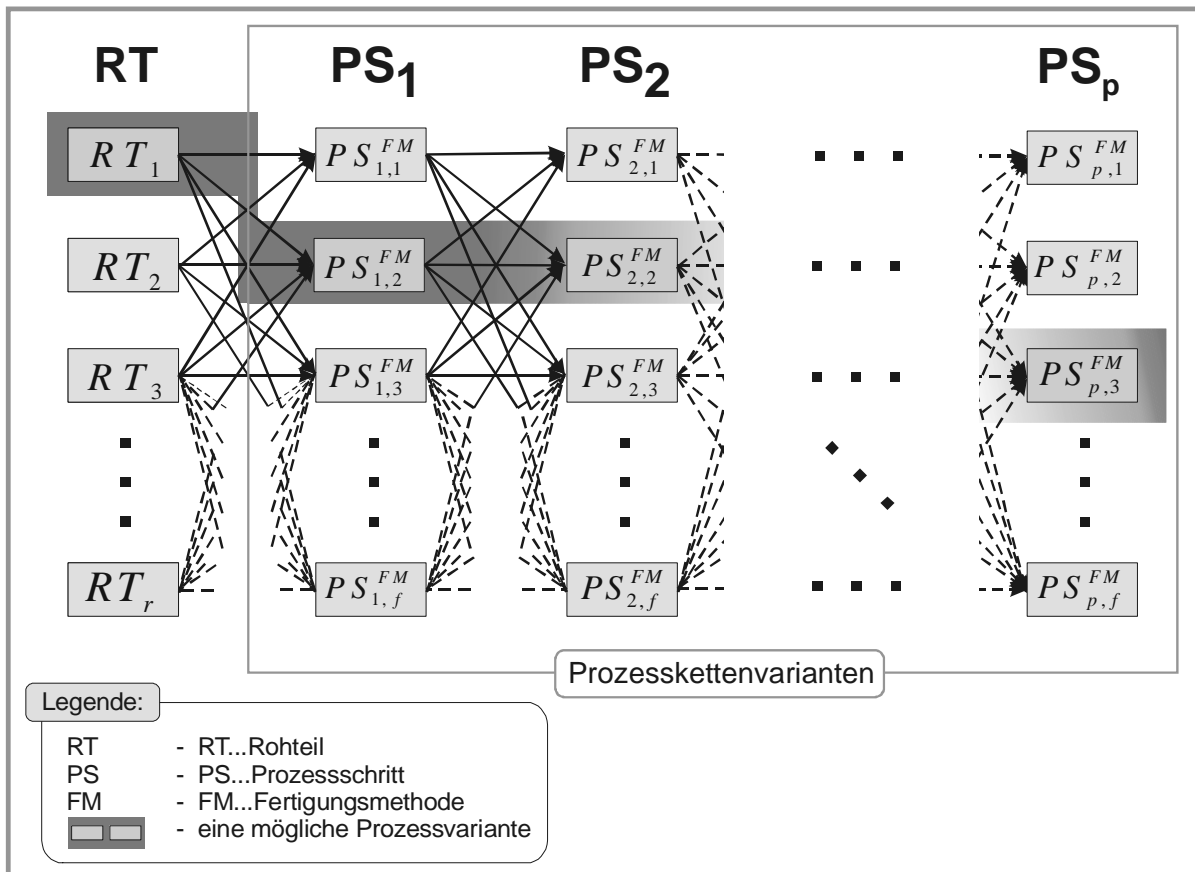


Abbildung 33: Systematisierungsschema zur Prozessvariantengenerierung.

<sup>116</sup> Fertigungsmethoden verfeinern die Planungsgranularität der Technologie-Strategie bis zur maximal dritten Hierarchiestufe der Fertigungsverfahrenbeschreibung nach DIN8580 ff.. Für das Detaillierungsniveau der Fertigungsmethoden gilt, dass aus Komplexitätsgründen keine Bestimmung möglicher Spannlagen und Werkzeuge erfolgt.

In Folge dessen ist eine umfangreichere Planung des Fertigungsprozesses zur Suche nach geeigneten Fertigungs-KPZ nicht erforderlich. Auf Basis dieser größeren Planungsgranularität im Vergleich zu den untersuchten KMU-Netzwerken (vgl. Abbildung 11) wird durch die erarbeitete Methodik eine Komplexitätsreduktion im Planungsprozess erreicht. Auf Grund der ressourcenneutralen Prozessvariantengenerierung reicht die Vorgabe von Fertigungsmethoden zur Beschreibung der relevanten Wertschöpfungsumfänge auf der Betrachtungsebene der Prozessschritte aus. In der Folge wird der erforderliche technologische Fertigungsablauf ausgehend von Fertigungsstrategien über Prozessketten bis hin zu entsprechenden Prozessschritten auf einem geeigneten Detaillierungsniveau beschrieben (Abbildung 33).

In Anlehnung an Abbildung 25 erfolgt für die erarbeitete Systematik zur Prozessvariantengenerierung im Rahmen des generierenden Abschnitts der hybriden Arbeitsplanungsmethodik eine Abschätzung der anzutreffenden Komplexität. Vor diesem Hintergrund wurden die Fertigungsteile des Referenzproduktes untersucht. Im Ergebnis kann festgestellt werden, dass im Durchschnitt vier von maximal 40 Fertigungsmethoden<sup>117</sup> im Rahmen von Prozessschritten sinnvolle fertigungstechnische Alternativen darstellen (Gleichung 2)<sup>118</sup>.

$$PS_{Anzahl} = 40^4 = 2,56 * 10^6 \quad (\text{Gleichung 2})$$

In der Folge ergibt sich die gewünschte und notwendige Verringerung der Planungskomplexität<sup>119</sup> um ca.  $10^{11}$  Möglichkeiten<sup>120</sup> im Vergleich zum festgestellten Ausgangszustand<sup>121</sup>. Die geringfügige Erhöhung der Alternativen auf der Betrachtungsebene möglicher Fertigungsstrategien (von 15 auf 20 vgl. Gleichung 2) kann vor diesem Hintergrund vernachlässigt werden. Durch diese verringerte Planungskomplexität grenzt sich der individuelle Entscheidungsspielraum der jeweiligen Arbeitsplanungs-KPZ erheblich ein. Zusätzlich kann davon ausgegangen werden, dass durch die Kompetenz des Arbeitsplaners weitere Eingrenzungen denkbarer Fertigungsalternativen möglich sind. In der Folge vereinfacht sich der durchzuführende Bewertungsprozess der jeweils generierten Prozessvarianten dadurch, dass mit Hilfe von entsprechenden informationstechnischen Werkzeugen eine aufwandsarme Entscheidungsfindung unterstützt werden kann.

Im Ergebnis dieses Planungsablaufs sowie unter Beachtung der genutzten Systemelemente besteht die Aufgabe, ein effizientes Bewertungsschema zur Präferenzierung der generierten Prozessvarianten bereitzustellen. Dies gliedert sich seinerseits in das Methodenmodell im Rahmen des Partialmodells der Arbeitsplanung ein und unterstützt die jeweiligen Arbeitsplanungs-KPZ bei der Bewertung von Prozessvarianten.

<sup>117</sup> Diese Anzahl entspricht den in der DIN 8580 maximal aufgeführten Fertigungsverfahren der 3. Hierarchieebene bezüglich einer Fertigungsstrategie.

<sup>118</sup> Als Grundlage für diese Abschätzung dient die Annahme, dass es sich um eine Variation mit Wiederholung handelt.

<sup>119</sup> Die in Abbildung 25 dargestellten Gliederungsstufen 3. bis 5. können für die vorliegende Aufgabenstellung außerhalb der Betrachtung bleiben. Die Inhalte sind lediglich für den projektierenden Abschnitt der hybriden Arbeitsplanungsmethodik von Bedeutung.

<sup>120</sup> Von  $2,56 \times 10^{17}$  auf  $2,56 \times 10^6$ .

<sup>121</sup> Vgl. Abbildung 25; 2. Prozesskettengenerierung.

### 7.3.1.2 Bewertung der Prozessvarianten

Vor diesem Hintergrund besteht unter Beachtung dieser Anforderungen die Aufgabe, ein Bewertungssystem mit dem Zuschnitt Arbeitsplanung zu erarbeiten, welches für die Beurteilung von technologisch möglichen Fertigungsalternativen genutzt werden kann. Dabei dienen die generierten Prozessvarianten als Basis für eine Bewertung, damit die jeweils geeignetste in Form des Prozessplans an den IMK zur Suche nach Fertigungs-KPZ übergeben werden kann. Im Ergebnis dieser Überlegung erweist es sich als notwendig, existierende Bewertungsmethoden unter diesem Fokus zu analysieren und weiterführend ihre Eignung entsprechend der vorliegenden Aufgabenstellung zu ermitteln.

Dazu ist es vorteilhaft, sowohl die Ein- und Ausgangsdaten als auch den Ablauf bei der Informationsgewinnung und –verarbeitung für die vorliegende Problematik näher zu betrachten. Daraus ergibt sich, dass sowohl von quantifizierbaren als auch von rein qualitativen und unscharfen (z. B. durch linguistische Variable<sup>122</sup> beschriebene) Eingangs- und Ausgangsinformationen auszugehen ist. Deshalb erweist es sich als notwendig, im Rahmen der Bewertung von Prozessvarianten auch unscharfe Daten verarbeiten zu können. Weiterhin besteht die Anforderung, mit Hilfe der anzuwendenden Bewertungsmethodik eine Strukturierung der Kundenprämissen unter dem Fokus einer technisch-technologischen Entscheidungsproblematik zur Festlegung des jeweiligen Zielsystems<sup>123</sup> durchzuführen. In diesem Zusammenhang ist von nicht zusammenhängenden Entscheidungsräumen (z. B. technische, betriebswirtschaftliche oder soziale) in hierarchielosen Produktionsnetzen auszugehen, deren Einfluss auf den durchzuführenden Bewertungsprozess sehr unterschiedlich sein kann. Weiterhin muss sich das im Rahmen der Arbeitsplanung genutzte Bewertungsverfahren auch mit anderen Entscheidungs- und Präferenzierungsmethoden (z. B. Transportwegsimulationen innerhalb des Kompetenzrahmens Logistikplanung) oder Optimierungen (z. B. für betriebswirtschaftliche Analysen zur Kandidatenselektion) innerhalb des hierarchielosen Vernetzungsmodells kombinieren lassen<sup>124</sup>. Für die Transparenz der Bewertungsabläufe erweist es sich als vorteilhaft, wenn die jeweiligen Zielpräferenzen für jede KPZ einsehbar<sup>125</sup> und deren Herkunft nachvollziehbar sind. Auf dieser Basis können die jeweils erarbeiteten technisch-technologischen Planungsalternativen (Prozessvarianten) mit einem hohen Maß an Objektivität bewertet werden. In der Folge stützen sich die Entscheidungen bezüglich der Gliederung konkurrierender Fertigungsalternativen als Voraussetzung für die Auswahl von Kandidaten-KPZ auf eine transparente Entscheidungssystematik.

#### *Analyse existierender Bewertungsverfahren*

Für die Bewertung von Systemen existieren eine Reihe unterschiedlichster Methoden /BREI-97/. In diesem Zusammenhang ist festzustellen, dass auf Grund dieser sehr ver-

<sup>122</sup> Für die Verarbeitung logischer Variablen kann das Konzept der Fuzzy-Logik /ZADE-69/ Anwendung finden.

<sup>123</sup> Es wird davon ausgegangen, dass die relevanten Kundenprämissen jeweils auftragsspezifisch sind, wodurch für jeden Auftrag ein individuelles Zielsystem zu definieren ist.

<sup>124</sup> In diesem Zusammenhang besteht der Anspruch an ein übergreifendes Zielsystem zur Präferenzierung/Optimierung sowie der Kompatibilität der E/A-Daten. Es ist zu erwarten, dass im Rahmen der fortschreitenden Informationsverdichtung zur Produktionsnetzbildung weitere Alternativen entstehen und bewertet werden müssen.

<sup>125</sup> Dadurch werden Entscheidungen innerhalb des Arbeitsplanungsprozesse transparent.

schiedenartigen Bewertungssysteme (z. B. Bewertung von Umweltschäden, politischen Ereignissen, Immobilien, Wertpapieren, technischer Lösungen) keine allumfassende Systematisierung existiert, welche für das vorliegende Problem aufgegriffen werden kann. Aus Sicht der ausschlaggebenden technisch-technologischen Parameter wurde eine Einteilung von Bewertungsmethoden entsprechend Abbildung 34 vorgenommen.

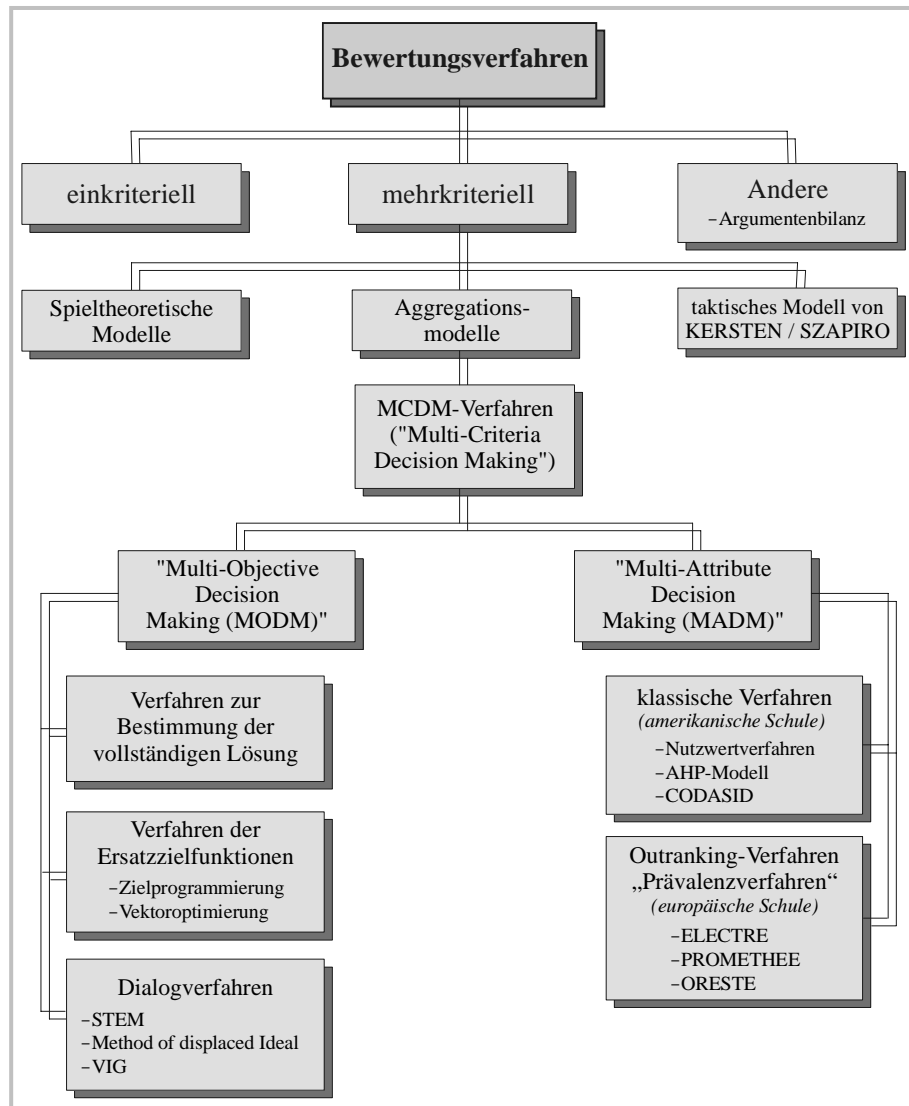


Abbildung 34: Einteilung von Bewertungsverfahren.

Für das betrachtete Bewertungsumfeld ist von Entscheidungsprozessen mit mehreren Kriterien auszugehen. Aus diesem Grund kann sich die weitere Betrachtung auf mehrkriterielle Verfahren beschränken, wobei auf Grund der spezifischen Randbedingungen für die vorliegende Problemstellung<sup>126</sup> lediglich Aggregationsmodelle geeignet sind.

<sup>126</sup> Zum Beispiel bezüglich der Spieltheoretischen Modelle werden die Anzahl und Identität der Entscheidungsträger, sämtliche Handlungsalternativen sowie die individuellen Nutzenfunktionen der Entscheidungsträger als konstant und bekannt angenommen. Beim taktische Modell nach KERSTEN /KERS-86/ stehen veränderbare Strategien der Entscheidungsträger sowie die Existenz von verborgenen und unartikulierten Zielen und Interessen im Mittelpunkt /HAEN-93/.

Aggregationsmodelle überführen individuelle Nutzenfunktionen in eine Gesamtnutzenfunktion. Dabei wird ein rationales Verhalten der Entscheidungsträger angenommen. Zusätzlich gelten die Annahmen, dass vollständige Informationen über das Entscheidungsproblem vorliegen und sich diese während des Entscheidungsprozesses kohärent und konsistent verhalten. Somit wird das Entscheidungsproblem auf die Bewertung individueller Nutzenfunktionen sowie deren Aggregation in eine Gesamtnutzenfunktion reduziert<sup>127</sup>, wodurch die Entscheidung mit Hilfe entsprechend gegliederter Handlungsalternativen in Form von Kompromissvorschlägen unterstützt wird. Auf Basis dieser Merkmale kann festgestellt werden, dass diese Bewertungsverfahren prinzipiell für die Lösung der anstehenden Bewertungsaufgaben geeignet sind. Deshalb stehen die verschiedenen Ausprägungen dieses Entscheidungsmodells nachfolgend im Fokus näherer Betrachtungen.

Generell finden Algorithmen zur multikriteriellen Entscheidungsunterstützung vor allem bei der

- Modellbildung und Informationsverarbeitung oder der
- Bewertung und Auswahl einer bestimmten Handlungsalternative /GELD-99/

ihre Einsatzgebiete. Diese entsprechen auch den im Rahmen dieser Arbeit zu lösenden Aufgaben. Der Einsatz von Aggregationsmodellen zur Unterstützung von Mehrziel(Multikriteriellen)entscheidungen bei einer endlichen Anzahl von Alternativen wird als Multi-Criteria-Decision-Making (MCDM) -Verfahren bezeichnet /vgl. ZIMM-91/. Diese können in zwei Untergruppen (in Anlehnung an /ZIMM-87/) gegliedert werden:

- Multi-Objective Decision Making (MODM) Verfahren und
- Multi-Attribute Decision Making (MADM) Verfahren

Nach Zimmermann besitzen MODM-Verfahren folgende Merkmale:

- Sie unterstellen kontinuierliche<sup>128</sup> Entscheidungsräume.
- Die Ziele sind durch quantifizierbare Zielfunktionen gegeben.
- Zur Lösung werden meist Vektoroptimierungsmodelle eingesetzt.

Im Gegensatz dazu gelten für MADM-Verfahren folgende Randbedingungen /ZIMM-87/:

- Es werden diskrete<sup>129</sup> Entscheidungsräumen angenommen.
- Die Entscheidungsräume bestehen aus wenigen, im voraus bekannten Alternativen.
- Die Alternativen sind durch Attribute (Kriterien) beschrieben.

Das Ziel der MADM-Verfahren besteht in der Erarbeitung einer Präferenzordnung der Alternativen, auf deren Grundlage die "optimale"<sup>130</sup> Entscheidung getroffen werden kann. Unter Beachtung dieser Merkmale der MCDM-Verfahren ist es möglich, die Auswahl auf die MADM-Verfahren für den im Rahmen dieser Arbeit betrachteten Entscheidungsprozess zu beschränken.

<sup>127</sup> Derartige additive Modelle können allerdings nur dann angewendet werden, wenn gewisse Unabhängigkeitsbedingungen zwischen den betrachteten Attributen erfüllt sind (zu Präferenz- und Differenzunabhängigkeit (vgl. /ZIMM-91, LILL-92/).

<sup>128</sup> i. S. von zusammenhängend.

<sup>129</sup> i. S. von nicht zusammenhängend.

<sup>130</sup> Unter den existierenden Randbedingungen (vgl. Abbildung 25) ist der mathematische Nachweis des Optimums aufgrund unscharfer Informationen nicht möglich.

Zur weiteren Analyse dieser Bewertungsverfahren erweist sich deren Unterteilung in „klassische Verfahren“ und Outranking-Verfahren als vorteilhaft. Die Outranking-Verfahren basieren auf den klassischen Verfahren. Im Gegensatz zu diesen wird jedoch als Randbedingung unterstellt, dass dem Entscheidungsträger seine Präferenzen nicht bewusst sind, so dass er bei der Strukturierung der Entscheidungssituation zu unterstützen ist (vgl. /ROY-93/). In Folge dessen zeigen diese Outranking-Verfahren während des Entscheidungsprozesses die Konsequenzen unterschiedlicher Kriteriengewichtungen auf. Sie basieren somit auf dem Vergleich von jeweils zwei Alternativen hinsichtlich der einzelnen Kriterien sowie der Berücksichtigung von Unvergleichbarkeiten und schwachen Präferenzen (vgl. /ZIMM-91/). Die „klassischen Verfahren“ können in Anlehnung an Breiing und Knosala wie folgt charakterisiert werden /BREI-97/.

"Für eine endliche Menge von Lösungen beliebiger Art auf beliebigen Fachgebieten und in beliebigen Reifegraden, jedoch gleichen Informationsgehaltes, sind gemeinsame Bewertungskriterien aufzustellen, diese mit einheitlich erfaßbaren und vergleichbaren Werten zu versehen (Wertungszahlen) und deren Summen (Wertigkeiten) als Wertvergleich gegenüber zu stellen, um so durch den höchsten Wert die beste und durch den niedrigsten Wert die schlechteste Lösung zu ermitteln."

Für die Entscheidungsproblematik der Arbeitsplanung kann unterstellt werden, dass den Entscheidungsträgern (den jeweiligen Arbeitsplanungs-KPZ) die Präferenzen bewusst sowie die zu bewertenden Alternativen (in Form von unterschiedlichen technisch-technologischen Prozessvarianten) auch vergleichbar sind. Im weiteren wird voraus gesetzt, dass zwischen den einzelnen Kriterien Substitutionsraten existieren, welche lediglich offenzulegen und zu interpretieren sind. Zusätzlich erfolgt die Einschränkung, dass mögliche Nachteile (vgl. /LILL-92/) bezüglich der vollständigen Aggregation der Nutzwerte (wodurch es zu Informationsverlusten aufgrund möglicher Kompensationen guter und schlechter Kriterienerfüllungsgrade kommen kann) akzeptiert werden. Im Ergebnis dieser Betrachtungen wird es möglich, die weitere Analyse von Bewertungsmethoden auf die Gruppe der „klassischen Verfahren“ einzugrenzen. Diese können wie folgt gegliedert werden<sup>131</sup>.

- Nutzwertverfahren (Gliederung in Anlehnung an /KRUE-97/):
  - Nutzwertanalyse
  - Multi-Attributive-Utility-Theory (MAUT)
  - Multi-Attributive-Value-Theory (MAVT)
- AHP-Verfahren (nach Saaty /SAAT-80/)
- CODASID (nach Sen und Yang /SEN-98/)

Aus einer Untersuchung von Nitzsch /NITZ-93/ geht hervor, dass die Verfahren MAUT und MAVT für praktische Entscheidungsprobleme nur bedingt anwendbar sind. Vor diesem Hintergrund werden diese Verfahren auch in der vorliegenden Arbeit nicht weiter verfolgt. Nachdem die Gruppe der „klassischen Verfahren“ derart eingegrenzt wurde, erfolgt eine Einzelbetrachtung der verbleibenden Methoden in der Anlage 2. Für deren Beurtei-

---

<sup>131</sup> Diese Verfahren stellen eine Auswahl der in der Praxis am häufigsten verwendeten klassischen Verfahren dar.

lung wurde sich an die Ergebnisse von Anduka /ANDU-03/ angelehnt. Aus dieser Zusammenstellung ist zu erkennen, dass prinzipiell alle drei Verfahren zur Lösung des vorliegenden Entscheidungsproblems beitragen können. Dabei bestehen zwischen diesen Vorgehensweisen mehr oder minder geringe Unterschiede. Aus diesem Grund kann auf Basis dieser Informationen noch kein Verfahren ausgewählt werden, weshalb eine Literaturrecherche endgültige Klarheit für die Entscheidungsfindung im Rahmen dieser Arbeit herstellen soll. Vor dem Hintergrund der Bewertung technisch-technologischer Prozessalternativen findet das AHP-Verfahren ohne Modifikationen /z. B. SFB283-01, MUTH-00/ bzw. mit geringfügigen Änderungen (z. B. zur Verarbeitung unscharfer Eingangsinformationen in /TROM-01/ oder mit einer Erweiterung hinsichtlich der Eingabewerte /KASC-99/) sehr häufig Anwendung. Auf Grund dieser Erfahrungen wird auch in der vorliegenden Arbeit das AHP-Verfahren für die Entscheidungsunterstützung gewählt. Dies erweist sich selbst bei einem zu erwartendem Anpassungsbedarf als gerechtfertigt, da auch die betriebswirtschaftlichen Bewertungen im Rahmen des EVCM diese Methode<sup>132</sup> anwenden. Im Ergebnis entsteht ein einheitliches Zielsystem<sup>133</sup>, da sowohl für den technologischen als auch für den betriebswirtschaftlichen Entscheidungsprozess transparente und nachvollziehbare Randbedingungen existieren. Im Ergebnis dieser Analysen wird für die Entscheidungsfindung im generierenden Abschnitt der hybriden Arbeitsplanungsmethodik das AHP-Verfahren angewendet.

#### *Erarbeitete Bewertungssystematik auf Basis des AHP-Verfahrens*

Auf Grundlage der durchgeführten Analyse von Bewertungsverfahren und der Auswahl des AHP-Verfahrens erweist es sich für die betrachtete Aufgabenstellung als notwendig, entsprechende Änderungen und Modifikationen vorzunehmen. Zur Lösung dieser Aufgabe wurde der Entscheidungsprozess zur technisch-technologischen Bewertung möglicher Fertigungsalternativen in drei Betrachtungsschwerpunkte (Bewertungsziele, Bewertungsablauf und Bewertungsergebnis) zerlegt.

#### ***Bewertungsziele***

Für die Arbeitsplanungskompetenz im hierarchielosen Produktionsnetz ist ein Zielsystem zu entwickeln, welches speziell bei der Bewertung technisch-technologischer Alternativen den Anwender unterstützt. Dabei gilt zu beachten, dass es sich in den allgemeinen Kontext des betrachteten Vernetzungsmodells einbinden lässt. Daraus kann abgeleitet werden, dass für den Betrachtungsraum der Arbeitsplanung eine Teilmenge der insgesamt vom Kunden vorgegebenen Prämissen in Form von Kriterien zu gewichten und in die Entscheidungsfindung zu integrieren sind.

#### ***Bewertungsablauf***

Für die Bewertung der technisch-technologischen Fertigungsalternativen ist eine Systematik zu erarbeiten, welche einerseits den bereits dargestellten Merkmalen I bis IV (vgl. Abschnitt 7.2) gerecht wird und andererseits eine Komplexitätsreduktion in Bezug

---

<sup>132</sup> Zur Definition des Zielsystems zur Optimierung der Auswahl geeigneter Fertigungs-KPZ wird das AHP-Verfahren eingesetzt /FISC-03a/.

<sup>133</sup> Diese Aussage bezieht sich auf die Nutzung einer einheitlichen Methodik zur Erarbeitung eines Zielsystems für technologische und betriebswirtschaftliche Bewertungen bzw. Optimierungen.

auf die möglichen Planungsalternativen gewährleistet (vgl. Abbildung 25). Dabei gilt es zu beachten, dass sowohl die Planungsgranularität als auch die zu erwartende Varianz der Bewertungsparameter verarbeitet werden müssen.

### ***Bewertungsergebnis***

Für die Beurteilung und Gliederung der Prozessvarianten ist ein geeignetes Alternativenrating zu erarbeiten. Dabei gilt es zu beachten, dass die Stabilität<sup>134</sup> der besten Prozessvariante auf Grundlage einer ganzheitlichen Wertschöpfungsbetrachtung (Rohteil-Prozesskettenkombination) überprüfbar sein muss.

Abbildung 35 zeigt einen Überblick über die entwickelte Struktur des Entscheidungsablaufs zur Alternativenbewertung innerhalb des generierenden Abschnitts der hybriden Arbeitsplanungsmethodik. Daraus geht hervor, dass zuerst die Erarbeitung eines Zielsystems für die technisch-technologische Bewertung auf der Grundlage von zuvor ermittelten Kundenprämissen erfolgt. Anschließend dienen die generierten Prozessvarianten als Basis für eine Bewertung sinnvoller technologischer Fertigungsalternativen. In diesem Zusammenhang werden die Auftrags- und Konstruktionsdaten unter dem Fokus eines bestmöglichen technisch-technologischen Fertigungsablaufs weiterverarbeitet, wobei die im ersten Schritt gewichteten Kriterien des Zielsystems als Gerüst für die Bewertungen der einzelnen Bestandteile der Prozessvarianten dienen. Im Ergebnis dieser Vorgehensweise können für jeden Prozessschritt Nutzwerte je Kriterium berechnet und zu einem Gesamtnutzwert summiert werden. Dadurch wird ein Vergleich der Technologiealternativen auf unterschiedlichem Detaillierungsniveau (PS, PK, FS) möglich. Im letzten Schritt, dem Bewertungsergebnis, werden die bewerteten Prozessvarianten entsprechend ihrer Eignung gegliedert und auf ihre Stabilität getestet. Somit entsteht als Bewertungsergebnis ein Rating der generierten Prozessvarianten, wobei die geeignetste zur zielgenauen Suche nach möglichen Fertigungs-KPZ durch den IMK dient.

Nachfolgend wird diese dreistufige Vorgehensweise des generierenden Abschnitts der hybriden Arbeitsplanungsmethodik auf Basis einer Entscheidungsunterstützung in Anlehnung an AHP näher beschrieben.

---

<sup>134</sup> Stabilität bedeutet in diesem Kontext den Grad der Übereinstimmung der Relationen zwischen den jeweiligen Betrachtungsobjekten innerhalb des entwickelten Bewertungsablaufs im Vergleich zum individuellen Erfahrungswissen des Anwenders.



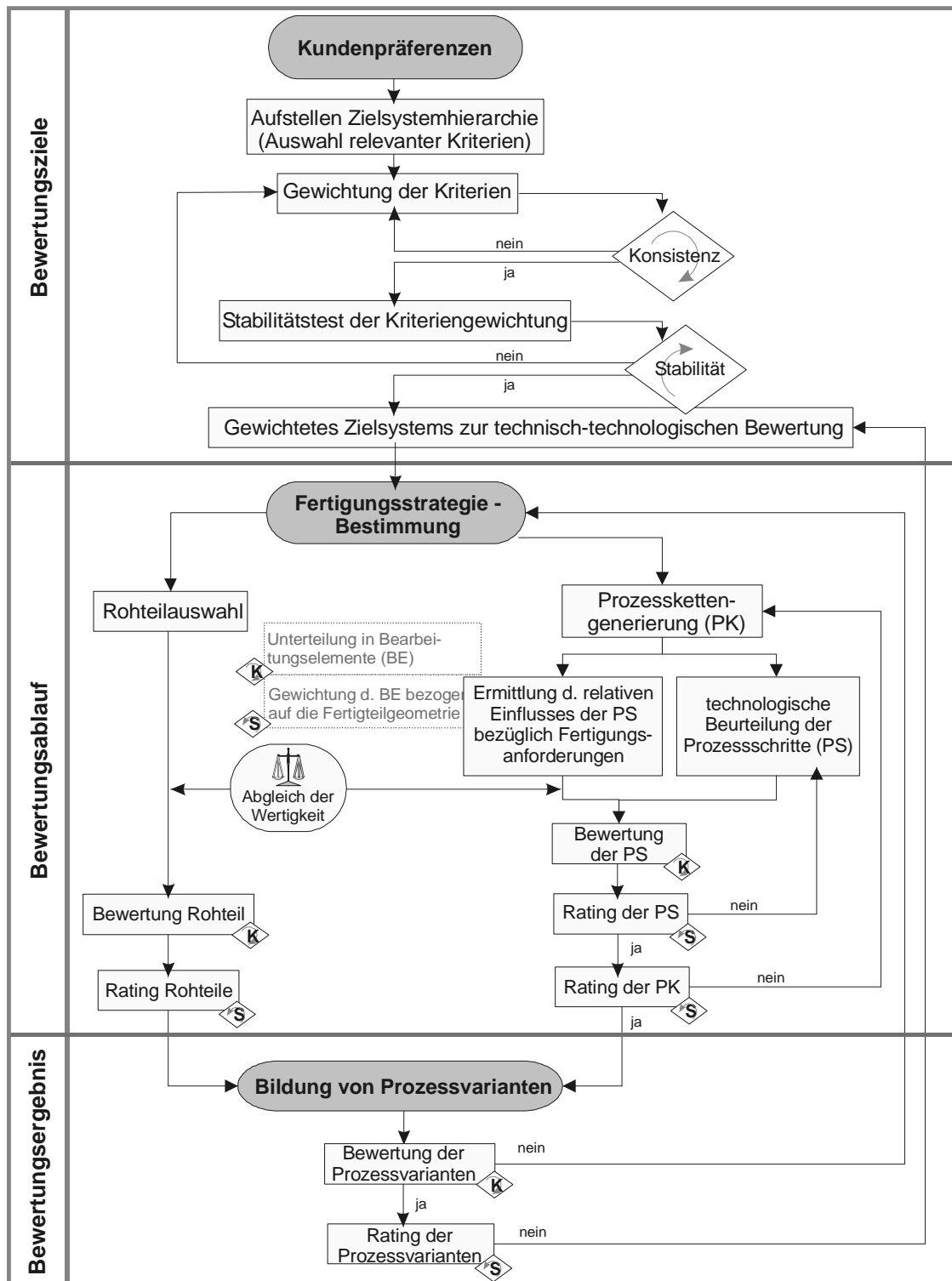


Abbildung 35: Ablauf zur Bewertung von Prozessvarianten.

Im **Rahmen des ersten Schrittes** (Bewertungsziele) wurde für die Entscheidungsfindung im Rahmen der Arbeitsplanungsaktivitäten zur Prozessvariantengenerierung ein für diese Problematik zugeschnittenes Zielsystem entwickelt. Dieses dient zur Bewertung unterschiedlichster Objekte, wie bspw. Rohteile, PK oder PS. Zu Beginn erfolgt dabei eine Zusammenstellung von Kundenprämissen, welche für eine technisch-technologische Beurtei-

lung notwendig sind. Diese werden in Form von Hauptkriterien, Kriterien, Unterkriterien usw. in eine hierarchische Struktur, eine sogenannte Zielsystemhierarchie, eingeordnet. In diesem Zusammenhang wird davon ausgegangen, dass im Rahmen vorangegangener Aktivitäten<sup>135</sup> entsprechende Kundenprämissen existieren, sodass diese für die vorliegende Entscheidungsproblematik lediglich in eine für den betrachteten Entscheidungsprozess weiterverarbeitbare Form zu transferieren sind. Zur Erleichterung dieser Transformation wurde die in Abbildung 36 dargestellte Kriteriensystematik zur Vervollständigung des methodischen Gerüsts im Partialmodell der Arbeitsplanungskompetenz erarbeitet.

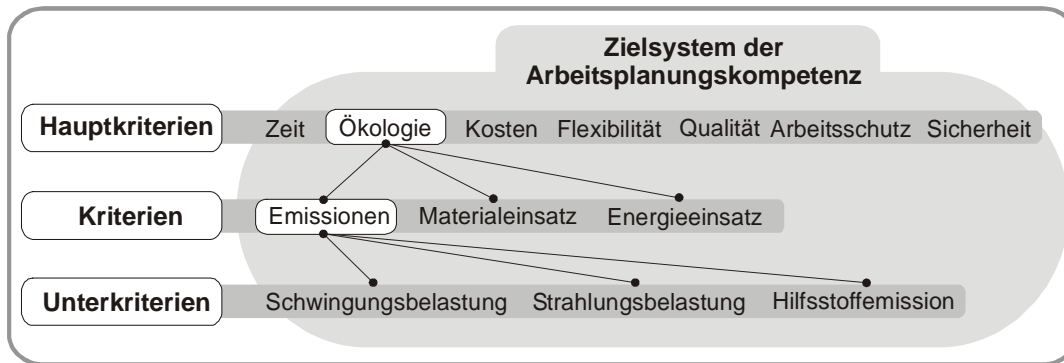


Abbildung 36: Sicht auf die Kriterienhierarchie.

Für eine sowohl anwenderfreundliche als auch aufwandsarme Auswahl und Gewichtung relevanter Kriterien ( $K_i$ ) erwies es sich als notwendig, den im Rahmen des AHP-Verfahrens genutzten paarweisen Vergleich<sup>136</sup> zu erweitern. In der Folge wurde es möglich, die Kriteriengewichtung direkt, d. h. ohne relative Vergleiche sondern auf Basis einer dezimalen Skalierung ganzer Zahlen (mit der Zuordnung eins für vernachlässigbar bis zehn für sehr bedeutend) oder durch die Vergabe von Prozentwerten, durchzuführen. Somit können die Kriteriengewichtungen sowohl mit Hilfe des paarweisen Vergleichs als auch durch eine direkte Parametrisierung berechnet werden.

Damit aus der Paarvergleichsmatrix<sup>137</sup> ein weiterverarbeitbares und konsistentes Set von gewichteten Kriterien<sup>138</sup> entsteht, erfolgt eine Eigenvektorberechnung<sup>139</sup> (ausschließlich bei der Methode des paarweisen Vergleichs). Für die beiden weiteren Möglichkeiten zur Parametereingabe (direkte Eingabe) erfolgt nach der Kriterienauswahl deren Gewichtung durch die Vergabe entsprechender Werte. Auf Grund der gebotenen Vergleichbarkeit besteht die Bedingung, dass die Art der Kriterienwerte für jede Hierarchieebene identisch zu erfolgen hat. Durch Normalisierung der Parameter kann (im Rahmen der direkten Eingabe) für jede Hierarchieebene anschließend die normierte Kriteriengewichtung ( $K_i^G$ ) berechnet

<sup>135</sup> Entsprechend der Theorie des hierarchielosen Vernetzungsmodells kann davon ausgegangen werden, dass eine Marketing-KPZ relevante Informationen bereitgestellt hat.

<sup>136</sup> Beim paarweisen Vergleich werden alle ausgewählten Kriterien miteinander, d. h. paarweise, verglichen. Für die Beschreibung der Vergleiche dient eine AHP-Skala (von 1 [gleiche Bedeutung] bis zehn [absolut dominierend] (in Anlehnung an Haedrich /HAED-86/).

<sup>137</sup> Mathematische Darstellungsform der durchgeführten paarweisen Vergleiche der ausgewählten Kriterien.

<sup>138</sup> Im AHP auch als Prioritäten bezeichnet.

<sup>139</sup> Saaty konnte mathematisch zeigen, dass die Eigenvektorberechnung den besten Zugang zur Ableitung von Prioritäten darstellt /SAAT-90/.

werden. Dadurch stehen für die nachfolgende Alternativenbewertung<sup>140</sup> (im Rahmen des zweiten Schrittes Bewertungsablauf) konsistente und gewichtete Kriterien zur Verfügung (Gleichung 3).

$$K_i^G = \frac{K_i}{\sum_{i=1}^n K_i} \quad \text{Gleichung 3}$$

Im Rahmen eines abschließenden Stabilitätstests können die berechneten Relationen der normierten Kriteriengewichte überprüft werden. Für ein besseres Handling wurden diese zuvor mit 100 multipliziert. In der Folge kann der Stabilitätstest auf Prozentbasis durchgeführt werden. Dies erleichtert den Konformitätsvergleich der Kriterienrelationen des entstandenen Zielsystems mit den vorhandenen auftragspezifischen Kundenprämissen. Bei Bedarf können mit Hilfe eines anschließenden optionalen Schrittes entsprechend des bereits geschilderten Ablaufs die Kriteriengewichte durch die Änderung der eingegebenen Parameter modifiziert werden, wodurch sich die Relationen der normierten Kriteriengewichte entsprechend ändern. Dadurch erhöht sich die Praktikabilität für den Anwender (Akzeptanzsicherung) und die Aussagekraft der betrachteten Kriteriengewichte gestaltet sich eindeutiger. Diese Iterationsschleife wird bei Bedarf bis zur gewünschten Stabilität des Zielsystems<sup>141</sup> wiederholt. Als Resultat liefert dieser erste Schritt ein Zielsystem zur Bewertung technisch-technologischer Fertigungsalternativen, welches auf gewichteten und normalisierten Kriterien basiert. Dies stellt eine Voraussetzung dar, damit das globale Zielsystem und das Subsystem zur technisch-technologischen Bewertung Kundenprämissen kongruent repräsentieren.

Im **zweiten Schritt** (Bewertungsablauf) der entwickelten Systematik zur Bewertung von Prozessvarianten erfolgt die Bewertung der PS, PK, FS und Rohteile für eine darauf aufbauende Produktionsnetzbildung. Dabei besteht die Aufgabe, mit Hilfe eines für diesen Anwendungsfall angepassten Bewertungsablaufs die vorhandenen konstruktiven und betriebswirtschaftlichen Eingangsinformationen für die Gliederung der Prozessvarianten zu nutzen. In diesem Zusammenhang ist festzustellen, dass bei den betrachteten Systemelementen der Prozessvarianten ein asymmetrisches Informationsniveau der Eingangsinformationen vorliegt. Während bei den relevanten Rohteilen die im Zielsystem definierten Kriterien meist mit quantifizierbaren Werten belegt werden können, stehen für die Beurteilung der Prozessketten und Prozessschritte lediglich qualitative Erfahrungswerte<sup>142</sup> zur Verfügung. In der Folge entsteht das Problem für die Bewertung des gesamten Fertigungsprozesses<sup>143</sup>, das quantifizierbare Werte mit qualitativen Eignungsbeschreibungen zu vergleichen sind. Dies erweist sich als notwendig, damit die Gesamtwertschöpfung beurteilt werden kann. Speziell unterschiedlich gestaltete Rohteile (in Bezug auf deren vorhandenen Geometrie- und Qualitätseigenschaften) besitzen einen mehr oder minder großen

<sup>140</sup> Als Alternativen werden in diesem Kontext z. B. mögliche Rohteile, PS oder PK verstanden.

<sup>141</sup> Die berechneten Relationen der Kriterien des Zielsystems entsprechen den ermittelten Wertigkeiten der Kundenprämissen.

<sup>142</sup> Entsprechend der individuellen Kompetenz der Arbeitsplanungs-KPZ.

<sup>143</sup> Der gesamte Fertigungsprozess wird durch die Prozessvarianten beschrieben.

Einfluss auf den jeweils noch durchzuführenden Herstellungsprozess<sup>144</sup> innerhalb einer Prozessvariante. Damit jedoch unterschiedlichste Prozessvarianten miteinander verglichen werden können, sind sowohl die berechneten Rohteil- wie auch die dazugehörigen Prozessketten-Gesamtnutzwerte auf eine einheitliche und somit vergleichbare Basis zu transferieren. Erst dann kann der Arbeitsplaner dieses Entscheidungsproblem nachvollziehbar lösen, weil die jeweiligen Wertanteile der Rohteil-Prozesskettenkombinationen bezüglich ihres Einflusses auf die Fertigteilgeometrie ermittelt wurden. Zur Umsetzung wird der Einfluss des Rohteils in Relation zur relevanten Prozesskette betrachtet und ein Wertigkeitsfaktor auf Prozentbasis den Betrachtungsobjekten zugeordnet. Dieser besitzt einen ähnlichen Einfluss auf die betrachteten Nutzwerte der Rohteil-Prozesskettenkombinationen, wie die normierten Kriteriengewichte. Entsprechend dem gestellten Ziel, ist dieser Entscheidungsspielraum des Arbeitsplaners mit geeigneten Informationen zu untersetzen, wozu weiterführende Planungsaktivitäten notwendig sind, welche nachfolgend beschrieben werden.

Zuerst erfolgt eine Trennung in einen qualitativen und quantitativen Bewertungsweg, welche in Anlehnung an das festgestellte asymmetrische Informationsniveau vorzunehmen ist. Nachfolgend wird mit einer eingehenderen Erläuterung des quantitativen Bewertungswegs zur Gliederung möglicher Rohteile unter Beachtung der generierten Fertigungsstrategien begonnen. Dabei werden zuerst die im Rahmen des Zielsystems ermittelten Kriterien mit den jeweiligen rohteilspezifischen Nutzwerten ( $RT_{Ki}$ ) untersetzt. Im Anschluss sind diese Nutzwerte je Kriterium für jede Hierarchiestufe des Zielsystems entsprechend Gleichung 4 zu normieren. Im Ergebnis entstehen normierte Kriteriennutzwerte ( $RT_{Ki}^N$ ).

$$RT_{Ki}^N = \frac{RT_{Ki}}{\sum_{i=1}^n RT_{Ki}} \quad \text{Gleichung 4}$$

Für die Bewertung der jeweiligen Rohteileignung sind entsprechende Rohteilgesamtnutzwerte ( $RT^S$ ) zu berechnen (Gleichung 6). Dafür werden zuvor Rohteilteilnutzwerte für jedes Kriterium ( $RT_{Ki}^T$ ) ermittelt (Gleichung 5).

$$RT_{Ki}^T = K_i^G \cdot RT_{Ki}^N \quad \text{Gleichung 5}$$

$$RT^S = \sum_{i=1}^n RT_{Ki}^T \quad \text{Gleichung 6}$$

Damit diese Rohteilgesamtnutzwerte mit den jeweiligen Prozessketten zusammengeführt werden können, ohne dass die entstandenen Relationen zwischen den betrachteten Rohteilen verwischen, sind diese wiederum zu normalisieren (Gleichung 7). Im Ergebnis dieser Berechnung entstehen normierte Rohteilgesamtnutzwerte ( $RT_r^{S,N}$ ).

$$RT_r^{S,N} = \frac{RT_r^S}{\sum_{r=1}^m RT_r^S} \quad \text{Gleichung 7}$$

<sup>144</sup> Der Herstellungsprozess innerhalb einer Prozessvariante wird in Form von Prozessketten beschrieben.

Die normierten Rohteilgesamtnutzwerte besitzen die Eigenschaft 1:

$$0 \leq RT_r^{S,N} \leq 1 \quad \text{Eigenschaft 1}$$

Auf Basis der Eigenschaft 1 können in der Folge die normierten Rohteilgesamtnutzwerte mit den entsprechenden Prozesskettengesamtnutzwerten<sup>145</sup> trotz eines asymmetrischen Informationsniveaus der Eingangsparameter zusammengeführt und in Form von Prozessvariantennutzwerten bewertet werden. Der Ablauf zur Berechnung der Prozesskettengesamtnutzwerte wird im Rahmen des qualitativen Bewertungsweges nachfolgend beschrieben.

Seitens der Prozesskettenbewertung erweist es sich als günstig, eine weitreichendere Betrachtung des jeweils zu fertigenden Einzelteils auf Basis der Konstruktionsunterlagen durchzuführen. Dabei besteht wieder das Ziel, diejenigen Stellen im Planungsablauf zu ermitteln, an welchen der Arbeitsplaner durch die Nutzung seiner individuellen Kompetenz den Entscheidungsprozess weiterführt. Speziell diese Planungsabschnitte sind dann, wenn möglich, durch geeignete Informationen anzureichern, damit die Entscheidungsfindung einerseits erleichtert und andererseits für andere KPZ nachvollziehbar (und in der Folge transparent) wird. Für die Beschreibung des qualitativen Bewertungsweges werden zuerst die relevanten Informationsträger entsprechend des erarbeiteten Planungsablaufs zur Prozesskettengenerierung beschrieben. Die anschließende Darstellung des entwickelten Bewertungsablaufs baut auf diesen auf.

Nachdem die technisch-technologischen Fertigungsalternativen in Form von Fertigungsstrategien, Prozessketten, Prozessschritten und Bearbeitungselementen erarbeitet wurden, sind diese entsprechend ihrer Eignung in Bezug auf das jeweils auftragsabhängige Zielsystem zu bewerten. Dabei besteht das Problem, dass sehr unterschiedliche Wertschöpfungsumfänge in Form von Prozessschritten repräsentiert werden. Somit besteht die Aufgabe, eine Methodik zu entwickeln, mit welcher diese heterogenen Wertschöpfungsumfänge vergleichbar sind. Für die Lösung dieses Problems werden die im Rahmen der Prozesskettengenerierung jeweils definierten BE herangezogen.

Auf dieser Basis analysiert die entsprechende Arbeitsplanungs-KPZ den zu erwartenden Fertigungsaufwand zwischen dem Eingangs- und dem durch das (oder die) BE beschriebenen Ausgangszustand des Werkstücks. Dieser wird durch die Vergabe von entsprechenden Wertigkeitsanteilen auf Prozentbasis den betrachteten BE zugeordnet. In diesem Zusammenhang können darüber hinaus Informationen in Bezug auf die an den jeweiligen Rohteilen vorhandenen BE oder auch BE-Ausprägungen abgegrenzt und gegebenenfalls zugeordnet werden. Dadurch wird der Entscheidungsprozess der Arbeitsplanungs-KPZ bei der Vergabe von Wertigkeiten für mögliche Rohteil-Prozesskettenkombinationen mit zusätzlichen Informationen entsprechend der eingangs formulierten Aufgabenstellung breiter abgestützt. Die ermittelten prozentualen Wertschöpfungsanteile der BE bezüglich des Fertigteils ( $BE_b$ ) werden zur Weiterverarbeitung normiert ( $BE_b^N$ ). Dadurch erfolgt eine Konsistenzsicherung bezüglich denkbarer Über- oder Unterbestimmungen als eine mögliche

<sup>145</sup> Dabei gilt als Randbedingung, dass die Prozesskettengesamtnutzwerte eine äquivalente Eigenschaft besitzen.

Konsequenz von Eingabefeldern (d. h. die Summe aller definierten BE-Anteile ist größer oder kleiner 100 Prozent) auf einen Einheitsvektor (Gleichung 8).

$$BE_b^N = \frac{BE_b}{\sum_{b=1}^l BE_b} \quad \text{Gleichung 8}$$

In der Folge kann von einem konsistenten BE-System ausgegangen werden, wobei Eigenschaft 2 gilt:

$$0 \leq BE_b^N \leq 1 \quad \text{Eigenschaft 2}$$

Ein anschließender optionaler Stabilitätstest zeigt der Arbeitsplanungs-KPZ, in wie weit die errechneten normierten Relationen zwischen den BE den eigenen Erfahrungen entsprechen und wie gut die Relationen in den prognostizierten Wertschöpfungsumfänge wieder gespiegelt werden.

Parallel zur Gewichtung der BE kann die Bewertung möglicher Fertigungsmethoden bezüglich ihrer Eignung zur Umsetzung der jeweiligen Prozessschritte erfolgen. Dazu dienen die im Rahmen des Zielsystems definierten Kriterien als Bewertungsziele. Unter diesem Aspekt werden für jeden Prozessschritt alle möglichen Fertigungsmethoden entsprechend der jeweiligen Kriterien bewertet. In diesem Zusammenhang sind folgende Szenarien der Vergabe von Eignungswerten denkbar:

- paarweise Vergleiche,
- die Vergabe von absoluten Eignungswerten<sup>146</sup> oder
- die Vergabe von Eignungswerten auf Prozentbasis.

Im Ergebnis der Bewertung werden die Eignungswerte der Fertigungsmethoden ( $FM_{Ki, PSp}$ ) in Abhängigkeit von Kriterium und Prozessschritt entsprechend Gleichung 9 normiert ( $FM_{Ki, PSp}^N$ ) und anschließend mit den normierten Kriteriengewichten multipliziert.

$$FM_{Ki, PSp}^N = \frac{FM_{Ki, PSp}}{\sum_{i=1}^n FM_{Ki, PSp}} \quad \text{Gleichung 9}$$

Die Normierung erfolgt zur Sicherung der Vergleichbarkeit aller Fertigungsmethoden entsprechend der Eigenschaft 3.

$$0 \leq FM_{Ki, PSp}^N \leq 1 \quad \text{Eigenschaft 3}$$

Im Ergebnis können somit normierte und gewichtete Fertigungsmethodenteilnutzwerte ( $FM_{Ki, PSp}^T$ ) je Kriterium und innerhalb eines Prozessschrittes berechnet werden (Gleichung 10).

$$FM_{Ki, PSp}^T = K_i^G \cdot FM_{Ki, PSp}^N \quad \text{Gleichung 10}$$

<sup>146</sup> Entsprechend eines dezimalen Schlüssels von eins für sehr wenig geeignet bis 10 ausgezeichnet geeignet.

Anschließend sind diese Fertigungsmethodeneignungswerte je Kriterium zu addieren (Gleichung 11). Dadurch können Fertigungsmethodengesamtnutzwert je Prozessschritt berechnet ( $FM_{PSp}^S$ ) und zur Sicherung der Vergleichbarkeit entsprechend Gleichung 12 wieder normiert werden ( $FM_{PSp,f}^{S,N}$ ).

$$FM_{PSp}^S = \sum_{i=1}^n FM_{Ki,PSp}^T \quad \text{Gleichung 11}$$

$$FM_{PSp,f}^{S,N} = \frac{FM_{PSp,f}^S}{\sum_{f=1}^k FM_{PSp,f}^S} \quad \text{Gleichung 12}$$

Abschließend sind die normierten und vollständig gewichteten Fertigungsmethodeneignungswerte entsprechend ihres Wertschöpfungsanteils ( $FM_{PSp,f}^V$ ) mit den jeweils zuvor summierten<sup>147</sup> und normierten<sup>148</sup> Wertschöpfungsanteilen der BE je Prozessschritt ( $BE_{PSp}$ ) zu multiplizieren (Gleichung 14).

$$BE_{PSp} = \sum_{b=1}^c BE_{b,PSp}^N \quad \text{Gleichung 13}$$

$$FM_{PSp,f}^V = FM_{PSp,f}^{S,N} \cdot BE_{PSp} \quad \text{Gleichung 14}$$

Mit Hilfe dieser Bewertung möglicher Fertigungsmethoden entsprechend den Fertigungsaufgaben im Rahmen der Prozessschritte sowie der Einbeziehung des jeweiligen Wertschöpfungsumfangs erfolgt das Rating (die Gliederung) der jeweiligen Fertigungsmethoden auf Prozessschritzebene. Dazu werden die für jeden Prozessschritt errechneten normierten, vollständig gewichteten (in Bezug auf die Kriterien und BE) Fertigungsmethodeneignungswerte ihrem absoluten Werte nach aufsteigend sortiert. Die zu favorisierende Fertigungsmethode ist durch den größten vollständigen Fertigungsmethodengesamtnutzwert des Prozessschrittes p für die Fertigungsmethode f gekennzeichnet ( $FM_{PSp,f}^V$ ).

Nach dieser Zusammenstellung kann im Rahmen eines optionalen Stabilitätstests die Relation zwischen den Fertigungsmethodeneignungswerten überprüft und gegebenenfalls korrigiert<sup>149</sup> werden. Nach Abschluss der Fertigungsmethodeneignungs-Bewertung erfolgt die Zusammenfassung dieser zu Prozessketten entsprechend den definierten Prozessschritten. Dabei werden jeweils die Fertigungsmethoden mit den höchsten Eignungswerten als am besten geeignet zusammengefasst. Somit entsteht ein Prozesskettenranking, bei welchem die höchsten Bewertungszahlen die beste Eignung entsprechend den Randbedingungen repräsentieren. Im Anschluss kann wiederum als optionaler Schritt die Stabilität der Prozessketten überprüft werden. Dabei stehen die jeweiligen Relationen zwischen den Prozessketten im Fokus der Betrachtungen. Ist die Arbeitsplanungs-KPZ der Ansicht, dass die berechneten Relationen nicht den intuitiv favorisierten Technologiekombinationen entsprechen, kann im Rahmen eines Iterationsschrittes die Stabilität der Prozessketten überprüft

<sup>147</sup> Diese Berechnung erfolgte mit Hilfe der Gleichung 13.

<sup>148</sup> Diese Berechnung erfolgte mit Hilfe der Gleichung 8.

<sup>149</sup> Dies kann durch die Variation der Fertigungsmethodenbewertung oder der BE-Wertigkeiten erreicht werden.

werden. Dazu sind sowohl die vergebenen Eignungswerte der Fertigungsmethoden als auch die BE-Wertigkeitsanteile zu verändern.

Wird das Ergebnis als tragfähig eingeschätzt, werden im Rahmen des **dritten Bewertungsschrittes** (Bewertungsergebnis) in Analogie zur Ermittlung der vollständigen Fertigungsmethodengesamtnutzwerte die normierten Prozessketteneignungswerte mit den zugehörigen normierten Rohteileignungswerten zu Prozessvarianteneignungswerten zusammengeführt (vgl. Abbildung 33). Es ist dabei diejenige Prozessvariante als geeignetste anzusehen, welche den höchsten Wert aufweist. Zur Sicherung der Vergleichbarkeit werden dafür im Vorfeld entsprechend normierte Eignungswerte im Rahmen eines Konsistenzabgleichs ermittelt<sup>150</sup>. Abschließend besteht wieder im Rahmen eines optionalen Stabilitätstests die Möglichkeit, durch Veränderung an den Variablen einer Prozessvariante deren Robustheit zu überprüfen. Die favorisierte Prozessvariante dient für die nachfolgende Suche nach geeigneten Fertigungs-KPZ mit einem technisch-technologischem Fokus als Ausgangspunkt zur gezielten Informationsanreicherung.

Die Beschreibung der damit in Verbindung stehenden Informationsweitergabe erfolgt im Rahmen der Bildung von Anforderungsvektoren. (Die speziell für die Einbindung dieser entwickelte Systematik wird anschließend vorgestellt.)

### 7.3.1.3 Informationstechnische Integration mittels Anforderungsvektoren

Im Rahmen der informationstechnischen Integration ist die geeignetste Prozessvariante in einen Prozessplan zu überführen. Dieser dient dem IMK als Eingangsinformation zur Suche nach Fertigungs-KPZ im Kompetenznetz. Somit besteht eine weitere Aufgabe in der Gestaltung dieser Schnittstelle zwischen dem Partialmodell der Arbeitsplanung und dem IMK.

Zur Umsetzung dieser Aufgaben wurde eine Systematik entwickelt, auf deren Basis mit Hilfe sogenannter Anforderungsvektoren eine entsprechend rechnerunterstützte Informationstransformation erfolgen kann (Abbildung 37). Dabei werden als Anforderungsvektoren informationstechnisch verarbeitbare Informationsträger definiert, welche auf Basis von Prozessschritten konkrete Fertigungsaufgaben mit Hilfe ergänzender Merkmale charakterisieren. Zur vollständigen Abbildung der Wertschöpfungsumfänge erfolgt auf Grundlage von Anforderungsvektoren eine einzelteilbezogene Kombination dieser in Form eines Prozessplanes. In der Folge können Fertigungs-KPZ weitestgehend automatisiert im Kompetenznetz identifiziert<sup>151</sup>, nach betriebswirtschaftlichen Kenngrößen bewertet<sup>152</sup> und auftragsabhängig vernetzt<sup>153</sup> werden.

Der spezielle Anspruch an die entwickelte Systematik besteht in der Informationsreduktion auf wesentliche Beschreibungsmerkmale. Dadurch soll einerseits eine zielgerichtete Kan-

---

<sup>150</sup> Auf eine nähere Darstellung entsprechender Gleichungen wird an dieser Stelle verzichtet, da analoge Berechnungsabläufe wie in den Gleichungen 9 bis 14 auf einem lediglich höheren Betrachtungsniveau (PK, PV) auszuführen sind.

<sup>151</sup> Mit Hilfe der Funktionalität des ICIx des IMK.

<sup>152</sup> Mit Hilfe von AHP erfolgt bspw. eine multikriterielle Bewertung als Funktionalität innerhalb des EVCM.

<sup>153</sup> Mit Hilfe des Optimierungsverfahrens der Ant-Colony-Optimization als Funktionalität innerhalb des EVCM erfolgt eine Vernetzung der geeignetsten Fertigungs-KPZ.



didatenauswahl auf Kompetenznetzebene (IMK) und andererseits eine aufwandsarme Integration der jeweils selektierten Fertigungs-KPZ auf Produktionsnetzebene (EVCM) sichergestellt werden. Dies basiert auf einer Komplexitätsreduktion, da sich der Anforderungsvektor unter Beachtung der erforderlichen Funktionalität auf bestimmende Parameter beschränkt. Umgesetzt wird dies durch den Einsatz von entsprechend strukturierten Merkmalen (allgemein und spezifisch). Einerseits gestatten diese eine zielgerichtete Suche nach Fertigungs-KPZ im Kompetenznetz und unterstützen andererseits die notwendige interne Fertigungsplanung durch eine stringende Verwaltung der vorhandenen technisch-technologischen Kompetenz auf Basis der im Anforderungsvektor enthaltenen Informationen im Produktionsnetz. Nachfolgend wird die entwickelte Systematik zur Bildung von Prozessplänen beschrieben.

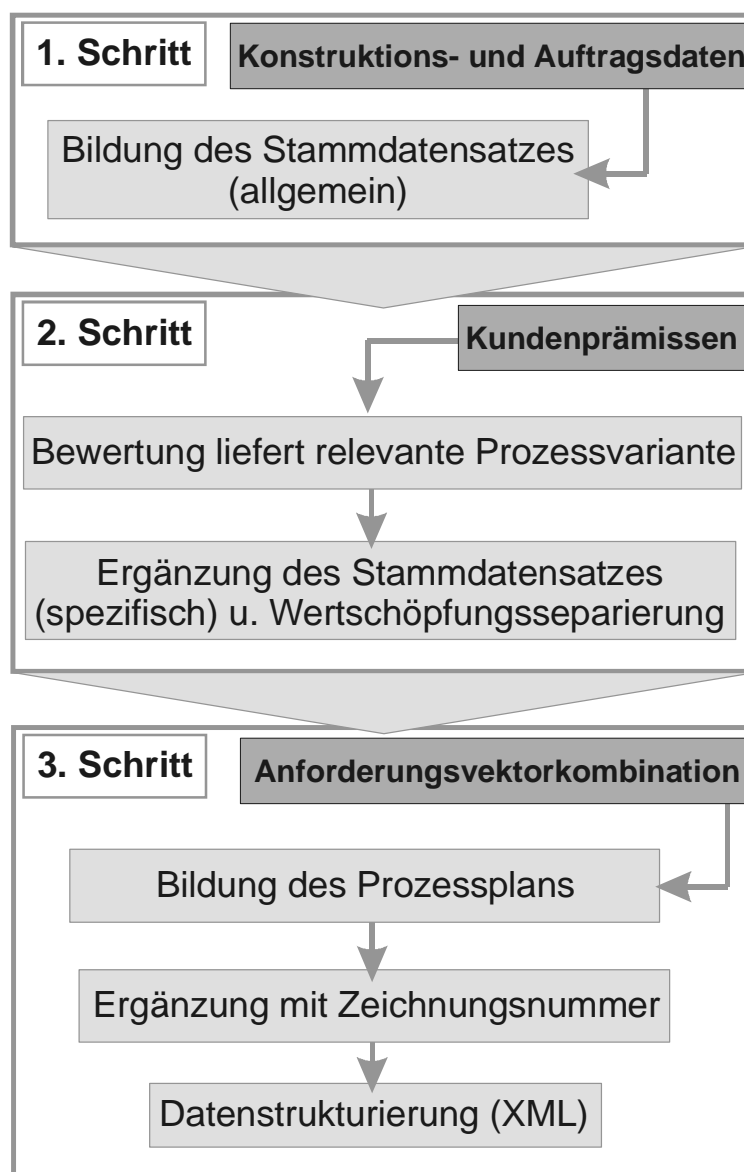


Abbildung 37: Systematik zur Bildung des Prozessplans.

Im Rahmen des **ersten Schrittes** der entwickelten Systematik erfolgt eine Analyse und Strukturierung der Eingangsdaten, welche sich aus Auftrags- und Konstruktionsdaten zu-

sammensetzen. Dabei werden entsprechende Basisinformationen auf Grundlage der Fertig- und Rohteilbetrachtung in Form eines Stammdatensatzes abgeleitet. Zu diesen zählen bspw. die Stückzahl, der verwendete Werkstoff, das Fertigteilegewicht, die Fertigteileabmessungen sowie der avisierte Liefertermin und der gewünschte Lieferort. Somit sind die weitestgehend auf den geometrischen Endzustand des Fertigungsteils bezogenen Informationen entsprechend den zu durchlaufenden Wertschöpfungsabschnitten zu separieren und mit weiteren Merkmalen zu vervollständigen. Dabei ist zu beachten, dass die Informationsinhalte der Anforderungsvektoren neben einer automatisierten Produktionsnetzkonfiguration auch einen effizienten Produktionsnetzbetrieb (Angebotskalkulation und KPZ-interne Fertigungsplanung) ermöglichen sollen. Zur Sicherstellung dieser Anforderungen erweist es sich als notwendig, die Stammdaten entsprechend zu strukturieren und mit weiteren Parametern in Abhängigkeit des jeweiligen Wertschöpfungsabschnitts zu vervollständigen. In der Folge entsteht ein Gerüst wesentlicher Parameter, welche für die Phasen Produktionsnetzbildung und Produktionsnetzbetrieb erforderlich sind und auf den generierten Prozessvarianten aufbauen. In Tabelle 7 werden die wesentlichen Stammdaten von Anforderungsvektoren sowie deren Struktur dargestellt.

Das derart entstandene Informationsgerüst relevanter Daten wird im Rahmen des **zweiten Schrittes** mit weiteren, die jeweilige Wertschöpfungsaufgabe detaillierenden technisch-technologischen Parametern vervollständigt. Dabei dienen die in Form von Prozessschritten definierten Fertigungsumfänge als Basis für die Separierung und Vervollständigung mit spezifischen Daten. Als Voraussetzung dazu werden entsprechend des generierenden Abschnitts der hybriden Arbeitsplanung entwickelte und entsprechend den definierten Kundenprämissen bewertete Prozessvarianten benötigt. Für eine zielgerichtete Datenreduktion wird in einer ersten Näherung lediglich die am besten bewertete Prozessvariante für eine weiterführende Untersetzung des im ersten Schritt gebildeten Stammdatentablos herangezogen. In der Folge werden die spezifischen Informationen entsprechend Tabelle 7 ergänzt, wodurch eine Transformation von Prozessschritten der geeignetsten Prozessvariante in Anforderungsvektoren erfolgt. Durch die vorgegebene Anordnungsstruktur der Prozessschritte entsteht anschließend auf Basis der betrachteten Prozessvariante ein Prozessplan. Dabei vollzieht sich durch eine gezielte Informationsanreicherung aus den entsprechenden Prozessschritten die Transformation zu Anforderungsvektoren. Diese stellen als speziell für hierarchielose Produktionsnetze zugeschnittene Informationsträger in der Folge eine wesentliche Schnittstelle innerhalb des Informationsflusses von der Arbeitsplanung, über den Eignungsabgleich des IMK und den finalen Auswahlentscheidungen im Rahmen des EVCM, bis zur zielgerichteten Fertigungsplanung der im Produktionsnetz arbeitenden Fertigungs-KPZ dar.

Anforderung	Informationsausprägung	
	allgemein	spezifisch
Produktionsnetz-konfiguration	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Stückzahl</li> <li>• Werkstoff</li> <li>• Fertigungsteilgewicht</li> <li>• Fertigungsteilabmessungen</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Fertigungsmethode</li> <li>• Eignungswert der Fertigungsmethode</li> <li>• BE-Bezeichnung(en)</li> <li>• Oberflächenangaben</li> <li>• Toleranzangaben</li> <li>• relevante technologische Relationen</li> </ul>
Produktionsnetz-betrieb	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Liefertermin</li> <li>• Lieferort</li> <li>• Lieferart</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• BE-Abmessungen</li> </ul>

Tabella 7: Sicht auf die Informationsstruktur der Anforderungsvektoren.

Mit Hilfe der enthaltenen technologischen Daten kann die Fertigungsplanung innerhalb der Fertigungs-KPZ im Rahmen des Produktionsnetzbetriebes zielgerichtet auf der Grundlage des projektierenden Abschnitts der hybriden Arbeitsplanungsmethodik erfolgen. Somit stellen die in den Anforderungsvektoren aggregierten Informationen nicht nur die Überführung des Prozessplans in den Fertigungsvariantenplan sicher. Vielmehr werden auch nach erfolgter Vernetzung der geeignetsten Fertigungs-KPZ im Rahmen des verteilten Fertigungsvariantenplans die Fertigungs-KPZ bei der internen Fertigungsplanung unterstützt, indem entsprechend strukturierte Parameter die Suche nach ähnlichen Bearbeitungsaufgaben verbessern. Vor diesem Hintergrund erweist es sich im Rahmen des abschließenden **dritten Schrittes** der entwickelten Systematik zur Anforderungsvektorbildung als notwendig, die Informationen des Prozessplans in ein geeignetes Austauschformat zu überführen. Dies erfolgt mit Hilfe einer XML-Datei<sup>154</sup>. Dieses Dateiaustauschformat wurde unter anderem gewählt, da es

- anwendungsneutral ist,
- nur geringe Tool-Unterstützung erfordert /BOEH-01/ und
- führende Softwareanbieter wie Microsoft oder SAP

ebenfalls "auf diesen offenen Internet-Standard setzen" /LING-02/. Für die vorliegende Anwendung bietet dieses Austauschformat auf Grund seiner Verbreitung und guten Handhabbarkeit weitere Vorteile. Im Ergebnis können die relevanten Informationen des Prozessplans mit einer definierten Struktur<sup>155</sup> an den IMK übertragen werden. Darüber hinaus ist es auf dieser Basis möglich, einen konsistenten Datenfluss zu weiteren IT-

<sup>154</sup> XML (Extensible Markup Language) ist eine standardisierte Datenbeschreibungssprache und wurde speziell für den Datenaustausch zwischen Anwendungen ausgelegt.

<sup>155</sup> Dazu bietet sich eine DTD (Document Type Definition) als gestaltbare Strukturierungsvorschrift an.

Werkzeugen<sup>156</sup> des hierarchielosen Produktionsnetzes oder aber auch direkt zu den Fertigungs-KPZ<sup>157</sup> zu gewährleisten. In der Folge entsteht ein durchgängiger Informationsfluss von der Produktionsnetzkonfiguration bis zum Produktionsnetzbetrieb, wodurch ein erkanntes Defizit (vgl. Abschnitt 5.3) in existierenden KMU-Netzwerken eliminiert wurde.

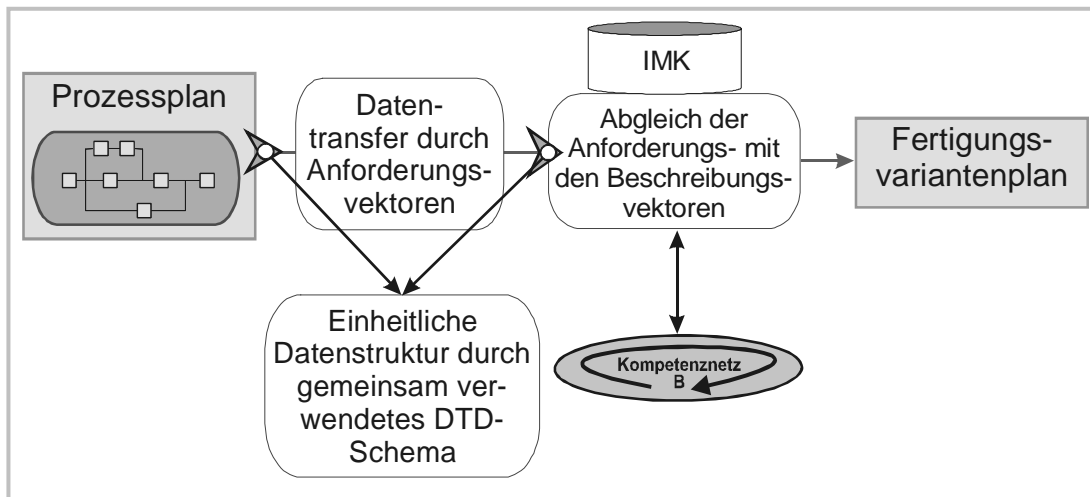


Abbildung 38: Sicht auf die informationstechnische Schnittstellengestaltung zum IMK.

Entsprechend der Anforderung zur aufwandsarmen Fertigungsplanung innerhalb der Fertigungs-KPZ erhält jeder Prozessplan auch einen Verweis auf die zugehörige Zeichnungsnummer des zu Grunde liegenden Einzelteils. Dadurch wird der direkte und aufwandsarme Zugriff auf die Konstruktionsunterlagen gesichert und die Häufigkeit von Konkretisierungsfragen bezüglich des Wertschöpfungsumfangs auf ein Mindestmaß reduziert. Auf Grundlage dieser Systematik ist es möglich, Auftrags- und Konstruktionsdaten, unter Beachtung relevanter Kundenprämissen, in technologiegetragene Suchmuster (Anforderungsvektoren) zu transformieren. Dadurch kann der IMK auf Grundlage des Prozessplans eine Zuordnung von geeigneten Fertigungs-KPZ durchführen<sup>158</sup> (Abbildung 38) und anschließend ein auf die spezifischen auftragsabhängigen Bedingungen zugeschnittenes Produktionsnetz<sup>159</sup> konfiguriert werden.

### 7.3.2 Projektierender Abschnitt der hybriden Arbeitsplanungsmethodik

Der zweite Planungsabschnitt der hybriden Arbeitsplanungsmethodik beinhaltet arbeitsplanungsrelevante Aufgaben zur Sicherung des Produktionsnetzbetriebes mit dem Fokus auf die Fertigungs-KPZ. In diesem Rahmen erfolgt im Unterschied zum generierenden Abschnitt der hybriden Arbeitsplanungsmethodik auf Basis vorhandenen Datenmaterials eine auftragsgebundene und ressourcenabhängige Betrachtung der relevanten Planungsabläufe. Entsprechend den in Abschnitt 3 definierten Untersuchungszielen besteht hierbei nicht der

<sup>156</sup> Dazu zählen bspw. das EVCM oder das Qualitäts-Informationssystem (QIS).

<sup>157</sup> Zum Beispiel Softwarelösungen zum Verwalten von Arbeitsplänen oder CAM-Systemen mit einer Funktion zur NC-Programm-Verwaltung.

<sup>158</sup> Es entsteht der Fertigungsvariantenplan.

<sup>159</sup> Das EVCM selektiert aus dem Fertigungsvariantenplan die jeweils geeignetsten Fertigungs-KPZ zu einem verteilten Fertigungsvariantenplan aus.

Anspruch, identifizierte Schwachstellen<sup>160</sup> im Zuge weiterführender Betrachtungen innerhalb der vorliegenden Arbeit näher zu untersuchen. Es wird jedoch im Rahmen einer ganzheitlichen Darstellung der hybriden Arbeitsplanungsmethodik für notwendig erachtet, deren prinzipielle Praktikabilität darzustellen. In der Folge sind nach Möglichkeit existierende Vorgehensweisen und Beschreibungen für diesen Abschnitt der Arbeitsplanung in die spezifischen Gegebenheiten des hierarchielosen Vernetzungsmodells zu integrieren, wobei folgende Aufgaben im Rahmen dieser Arbeit betrachtet werden.

1. Auf Basis der existierenden Beschreibungen von Ressourcen zur Fertigung in KMU ist eine prinzipielle Bildungsmethodik von Beschreibungsvektoren zur Transformation dieser existierenden Wertschöpfungseinheiten in Fertigungs-KPZ als Gegenstück zu den Anforderungsvektoren zu erarbeiten. Im Rahmen dieser Aufgabenstellung wird somit ein Beitrag zur Bildung von Kompetenznetzen<sup>161</sup> geleistet.
2. Für eine effektive und zeitnahe Angebotskalkulation durch die Fertigungs-KPZ besteht entsprechend der nachgefragten Wertschöpfungsumfänge (repräsentiert in Form von Anforderungsvektoren) im Rahmen des projektierenden Planungsabschnittes die Aufgabe, die Nutzung von vorhandenen Planungsunterlagen unter Beachtung der Randbedingungen sicherzustellen.
3. Für die Durchführung der jeweiligen Fertigungsaufgabe sind die existierenden Planungsunterlagen in den Fertigungs-KPZ (z. B. über verwendete Werkzeuge, Aufspannungen, NC-Programme) effizient zu suchen und gegebenenfalls zu modifizieren. Es wird an dieser Stelle darauf hingewiesen, dass hier lediglich der Nachweis der besseren Eignung der projektierenden Vorgehensweise zur Umsetzung<sup>162</sup> dieser Aufgaben Betrachtungsgegenstand ist.

---

<sup>160</sup> Bezugnehmend auf die empirischen Untersuchungen werden für diesen Planungsabschnitt keine konzeptionellen, methodischen Lösungsansätze erarbeitet.

<sup>161</sup> Vergleiche Ebene B, Abbildung 3, Abschnitt 4.2.

<sup>162</sup> Im Rahmen einer projektierenden Arbeitsplanungsmethodik.

Wie bereits im Abschnitt 7.3 beschrieben, wird für derartige Aufgaben im Rahmen hierarchieloser Produktionsnetze die projektierende Arbeitsmethodik als vorteilhaft erachtet. Zur Abstützung dieser Aussage dienen nachfolgende Ausführungen, wobei in Abbildung 39 der entsprechende Informationsfluss des relevanten Planungsabschnittes dargestellt ist. Auf dieser Basis erfolgt eine nähere Betrachtung der zu lösenden Aufgaben. Die bessere Eignung der projektierenden Arbeitsplanungsmethodik resultiert unter anderem aus dem hohen Spezialisierungsgrad der Fertigungs-KPZ in Verbindung mit neuen Methoden der Informatik zur Wissenserfassung, -abbildung und -verwaltung (z. B. semistrukturale Datenbanksysteme (vgl. /NEUB-01a/) oder neuartige, mehrdimensionale Indexstrukturen zur Suche darin (vgl. /NEUB-02/)). Die Datenhaltung kann dabei entsprechend dezentral an die Fertigungsmöglichkeiten und -historie der konkreten Fertigungs-KPZ gekoppelt sein. Auftragspezifische Anpassungen vorhandener Arbeitsabläufe bezüglich einer angefragten Wertschöpfungsaufgabe beschränken sich durch den hohen Spezialisierungsgrad auf eine überschaubare Anzahl von Varianten, wodurch sich der relevante Suchraum eingrenzt und ähnliche Planungsinhalte gefunden und genutzt werden können. Auf deren Basis sind zu erwartende Änderungen entsprechend der vorgegebenen Methodik durchzuführen.

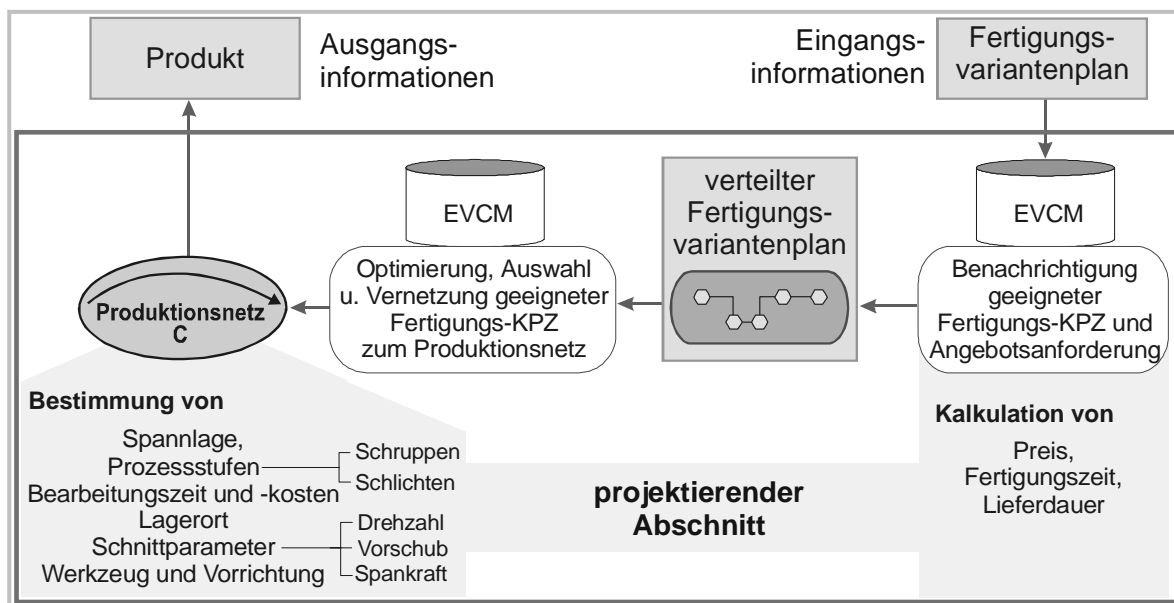


Abbildung 39: Informationsfluss des projektierenden Planungsabschnittes der hybriden Arbeitsplanungsmethodik.

Mit Hilfe der projektierenden Vorgehensweise zur Erstellung von Arbeitsabläufen in den Fertigungs-KPZ (z. B. Anpassung der technologischen Parameter vorhandener NC-Programme) wird eine Effizienzsteigerung bezüglich des Aufwandes für die eingangs beschriebenen Aufgaben

- zur Beschreibungssynchronisation mit dem Anforderungsvektor im IMK,
- der Angebotserstellung für das Auswahlverfahren durch das EVCM sowie
- bei der Arbeitsablaufgestaltung im Rahmen der Teilnahme am Produktionsnetz (vgl. Phase C<sub>2</sub> Abbildung 3)

in hierarchielosen Produktionsnetzen angestrebt. Die Nutzung der objektorientierten Modellierungsmethodik (vgl. Abschnitt 4.5) zur Beschreibung und Abbildung relevanter Vorgänge und Informationen unterstützt die Pflege und Erweiterbarkeit der zur Umsetzung der projektierenden Methodik notwendigen Datenverwaltung bzw. –erweiterung. Dies wird nicht zuletzt durch den Einsatz von Vererbungsmechanismen möglich, da die erforderlichen Referenzen dadurch bereits im Rahmen des Analysemodells implementiert wurden. Etwaige Änderungen im Datenbankschemata der vorhandenen Planungsunterlagen können in der Folge aufwandsarm durchgeführt werden. Zusätzlich unterstützen die neuartigen, mehrdimensionalen Indexstrukturen des ICIx speziell eine effiziente und inhaltsorientierte Organisation der Datenhaltung in den Datenbanksystemen (vgl. Angebotsbank Abbildung 4) der Fertigungs-KPZ. Letztendlich führt die zu erwartende sehr hohe Wiederholhäufigkeit bezüglich der zu erbringenden Wertschöpfung zu ähnlichen Planungsinhalten, welche auf Basis der im IMK enthaltenen Funktionalitäten in praktikabler Weise verwaltet werden können.

Vor diesem Hintergrund ist deshalb für diesen speziellen Anwendungsfall die projektierende im Vergleich zur ebenfalls möglichen generierenden Vorgehensweise zu bevorzugen. Zum Nachweis der generellen Eignung sowie zur Sicherung der Praktikabilität der projektierenden Methodik für die Aufgaben im Rahmen dieses Planungsabschnittes sind die existierenden Datenverwaltungssysteme näher zu betrachten. Aus diesem Grund erweist es sich als notwendig, die aktuell anzutreffenden Gegebenheiten in KMU-Netzwerken zu untersuchen und im Rahmen der Auswertung entsprechende Lösungen für das erforderliche Datenhandling zu erarbeiten. Die Analyse zeigt, dass von sehr heterogenen Datenhaltungssystemen im Vorfeld der Bildung von Fertigungs-KPZ auszugehen ist. Dabei sind, beginnend mit erweiterten Funktionalitäten in ERP-Systemen<sup>163</sup> über entsprechende Archivierungswerkzeuge in CAM-Systemen<sup>164</sup> bis hin zu Lösungen mit Microsoft Office-Tools<sup>165</sup>, eine große Bandbreite unterschiedlichster Software bei KMU im Einsatz zu beobachten<sup>166</sup>. Diese Heterogenität stellt ein näher zu untersuchendes informationstechnisch geprägtes Problem<sup>167</sup> dar, welches im Rahmen dieser Arbeit nicht betrachtet wird. Es besteht jedoch der Anspruch, im Zuge eines ganzheitlichen Eignungsnachweises eine Möglichkeit zur einheitlichen Darstellung der entsprechenden Planungsinhalte und Planungsinformationen vorzustellen.

Aus diesem Grund wurde zur Umsetzung ein Systematisierungskonzept entwickelt, welches hilft, die relevanten Information der Fertigungs-KPZ entsprechend den Anforderungen in hierarchielosen Produktionsnetzen aufzubereiten bzw. zu transformieren. Im Ergebnis können die vorhandenen Information in den KMU für die Betrachtungsdomäne des projektierenden Abschnitts der hybriden Arbeitsplanungsmethodik mit meist geringem Anpassungsaufwand genutzt werden. In diesem Zusammenhang werden die bereits in Ab-

<sup>163</sup> Zum Beispiel im Rahmen des ERP-Systems Axapta von Microsoft /TROM-03/.

<sup>164</sup> Zum Beispiel im Rahmen von CIM-Lösungen der Firma Dlog GmbH, Olching /DLOG-03/.

<sup>165</sup> Zum Beispiel mit Hilfe von Excel- oder Accessdatenbanken.

<sup>166</sup> Eine Betrachtung dieser genutzten Systeme erfolgte im Rahmen der durchgeführten empirischen Untersuchungen (vgl. Abschnitt 5.3).

<sup>167</sup> Für diese informationstechnische Problemstellung werden im Rahmen entsprechender Forschungen bereits Lösungsmöglichkeiten diskutiert (vgl. /BENN-03/).

schnitt 7.3.1.1 beschriebenen BE als zielführende Informationsträger erachtet. Deshalb erfolgt eine nähere Betrachtung dieses informationstechnischen Hilfsmittels mit dem Fokus einer anzustrebenden Systematisierung bei der Abbildung von ressourcengebundenen Planungsunterlagen.

Einleitend kann festgestellt werden, dass eine derartige Klassifizierung zur aufwandsarmen rechentechnischen Weiterverarbeitung vorhandenen technisch-technologischem Know-hows bereits im Rahmen anderer Aufgabenstellungen mit ähnlichem Hintergrund<sup>168</sup> Anwendung findet. Weiterhin ist es möglich, diese sehr spezifischen Forschungsaktivitäten in zwei Vorgehensweisen zu untergliedern. Der erste Ansatz baut auf einer entsprechenden konstruktiven Umsetzung in Form eines CAD-Datensatzes auf, wobei durch eine nachträgliche Formerkennung in diesen CAD-Datensätzen im Rahmen einer CAM-Weiterverarbeitung auf Basis von BE sinnvolle Bearbeitungsstrategien generiert und kombiniert werden<sup>169</sup>. Der zweite Forschungsansatz integriert technologische Parameter direkt in den Konstruktionsprozess durch eine entsprechende Untersetzung der genutzten Konstruktionselemente. Dabei dienen sogenannte Bearbeitungs-Features als Basis zur Anreicherung existierender konstruktiver Formelemente mit technologischen Informationen<sup>170</sup>. In Anlehnung und Fortführung dieser Arbeiten werden auch im Rahmen der projektierenden Methodik BE als Strukturierungsinstrument zur Systematisierung des existierenden technisch-technologischen Know-hows von Fertigungs-KPZ eingesetzt. Aufgrund der gestellten Aufgaben im Rahmen dieser Arbeit erweist es sich dabei als nicht zwingend, sich auf eine der beiden beschriebenen Vorgehensweisen festzulegen. Vielmehr werden auf Grundlage dieser Untersuchungen BE als das geeignete Hilfsmittel angesehen, um entsprechend den vorliegenden Randbedingungen die formulierten Anforderungen in geeigneter Weise umsetzen zu können. Es erweist sich jedoch als notwendig, die vielfältigen Merkmalsausprägungen von BE auf die Bedingungen der Betrachtungsdomäne anzupassen. In der Folge erscheint es mit vertretbarem Aufwand möglich, auf Basis von BE die existierenden und an die jeweilige Fertigungsressource gebundenen Beschreibungsparameter der KMU entsprechend zu systematisieren, um diese anschließend für die Bildung von Fertigungs-KPZ im IMK, der Angebotskalkulation für das EVCM sowie zur Sicherstellung des Produktionsnetzbetriebs zu nutzen.

Als Ergebnis können mit Hilfe der BE die technisch-technologischen Potentiale der gebildeten Fertigungs-KPZ entsprechend den Anforderungen zur Verwaltung im IMK identifiziert und rechentechnisch nutzbar beschrieben werden (Abbildung 40). Dabei dienen Merkmale wie

---

<sup>168</sup> Ähnlich wie bei der im Rahmen dieser Arbeit favorisierten projektierenden Methodik geht es dabei auch um die aufwandarme Erfassung, Verwaltung und Anpassung von vorhandenem technologischem Prozesswissen.

<sup>169</sup> Zum Beispiel im Rahmen des SFB 360 „Situierete künstliche Kommunikatoren“ der Universität Bielefeld /SFB360-03/, durch Hoffhenke /HOFF-00/ in Anlehnung an den SFB 360 TP C1, durch Jurklies /JURK-03/ zur Lösung unternehmensnaher Problemstellungen im Formen- und Werkzeugbau oder durch Klauk /KLAU-94/ zur Kopplung von Expertensystemen.

<sup>170</sup> Zum Beispiel im Rahmen des SFB 361 an der RWTH Aachen /SFB361/, durch Trommler /TROM-01/, Weck im Rahmen von STEP-NC /WECK-01/ oder Franzke zur Kompetenzanalyse in produzierenden Unternehmen.



- konkrete Geometrieangaben bezüglich des Arbeitsraumes der Maschine,
- bearbeitbare Werkstoffe,
- maximale Werkstückgewichte,
- Qualitätseigenschaften,
- umsetzbare Fertigungsmethoden oder
- erzeugbare BE

beispielhaft zur weiteren Spezifizierung der gebildeten Wertschöpfungseinheiten. Auf dieser Grundlage können somit durch den IMK Fertigungs-KPZ im Kompetenznetz abgebildet, vorhandene Übereinstimmungen bezüglich der nachgefragten fertigungstechnischen Kompetenz<sup>171</sup> ermittelt und anschließend den jeweiligen Wertschöpfungsumfängen (in Form von Anforderungsvektoren) zugeordnet werden. Somit erfolgt eine Synchronisation von Anforderungsvektoren mit den Beschreibungsvektoren der Fertigungs-KPZ im IMK durch die Anlehnung entsprechender fertigungstechnischer Potentialbeschreibungen an die Merkmalsstruktur der Anforderungsvektoren. Im Ergebnis definieren diese Anforderungsvektoren die Schnittstelle zwischen dem Partialmodell der Arbeitsplanung und dem Partialmodell der Fertigung.

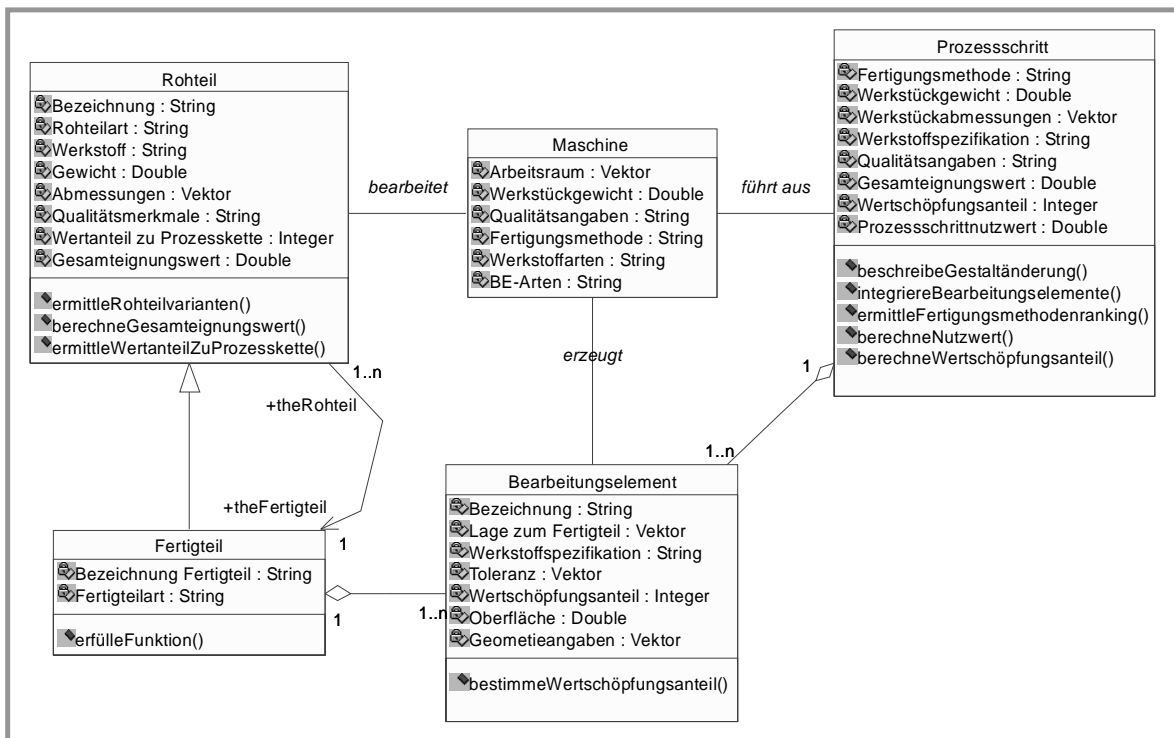


Abbildung 40: Analysemodell der Beschreibungsvektoren von Fertigungs-KPZ (Darstellung als UML-Klassendiagramm).

Entsprechend der im Rahmen der Bildung von Fertigungs-KPZ erarbeiteten Systematik zur einheitlichen Darstellung vorhandener technisch-technologischer Kompetenzen kann auch zur Suche im existierenden Datenstamm für die Angebotskalkulation und den Produkti-

<sup>171</sup> Im Rahmen der PhaseB<sub>2</sub>, Abbildung 3.

onsnetzbetrieb das informationstechnische Hilfsmittel BE dienen. Um dies zu erreichen, sind die vorhandenen Planungsabläufe entsprechend ihrer geometriebeeinflussenden Inhalte zu untersuchen und auf Grundlage des bestimmenden BE zu bezeichnen. Für eine feingliedrigere Unterscheidung von BE können weiterführend die bereits existierenden Merkmale der Fertigungs-KPZ herangezogen werden. Dadurch reduziert sich die Anzahl möglicher Varianten, welche für die Ableitung der aktuellen Planungsabläufe zu beachten sind. Die Fertigungs-KPZ entscheidet auf Basis eines Soll-Ist-Vergleiches, welche Planungs-schablone genutzt wird. Dabei ist es von untergeordneter Bedeutung, welche Aufgabe (Angebotskalkulation oder Planung des Fertigungsablaufs im Rahmen des Produktions-netzbetriebes) aktuell im Fokus steht. Die Einbringung der vorhandenen Kompetenz erfolgt jeweils auf Basis von BE, welche die benötigten weiterführenden Informationen be-reitstellen.

In diesem Zusammenhang sind die vielfältigen Facetten zur Modifikation des Datenmate-rials (von der Nutzung des vorhandenen NC-Programms über die steuerungsspezifische Anpassung eines existierenden DIN-Programms<sup>172</sup> bis zur Generierung eines neuen NC-Programms unter Verwendung einer gespeicherten Bearbeitungsstrategie) als Ausprägungen der projektierenden Methodik denkbar. Im Produktionsnetzbetrieb wird es möglich, mit Hilfe der projektierenden Methodik und auf Basis von BE existierende Arbeitsabläufe und arbeitsmittelabhängige technologische Parameter (z. B. Vorschub, Schnittgeschwin-digkeit) aufwandsarm zu verwalten, um sie auf die konkrete Bearbeitungsaufgabe anzupas-sen.

---

<sup>172</sup> Darunter wird ein maschinensteuerungsnutrales NC-Programm verstanden.

## 8 Ergebnisevaluierung

Die nachfolgenden Ausführungen dienen zur Evaluierung ausgewählter Modelle und Methoden, welche in den vorangegangenen Abschnitten beschrieben wurden. Dabei stehen speziell die in den Abschnitten 6.3 und 7.3.1 vorgestellten Ergebnisse (Partialmodell für Arbeitsplanungs-KPZ, Generierung eines Prozessplans) im Mittelpunkt der nachfolgenden Betrachtungen (Abbildung 41).

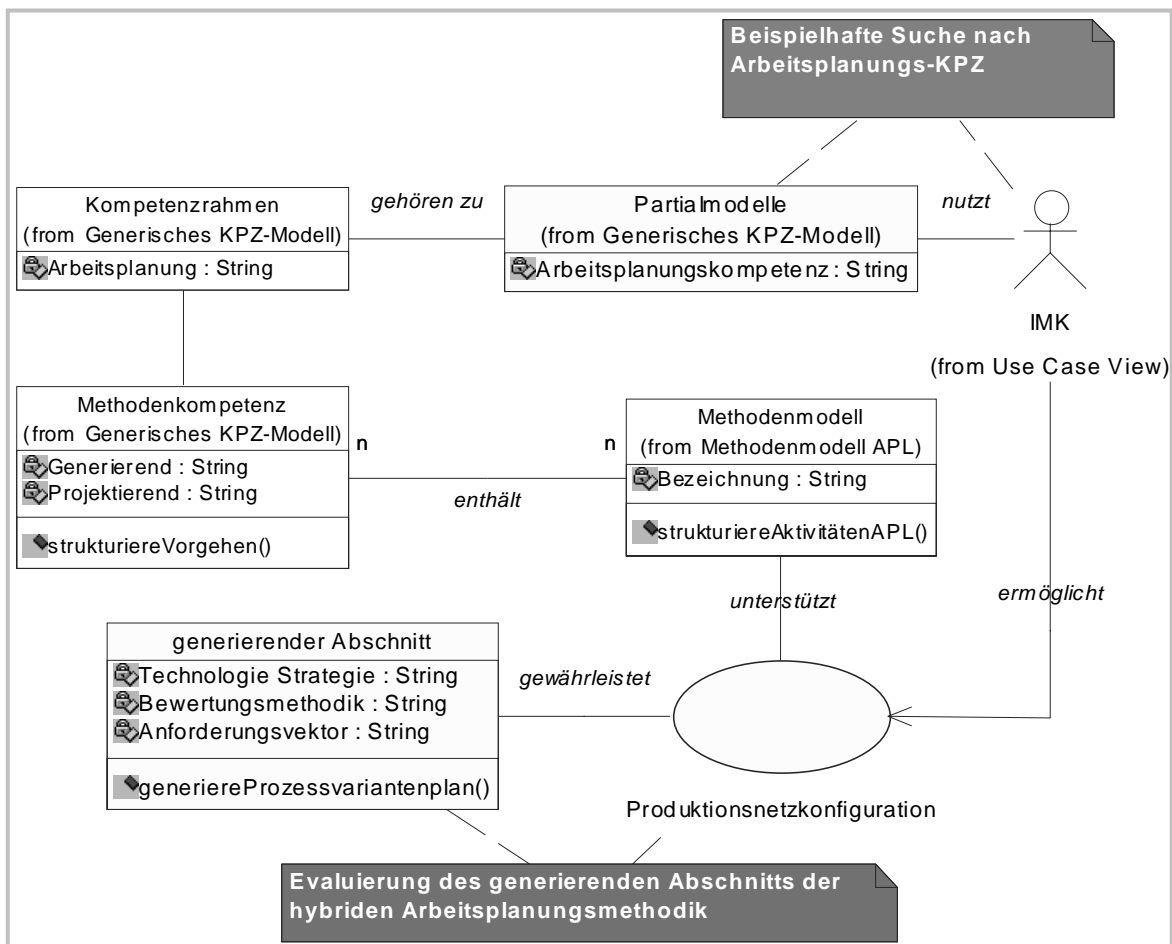


Abbildung 41: Einordnung der Evaluierungsschwerpunkte in das Partialmodellumfeld der Arbeitsplanung (Darstellung als UML-Klassendiagramm).

Im Rahmen des **ersten Evaluierungsschwerpunktes** steht speziell die **Schnittstelle des entwickelten Partialmodells der Arbeitsplanung zum IMK** im Fokus. In diesem Zusammenhang besteht der Anspruch, die vorliegenden Testdaten für ein Einzelteil des Referenzproduktes Montagezelle zur Überprüfung der Eignung der modellierten Merkmale im Partialmodell zu nutzen. Es wird beispielhaft demonstriert, wie eine Arbeitsplanungs-KPZ auf der Grundlage vorhandener Auftrags- und Konstruktionsdaten mit Hilfe des Partialmodells durch den IMK gesucht werden kann. Diese ist dann in der Lage, die erforderlichen Planungsaktivitäten zur Bildung eines Prozessplans für des ausgewählte Einzelteil der Montagezelle durchzuführen.

Im Rahmen des **zweiten Evaluierungsschwerpunktes** wird auf Basis der vorhandenen Testdaten **der generierende Abschnitt der hybriden Arbeitsplanungsmethodik** mit Un-

terstützung eines Software-Prototypen auf die geforderte Funktionalität hin getestet. Das Ziel der Evaluierung besteht somit in der beispielhaften Weitergabe eines Prozessplans für ein ausgewähltes Einzelteil der Montagezelle in Form einer XML-Datei. In Abbildung 41 ist der Zusammenhang der nachfolgenden Ausführungen zur Evaluierung im Umfeld des Partialmodells der Arbeitsplanung dargestellt.

Die erforderlichen Testdaten liefert eine Welle, welche als ein Fertigungsteil zum Montagesystem 21 gehört ( Abbildung 42).

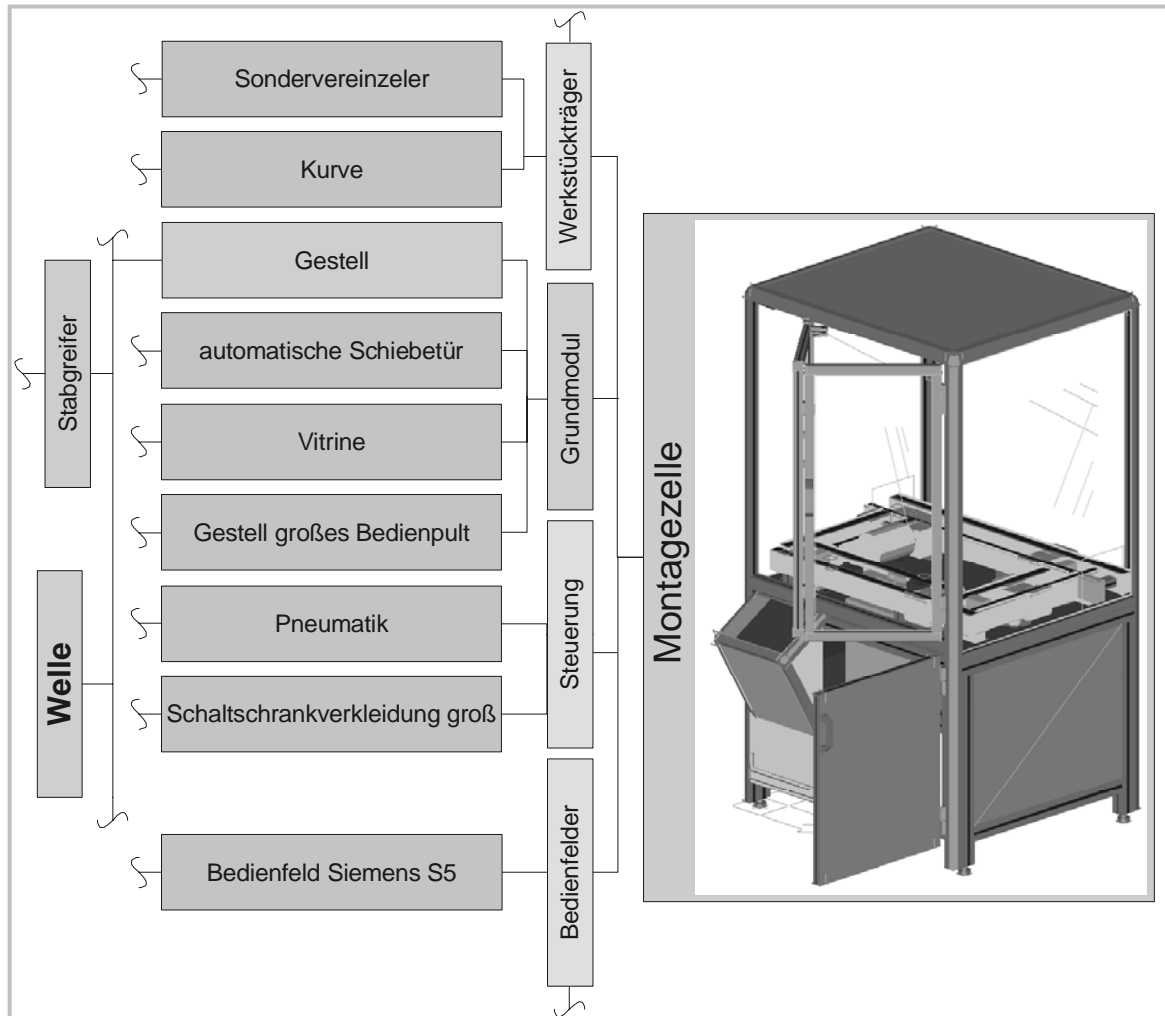


Abbildung 42: Einordnung des ausgewählten Einzelteiles „Welle“ im Referenzprodukt.

Wie bereits einleitend dargestellt besteht der Anspruch, die im Rahmen der Partialmodellbildung erarbeiteten Beschreibungsmerkmale zur Abbildung von Arbeitsplanungs-KPZ im IMK auf ihre Eignung entsprechend den Randbedingungen hierarchieloser Produktionsnetze zu evaluieren. Dazu werden auf Basis der konstruktiven Vorgaben der Welle des Referenzproduktes entsprechende Merkmale zur Suche nach geeigneter Arbeitsplanungskompetenz im Kompetenznetz abgeleitet. Mit Hilfe dieser Merkmale ist es anschließend dem IMK möglich, geeignete Arbeitsplanungs-KPZ aus dem Kompetenznetz zu selektieren, welche die Planungsaufgaben zur Konfiguration eines Produktionsnetzes für dieses Einzelteil erfüllen können. Die Evaluierung ist positiv zu bewerten, wenn auf der Grundlage der

in Abschnitt 6.3.2 beschriebenen Merkmale des Partialmodells die auftragsabhängigen und konstruktiven Vorgaben für eine Suche dadurch abgebildet werden können.

Weiterhin wird es für notwendig erachtet, speziell den generierenden Abschnitt der entwickelten hybriden Arbeitsplanungsmethodik auf seine Praktikabilität zu testen. Dies erfolgt in Kombination mit dem zweiten Evaluierungsschwerpunkt, welcher die Validierung der entwickelten Systematik zur Generierung von Prozessvariantenplänen am Beispiel des Referenzproduktes beinhaltet. Übergreifend besteht darüber hinaus das Ziel, entsprechend den jeweils betrachteten Untersuchungsschwerpunkten, das Zusammenwirken der erarbeiteten Methoden, Modelle und Systematiken mit den relevanten Instrumenten bezüglich des Informationsflusses von der Merkmalsbeschreibung zur Durchführung einer gezielten Suche im Kompetenznetz als Resultat der Prozessplanbildung unter praxisnahen Bedingungen darzustellen.

### 8.1 Zusammenstellung der Eingangsdaten

Auf Grund der sehr großen Anzahl von Fertigungsteilen (222) wird sich für die Evaluierung der bereits eingangs beschriebenen Ergebnisse auf das Einzelteil Welle der Montagezelle beschränkt, welche ein Bestandteil des Grundmoduls ist (vgl. Abbildung 42).

Mit Hilfe dieser Welle wird anschließend eine Suchanfrage nach einer geeigneten Arbeitsplanungs-KPZ auf Basis des entwickelten Partialmodells erarbeitet. Dadurch soll beispielhaft dargestellt werden, mit Hilfe welcher Eingangsinformationen es dem IMK gelingt, jeweils geeignete Arbeitsplanungs-KPZ aus dem Kompetenznetz zu selektieren. Im Anschluss dienen die Parameter der Welle zur Evaluierung des generierenden Abschnitts der hybriden Arbeitsplanungsmethodik.

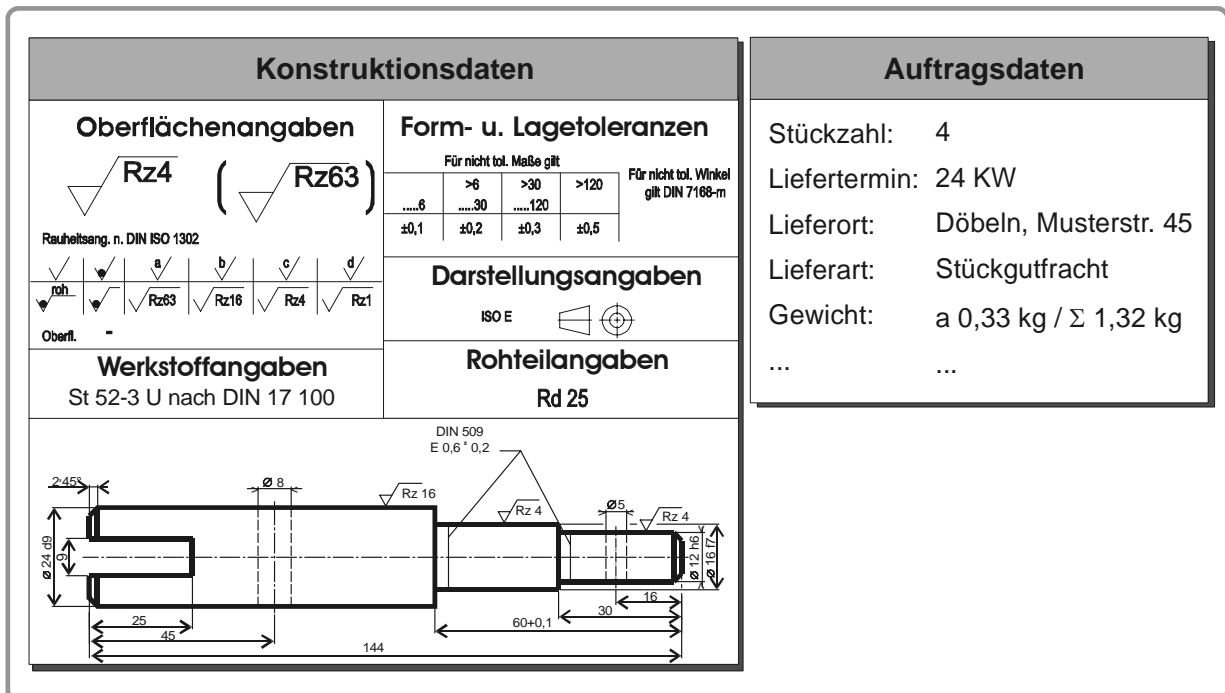


Abbildung 43: Sicht auf die Konstruktions- und Auftragsdaten für das gewählte Einzelteil Welle.

## 8.2 Beispielhafte Suche nach Arbeitsplanungs-KPZ

Im Rahmen dieses Beispiels ist es möglich, eine qualifizierte Suchanfrage entsprechend den im Partialmodell definierten Merkmalsbeschreibungen von Arbeitsplanungskompetenzen darzustellen. Dabei wird sich auf die **Arbeitsplanungsaktivitäten** innerhalb des generierenden Abschnitts der hybriden Arbeitsplanungsmethodik beschränkt. Somit sind die relevanten Aktivitäten gegeben (vgl. Tabelle 8).

Bezeichnung	Ausprägung
Arbeitsplanungsaktivitäten	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Generiere Prozessvarianten,</li> <li>○ Bewerte Prozessvarianten,</li> <li>○ Bilde Prozessplan</li> </ul>

Tabelle 8: Suchmerkmale bezüglich der nachgefragten Arbeitsplanungsaktivitäten.

Im nächsten Schritt besteht die Aufgabe, mit Hilfe der untersetzenden Modelle<sup>173</sup> die nachgefragten Aktivitäten (vgl. Tabelle 8) detaillierter zu beschreiben. Dabei kann im Rahmen dieses Beispiels auf die bereits erfolgte Zusammenstellung von Konstruktions- und Auftragsdaten zurückgegriffen werden (vgl. Abbildung 43). Somit ist es möglich, die relevanten Aktivitäten durch Beschreibungsmerkmale des **Geschäftsobjektmodells** weiter zu konkretisieren. Im Ergebnis dieser Überlegungen leiten sich somit folgende, in Tabelle 9 aufgeführten Merkmale ab.

Bezeichnung	Ausprägung
Einzelteilart	rotationssymmetrisch
Werkstoff	St 52-3 U nach DIN 17100
Qualitätsanforderungen	Rz 4; IT 3
Einzelteilabmessungen	Ø24x144
Stückzahl	4

Tabelle 9: Suchmerkmale auf Basis des Geschäftsobjektmodells.

Im nächsten Schritt erfolgt eine weitere Konkretisierung entsprechend erforderlicher **nicht-personeller Ressourcen**, welche zur Umsetzung der relevanten Arbeitsplanungsaktivitäten notwendig sind. Dabei wird von einer Repräsentation der Konstruktionsdaten im CAD-Programm Pro Engineer ausgegangen.

<sup>173</sup> Darunter werden die Beschreibungsmodelle des erarbeiteten Partialmodells (vgl. Abbildung 19) verstanden.

Bezeichnung	Ausprägung
Hardwareanforderungen	PC mit mind. INTEL Pentium III, 128 MB RAM, 20 GB HD
Schnittstellenanforderungen	Internet über ISDN oder DSL, MS Internetexplorer 6
Softwareanforderungen	Betriebssystem Windows XP, Pro Engineer 2000+, XML-Editor

Tabelle 10: Suchmerkmale auf Basis des nicht-personellen Ressourcenmodells.

In einem die Suchmerkmalsdefinition abschließenden Schritt werden die erforderlichen **Methodenkompetenzen** beschrieben (vgl. Tabelle 11).

Bezeichnung	Ausprägung
Arbeitsplanungsmethoden	hybrid
Fertigungsmethoden	Drehen, Schleifen, Bohren, Erodieren, Sägen, Fräsen, Scheren, Stoßen, Räumen

Tabelle 11: Suchmerkmale auf Basis des Methodenmodells.

Durch die Zusammenführung der in den Tabellen 8 bis 11 sowie der relevanten Arbeitsplanungsaktivität wird der IMK in die Lage versetzt, aus dem Kompetenznetz geeignete Arbeitsplanungs-KPZ zu selektieren. Die Aufstellung dieser Suchmerkmale im vorliegenden Beispiel stellt die Einbindung konkreter Konstruktions- und Auftragsdaten in das entwickelte Partialmodell der Arbeitsplanung dar. Somit kann die Anwendbarkeit des entwickelten Partialmodells in Bezug auf die Abbildung relevanter Merkmale als nutzbar angesehen werden. Die Entscheidung für eine konkrete Arbeitsplanungs-KPZ aus den mit Hilfe des IMK ausgewählten geeigneten erfolgt durch die im EVCN enthaltenen Funktionalitäten, bspw. zur Bewertung betriebswirtschaftlicher Kenngrößen. Somit obliegt es im Rahmen eines existierenden hierarchielosen Produktionsnetzes im Verantwortungsbereich der für die geschilderte Anforderung zur Bildung eines Prozessplans ausgewählten Arbeitsplanungs-KPZ, die nachfolgenden Planungsaktivitäten auszuführen.

### 8.3 Evaluierung des generierenden Abschnitts der hybriden Arbeitsplanungsmethodik

Entsprechend den eingangs beschriebenen Evaluierungsschwerpunkten erfolgt im Anschluss diesbezüglich eine Betrachtung des generierenden Abschnitts der hybriden Arbeitsplanungsmethodik. Auf Grundlage der dazu erarbeiteten Modelle und Algorithmen (vgl. Abschnitt 7.3) war es möglich, einen Software-Prototypen zu entwickeln. Dieser unterstützt die jeweiligen Arbeitsplanungsprozesse im Rahmen der Aktivität zur Prozessvari-  
antengenerierung, ermöglicht die automatisierte Berechnung der Eignungswerte innerhalb

der Prozessvariantenbewertung und aggregiert die relevanten Informationen der besten Prozessvariante zu einem Prozessplan. Die nachfolgenden Ausführungen werden mit Screenshots<sup>174</sup> dieses Software-Prototypen untersetzt.

Somit beginnt im Rahmen der **Aktivität zur Prozessvariantengenerierung** (vgl. Abschnitt 7.3.1.1) die Fertigungsstrategie-Bestimmung. Diese erfordert neben den bereits beschriebenen Konstruktions- und Auftragsdaten die Existenz einer Konstruktionszeichnung für das betrachtete Einzelteil Welle (Abbildung 44).

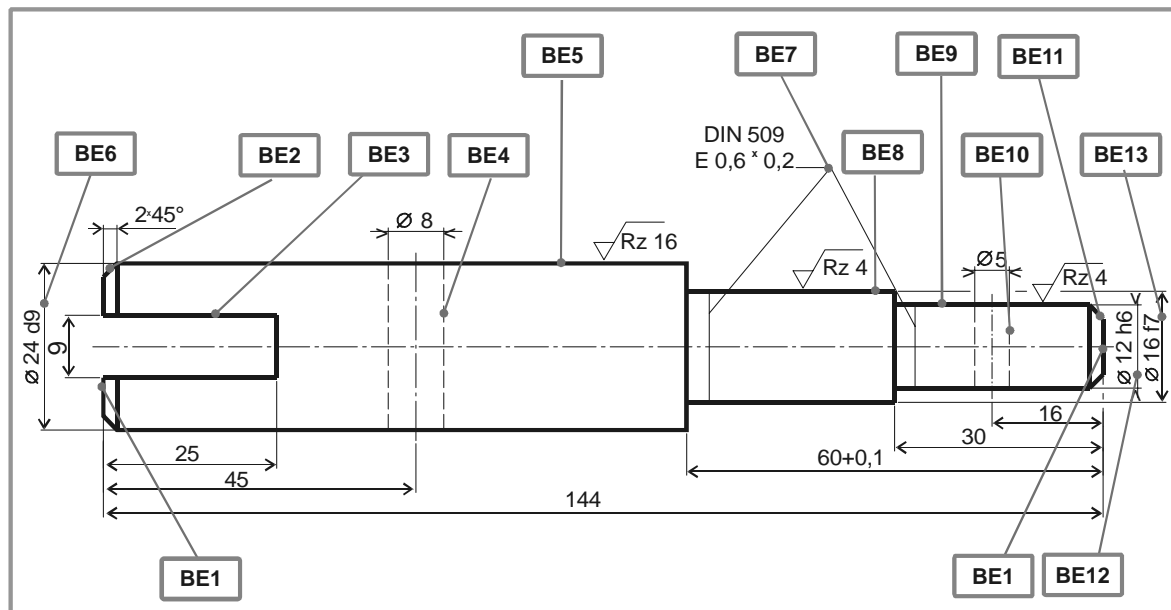


Abbildung 44: Konstruktionszeichnung für das betrachtete Einzelteil Welle.

Für eine fertigungstechnische Umsetzung kann neben einer umformenden auch eine spanende Fertigungsstrategie eingesetzt werden. Die weitere Unterteilung dieser Fertigungsstrategien entsprechend möglicher technologischer Herstellungsalternativen (in Form von Prozessketten und Prozessschritten) ist aus Gründen der Übersichtlichkeit in Tabelle 12 schematisiert zusammengefasst. Es wird an dieser Stelle darauf hingewiesen, dass sich auf praxisnahe Fertigungsmethoden zur Umsetzung der definierten Prozessschritte beschränkt wurde. Darüber hinaus ist es zur Wahrung der Übersichtlichkeit ebenfalls als günstig anzusehen, die Vielzahl geeigneter Halbzeuge und Rohteile auf die in Tabelle 12 dargestellten zu reduzieren, damit die Nachvollziehbarkeit im weiteren Verlauf der Darstellung der Systematik zur Generierung von Prozessvariantenplänen im Rahmen dieses Beispiels erhalten bleibt. Auf Grundlage dieser Randbedingungen wurden die in Tabelle 12 dargestellten sechs bzw. sieben Prozessschritte mit den entsprechenden Fertigungsmethoden als denkbare Fertigungsalternativen generiert. Die Kombination jeweils einer Fertigungsmethode jedes Prozessschrittes stellt dabei mögliche Prozessketten für das Beispiel dar. Darüber hinaus erfolgte bereits eine Ergänzung der Konstruktionszeichnung mit relevanten Bearbeitungselementen. In der Anlage IIIa ist ein Ausschnitt des Software-Prototypen zu sehen,

<sup>174</sup> Begleitend zu den Ausführungen werden parallel in Anlage III entsprechende Screenshots zur Untersetzung bereitgestellt.



welcher die eingegebenen technologischen Daten entsprechend den vorangegangenen Ausführungen zeigt.

<b>Fertigungsstrategie</b>				
<b>spanend</b>	<i>Bezeichnung Prozessschritt/ Auswahl Fertigungsmethoden</i>			<b>umformend</b>
	<b>PS1 Rohteilherstellung</b>			
	<i>Sägen</i>	<i>Scheren</i>	<i>Drehen</i>	<i>Schleifen</i> <sup>175</sup>
<i>Rohteil A: Rd 25*145</i>	<i>Rohteilgeometrie</i>		<i>Rohteil B: Rd 25*100</i>	
	<b>PS2 Stirnflächen re+li</b>			
	<i>Drehen</i>		<i>Fräsen</i>	
	<b>PS3 Grundform außen</b>			
	<b>Drehen</b>		<b>Querwalzen v. Vollkörpern</b>	
	-		<b>PS4 Einstiche</b>	
	-		<i>Drehen</i>	
	<b>PS 5 Nebenform Schlitz</b>			
	<i>Stoßen</i>	<i>Räumen</i>	<i>Fräsen</i>	<i>Erodieren</i>
	<b>PS6 Durchgangsbohrungen re+li Seite</b>			
	<i>Bohren</i>		<i>Erodieren</i>	
	<b>PS7 Endbearbeitung außen</b>			
	<i>Schleifen</i>			

Tabelle 12: Sicht auf theoretisch mögliche Prozessvarianten der Welle.

Zum Abschluss der Aktivität Prozessvariantengenerierung wurden die zur Herstellung des Einzelteils Welle sinnvollen Prozessvarianten in den Software-Prototypen eingegeben. Somit kann mit der nächsten Aktivität, der **Bewertung der Prozessvarianten** (vgl. Abschnitt 7.3.1.2), fortgefahren werden. Dabei sind die Konstruktions- und Auftragsdaten für das ausgewählte Einzelteil der erste Betrachtungsgegenstand im Rahmen der Zusammenstellung der **Bewertungsziele**. Diese werden in Form von allgemeinen Stammdaten in das

<sup>175</sup> In diesem Zusammenhang ist das Trennschleifen gemeint.

bereits vorgestellte Tablo (vgl. Tabelle 7) eingetragen. Abbildung 43 und Anlage IIIb zeigen eine Zusammenstellung der für das Beispiel geltenden Eingangsinformationen. Dabei erhebt diese Darstellung keinen Anspruch auf eine vollständige Datenrepräsentation. Vielmehr sollen dadurch wesentliche Eingangsgrößen zum besseren Verständnis der nachfolgend beschriebenen Abläufe im Rahmen dieser Zusammenstellung repräsentiert werden. Auf Grundlage dieses Informationsstandes kann im nächsten Schritt die Übernahme der allgemeinen Stammdaten in die erarbeitete Repräsentationsstruktur erfolgen (Tabelle 13).

Anforderung	Informationsausprägung		
	Allgemein (1. Schritt)		Spezifisch (2. Schritt)
Produktionsnetz-konfiguration	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Stückzahl</li> <li>• Werkstoff</li> <li>• Fertigungsteilgewicht</li> <li>• Fertigungsteilabmessungen</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 4</li> <li>• St 52-3 U</li> <li>• 0,33 kg</li> <li>• Ø24×144</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Fertigungsmethode</li> <li>• Eignungswert der Fertigungsmethode</li> <li>• BE-Bezeichnung(en)</li> <li>• Oberflächenangaben</li> <li>• Toleranzangaben</li> <li>• relevante technologische Relationen</li> </ul>
Produktionsnetz-betrieb	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Liefertermin</li> <li>• Lieferort</li> <li>• Lieferart</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 24 kW 04</li> <li>• Döbeln</li> <li>• Stückgutfracht</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• BE-Abmessungen</li> </ul>

Tabelle 13: Stammdatenübersicht für das gewählte Beispiel.

Nachdem die allgemeinen Stammdaten in die erarbeitete Zusammenstellung (vgl. Tabelle 13) eingetragen wurden, kann als nächstes die Untersetzung mit den spezifischen Stammdaten angegangen werden. Dazu ist es zuerst erforderlich, die relevanten Kundenprämissen aufzunehmen. Dafür wird die erarbeitete Kriterienhierarchie (vgl. Abbildung 36) als Teil des generierenden Abschnitts der hybriden Arbeitsplanungsmethodik genutzt. Auf dieser Grundlage ist es möglich, die gegebenen Kundenprämissen<sup>176</sup> zielgerichtet in weiterverarbeitbare Kriterien zu überführen. Für das gewählte Beispiel möchte der Kunde das Einzelteil Welle vor allem

- sehr kostengünstig,
- entsprechend dem vorgegebenen Liefertermin relativ<sup>177</sup> schnell
- und wenn möglich mit geringer Belastung der Umwelt

<sup>176</sup> Es wird an dieser Stelle davon ausgegangen, dass im Rahmen von vorangegangenen Marketing- oder Vertriebsaktivitäten entsprechend nutzbare Kundenprämissen herausgearbeitet wurden.

<sup>177</sup> Relativ schnell beschreibt einen Liefertermin, welcher zwischen einem kurz- und mittelfristiger Planungshorizont liegt. Somit ist davon auszugehen, dass ab Auftragserteilung bis Lieferung maximal 10 Werkzeuge gehen dürfen.

hergestellt bekommen. Daraus ergeben sich die zu beachtenden Hauptkriterien Kosten, Zeit und Ökologie. An dieser Stelle ist anzumerken, dass eine weitere Kriterienuntersetz-ung möglich ist, jedoch im Rahmen des hier zu beschreibenden Beispiels aus Gründen der Übersichtlichkeit darauf verzichtet wird. Mit diesen Informationen<sup>178</sup> werden im nächsten Schritt, entsprechend des in Abbildung 35 dargestellten Bewertungsablaufs im Rahmen der hybriden Arbeitsplanungsmethodik die Gewichte der Kriterien ermittelt. Für dieses Bei-spiel wird das Verfahren des paarweisen Vergleichs<sup>179</sup> als Instrument zur Umsetzung ein-gesetzt. In Tabelle 14 und in Anlage IIIc sind die erforderlichen Gegenüberstellungen<sup>180</sup> der relevanten Kriterien dargestellt.

Kriterium	Kosten	Zeit	Ökologie	Legende
Kosten	1	5	9	9...absolut bedeutender; 7...sehr viel wichtiger; 5...wichtiger; 3...etwas wichtiger; 1...gleich wichtig
Zeit	$\frac{1}{5}$	1	3	
Ökologie	$\frac{1}{9}$	$\frac{1}{3}$	1	

Tabelle 14: Darstellung des paarweisen Kriterienvergleichs.

Auf Basis dieser paarweisen Kriterienvergleiche können die normierten Kriteriengewichte mit Hilfe des AHP-Verfahrens<sup>181</sup> berechnet werden. Für das vorliegende Beispiel wird da-zu der entwickelte Softwareprototyp zur Erleichterung der Berechnung herangezogen (vgl. Anlage IIIc). Als Ergebnis werden die in Tabelle 15 aufgeführten normierten Kriterienge-wichte (vgl. Gleichung 1) ermittelt.

Kriterium	Normiertes/ Prozentuales Kriteriengewicht	Kundenprämissen	Bemerkung (Stabilität)
Kosten	0,748 ~ 75%	Sehr kostengünstig	Gegeben
Zeit	0,18 ~ 18%	Relativ schnell	Gegeben
Ökologie	0,071 ~ 7%	Geringe Umweltbelastung	Gegeben

Tabelle 15: Berechnete Kriteriengewichte im Stabilitätstest.

Zur Kontrolle der Stabilität dieser aus den Kundenprämissen berechneten normierten Kri-teriengewichte erfolgt eine Transformation auf Prozentbasis (im Rahmen des Beispiel wurden die berechneten Werte auf volle Prozent gerundet). Somit ergibt sich für die Kos-ten ein Gewichtsanteil von 75%, die Zeit von 18% und die Ökologie von 7%. Der an-schließende Vergleich mit den Kundenprämissen zeigt (Tabelle 15), dass die in dieser

<sup>178</sup> Darunter werden die aus den Kundenprämissen abgeleiteten Kriterien sowie die verbal beschriebene Wichtigkeit (sehr kostengünstig, relativ schnell) dieser für den Kunden verstanden.

<sup>179</sup> Weitere Möglichkeiten zur Transformation der qualitativ beschriebenen Wertigkeit der Kundenprämissen in weiterverarbeitbare Kennwerte wurde in Abschnitt 7.3.1.2, Bewertungsziele, beschrieben.

<sup>180</sup> Die zu Grunde liegende Struktur einer Dreiecksmatrix ist gut zu erkennen.

<sup>181</sup> Dies erfolgt mit Hilfe der Einheitsvektorberechnung (vgl. Abschnitt 7.3.1.2).

Form repräsentierten Kundenwünsche die vorgegebenen Relationen gut widerspiegeln, sodass von einem stabilen Zielsystem ausgegangen werden kann.

Als nächstes werden die beiden ausgewählten Rohteile im Rahmen des *Bewertungsablaufs* mit Hilfe des erarbeiteten Zielsystems bewertet. Damit dies erfolgen kann, sind die jeweiligen Parameter bezüglich der zu betrachtenden Rohteile für jedes im Zielsystem definierte Kriterium zu ermitteln. Im Rahmen dieses Beispiels ist es möglich, die entsprechenden Kosten sowie die Zeiten (im Sinne von Lieferzeiten ab Anforderung) in Form von quantitativen Werten anzugeben. Bezüglich des Kriteriums Ökologie kann ein Vergleich auf Notenbasis<sup>182</sup> durchgeführt werden. Diese Form der Parameterermittlung wird gewählt, weil die detaillierte Bestimmung qualitativer Kennzahlen als zu weitführend für dieses Beispiel betrachtet wird. Gleichzeitig kann dadurch demonstriert werden, wie qualitative und quantitative Parameter in die Bewertung einfließen.

Zur Verbesserung der Aussagekraft der qualitativen Parameter im Rahmen der Ökologiebetrachtung bietet es sich an, die jeweiligen Ausgangsgewichte der Rohteile ins Verhältnis zu setzen. Dadurch kann in Anlehnung an die auf dieser Basis ermittelten Wertigkeitsanteile die Benotung erfolgen. Dabei liefert die angenommene Randbedingung einer proportionalen Abhängigkeit des jeweiligen Rohteilgewichtes bezüglich der zu erwartenden Umweltbelastung den theoretischen Hintergrund. Auf Basis dieser Überlegungen können in Tabelle 16 die entsprechenden rohteilspezifischen Werte zusammengestellt werden.

Kriterium	Rohteil A Rd 25*145	Rohteil B Rd 25*100
Kosten [EUR]	1,50	1,20
Zeit [h]	24	24
Ökologie	3	7

Tabelle 16: Gegenüberstellung der Rohteilparameter.

Unter Beachtung dieser Parameter erfolgt die Bewertung dieser Rohteile entsprechend dem vorhandenen Zielsystem (vgl. Tabelle 15). Dazu werden die in Tabelle 16 dargestellten rohteilspezifischen Parameter<sup>183</sup> normiert (vgl. Gleichung 3), weiterführend Rohteilnutzwerte berechnet (vgl. Gleichung 4) und abschließend die jeweiligen Rohteilgesamtnutzwerte ermittelt (vgl. Gleichung 5). Anlage III d zeigt den entsprechenden Screenshot des entwickelten Softwareprototypen. Daraus geht hervor, dass das Rohteil B mit einem Gesamtnutzwert von 0,568 die Kundenprämissen besser erfüllt als Rohteil A (0,432).

<sup>182</sup> Dazu dient eine Skale von 1 bis 10 mit der Bedeutung von 1 für sehr schlecht bis 10 für sehr gut, d. h. eine hohe Benotung repräsentiert eine geringe Umweltbelastung.

<sup>183</sup> Im Rahmen der Bewertung ist auch deren Bezeichnung als Nutzwerte möglich.

Zur Sicherstellung der Vergleichbarkeit<sup>184</sup> dieser ermittelten Rohteileignung mit den entsprechenden Fertigungsstrategien ist noch ein Wertigkeitsabgleich mit den relevanten Prozessketten durchzuführen. Diese stellen eine Kombination von jeweils einer Fertigungsmethode je Prozessschritt unter Beachtung der in Tabelle 12 enthaltenen Informationen dar. Mit Hilfe der in diesem Beispiel erfolgten Vereinfachungen<sup>185</sup> kann deshalb bereits zum jetzigen Zeitpunkt die Betrachtung der entsprechenden Wertigkeiten durchgeführt werden (Tabelle 17 und Anlage IIIe). Somit wird es möglich, die entsprechenden Zuordnungen bereits auf der Gliederungsebene der Fertigungsstrategien vorzunehmen. Komplexere Prozessbetrachtungen (auf Prozesskettenebene) werden durch den entwickelten Softwareprototypen entsprechend nutzerfreundlich unterstützt.

Rohteilbezeichnung	PK`n der spanenden FS	PK`n der umformenden FS
Wertigkeit RT A zu PK	3%	-
Wertigkeit RT B zu PK	-	5%

Tabelle 17: Vergabe der Wertigkeitsanteile Rohteil-Prozesskette.

Der etwas höher Einfluss des Rohteils B resultiert aus dem geringeren Anteil abzutragenden Werkstoffes im Vergleich zu Rohteil A. Dies wird als Indikator für einen tendenziell ressourcenschonenderen Fertigungsprozess herangezogen und in der dargestellten Weise in die Bewertung einbezogen.

Auch bei der Wertigkeitsvergabe für die relevanten BE bietet der entwickelte Softwareprototyp Unterstützung (vgl. Anlage IIIf). Dabei werden die vergebenen Wertigkeitsanteile automatisch normiert, sodass der Stabilitätstest zur Kontrolle der definierten Relationen zwischen den BE mit verhältnismäßig wenig Aufwand durchzuführen ist. In Abbildung 44 werden die definierten BE bezüglich des Referenzproduktes Welle dargestellt. Diese dienen entsprechend der entwickelten Bewertungsmethodik als Grundlage, um die generierten Prozessschritte unter Beachtung ihres Anteils an der zur Herstellung der vorgegebenen Einzelteilgeometrie notwendigen Wertschöpfung miteinander vergleichen zu können. Zum besseren Verständnis erfolgt diese Untersetzung im Rahmen dieses Beispiels zusätzlich in Tabelle 18. Es wird an dieser Stelle angemerkt, dass der entwickelte Softwareprototyp über eine diesbezügliche Funktionalität verfügt.

Auf Basis einer derartigen Darstellung kann für das vorliegende Einzelteil abgeleitet werden, dass die Prozessschritte 3 und 7 (Grundform außen und Endbearbeitung außen) den vergleichsweise größten Einfluss auf die Wertschöpfungsumfänge zur Herstellung der Fertigteilgeometrie besitzen. Auch die Überprüfung der anderen Relationen zwischen den

<sup>184</sup> Ohne die Abschätzung des ausgeübten Einflusses der Rohteile und der relevanten Prozessketten in Form von Wertigkeiten ergäbe sich eine Parität im Rahmen der Betrachtung auf Prozessvariantenebene, welche in der Praxis jedoch als Ausnahme anzusehen ist.

<sup>185</sup> Es wurde sich auf zwei Rohteile beschränkt und auf dieser Grundlage nur wesentliche Fertigungsmethoden betrachtet. Dadurch können die mit Hilfe des Beispiels zu evaluierenden Ergebnisse nachvollziehbarer dargestellt werden.

Prozessschritten führt zu einer stimmigen, d. h. die Erfahrungen repräsentierenden Einschätzung. In der Folge wird der Stabilitätstest der BE für dieses Beispiel mit den in Tabelle 18 dargestellten Werten abgeschlossen.

Im Rahmen des nächsten Schrittes entsprechend des entwickelten Bewertungsablaufs (vgl. Abbildung 35) erfolgt an dieser Stelle die Bewertung der Fertigungsmethoden für die definierten Prozessschritte. Als Methode zur Parametrisierung der jeweiligen Eignungen wird wieder die Benotung (vgl. Fußnote 182) eingesetzt. Für die Darstellung des Parametereingabe sowie die auf dieser Grundlage berechneten Eignungswerte dienten die in der Anlage IIIg enthaltene beispielhafte Screenshot des Softwareprototypen für den Prozessschritt 2 der spanenden Fertigungsstrategie. Mit Hilfe der implementierten Funktionen erfolgte dabei bereits mit Hilfe der Normalisierung eine konsistente Überführung der Eingabewerte (Benotungen der Fertigungsmethoden) in weiterverarbeitbare normierte Nutzwerte je Kriterium.

PS-Nr.	BE-Nr.	BE-Anteil [%]	PS-Anteil [%]
1 Rohteilherstellung	1	3	3
2 Stirnflächen re+li	1	2	2
3 Grundform außen	7	5	43
	8	10	
	9	10	
	10	4	
	11	7	
	4	7	
4 Nebenform Schlitz	3	11	11
5 Durchgangsbohrungen re+li	5	10	10
6 Endbearbeitung außen	2	2	31
	6	11	
	12	9	
	13	9	
Summe <sup>186</sup>		100	100

Tabelle 18: Sicht auf die Ermittlung der Wertigkeitsanteile für die definierten Prozessschritte der spanenden Fertigungsstrategie.

Für die Eignungsgliederung ist es weiterführend notwendig, für jede Fertigungsmethode einen Gesamtnutzwert zu berechnen (vgl. Gleichung 14). Unter Beachtung dieser Gesamtnutzwerte werden die betrachteten Alternativen je Prozessschritt gegliedert, wobei ein höherer Wert eine bessere Eignung symbolisiert. Daran schließt sich wieder ein Stabilitätstest an, bei welchem die berechneten Relationen zwischen den Fertigungsmethoden je Prozess-

<sup>186</sup> Entsprechend der in Abbildung 35 dargestellten Bewertungsmethodik symbolisieren die Summen (gleich 100 %) die Konsistenz der betrachteten Parameter.

schritt das Erfahrungswissen widerspiegeln müssen. Bei eventuell auftretenden Diskrepanzen sind die Benotungen der Fertigungsmethoden zu überprüfen und bei Bedarf entsprechend zu korrigieren. Für die ermittelten normierten Eignungswerte im Rahmen dieses Beispiels besteht dazu jedoch keine Veranlassung.

Deshalb kann mit der Prozessvariantengliederung entsprechend des letzten Schrittes der entwickelten Systematik zur Bewertung der Prozessvarianten, dem **Bewertungsergebnis**, begonnen werden. Dies erfolgt im Rahmen des entwickelten Softwareprototypen automatisiert, es wird jedoch zur Sicherstellung der Nachvollziehbarkeit im Rahmen dieser Evaluierung für notwendig erachtet, die entsprechenden Abläufe begleitend zu erläutern. Die Eingangsinformationen zur Gliederung der Prozessvarianten bilden neben den definierten Fertigungsstrategien, welche im Rahmen der Prozessschritt Betrachtungen erfolgten, auch die ermittelten Gesamtnutzwerte der Fertigungsmethoden. Somit werden im Rahmen der Gliederung der Prozessvarianten die jeweils bestgeeignetsten Fertigungsmethoden je Prozessschritt ausgewählt und unter Beachtung ihrer technologischen Reihenfolge kombiniert. In der Folge entstehen entsprechend gegliederte Prozessketten innerhalb der entwickelten Fertigungsstrategien (im Beispiel spanend und umformend), deren Relationen wiederum mit dem Erfahrungswissen abzugleichen sind (Anlage IIIh). Dies stellt den Stabilitätstest im Rahmen dieser Betrachtungsebene dar. Werden entsprechende Differenzen zwischen den berechneten Relationen der Prozessketten und dem Erfahrungswissen festgestellt, muss eine Ursachenforschung bezüglich relevanter Einflussgrößen erfolgen. Im Resultat kann es zu Änderungen in den Wertigkeitsanteilen der BE oder bspw. bei den vergebenen Eignungswerten der Fertigungsmethoden kommen. Dieser Abgleich kann als Iterationsschritt bis zum Vorliegen eines akzeptablen Deckungsgrades bezüglich der berechneten Werte mit dem Erfahrungswissen durchlaufen werden. Für das vorliegende Beispiel ergibt sich diesbezüglich kein Handlungsbedarf.

Bezeichnung Gliederungsebene	Auswahl
Fertigungsstrategie	spanend
PS1 Rohteilherstellung	Sägen
Rohteil A	Rd 25*145
PS2 Stirnflächen re+li	durch Drehen
PS3 Grundform außen	durch Drehen
PS4 Nebenform Schlitz	durch Fräsen
PS5 Durchgangsbohrungen re+li Seite	durch Bohren
PS6 Endbearbeitung außen	durch Schleifen

Tabelle 19: Sicht auf die geeignetste Prozessvariante für das Beispiel.

Aus diesem Grund kann deshalb zur Gliederung der Prozessvarianten übergegangen werden. Dazu sind einerseits die Rohteilgesamtnutzwerte mit den in Tabelle 17 dargestellten Wertigkeiten zu multiplizieren und andererseits die zugehörigen Prozessketten mit dem sich ergebenden Differenzbetrag zu eins entsprechend der vergebenen Wertigkeit zu multiplizieren. Selbstverständlich erfolgt diese Berechnung einschließlich der anschließenden Ergebnisgliederung im entwickelten Softwareprototypen automatisch. Dabei wird im Rahmen einer Konsistenzprüfung nochmals festgestellt, ob alle definierten BE in vollem Umfang in den Prozessketten enthalten sind. Ein anschließender Stabilitätstest ermöglicht wieder den Abgleich der berechneten Relationen zwischen den Prozessvarianten mit dem Erfahrungswissen. Bei nichttolerierbaren Differenzen sind die jeweiligen variierbaren Kenngrößen im Rahmen eines den bereits vorgestellten Iterationsschritten ähnlichen Vorgehens zu überprüfen und gegebenenfalls zu verändern. Auch für die im Rahmen dieses Beispiels generierten Prozessvarianten besteht diesbezüglich kein Handlungsbedarf. Somit wird die in Tabelle 19 dargestellte Prozessvariante entsprechend den Randbedingungen als am geeignetsten betrachtet und als Grundlage für die anschließende Bildung des Prozessplans genutzt (vgl. Anlage IIIi).

Anforderung	Informationsausprägung			
	Allgemein (1. Schritt)		Spezifisch (2. Schritt)	
Produktionsnetzkonfiguration	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Stückzahl</li> <li>• Werkstoff</li> <li>• Fertigungsteilgewicht</li> <li>• Fertigungsteilabmessungen</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 4</li> <li>• St 52-3 U</li> <li>• 0,33 kg</li> <li>• <math>\varnothing 24 \times 144</math></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Drehen</li> <li>• 0,0397</li> <li>• Stirnflächen Kreis re+li</li> <li>• Rz 32</li> <li>• <math>\pm 0,1</math></li> <li>• nach PS1, vor PS4, PS6, PS7</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Fertigungsmethode</li> <li>• Eignungswert der Fertigungsmethode</li> <li>• BE-Bezeichnung(en)</li> <li>• Oberflächenangaben</li> <li>• Toleranzangaben</li> <li>• relevante technologische Relationen</li> </ul>
Produktionsnetzbetrieb	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Liefertermin</li> <li>• Lieferort</li> <li>• Lieferart</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 24 kW 04</li> <li>• Döbeln</li> <li>• Stückgutfracht</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <math>\varnothing 24</math></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• BE-Abmessungen</li> </ul>

Tabelle 20: Sicht auf die Stammdaten des ausgewählten Anforderungsvektors.

Auf dieser Grundlage können im Rahmen der **informationstechnischen Integration** (vgl. Abschnitt 7.3.1.3) Anforderungsvektoren gebildet und zum Prozessplan zusammengeführt werden. Die spezifischen Stammdaten zur abschließenden Beschreibung der Anforderungsvektoren sind in die entsprechende Struktur (vgl. Tabelle 13) überführt worden. Im Rahmen dieses Beispiels wird sich dabei auf die vollständige Spezifikation zur Visualisierung eines Anforderungsvektors beschränkt. Vor diesem Hintergrund wurde der Prozessschritt 2 als Basis für die Zusammenführung der spezifischen Stammdaten ausgewählt. Die



entsprechenden Parameter des sich mit dieser Auswahl ergebenden Anforderungsvektors sind in Tabelle 20 dargestellt. Mit der Kombination der Anforderungsvektoren zum Prozessplan wird dieses Beispiel abschließend beschrieben. Dazu sind die Stammdaten in eine vorgegebene Struktur zu überführen, damit die daraus resultierende Übergabedatei vom IMK entsprechend weiterverarbeitet werden kann. Aus diesem Grund erfolgte eine Definition der relevanten Inhalte bezüglich der Merkmalsstrukturierung und Parameterausprägung in Form eines DTD-Schematas. In Abbildung 45 ist die entsprechende Schnittstellendatei auf XML-Basis schematisch für das vorliegende Beispiel dargestellt.

```

<?xml version="1.0" ?>
=< Informationsausprägung >
  =< Allgemein >
    =< Produktionsnetzkonfiguration >
      < Stückzahl = "4" />
      < Werkstoff = "ST 52-3 U" />
      < Fertigungsteilgewicht = "0,33 kg" />
      < Fertigungsteilabmessungen = "φ24*144" />
    </ Produktionsnetzkonfiguration >
    =< Produktionsnetzbetrieb >
      < Liefertermin = "24 kW 04" />
      < Lieferort = "Döbeln" />
      < Lieferart = "Stückgutfracht" />
    </ Produktionsnetzbetrieb >
  </ Allgemein >
  =< Spezifisch >
    =< Produktionsnetzkonfiguration >
      < Fertigungsmethode = "Drehen" />
      < Eignungswert der Fertigungsmethode = "0,0397" />
      < BE-Bezeichnung = "Stirnflächen außen rechts u. links Kreisfläche" />
      < Oberflächenangaben = "RZ 32" />
      < Toleranzangaben = "+/- 0,1" />
      < relevante technologische Relationen = "nach PS1, vor PS4, PS6, PS7" />
    </ Produktionsnetzkonfiguration >
    =< Produktionsnetzbetrieb >
      < BE-Abmessungen = "φ25" />
    </ Produktionsnetzbetrieb >
  </ Spezifisch >
</ Informationsausprägung >

```

Abbildung 45: Ausschnitt aus der generierten XML-Datei für das gewählte Beispiel.

Mit Hilfe der in dieser Form strukturierten Parameter beginnt der IMK im Kompetenznetz mit der Suche nach geeigneten Fertigungs-KPZ für jeden Anforderungsvektor. Im Ergebnis entsteht bei einer vollständigen Untersetzung mit geeigneten Kandidaten-KPZ aus dem Prozessplan ein Fertigungsvariantenplan. Dieser enthält zusätzliche ökonomische Kennwerte für jede Fertigungs-KPZ, auf deren Basis eine Optimierung durch das EVCM durchgeführt wird. Im Ergebnis werden somit die jeweils geeignetsten Fertigungs-KPZ zu einem Produktionsnetz vereint. Dabei wird aus dem Fertigungsvariantenplan ein verteilter Ferti-

gungsvariantenplan, welcher bspw. soziale Faktoren zur aktiven Gestaltung der sozialen Passfähigkeit enthält.

## 9 Zusammenfassung

Die vorliegende Arbeit leistet einen Beitrag zur Überführung der Vision hierarchieloser Produktionsnetze in die betriebliche Praxis. Dazu wurden speziell für den Problembereich der Arbeitsplanung Untersuchungen durchgeführt, damit auf der Grundlage von speziell erarbeiteten Konzepten, Methoden und Systematiken ein effizientes Funktionieren dieser innovativen Organisationsform für kooperierende KMU ermöglicht wird. Im Resultat erweisen sich hierarchielose Produktionsnetze aus Sicht der Arbeitsplanung als eine geeignete Vernetzungsform, um die in der Ausgangssituation beschrieben existierenden Defizite in der betrachteten Unternehmenskategorie zu minimieren.

Auf Grund des Neuheitsgrades des hierarchielosen Vernetzungsmodells wurden in der vorliegenden Arbeit speziell methodisch-konzeptionelle Betrachtungen durchgeführt, damit ein solides Fundament für weiterführende Forschungsaktivitäten gegeben ist. Dabei waren im Wesentlichen zwei Schwerpunktaufgaben zu lösen. Erstens bestand das Ziel in der Entwicklung einer geeigneten Beschreibungsform für Arbeitsplanungskompetenzen im Rahmen des Partialmodells. Die zweite Aufgabe beinhaltete die Erarbeitung einer auf die speziellen Randbedingungen des hierarchielosen Vernetzungsmodells zugeschnittenen Arbeitsplanungsmethodik. Zur Umsetzung dieser Aufgaben wurden eine Reihe von Methoden, Systematiken oder Modellen entwickelt (Abbildung 46). Dazu zählen vor allem:

- die Systematik zur Definition des Kompetenzrahmens für Arbeitsplanung,
- die Methodik zur Entwicklung des Partialmodells für Arbeitsplanung,
- das Partialmodell für Arbeitsplanung
- die hybride Arbeitsplanungsmethodik

Auf Grundlage dieser theoretischen Vorarbeiten wird es möglich, in KMU vorhandene Arbeitsplanungskompetenz zu identifizieren und im Kompetenznetz abzubilden. Dadurch können benötigte Arbeitsplanungskompetenzen auftragsspezifisch und automatisiert entsprechend ihrer Eignung mit Hilfe des Prozessplans durch den IMK ausgewählt und anschließend durch das EVCM bewertet und in die Wertschöpfung integriert werden.

Ein wesentlicher Schritt zur Überführung des hierarchielosen Vernetzungsmodells in die betriebliche Praxis stellt der generierende Abschnitt der hybriden Arbeitsplanungsmethodik dar. Dadurch können auch mit den spezifischen Randbedingungen hierarchieloser Produktionsnetze „unerfahrene“ Arbeitsplanungs-KPZ methodisch unterstützt werden. Das speziell für diese Aufgabe entwickelte methodische Gerüst wurde in das Partialmodell integriert und steht somit allen Arbeitsplanungs-KPZ zur Verfügung. Dadurch wird es den Arbeitsplanungs-KPZ möglich, Prozessvarianten zu generieren, diese nach relevanten Kriterien auftragsspezifisch zu bewerten und anschließend mit Hilfe von Anforderungsvektoren im Rahmen eines Prozessplans zu gliedern. Dabei liefert die jeweils geeignetste Prozessvariante die Informationen zur Bildung eines Prozessplans, welcher das informationstechnische Bindeglied zum IMK (dieser vergleicht die Anforderungs- mit gespeicherten Beschreibungsvektoren) darstellt. Dadurch wird die Grundlage für eine automatisierte Suche und Auswahl von Fertigungs-KPZ durch die IT-Werkzeuge des hierarchielosen Vernetzungsmodells im Rahmen der Produktionsnetzbildung gelegt. Im Ergebnis bedeutet

dies, dass auf Grundlage der hybriden Arbeitsplanungsmethodik prinzipiell eine hierarchielose und direkte Vernetzung von Fertigungs-KPZ möglich ist.

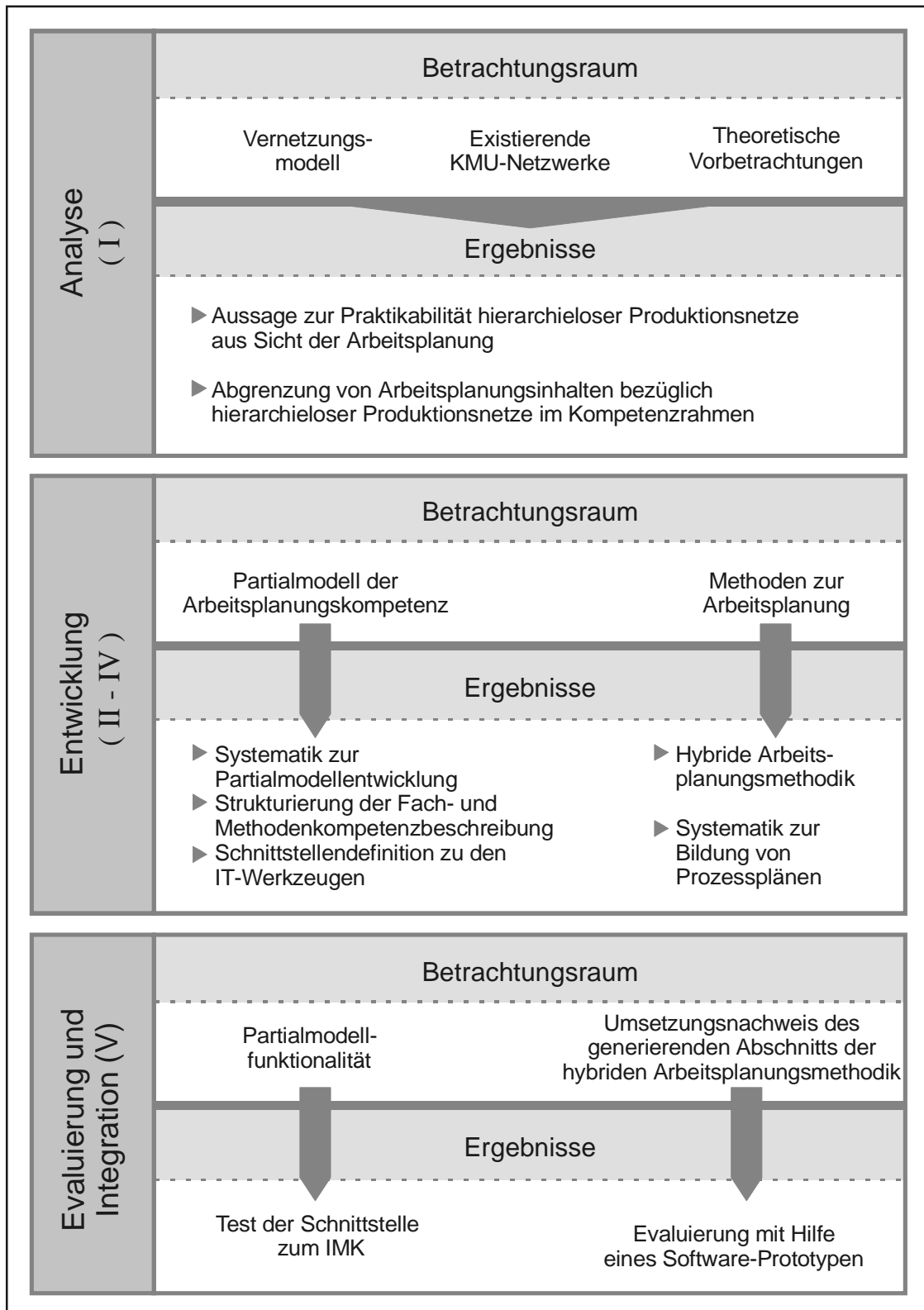


Abbildung 46: Sicht auf die erarbeiteten Ergebnisse.

## 10 Ausblick

Diese Arbeit stellt einen ersten Schritt zur Überführung des Organisationskonzeptes hierarchieloses Produktionsnetz in die betriebliche Praxis von KMU dar. Dabei ermöglichten eine Reihe von Einschränkungen und Annahmen den Einstieg in die Bearbeitung dieser komplexen Aufgabenstellung. Weitere Arbeiten sollten im Rahmen von drei Untersuchungsschwerpunkten relevante Problembereiche bezüglich eines Praxiseinsatzes beinhalten.

Erstens besteht Forschungsbedarf im Bereich der informationstechnischen Infrastruktur als Grundlage zur Erschließung von Synergien im Kooperationsverbund. Dies reicht von der Schnittstellengestaltung existierender Produktionsplanungssysteme über die Gestaltung einheitlicher Standards zur Repräsentation relevanter Konstruktions- und Auftragsdaten bis zur Art und Weise der Verwaltung von Fertigungsplänen und NC-Programmen. Erst dadurch können auf bisher nicht erreichtem Niveau Informationen und Kompetenzen auftragsbezogen und unternehmensübergreifend ausgetauscht werden. Dadurch entstehen Vorteile im Bereich der Angebotskalkulation (bezüglich der Planungsgenauigkeit und Planungsdauer) und Fertigungsplanung (z. B. durch den Austausch von NC-Programmen, Werkzeugen oder Vorrichtungen). Nicht zuletzt führt eine integrative Produktionssteuerung auf der Grundlage einer einheitlichen Informationsrepräsentation zur Verbesserung der Auslastungssituation zum Beispiel im Ergebnis einer unternehmensübergreifenden Kapazitätsangleichung auf Basis von KPZ.

Ein zweiter Ansatz zur Weiterführung der in dieser Arbeit dargestellten Arbeiten betrifft den projektierenden Abschnitt der hybriden Arbeitsplanungsmethodik. In diesem Zusammenhang wird zu untersuchen sein, wie sich aktuelle Forschungsergebnisse bspw. im Bereich STEP-NC auf die relevante Betrachtungsdomäne anwenden lassen. Dabei könnten Einsparpotentiale erzielt werden, wenn es gelingt, eine durchgängige und dennoch flexible Prozesskette vom CAD über das CAM bis zum Qualitätsmanagementsystem zu gestalten. In der Folge sind automatisierte Informationsströme zur Aufwandsminimierung im Bereich der Planung und Steuerung von Produktionsprozessen im hierarchielosen Produktionsnetz modellierbar.

Der dritte Schwerpunkt weiterer Betrachtungen sollte mit dem Ziel der vollständigen Einbindung von Soft-Facts in den Kompetenzrahmen Arbeitsplanung definiert werden. Dabei gilt es zu untersuchen, auf welcher Grundlage Veränderungen im Kompetenzprofil ermittelt und vollzogen werden können. Dies bedingt die Zusammenführung der Lerninhalte mit den anzuwendenden Lernmethoden. Im zweiten Untersuchungsfeld dieses Schwerpunktes müssen soziale Kompetenzen in den Blickpunkt gerückt werden. Dabei gilt es zu untersuchen, in wie weit bei der Selektion geeigneter Arbeitsplanungs-KPZ durch das EVCM betriebswirtschaftliche Parameter im Vordergrund stehen. Vielmehr gilt es bereits im Vorfeld der zu erbringenden Planungsaktivität deren Ausführungsqualität zu prognostizieren und als bestimmendes Kriterium in die Selektion geeigneter Arbeitsplanungs-KPZ zu integrieren. Im Rahmen eines weiteren Untersuchungsfeldes steht die Einbeziehung der Außenwirkung der Arbeitsplanungs-KPZ im Mittelpunkt. Dabei geht es um die Abstimmung im zwischenmenschlichen Bereich im Rahmen von nicht automatisierbaren KPZ-übergreifenden Aktivitäten. Die Prognose von möglichst reibungslosen KPZ-Vernetzungen im zwischenmenschlichen Bereich birgt enormes Potential, da diese wichtigen Beziehungsgeflechte bisher nur unzureichend in der Gestaltung von Kooperationen berücksichtigt wurden.



## 11 Definitionen

### Verteilter Fertigungsvariantenplan (VFP)

Im verteilten Fertigungsvariantenplan werden die zur Produktion des jeweils nachgefragten Erzeugnisses vernetzten Fertigungs-KPZ entsprechend ihrer Stellung im Wertschöpfungsprozess abgebildet. Er stellt somit das Ergebnis der im Rahmen des EVCM-Betreibermodells durchgeführten Auswahl<sup>187</sup> der geeignetsten Fertigungs-KPZ dar, welche das Produktionsnetz bilden.

### Fertigungsvariantenplan (FP)

Der Fertigungsvariantenplan enthält alle selektierten Fertigungs-KPZ<sup>188</sup>, welche unter den jeweils definierten Auftragsgegebenheiten in der Lage sind, die relevanten Wertschöpfungsumfänge bezüglich der Produktion eines nachgefragten Einzelteils im Produktionsnetz zu erbringen<sup>189</sup>. Er stellt das Ergebnis der Kandidatensuche innerhalb der Funktionalitäten<sup>190</sup> des IMK auf Basis eines Prozessplans dar.

### Prozessplan (PP)

Der Prozessplan besteht aus Anforderungsvektoren der favorisierten Prozessvariante. Zusätzlich enthält er einen Verweis auf die Konstruktionsunterlagen des relevanten Einzelteils und bündelt die Informationen der Anforderungsvektoren in einer für den IMK geeigneten Form (als XML-Datei).

### Prozessvariante (PV)

Die Prozessvariante repräsentiert in Form von Prozessketten-Rohteilkombinationen entsprechend ihrer ermittelten Eignung gegliederte technisch-technologische Herstellungsvarianten eines nachgefragten Einzelteils. Sie stellt das Ergebnis des generierenden Abschnitts der hybriden Arbeitsplanungsmethodik dar.

### Fertigungsstrategie (FS)

Die Verfahrensbeschreibungen der ersten Hierarchiestufe der DIN 8580 werden zur Komplexitätsreduktion als Fertigungsstrategien bezeichnet. Dabei erfolgt die jeweilige Bezeichnung der Fertigungsstrategie auf der Grundlage des Hauptformgebenden Fertigungsverfahrens entsprechend der DIN 8580.

### Prozesskette (PK)

Eine Prozesskette ist eine geordnete Folge von Prozessschritten, welche auf Basis bewerteter technologischer Zustandsänderungen die Fertigungsfolgen von einem definierten Rohteil zum Fertigteil beschreibt und entsprechend ihrer Eignung gliedert. Sie stellt ein Zwischenergebnis des generierenden Abschnitts der hybriden Arbeitsplanungsmethodik dar.

---

<sup>187</sup> Die endgültige Auswahl der für einen Wertschöpfungsumfang geeignetsten Fertigungs-KPZ erfolgt nach betriebswirtschaftlichen und sozialen Gesichtspunkten entsprechend den im EVCM enthaltenen Algorithmen.

<sup>188</sup> Auch als Kandidatenzellen bezeichnet.

<sup>189</sup> Bei diesen Fertigungs-KPZ kann grundsätzlich von einer technisch-technologischen Eignung bezüglich der angefragten Produktionsaufgabe ausgegangen werden.

<sup>190</sup> Für die Selektion geeigneter Fertigungs-KPZ wird die von Neubert entwickelte Suchtechnologie des Intelligent Cluster Index (ICIX) genutzt /GOER-00/.

### Anforderungsvektor (AV)

Als Anforderungsvektoren werden informationstechnisch verarbeitbare Informationsträger definiert, welche auf Basis von Prozessschritten konkrete Fertigungsaufgaben mit Hilfe ergänzender Merkmale charakterisieren.

### Prozessschritt (PS)

Als Prozessschritt wird der abgeschlossene Teil einer Prozesskette bezeichnet. Er dient als Informationsträger für spezifische Parameter (Auftragsdaten sowie Technologie-, Geometrie- und Qualitätsangaben) und spiegelt aus technisch-technologischer Sicht sinnvoll abgegrenzte Fertigungsabschnitte mit einem groben Detaillierungsniveau wieder. Der Prozessschritt stellt den Informationsträger dar, welcher auf Basis der jeweiligen Auftragsinformationen die technisch- technologischen Suchmuster repräsentiert. Deshalb ist der Prozessschritt dadurch gekennzeichnet, dass er an einem oder einigen gemeinsam zu bearbeitenden Arbeitsgegenständen auf einem Arbeitsplatz ausgeführt wird.

### Fertigungsmethode (FM)

Fertigungsmethoden verfeinern die Planungsgranularität der entsprechenden Fertigungsstrategie bis zur maximal dritten Hierarchiestufe der Fertigungsverfahrenbeschreibung nach DIN8580 ff.. Für das Detaillierungsniveau der Fertigungsmethoden gilt, dass aus Komplexitätsgründen keine Bestimmung möglicher Spannlagen und Werkzeuge erfolgt.

### Bearbeitungselement (BE)

Das Bearbeitungselement stellt ein technologisch zu beachtendes Merkmal am Einzelteil dar. Es enthält Informationen zu geometrischen, qualitätsrelevanten und technologischen Parametern.

### Fertigungsplanung

Die Fertigungsplanung umfasst alle ressourcen- und bearbeitungsaufgabegebundenen Planungsabläufe, welche direkt zur Herstellung der jeweils vorgegebenen Geometrie- und Qualitätseigenschaften durchzuführen sind. Innerhalb hierarchieloser Produktionsnetze werden dadurch die Planungsaktivitäten von Fertigungs-KPZ charakterisiert, welche zur Realisierung einer angefragten Bearbeitungsaufgabe geeignet sind.

### Arbeitsplanung

Nach Definition des Ausschusses für wirtschaftliche Fertigung e.V. (AWF) umfasst die Arbeitsplanung alle einmalig auftretenden Planungsmaßnahmen, welche unter ständiger Berücksichtigung der Wirtschaftlichkeit die fertigungsgerechte Gestaltung eines Erzeugnisses oder die ablaufgerechte Gestaltung einer Dienstleistung sichern.



## 12 Literatur

- /ADER-02/ Aderhold, J. : Zur Genese von Netzwerkunternehmen – Bildungsmodalitäten, Strukturierungsweisen und Prozessdynamik. In: Freitag, M. ; Winkler, I. (Hrsg.): Kooperationsentwicklung in zwischenbetrieblichen Netzwerken. Strukturierung, Koordination und Kompetenzen. Würzburg/Boston: Deutscher Wissenschafts-Verlag (DWV). 2002.
- /ANDE-99/ Anderl, R.; Claassen, E.: Systemübergreifende Features unterstützen Prozessketten. In: ZWF. Jahrgang 94 (1999) 3. Carl Hanser Verlag München. 1999
- /ANDU-03/ <http://www.mfk.uni-erlangen.de/~bewerten/> . 18.08.2003
- /ARNS-00/ Arns, M. et al.: Gestaltung von Beschaffungsnetzwerken auf Basis einer prozesskettenorientierten Modellierung. In: Industrie Management. 16 (2000). GI-TO-Verlag Berlin. 2000
- /ATK-02/ ATK/KÄM: Zulieferer quetschen sich selbst zu sehr aus. In: VDI Nachrichten 9.August 2002. Nr. 32. VDI Verlag GmbH. 2002
- /AWIS-02/ Awiszus, B. et al.: Grundlagen der Fertigungstechnik. Carl Hanser Verlag Leipzig. 2002. ISBN 3446220577
- /BEEL-02/ Beelich, K.-H.; Schwede, H.-H.: Die Lern-Spirale. Vogel Verlag Würzburg. 2002. ISBN 3-8023-1841-2
- /BENN-03/ Benn, W.; Langer, O.: Semistrukturierte Datenmodelle und XML. In: E. Rahm, G. Vossen (Eds.): Web & Datenbanken - Konzepte, Architekturen, Anwendungen. dpunkt.Verlag. 2003.
- /BERG-02/ Berger, R. et al.: Roland Berger: Erfolg mit vernetzten Fabriken. In: Produktion – Die Zeitung für die deutsche Industrie. Jahrgang 2001 H. 44. Verlag moderne industrie AG & Co. KG 2001
- /BERG-86/ Berger, G.: Entwurf einer formalen Definition der primären Datenbasis zur alpha-numerischen Darstellung maschinenbautypischer Einzelteile. Hochschulschrift der TH Karl-Marx-Stadt. Dissertation A. 1986
- /BIES-01/ Biesel, W.: Regelbasierte Optimierung der Wertschöpfungskette. Zeitschrift IT & Produktion. TeDo-Verlag Marburg. Heft V+VI/2001. ISSN 1439-7722. 2001
- /BMWI-02/ Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (Hrsg.): Früherkennung von Chancen und Risiken in kleinen und mittleren Unternehmen. Arbeitsheft. 4. überarbeitete Auflage. Januar 2002
- /BOEH-01/ Böhler, T.: ENX, ANX und XML auf dem Vormarsch in der Zulieferindustrie. Zeitschrift IT&Produktion. ausgabe V+VI/2001. TeDo-Verlag GmbH Marburg.
- /BOHL-01/ Bohlmann, B.: Beschaffungsnetzwerke im chemischen Anlagenbau. VDI Verlag GmbH. Düsseldorf 2001. ISBN 3-18-313016-5
- /BONA-99/ Bonabeau, E.; Dorigo, M.; Theraulaz, G.: Swarm Intelligence – From Natural to Artificial Systems. Oxford University Press, New York, NJ, pp.69-71. 1999
- /BONI-02/ Bonini, G.; Bicocchi, V.: An Innovative ICT Platform for Dynamic Virtual Enterprises. Proceedings of the 18<sup>th</sup> International Conference on CAD/CAM, Robotics and Factories of the Future. 3.-5. July 2002. Porto. ISBN 972-95194-5-5.

- 
- /BOOC-99/ Booch, G. et al.: Das UML-Benutzerhandbuch. Addison Wesley Verlag München. 1999. ISBN 3-8273-1486-0
- /BORR-01/ Borrmann, A. et al.: Ratioual Rose und UML. Galileo Press GmbH. Bonn. 1. Auflage 2001. ISBN 3-934358-172-4
- /BREI-97/ Breiing, A.; Knosala, R.: Bewerten technischer Systeme. Springer Verlag Berlin. 1997. ISBN 3-540-61086-3
- /BRIG-02/ Bright, G.; Mayor, R.: Computer-Controlled Inspection Apparatus for modern Agile Manufacturing Systems. Proceedings of the 18<sup>th</sup> International Conference on CAD/CAM, Robotics and Factories of the Future. 3.-5. July 2002. Porto. ISBN 972-95194-5-5.
- /BROE-01/ Brömsen, O.: Ein Modell der Produktionsmittelfähigkeiten. In: Tagungsband zum Kolloquium „Integrierte Produkt- und Prozessgestaltung“ des SFB 361 der RWTH Aachen. 15.02.2001. [http://www.sfb361.rwth-aachen.de/veran\\_010215.cfm](http://www.sfb361.rwth-aachen.de/veran_010215.cfm)
- /BUKE-00/ Bukel, H.-G.: Liquiditätsfalle Finanzierung kann in die Insolvenz führen. Zeitschrift MM Maschinenmarkt Ausgabe 28/2000. Vogel Verlag und Druck GmbH & Co. KG Würzburg. 2000
- /BULL-01/ Bullinger, H.-J. et al.: Kooperative, virtuelle Produktentwicklung. In: wt Werkstattstechnik. Online Jahrgang 91 (2001) H. 2. VDI Verlag Düsseldorf 2001
- /BULL-01a/ Bullinger, H.-J. et al.: Kompetenznetzwerke in der Anlageninstandhaltung. In: ZWF. Jahrgang 96 (2001) 1-2. Carl Hanser Verlag München 2001
- /BULL-01b/ Bullinger, H.-J.: Innovation und Kooperation in der Produktentwicklung. In: wt Werkstattstechnik Online. Jahrgang 91 (2001) H2. VDI Verlag Düsseldorf 2001
- /BUSC-02/ Busch, A. et al.: Marktstudie: Standardsoftware zum Collaborative Supply Chain Management. ALB HIN Verlag Paderborn. 2002. ISBN 3-93-146698-1
- /CANC-02/ Canciglieri, J. O. et al.: Information Translation to Support Multiple View Approach Design for Manufacture. Proceedings of the 18<sup>th</sup> International Conference on CAD/CAM, Robotics and Factories of the Future. 3.-5. July 2002. Porto. ISBN 972-95194-5-5.
- /COSI-01/ Cosic, P.; Sever, D.; Milinovic, S.: Internet based Application fort he Process Planning. Proceedings of the 12th International DAAAM Symposium „Intelligent Manufacturing & Automation: Focus on Precision Engineering“ 24.-27. October 2001. Jena. ISBN 3-901509-19-4.
- /DANG-00/ Dangelmaier, W.; Schäfermeier U.: Unterstützung kooperativer Produktentwicklungsprozesse durch eine Kooperationsplattform. In: Industrie Management. Jg. 16 (2000) H. 6. GITO-Verlag Berlin 2000
- /DANG-00a/ Dangelmaier, W.: Supply Chain Management nach dem Kunden-Lieferanten-Prinzip. Zeitschrift für Unternehmensentwicklung und Industrial Engineering. FB/IE 49 (2000) 4. REFA-Verband (Hrsg.), Beuth Verlag, Berlin 2001
- /DIES-02/ Diesel, D.: Unternehmensübergreifendes Logistiknetz im Internet. <http://www.all-for-one.de/press/default.htm>. 08.01.2003

- /DIN8-74/ N.N. DIN 8580 Fertigungsverfahren – Einteilung. Beuth Verlag Berlin. 1974
- /DLOG-03/ <http://www.dlog.de/main.asp?id=3358>. 11.09.2003
- /DUER-01/ Dürr, H.; Jurklies, I.: Knowledge-Based Tools for CAD/CAM/CAE-Systems to Assist NC-Programming for Free-Form Surfaces. Proceedings of the 12th International DAAAM Symposium “Intelligent Manufacturing & Automation: Focus on Precision Engineering”, 24-27th October 2001, Jena, ISBN 3-901509-19-4
- /DUER-01a/ Dürr, H.; Mehnert, J.: Arbeitsplanung im hierarchielosen Produktionsnetz. In: Teich, T. (Hrsg.): Hierarchielose regionale Produktionsnetzwerke. GUC – Verlag der Gesellschaft für Unternehmensrechnung und Controlling m.b.H., Chemnitz. 2001. ISBN 3-934235-18-2
- /DUER-02/ Dürr, H. et al.: Agent-based Manufacturing Management System for Production and Logistics within Cross-company Supply-Chain-Management Systems. Proceedings of the 4<sup>th</sup> International Conference on Modelling and Simulation. 11.-13-September 2002. Melbourne. Australia. ISBN 1-86272-617-5
- /DUER-02a/ Dürr, H.; Jurklies, I.: A Fuzzy Expert System assists the CAD/CAM/CAE Process Chain in the Tool and Mould Making Industry. Proceedings ICME 2002 CIRP International Seminar, 3-5th July 2002, Ischia, ISBN 88-87030-44-8
- /ERDI-01/ Erdrich, K.: Mehr Potential für die Produktentwicklung. In: CAD-CAM Report. Nr. 2. 2001. VDI-Verlag Düsseldorf. 2001
- /ERPE-99/ Erpenbeck, J.; Heyse, V.: Die Kompetenzbiographie. Waxmann Verlag Münster. 1999. ISBN 3-89325-690-3
- /EVER-01/ Eversheim, W. et al.: Parametrik als Grundlage für eine integrierte Produkt- und Prozessentwicklung. In: wt Werkstattstechnik. 91 (2001) H.3. VDI Verlag Düsseldorf. 2001
- /EVER-01a/ Eversheim, W. et al.: Nebenzeiten verringern durch bauteilübergreifende NC-Planung. In: wt Werkstattstechnik. 91 (2001) H.3. VDI Verlag Düsseldorf. 2001
- /EVER-01b/ Eversheim, W. et al.: Knowledge-based Technology Data Management. Proceedings of the 34<sup>th</sup> CIRP International Seminar on Manufacturing Systems. 16<sup>th</sup> – 18th May 2001. Athens. Greece
- /EVER-96/ Eversheim, W.: Prozeßorientierte Unternehmensorganisation, Springer-Verlag Berlin, 2. Auflage 1996, ISBN 3-540-61231-9
- /FALL-00/ Fallböhrer, M.: Generieren alternativer Technologieketten in frühen Phasen der Produktentwicklung. Dissertation. Shaker Verlag Aachen. 2000. ISBN 3-8265-7794-9
- /FELD-99/ Feldmann, L.: Fertigungsprozesse mit wissensbasierenden CAM-Systemen optimieren. In: CAD-CAM Report. Nr. 2. 1999. VDI-Verlag Düsseldorf
- /FELI-02/ Felix, R.: Produktionsoptimierung mit Fuzzy-Logik. Zeitschrift IT & Produktion. TeDo-Verlag Marburg. Heft II/2002. ISSN 1439-7722. 2002
- /FETZ-00/ Fetzer, J.: Feature-basierende CAD/CAM-Prozesse (Teil 1). In: CAD-CAM Report. Nr. 12. 2000. VDI-Verlag Düsseldorf

- /FETZ-01/ Fetzer, J.: Feature-basierende CAD/CAM-Prozesse (Teil 2). In: CAD-CAM Report. Nr. 2. 2001. VDI-Verlag Düsseldorf
- /FISC-03/ Fischer, D.: Abschlußbericht des Teilprojektes 4 InnoSachs im Verbundprojekt InnoRegio. "Modellentwicklung für Zulieferstrukturen zur Realisierung kostengünstiger und wettbewerbsfähiger komplexer Systeme des Maschinenbaus in der Region Mittelsachsen" der Firma SITEC GmbH Chemnitz. 2003
- /FISC-03a/ Fischer, M.; Jähn, H.; Teich, C.; Zschorn, L.: Optimizing the Selection of Partners in Production Networks. In: Proceedings of the 13th International Conference on Flexible Automation & Intelligent Manufacturing. Eds.: Ahmad et al., Tampa, Florida, June 9-11, 2003.
- /FLEX-02/ <http://www.iwb.tum.de/projekte/FLEXIFEIN/welcome:Dg.html>. 16.05.2002
- /FRAN-01/ Franzke, S.: Technologieorientierte Kompetenzanalyse produzierender Unternehmen. Dissertation am IFW Hannover. Hochschulbibliothek Hannover. 2001
- /FREI-03/ Freitag, M.; Schöne, R.; Enderlein, H.; Schilde, P.: Erfahrungen aus der Netzwerkmoderation - soft facts, hard problems. In: Egon Müller (Hrsg.) Vernetzt planen und produzieren - VPP 2003. Technische Universität Chemnitz. ISSN 0947-2495
- /FREN-01/ Frenzel, M. et al.: Konstruktionsbegleitende Kostenkalkulation auf Basis der Feature-Technologie. In: CAD-CAM Report. Nr. 2. 2001. VDI-Verlag Düsseldorf
- /FRIE-02/ Friedrich, M.; Luczak, H.; Wienecke, K.: Prozessmanagement in der Produktionsplanung und -steuerung. In: RWTH Themen. Heft 1, S. 74-75. Aachen 2002
- /GELD-99/ Geldermann, J.: Entwicklung eines multikriteriellen Entscheidungsunterstützungssystems zur integrierten Technikbewertung. VDI Verlag GmbH. Düsseldorf. 1999
- /GERK-00/ Gerken, H.; Weyrich, M.: Automatisierter Erfahrungsaustausch. In: VDI-Z. Special (2000). Oktober 2000. VDI-Verlag Düsseldorf. 2000
- /GERK-01/ Gerken, H.; Weyrich, M.: Management von Erfahrungswissen in der Arbeitsplanung. In: Industrie Management. 17 (2001). GITO-Verlag Berlin. 2001
- /GOER-00/ Görlitz, O.; Neubert, R.; Benn, W.: Guiding the Customer's Search in E-Business with the Intelligent Cluster Index, in: Brian Stanford-Smith and Paul T. Kidd (Hrsg.), E-business: Key Issues, Applications and Developments, Proc. of the eBusiness and eWork 2000 (EMMSEC 2000) Conference and Exhibition, Madrid, Spain, 18-20 October 2000, IOS Press.
- /GOER-02/ Görlitz, O. et al.: Distributed Scheduling in Networks of Competence Cells, 12th Int'l. Working Seminar on Production Economics, Igls, Austria, 2002.
- /GRAB-02/ <http://jab2000.dfg.de/detail3703.html>. 16.05.2002
- /GRAB-02a/ Grabowski, H. et al.: Supply Chain Management für KMU. Zeitschrift PPS Management. Ausgabe 4/2002. Gito Verlag Berlin. 2002
- /HAAS-00/ Haasis, S.: Durchgängige Gestaltung der CAx-Prozesskette auf Basis der Feature-Technologie. In: CAD-CAM Report. Nr. 1. 2000. VDI-Verlag Düsseldorf

- /HAED-86/ Haedrich, G. et al.: Der Analytic Hierarchy Process. Ein neues Hilfsmittel zur Analyse und Entwicklung von Unternehmens- und Marketingstrategien. In: Zeitschrift WiSt. Heft 3 1986. C. H. Beck-Verlag München.
- /HAEN-93/ Hänle, M.: Systeme zur Unterstützung von Gruppenentscheidungen - Konzeption und Implementation eines Prototypen. Verlag Josef Eul. (1993)
- /HEBB-02/ Hebbal, S.: Methodology for Extraction of Protrusion Type Features and Interacting Depression Type Features for Prismatic Parts from their CAD Model. Proceedings of the 18<sup>th</sup> International Conference on CAD/CAM, Robotics and Factories of the Future. 3.-5. July 2002. Porto. ISBN 972-95194-5-5.
- /HERZ-00/ Herzog, O. et al.: Architektur eines agentenbasierten Systems. In: ZWF. Jahrgang 12 (2000). Carl Hanser Verlag München. 2000
- /HESS-00/ Hesselbach, J. et al.: Gestaltungsmöglichkeiten der 3D-Cax-Prozesskette. In: VDI-Z. Special (2000). Oktober 2000. VDI-Verlag Düsseldorf. 2000
- /HESS-02/ Hessel, C.; Weck, M.: Flächenrückführung topologieoptimierter FE-Modelle. In: wt Werkstattstechnik. Online Jahrgang 92 (2002) H. 7/8. VDI Verlag Düsseldorf 2002
- /HEYS-97/ Heyse, V.; Erpenbeck, J.: "Der Sprung über die Kompetenzbarriere" Bielefeld, W. Bertelsmann Verlag, 1997.
- /HOCK-00/ Hock, S.; Wenserski, J.: Durchgängige Stimmigkeit. Zeitschrift WB Werkstatt + Betrieb. Jahrg. 133 (200) 5. Carl Hanser Verlag München. 2000
- /HOFF-00/ Hoffhenke, M.: Imaginale Prototypen als analogische Formrepräsentation dreidimensionaler Objekte. Dissertation an der Uni Bielefeld. Hochschulschrift. 2000
- /HOFF-02/ Hoffecker, J.; Windle, W.: Strategic and Financial Insights on Leaders in the Vehicle Supply Industry. In: Global Automotive Practice. A.T.Kearney (Ed.). Southfield, Michigan. June 2002.
- /HOFM-00/ Hofmann, U.: Ja zur Kooperation. Zeitschrift MM Maschinenmarkt Ausgabe 106/2000. Vogel Verlag und Druck GmbH & Co. KG Würzburg. 2000
- /HOFM-02/ Hofmann, U.: Wissen macht Markt. In: Zeitschrift MM Maschinenmarkt Ausgabe 17/2002. Vogel Verlag und Druck GmbH & Co. KG Würzburg. 2002
- /ICM-02/ <http://www.icm-chemnitz.de/>. 17.12.2002
- /IFW-02/ <http://hms.ifw.uni-hannover.de/>. 16.12.2002
- /IPRO-02/ <http://www.fzi.de/cad/projekte/ipronet.html>. 12.12.2002
- /JACO-00/ Jacobs, H.-J. et al.: Savings in Resources due to Real-Time Planning and Scheduling on the CNC Manufacturing Layer. Proceedings of the 33<sup>rd</sup> CIRP International Seminar on Manufacturing Systems. Stockholm. Sweden. 2000
- /JACO-02/ Jacobs, H.-J.; Dürr, H. (Hrsg.): Entwicklung und Gestaltung von Fertigungsprozessen. Fachbuchverlag Leipzig. 2002. ISBN 3-446-21748-7
- /JAHR-02/ Institut für Mittelstandsforschung Bonn (Hrsg.): Jahrbuch zur Mittelstandsforschung 1/2002. IfM Bonn. 2002. ISBN 3-8244-7714-9

- /JELA-90/ Jelassi, M.T.; Kersten, G.T.; Zionts, S. An Introduction to Grupp Decision and Negotiation Support. Readings in Multiple Criteria Decision Aid, Heidelberg (1990)
- /JIAN-03/ Jianguo, Y.; Beizhi, L.; Qingxia, W.: A New Initiative Locating and State Memory Fixturing System Toward Agile Manufacturing. Proceedings of the 13th International Conference on Flexible Automation & Intelligent Manufacturing. 9.-11. June 2003. Tampa. USA.
- /JURK-03/ Jurklies, I.: Generieren und Bewerten von Prozessketten im werkzeug- und Formenbau. Tagungsband zum Industrieseminar „E-Manufacturing für KMU“. 21.05.2003. TU Chemnitz. Wissenschaftliche Schriftenreihe des Institutes Fertigungstechnik/ Schweißtechnik der TU Chemnitz. 2003. ISSN 1611-9355
- /KASC-99/ Kaschka, U.: Methodik zur Entscheidungsunterstützung bei der Auswahl und Bewertung von konventionellen und Rapid Tooling-Prozessketten. Shaker Verlag Aachen. 1999. ISBN 3-8265-6431-6
- /KAZE-01/ Kazerooni, M.; Kazerooni, A.: Optimizing Cellular Manufacturing Systems Layout Using Genetic Algorithmus. Proceedings of the 11<sup>th</sup> International Conference on Flexible Automation and Intelligent Manufacturing. 16.-18. July 2001. Dublin. ISBN 1-872-32734-6
- /KCM-02/ <http://www.kmc-sachsen.de/>. 17.12.2002
- /KERS-86/ Kersten, G.E.; Szapiro, T. Generalized Approach to Modelling Negotiations. European Journal of Operational Research 26 (1986) pp.160-168
- /KFSN-04/ <http://www.kfsnet.de/>. 13.02.2004
- /KIRN-02/ [http://scott.wirtschaft.tu-ilmenau.de:8080/htdocs\\_wi2/SPP-Agenten](http://scott.wirtschaft.tu-ilmenau.de:8080/htdocs_wi2/SPP-Agenten). 16.12.2002
- /KLAU-94/ Klauck, C.: Eine Graphengrammatik zur Repräsentation und Erkennung von Features in CAD / CAM. Dissertation an der Universität Kaiserslautern. Infix Verlag Sankt Augustin. 1994. ISBN 3-929037-66-1
- /KLOC-00/ Klocke, F. et al.: Simultaneous Engineering durch konstruktionsbegleitende Fertigungsplanung. In: ProduktDatenManagement. 1 (2000) 2. GITO-Verlag Berlin. 2000
- /KLOC-01/ Klocke, F.: Grenzwertorientierung von Fertigungstechnologien und Produktionsabläufen. In: wt Werkstattstechnik. 91 (2001) H4. VDI Verlag Düsseldorf 2001
- /KLOC-02/ Klocke, F. et al.: Hilfsmittel für die konstruktionsbegleitende Gestaltung von Prozessketten. In: Industrie Management. 18 (2002) 1. GITO-Verlag Berlin. 2002
- /KLOC-99/ Klocke, F.: Featurebasierte Technologieplanung für die Verfahrenskombination HSC-Fräsen - Senkerodieren. In: wt Werkstattstechnik. 89 (1999) H7/8. VDI Verlag Düsseldorf 1999
- /KNOB-99/ Knoblach, J.: Beitrag zur rechnerunterstützten verursachungsgerechten Angebotskalkulation von Blechteilen mit Hilfe wissensbasierter Methoden, Meisenbach Verlag Bamberg, 1999, ISBN 3-87525-130-X

- /KOER-97/ Koerth, K.: Natürlichsprachliche Wissensakquisition für die generierende Arbeitsplanung, Logos Verlag Berlin, 1997, ISBN 3-931216-51-9
- /KOES-89/ Koestler, A.: The Ghost in the Machine. Arkana Verlag London. 1989. ISBN 0-14-019192-5
- /KOMP-02/ <http://www.iwb.tum.de/projekte/kompnet/welcome:Dg.html>. 16.05.2002
- /KREP-01/ Kreppenhofer, D.; Lang, R.; Tassi, E.: Wissensbasierte Technologieplanung durch automatische Objekt- und Merkmalerkennung. In: wt Werkstattstechnik. 91 (2001) H.3. VDI Verlag Düsseldorf 2001
- /KRUE-97/ Krüger, J. et al.: Analyse und Bewertung von Geschäftsprozessen am Beispiel unternehmensübergreifender Logistikprozesse der Automobilindustrie. In: Tagungsband zum 2. GiPP-Fachforum, 25.6.1997. Fraunhofer-Institutszentrum. Stuttgart 1997
- /KUHN-01a/ Kuhn, A.; Laakmann, F.: Beherrschung großer Logistiknetze – Fragestellungen und Lösungskonzepte. In: Industrie Management. 17 (2001). GITO-Verlag Berlin. 2001.
- /KUHN-01b/ Kuhn, A.: Veränderungen und Trends der Lagerkonzepte. In: Fördertechnik. 3/2001. Vereinigte Fachverlage GmbH Mainz. 2001
- /KUHN-01c/ Kuhn, A.: Wissensmanagement im Expertennetzwerk. In: Instandhaltungswissen besser nutzen – strategischer Faktor für den Unternehmenserfolg. Verlag Praxiswissen Dortmund 2001, S. 27-47. ISBN 3-932775-68-6
- /KUHN-02/ Kuhn, A.; Hellingrath, B.: Supply Chain Management – optimierte Zusammenarbeit in der Wertschöpfungskette. Springer Verlag Berlin. 2002. ISBN 3-540-65423-2
- /LEYM-00/ Leymann, F.; Roller, D.: Production workflow – concepts and techniques. Upper Saddle River NJ. 2000. ISBN 0-13-021753-0
- /LI-01/ Li, R.: Agentenbasierte NC-Planung für die Komplettbearbeitung an Dreh/Fräszentren. Dissertation. Universität Stuttgart. Jost-Jetter-Verlag Heimsheim. 2001
- /LI-02/ Li, K.: To Present Information Patterns with Mathematical Modelling in Enterprise Resource Planning System. Proceedings of the 4<sup>th</sup> International Conference on Modelling and Simulation. 11.-13-September 2002. Melbourne. Australia. ISBN 1-86272-617-5
- /LILL-92/ Lillich, L.: Nutzwertverfahren. Heidelberg 1992
- /LING-02/ Linge, S.: Das Web zu diensten. Zeitschrift Das IndustrieMagazin. Ausgabe 47/2002. Verlag Vogel Industrie Medien GmbH & Co. KG Würzburg
- /LOGI-03/ [http://www.logiplan.de/images/pdf/connect/connect\\_d.pdf](http://www.logiplan.de/images/pdf/connect/connect_d.pdf). 08.01.2003
- /LUCZ-00/ Luczak, H. et al.: Unterstützung flexibler Kooperation durch Software. Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2000. ISBN 3-540-67500-0
- /LUCZ-02/ Luczak, H.; Wienecke, K.: Auftragsabwicklung bei verteilten Standorten. Zeitschrift PPS Management. Ausgabe 4/2002. Gito Verlag Berlin. 2002

- /LUCZ-99/ Luczak, H.; Kallenberg, R.: Integration von Fertigung und Instandhaltung. In: Industrie Management. 15 (1999). GITO-Verlag Berlin. 1999
- /LUTZ-00/ Lutz, S.; Wiendahl, H.-P.: Monitoring und Controlling in Produktionsnetzen. In: wt Werkstattstechnik. 90 (2000) H. 5. VDI Verlag Düsseldorf. 2000
- /MBAN-03/ Mbang, S.; Gloeggler, C.; Haasis, S.: Feature-Based Tolerancing for Car Body Design and Production. Proceedings of the 13th International Conference on Flexible Automation & Intelligent Manufacturing. 9.-11. June 2003. Tampa, USA
- /MENZ-01/ Menzel, T.: Wissensbasierte Methoden für die rechnergestützte Charakterisierung und Bewertung innovativer Fertigungsprozesse. Dissertation. Meisenbach Verlag Bamberg. 2001. ISBN 3-87525-142-3
- /MEYE-00/ Meyer, F.: Plattform für Unternehmenskooperationen. [http://www.pzn.de/inhalte/netzwerk/znm/projekt\\_zuliefer.shtml](http://www.pzn.de/inhalte/netzwerk/znm/projekt_zuliefer.shtml). 31.12.2002
- /MEYE-02/ Meyer, M.; Aderhold, J.; Teich, T.: Personal Management and Controlling in Business Networks - Optimization of social structure by Grid-Technique and Polyhedral Analysis. In: Callaos, N., et. al. (Ed.): Proceedings of the 6th World Multiconference on Systemics, Cybernetics and Informatics. Vol. II. Orlando (Florida), PP. 67-72.
- /MIKL-01/ Miklozic, A.; Balic, J.: Model of Intelligent Interface for Computer Intergrated Manufacturing. Proceedings of the 12th International DAAAM Symposium „Intelligent Manufacturing & Automation: Focus on Precision Engineering“ 24.-27. October 2001. Jena. ISBN 3-901509-19-4.
- /MUTH-00/ Muth, M.: CAD-M (Computer Aided Design Using Multimedia). Dissertation. Universität des Saarlandes. Schriftenreihe Produktionstechnik Band 19. 2000. ISBN 3-930429-48-9
- /MUTH-01/ Muthsam, H.: Planung von Aufspannungsinhalten bei der Arbeitsplanerstellung durch optionserhaltende Entscheidungssystematik. Dissertation. Jost-Jetter-Verlag Heimsheim. 2001. ISBN 3-931388-58-1
- /NETH-02/ Nethe, A.: Prozessmodellbildung - Theorie und Anwendung. 1. Aufl. Köster Verlag Berlin. Schriftenreihe Prozessmodelle. Bd. 6 ISBN 3-89574-149-2, 2002
- /NEUB-01/ Neubert, Ralf; Görlitz, Otmar; Mehnert, Jens: IT Unterstützung der Genese von Fertigungsnetzen. In: Hierarchielose Regionale Produktionsnetzwerke. Teich, Tobias (Hrsg.). GUC-Verlag Chemnitz. 2001. ISBN 3-934235-18-2
- /NEUB-01a/ Neubert, R. et al.: Virtual Enterprises - Challenges from a Database Perspective, in: M. E. Orłowska, M. Yoshikawa (Eds.): Proc. of the Workshop on Informations Technology for Virtual Enterprises ITVE-2001, Gold Coast, QLD, Australia, 29-30 Januar 2001, Australian Computer Science Communications Vol. 23 Nr. 6, IEEE Computer Society.
- /NEUB-02/ Neubert, R. et al.: Obstacles for Application of Neural Networks in the ICIX Database Index, accepted for 2002 Int'l. Joint Conference on Neural Networks, Honolulu, USA, 2002.



- /NEUB-02a/ *Neubert, R.; Görlitz, O.; Teich, T.*: Automated Negotiations of Supply Contracts for Flexible Production Networks, 12th Int'l. Working Seminar on Production Economics, Igls, Austria, 2002.
- /NIKA-03/ <http://www.nika-sachsen.de/wir01.htm> . 11.08.2003
- /NITZ-93/ Nitzsch, R.: Analytic Hierarchy Process und Multiattributive Werttheorie im Vergleich. In: *Wirtschaftswissenschaftliches Studium*, H. 3, 1993, S. 111-116.
- /PAHL-86/ Pahl, G.; Beitz, W.: *Konstruktionslehre*. Springer Verlag Berlin/Heidelberg 1986. ISBN 3-540-16427-8
- /POES-01/ Poesche, J.: Agile Produktion. *Zeitschrift für Unternehmensentwicklung und Industrial Engineering*. FB/IE 50 (2001) 2. REFA-Verband (Hrsg.). Beuth Verlag. Berlin 2001
- /PRIT-01/ Pritschow, G.; Storr, A.; Weiner, M.: Integrated, Operator-oriented Order and Process Planning for Flexible Manufacturing: *Production Engineering Vol. VI-II/1* (2001). 2001
- /REFA-85/ N.N.: *Methodenlehre der Planung und Steuerung, Teil 3*, REFA-Verband für Arbeitsstudien und Betriebsorganisation e.V. München, Carl Hanser Verlag 1985, ISBN 3-446-14436-6
- /REIN-00/ Reinhart, G. et al.: *Kooperatives Produktengineering*. In: *ZWF*. Jahrgang 95 (2000) 7-8. Carl Hanser Verlag München. 2000
- /REIN-00a/ Reinhart, G.; Grunwald, S.: *Einführung wandlungsfähiger Prozesse im Produktengineering*. In: *ZWF*. Jahrgang 95 (2000) 7-8. Carl Hanser Verlag München. 2000
- /REIN-00b/ Reinhart, G. et al.: *Flexible Produktentwicklung und Montageplanung mit integrierten Prozessbausteinen*. In: *ZWF*. Jahrgang 95 (2000) 1-2. Carl Hanser Verlag München. 2000
- /REIN-01/ Reinhart, G.; Fusch, T.; Partron, C.: *Web-basierte Lösungen für die durchgängige Virtualisierung des Produktionsprozesses*. In: *VDI-Z*. 143 (2001), Nr. 3 – März. VDI-Verlag Düsseldorf. 2001
- /REIN-01a/ Reinhart, G. et al.: *Virtuelle Produktion im Internet*. In: *wt Werkstattstechnik Online*. Jahrgang 91 (2001) H. 2. VDI Verlag Düsseldorf 2001
- /REIN-01b/ Reinhart, G. et al.: *Methoden für die reaktionsfähige Produktion*. In: *wt Werkstattstechnik Online*. Jahrgang 91 (2001) H. 7. VDI Verlag Düsseldorf 2001
- /REIN-02/ Reinhart, G.: *e-Produktion: Die Produktion im Computer*. In: *wt Werkstattstechnik Online*. Jahrgang 92 (2002) H. 3. VDI Verlag Düsseldorf. 2002
- /REIN-02a/ Reinhart, G. et al.: *Wandlungsfähige Fabrikgestaltung*. In: *ZWF*. Jahrgang 97 (2002) 1-2. Carl Hanser Verlag München. 2002
- /ROJA-96/ Rojas, R.: *Theorie der neuronalen Netze – Eine systematische Einführung*. Springer Verlag Berlin. 1996. ISBN 3-540-56353-9
- /ROY-03/ Roy, B.; Bouyssou, D.: *Aide multicritère à la décision: methods et cas*. *Economica*, Paris (1993)

- /SAAT-80/ Saaty, Thomas L.: The Analytic Hierarchy Process. New York: McGraw Hill, 1980.
- /SAAT-90/ Saaty, T.: The analytic hierarchy process ; planning, priority setting, resource allocation. Verlag RWS Publ. Pittsburgh, PA. 1990. ISBN 9620317-2-0
- /SAMB-02/ Sambale, H.: Stiefkind Mittelstand. In: Kunststoffe. 11/2002 92. Jahrgang. Carl Hanser Verlag München. ISSN 0023-5563
- /SCHA-01/ Schädlich, B.; Steinbach, H.: Kooperation und Innovation in kleinen und mittelständischen Unternehmen. State-of-the-Art-Erfahrungen. TP 4 des InnoRegio Projektes. 2001
- /SCHE-97/ Scherer, A.: Neuronale Netze - Grundlagen und Anwendungen. Vieweg Verlag Braunschweig. 1997. ISBN 3-528-05465-4
- /SCHI-81/ Schiffer, F.; Tempelhof, K.-H. (Hrsg.): Fertigungsprozessgestaltung im Maschinen- und Gerätebau. Tempelhof, K.-H.; Lichtenberg, H.: Gestaltung von Fertigungsprozessen für Einzelteile. 2. Auflage. VEB Verlag Technik Berlin. 1981.
- /SCHM-96/ Schmitz, W.,J.: Methodik zur strategischen Planung von Fertigungstechnologien: Ein Beitrag zur Identifizierung und Nutzung von Innovationspotentialen. Diss. RWTH Aachen. Shaker-Verlag Aachen 1996. ISBN 3-8265-1180-8
- /SCHU-00/ Schuh, G. et al.: Aufbau der virtuellen Fabrik Rhein-Ruhr. In: Industrie Management. Jahrgang 16 (2000) H. 6. GITO-Verlag Berlin 2000
- /SCHU-01/ Schuh, G. et al.: C-Commerce – Die Zukunft von Unternehmensnetzwerken. In: Industrie Management. Jahrgang 17 (2001) H. 5. GITO-Verlag Berlin 2001
- /SCHU-99/ Schulz, H.; Geist, J.: Einsatz von Fertigungsfeatures bei der HSC-gerechten NC-Programmierung. In: wt Werkstattstechnik. 89 (1999) H.7/8. VDI Verlag Düsseldorf. 1999
- /SEN-98/ Sen, P.; Yang J.-B.: Multiple Criteria Decision Support in Engineering Design. Springer Verlag London. 1998
- /SFB283-01/ Sonderforschungsbereich 283 „Prozessketten der Massivumformung unter Aspekten der Produktivität und Umweltverträglichkeit“. Abschlussbericht 1999-2001. Teilprojekt D2. TU Chemnitz. 2001
- /SFB336-02/ <http://www.mw.tu-muenchen.de/sfb336/ziel336.html>. 16.05.2002
- /SFB336-02a/ [http://www.mw.tu-muenchen.de/sfb336/I-Bereich/i4\\_itm.html](http://www.mw.tu-muenchen.de/sfb336/I-Bereich/i4_itm.html). 22.05.2002
- /SFB346-02/ <http://www.sfb346.uni-karlsruhe.de/startseite.html>.
- /SFB346-02a/ [http://www-wbk.mach.uni-karlsruhe.de/Forschung/Projekte/SFB346/d1\\_de.html](http://www-wbk.mach.uni-karlsruhe.de/Forschung/Projekte/SFB346/d1_de.html). 16.05.2002
- /SFB360-03/ [http://www.sfb360.uni-bielefeld.de/teilproj/c1\\_2003.html](http://www.sfb360.uni-bielefeld.de/teilproj/c1_2003.html). 08.09.2003
- /SFB361-02/ <http://www.iaw.rwth-aachen.de/projekte/sfb361/index.html>. 16.05.2002
- /SFB368-02/ <http://mtq002.wzl.rwth-aachen.de/sfb368/>. 16.12.2002
- /SFB384-02/ <http://jab2000.dfg.de/detail11719.html>. 16.05.2002

- /SFB457-00/ Sonderforschungsbereich 457: „Hierarchielose Regionale Produktionsnetze“. TU Chemnitz. Finanzierungsantrag 2000, 2001, 2002
- /SFB457-02/ Sonderforschungsbereich 457: „Hierarchielose Regionale Produktionsnetze“. TU Chemnitz. [http://www.tu-chemnitz.de/sfb457/deutsch/start\\_d.htm](http://www.tu-chemnitz.de/sfb457/deutsch/start_d.htm). 11.12.2002
- /SFB457-02a/ Sonderforschungsbereich 457: „Hierarchielose Regionale Produktionsnetze“. TU Chemnitz. Finanzierungsantrag 2003, 2004, 2005
- /SFB457-02b/ Sonderforschungsbereich 457: „Hierarchielose Regionale Produktionsnetze“. TU Chemnitz. Arbeits- und Ergebnisbericht des Teilprojektes A2. 2000, 2001, 2002
- /SFB467-02/ <http://www.sfb467.uni-stuttgart.de/ziele/index.html>. 16.05.2002
- /SFB559-02/ <http://www.sfb559.uni-dortmund.de/abstract.htm>. 16.05.2002
- /SIEL-00/ Sielemann, M.: Integration von Arbeitsplanung und Fertigungssteuerung bei autonomer kooperativer Fertigung. Dissertation. VDI-Verlag Düsseldorf. 2000. ISBN 3-18-353502-5
- /SILV-02/ Silva, S. do C.; Alves, A. C.: A Framework for Understanding Cellular Manufacturing Systems. Proceedings of the 18<sup>th</sup> International Conference on CAD/CAM, Robotics and Factories of the Future. 3.-5. July 2002. Porto. ISBN 972-95194-5-5.
- /SLOM-03/ Slomp, J.; Chowdary, B. V.; Suresh, N. C.: Design and Operation of Virtual Manufacturing Cells. Proceedings of the 13<sup>th</sup> International Conference on Flexible Automation & Intelligent Manufacturing. 9.-11. June 2003. Tampa. USA.
- /SMIT-81/ Smith, Adam: An inquiry into the nature and causes of the wealth of nations. Repr. 1979 ed. –1981. ISBN 0-86597-007-6
- /SOLI-02/ Soliman, F.: Model for Implementation of CAD/CAM Systems in E-Manufacturers. Proceedings of the 18<sup>th</sup> International Conference on CAD/CAM, Robotics and Factories of the Future. 3.-5. July 2002. Porto. ISBN 972-95194-5-5.
- /SPATH-01/ Spath, D.; Barrho, T.; Klinkel, S.: PPS in segmentierten Strukturen: Überflüssig oder unerlässlich? PPS Management (2001) 6,S. 10-13
- /SPATH-02/ Spath, D.; Klinkel, S.; Barrho, T.: Auftragsabwicklung in dezentralen Strukturen. ZWF Jahrgang 97 (2002), S. 130-132, Hanser verlag München
- /STEG-00/ Stegherr, F.: Mit Reinforcement-Learning zur intelligenten Auftragssteuerung. In: ZWF. Jahrgang 95 (2000) 12. Carl Hanser Verlag München. 2000
- /STRO-99/ Ströhle, H. et al.: Objektorientierte NC-Arbeitsplanung und NC-Programmierung. In: Tagungsband zum STK `99. Stuttgart. 25.-26.02.1999. ISW-Eigenverlag Stuttgart. 1999
- /TAYL-67/ Taylor, F., W.: The Principles of Scientific Management. W. W. Norton & Company New York. 1967. ISBN 0-393-00398-1
- /TCC-03/ <http://tzsdb.tcc-chemnitz.de/cgi-bin/tfs/Maschinenbau/framedb>. 08.07.2003

- /TEIC-03/ Teich, T.: Extended Value Chain Management - ein Konzept zur Koordination von Wertschöpfungsnetzen. Habilitation an der TU Chemnitz: Verlag der GUC 2003
- /TIMM-01/ Timm, I. J. et al.: Adaptive Production Control Emerging from the Cooperation of Intelligent Agents. Proceedings of the 12<sup>th</sup> International DAAAM Symposium. 24-27<sup>th</sup> October 2001. Jena. Germany. ISBN 3-901509-19-4
- /TOEN-00/ Tönshoff, H.-K. et al.: A Mediator-based Approach for Decentralized Production Planning, Scheduling and Monitoring. In: Tagungsband der 2. CIRP-Konferenz (ICME 2000). 21.-23.Juni 2000. Capri. Italien
- /TOEN-00a/ Tönshoff, H. K.; Berger, J.; Seufzer, A.: Elementorientierte Demontageplanung. In: wt Werkstattstechnik. 90 (2000) H.6. VDI Verlag Düsseldorf. 2000
- /TOEN-00b/ Tönshoff, H.-K.; Gerrit, T.: Dezentrales Produktmanagement auf Basis eines Mediators. In: ZWF. Jahrgang 95 (2000) 12. Carl Hanser Verlag München. 2000
- /TOEN-00c/ Tönshoff, H. K. et al.: Architektur eines agentenbasierten Systems. In: ZWF. Jahrgang 95 (2000) 12. Carl Hanser Verlag München. 2000
- /TOEN-01/ Tönshoff, H. K.; Teunis, G.: Engpässe in der Werkstattsteuerung erkennen. In: wt Werkstattstechnik. 91 (2001) H.9. VDI Verlag Düsseldorf. 2001
- /TOEN-01a/ Tönshoff, H. K.; et al.: Positionierung technologischer Schnittstellen. In: wt Werkstattstechnik. 91 (2001) H.6. VDI Verlag Düsseldorf. 2001
- /TOEN-97/ Tönshoff, H.K.; Rotzoll, M.A.: Configuration of Manufacturing Systems with Neural Networks and Genetic Algorithms. Proceedings, 29th CIRP. 1997, Osaka Japan, S. 75-80.
- /TOEN-98/ Tönshoff, H.K.; Sielemann, M.: Dezentralisierte Auftragsabwicklung. wt Werkstattstechnik. 88, 1998, H. 3, Düsseldorf: VDI-Verlag. (1998)
- /TOEN-98a/ Tönshoff, H.K.; Rotzoll, M.A.: Application of Evolutionary Algorithms for Planning and Improving Manufacturing Systems. Proceedings, 30.CIRP. International Seminar on Intelligent Computation in Manufacturing Engineering, ICEM 98, July 1-3, 1998, Capri, Italy.
- /TROM-01/ Trommer, G.: Methodik zur konstruktionsbegleitenden Generierung und Bewertung alternativer Fertigungsfolgen. Dissertation. Shaker Verlag Aachen. 2001. ISBN 3-8265-8698-0
- /TROM-03/ Trommler, U.; Teich, T.: Werkzeuge zur Koordinierung und Optimierung unternehmensübergreifender Produktionsprozesse. . Tagungsband zum Industrieseminar „E-Manufacturing für KMU“. 21.05.2003. TU Chemnitz. Wissenschaftliche Schriftenreihe des Institutes Fertigungstechnik/ Schweißtechnik der TU Chemnitz. 2003. ISSN 1611-9355
- /UHLM-99/ Uhlmann, E. et al.: Herausforderungen für den Werkzeug- und Formenbau in der Region Berlin-Brandenburg. In: ZWF. Jahrgang 94 (1999) 12. Carl Hanser Verlag München. 1999
- /USK-02/ <http://www.usk-utz.de/>. 13.12.2002

- /WALS-02/ Walsh, S.; Nahavandi, S.: Simulating a Reconfigurable Manufacturing System. Proceedings of the Fourth International Conference on Modelling and Simulation. 11.-13. November 2002. Melbourne. ISBN 1-86272-617-5.
- /WANN-02/ Wannenwetsch, H. H.: E-Supply-Chain-Management – Grundlagen, Strategien, Praxisanwendungen. Gabler Verlag Wiesbaden. 2002. ISBN 3-409-12015-7
- /WECK-01/ Weck, M.; Wolf, J.: STEP-NC: integrating shop floor into industrial dataflow for enabling of intelligent near to process functions. In: PDT Days 2001 – Proceedings of PDT Days 2001, Brussels/Belgium, 25th – 26th April 2001, ISBN 1-901782-05-0
- /WEST-00/ Westkämper, E.: Kontinuierliche und partizipative Fabrikplanung. In: wt Werkstattstechnik. 90 (2000) H. 3. VDI Verlag Düsseldorf. 2000
- /WEST-01/ Westkämper, E.: Computereinsatz in der Planung der Fertigung. In: wt Werkstattstechnik Online. Jahrgang 91 (2001) H. 6. VDI Verlag Düsseldorf 2001
- /WEST-02/ Westkämper, E.; Kirchner, S.; Wiendahl, H.-H.: Dynamische Logistikstrategien. In: ZWF. Jahrgang 97 (2002) 1-2. Carl Hanser Verlag München. 2002
- /WEST-02a/ Westkämper, E.: Fertigungsplanung – Wissensmanagement für die Produktion. In: wt Werkstattstechnik Online. 92 (2002) H. 3. VDI Verlag Düsseldorf. 2002
- /WEST-02b/ Westkämper, E.: Produktnutzen steigern mit telebasierten Systemplattformen. In: wt Werkstattstechnik Online. 92 (2002) H. 3. VDI Verlag Düsseldorf. 2002.
- /WEST-04/ Westkämper, E.: Structural Change in Manufacturing – Caused by Turbulent Influencing Factors. Proceedings of the International Conference on Competitive Manufacturing. 4.-6. February 2004. Stellenbosch. ISBN 0-7972-1018-0.
- /WEST-99/ Westkämper, E.; Wiendahl, H.-H.; März, L.: Fabrikplanung und Auftragsmanagement in wandlungsfähigen Unternehmensstrukturen. In: ZWF. Jahrgang 94 (1999) 10. Carl Hanser Verlag München. 1999.
- /WIEN-00/ Wiendahl, H.-P.: Wandlungsfähigkeit – neues Zielfeld in der Fabrikplanung. In: Industrie Management. 16 (2000). GITO-Verlag Berlin. 2000.
- /WIEN-01/ Wiendahl, H.-P.; Lutz, S.; Windt, K.: Supply Net – New Methods for Improving Flexibility of Capacities in Production Networks. In: Production Engineering. VIII/1 (2001)
- /WIEN-01a/ Wiendahl, H.-P. et al.: Kooperative Fabrikplanung. In: wt Werkstattstechnik. 91 (2001) H.4. VDI Verlag Düsseldorf. 2001
- /WIEN-01b/ Wiendahl, H.-P.; Lödding, H.: Dezentrale bestandsorientierte Fertigungsregelung. In: wt Werkstattstechnik. 91 (2001) H.4. VDI Verlag Düsseldorf. 2001
- /WIEN-02/ Wiendahl, H.-P.; Hernandez, R.; Grienitz, V.: Planung wandlungsfähiger Fabriken. In: ZWF. Jahrgang 97 (2002) 1-2. Carl Hanser Verlag München. 2002
- /WIEN-99/ Wiendahl, H.-P. et al.: Vom Einzelunternehmen zum Unternehmensverbund. In: ZWF. Jahrgang 94 (1999) H. 4. Carl Hanser Verlag München 1999
- /WIRT-00/ Wirth, S.: Hierarchielose regionale Produktionsnetze im globalen Wettbewerb. Zeitschrift Industrie Management (2000). Heft 6/2000. Git-Verlag

- /WIRT-01/ Wirth, S.; Baumann, A.: Wertschöpfung durch vernetzte Kompetenz. Huss-Verlag München. 2001. ISBN 3-931724-44-1
- /WIRT-99/ Wirth, S.; Baumann, A.: Hierarchielose regionale Produktionsnetze im Maschinenbau. - In: Vortragsband zur 5. Magdeburger Logistik-Tagung "Logistiknetzwerke – Planen, Realisieren, Bewerten". Magdeburg, 18.-19.11.1999
- /ZADE-69/ Zadeh, L. A.; Polak, A.: System theory. Publ. by McGraw-Hill, New York. 1969. ISBN 0070727473
- /ZAHN-00/ Zahn, E. et al.: Strategische Optionen zur Führung wandlungsfähiger Produktionsnetzwerke. In: Industrie Management. 16 (2000). GITO-Verlag Berlin. 2000
- /ZIMM-87/ ZIMMERMANN, H.-J.: Fuzzy Sets, Decision Making, and Expert Systems. Kluwer, Boston-Dortrecht-Lancaster. 1987.
- /ZIMM-91/ Zimmermann, H.J.; Gutsche, L.: Multi-Criteria Analyse, Springer, Heidelberg 1991

## **Anlage**





Bestandteil	Definition	Ausprägung	Beschreibung	Art	
				logisch, konzeptionell	physisch
<b>Dinge</b>	Dinge sind Abstraktionen, die in einem Modell Bürger erster Klasse sind.	Strukturelemente	Strukturelemente sind Substantive in UML-Modellen.	logisch, konzeptionell	Klasse, Kollaboration, Schnittstelle, Anwendungsfall, aktive Klasse
		Verhaltensweisen	Verhaltensweisen sind Verben in UML-Modellen, die das Verhalten in Zeit und Raum repräsentieren.	physisch	Komponente, Knoten
	Gruppierungen	Gruppierungen sind die zur Organisation gehörenden Teile von UML-Modellen.		Interaktion, Automat	
	Kommentare	Kommentare sind die erläuternden Teile von UML-Modellen.		Paket	
	Abhängigkeit	Eine Abhängigkeit ist eine semantische Beziehung zwischen zwei Gegenständen.		Notiz	
<b>Beziehungen</b>	Beziehungen verbinden Dinge miteinander.	Assoziation	Eine Assoziation ist eine Strukturbeziehung, die eine Menge von Objektbeziehungen beschreibt.		gerichtet, ungerichtet
		Generalisierung	Eine Generalisierung ist eine Beziehung zwischen dem Allgemeinen und dem Speziellen.		gerichtet, ungerichtet
		Realisierung	Eine Realisierung ist eine semantische Beziehung zwischen Klassifizierungen.		bezeichnet, unbezeichnet
		Klassendiagramm	Ein Klassendiagramm zeigt eine Menge von Klassen, Schnittstellen und Kollaborationen sowie ihre Beziehungen.		
		Objektdiagramm	Ein Objektdiagramm zeigt eine Menge von Objekten und ihre Beziehungen.		
<b>Diagramme</b>	In Diagrammen werden interessante Zusammenfassungen von Dingen gruppiert.	Anwendungsfalldiagramm	Ein Anwendungsfalldiagramm zeigt eine Menge von Anwendungsfällen und Akteuren und ihre Beziehungen.		Darstellung von statischer Entwurfs- oder statischer Prozesssicht eines Systems
		Interaktionsdiagramme	Ein Interaktionsdiagramm zeigt eine Interaktion, die aus einer Menge von Objekten und deren Beziehungen besteht		Darstellung der tatsächlichen oder prototypischen statischen Entwurfs- o. Prozesssicht eines Systems
		Zustandsdiagramm	Ein Zustandsdiagramm zeigt einen aus Zuständen, Zustandsübergängen, Ereignissen und Aktivitäten bestehenden Automaten.		statische Anwendungsfallsicht eines Systems
		Komponentendiagramm	Ein Komponentendiagramm zeigt die Organisation und die Abhängigkeiten einer Menge von Komponenten.		Sequenzdiagramm, Kollaborationsdiagramm, dynamische Sicht eines Systems
		Einsatzdiagramm	Ein Einsatzdiagramm stellt die statische Einsatzsicht einer Architektur dar.		Zustandsdiagramm, Aktivitätsdiagramm
					physische Sicht eines Systems
					zeigt physische Aspekte eines Systems

Anlage I: Erläuterungen zu den UML-Notationen.

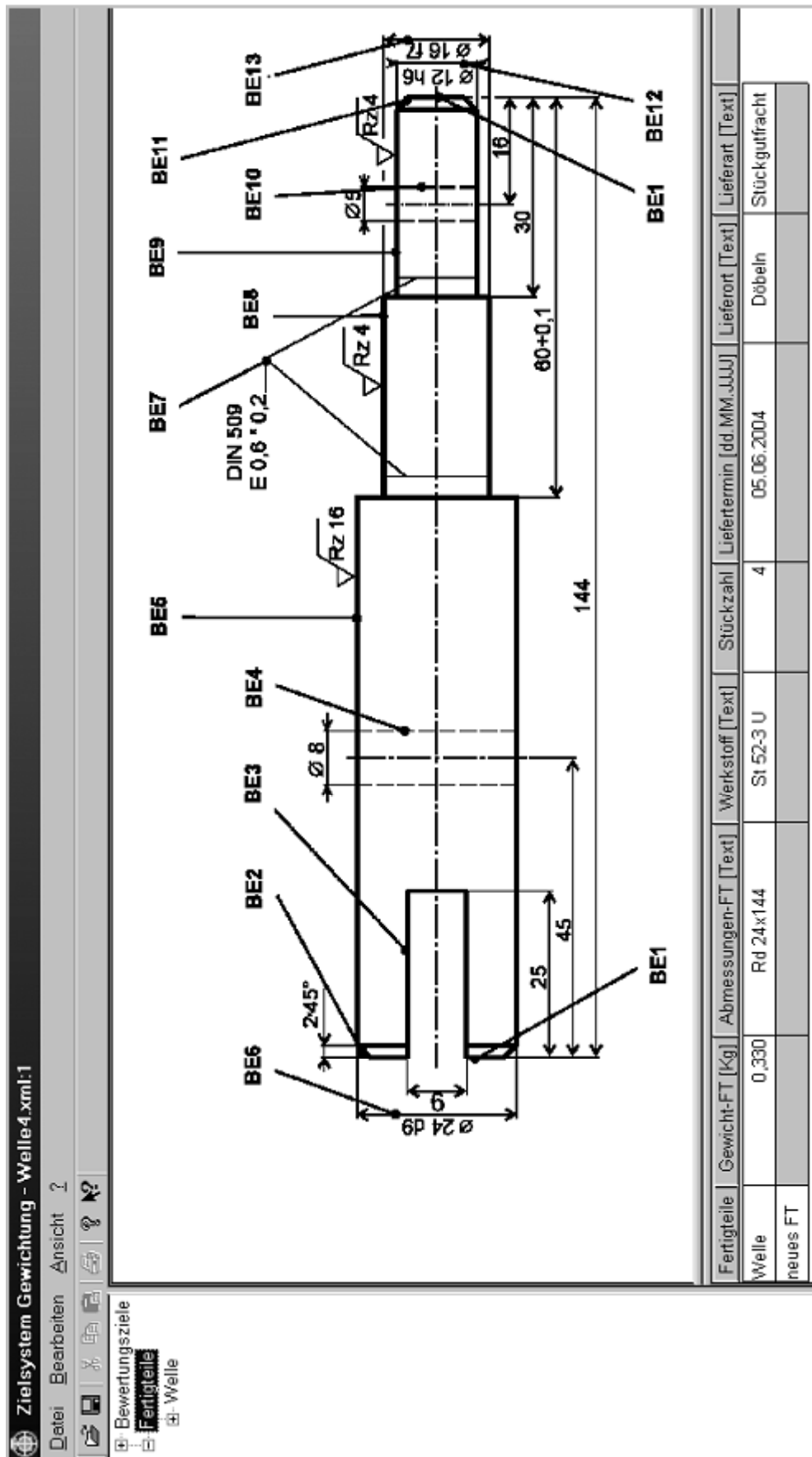


Eigenschaften	Ausrichtung/ Orientierung	Lösungs- raum	Zeitaufwand	Kriterien- gruppen	Gewichtung	Maßzahl- umsetzung	unscharfe Eingangsda- ten	Ergebnis- darstellung
<b>AHP</b>	Generell	beliebige Komplexität	schwer innerhalb eines Tages, eine Woche ist aus- reichend, mehr Zeit wün- schenswert	beliebige Kriterien- gruppen sind möglich	mittels inkon- sistenten Ent- scheidungsma- trizen	mittels inkon- sistenten Entscheidungsma- trizen	Nein (aller- dings in Er- weiterungen möglich)	Tabellen
<b>Nutzwert- analyse</b>	Generell	Einfache, mittel und zu einem gewis- sen Grad hoch kom- plexe	schlecht inner- halb einer Stun- de, Innerhalb eines Tages möglich. mehr als einen Tag ohne weiteres ausreichend	beliebige Kriterien- gruppen in einer Baum- struktur	frei abge- schätzt oder über die Do- minanzmatrix bestimmt	Bewer- tungsstafeln und Wert- funktionen	Nein	Tabelle
<b>CODASID- Methode</b>	Technisch- wirtschaftlich	komplexe bzw. hoch- komplexe, für einfache Varianten eigentlich zu umfangreich	ca. eine Woche bis Monate	nein	zwei Gewich- te: die auf eins normierten Gewichte der Attribute und die Kompro- missgewichte der Präferenz- matrix	implizit über die linguisti- schen At- tribute	Nein	Endergebnis ist eine Rangfolge der Alterna- tiven

Anlage II: Vergleich ausgewählter "klassischer Bewertungsverfahren“.







Anlage IIIb: Zusammenstellung der Eingangsinformationen.

**Zielsystem Gewichtung - Welle4.xml:1**

Datei Bearbeiten Ansicht ?

Bewertungsziele

- Flexibilität
- Kosten
- Qualität
- Sicherheit
- Zeit
- Arbeitsschutzanforderungen
- Ökologie
- Fertigteile
- Welle

### Kundenprämissen Welle

- sehr kostengünstig,
- entsprechend dem vorgegebenen Liefertermin relativ schnell
- und wenn möglich mit geringer Belastung der Umwelt

Kriterium ist	Eingabe	als Kriterium
N..		zurück
1.	+4: wichtiger	Zeit
2.	+8: absolut bedeutender	Ökologie
3.	+2: etwas wichtiger	Ökologie

Anlage IIIc: Sicht auf die Überführung der Kundenprämissen in gewichtete Kriterien.

**Zielsystem Gewichtung - Welle4.xml:1**

Datei Bearbeiten Ansicht ?

- [-] Bewertungsziele
  - [-] Fertigteile
    - [-] Welle
      - [-] Bearbeitungselemente (BE)
        - [-] Rohteile (RT)
          - [-] A Rd 25\*145
          - [-] B Rd 25\*100
          - Rohteil-Bewertung**
        - [-] Fertigungsstrategien (FS)
          - [-] Reihenfolge: Prozessvarianten
          - [-] Bildung Prozessplan

Rohteil	Kosten	Zeit	Ökologie	RTV r
Bewertungsziel-absolut [%] ==>	75,00 %	18,00 %	7,00 %	
	Werte	Werte	Werte	
	Kleinste = Best	Kleinste = Best	Größte = Best	
A Rd 25*145	1,500	24,000	3,000	0,4326072158
B Rd 25*100	1,200	24,000	7,000	0,5673927842

Anlage IIIId: Sicht auf die berechneten Rohteilgesamtnutzwerte.



**Zielsystem Gewichtung - Welle4.xml:1**

Datei Bearbeiten Ansicht ?

- [-] Bewertungsziele
- [-] Fertigteile
  - [-] Welle
    - [-] Bearbeitungselemente (BE)
      - [-] Rohteile (RT)
        - [-] A Rd 25\*145
        - [-] B Rd 25\*100
      - [-] Rohteil-Bewertung
        - Fertigungsstrategien (FS)**

Reihenfolge: Prozessvarianten  
Bildung Prozessplan

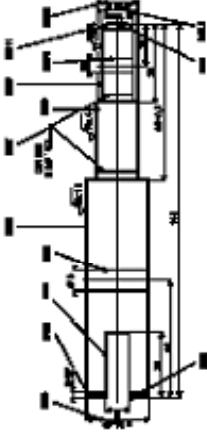
Fertigungsstrategien	Wertanteil zum Rohteil [%]	normierter Wertanteil zum Rohteil
spanend	97,00	0,97
umformend	95,00	0,95
neue FS		

Anlage IIIe: Sicht auf die Wertigkeitsvergabe Rohteil – Fertigungsstrategie.

**Zielsystem Gewichtung - Welle4.xml:1**

Datei Bearbeiten Ansicht ?

Bewertungsziele  
 Fertigteile  
 Welle  
 **Bearbeitungselemente (BE)**  
 Rohteile (RT)  
 ... Rohteil-Bewertung  
 Fertigungsstrategien (FS)  
 ... Reihenfolge: Prozessvarianten  
 ... Bildung Prozessplan



Bearbeitungselement	Aufwandsanteil [%]	normiert
BE 01 Stirnflächen rechte + linke Seite	5,00	0,05
BE 02 Fase Außendurchmesser linke Seite	2,00	0,02
BE 03 Nebenform Schlitz	14,00	0,14
BE 04 Bohrung 8 mm	7,00	0,07
BE 05 Planfläche außen linke Seite	10,00	0,10
BE 06 Passung 24 d9	11,00	0,11
BE 07 Einstiche	4,00	0,04
BE 08 Planfläche außen mitte	12,00	0,12
BE 09 Planfläche außen rechte Seite	10,00	0,10
BE 10 Bohrung 5 mm	5,00	0,05
BE 11 Fase Außendurchmesser rechte Seite	2,00	0,02
BE 12 Passung 12 h6	9,00	0,09
BE 13 Passung 16 f7	9,00	0,09
neues BE	100,00	1,00

Anlage IIIf: Sicht auf die Wertigkeitsvergabe der Bearbeitungselemente.



Zielsystem Gewichtung - Welle4.xml:1

Datei  Bearbeiten  Ansicht

Bewertungsziele  
 Fertigteile  
 Welle  
 Bearbeitungselemente (BE)  
 Rohteile (RT)  
 Rohteil-Bewertung  
 Fertigungsstrategien (FS)  
 FS: spanend  
 FS: umformend  
**Reihenfolge: Fertigungsstrategien**  
 Reihenfolge: Prozessvarianten  
 Bildung Prozessplan

EW	Nr.	Fertigung...	1. Prozess...	2. Prozess...	3. Prozess...	4. Prozess...	5. Prozess...	6. Prozess...	7. Prozess...
0,00814	1.	spanend	Sägen	Drehen	Drehen	Fräsen	Bohren	Schleifen	
0,00800	2.	spanend	Scheren	Drehen	Drehen	Fräsen	Bohren	Schleifen	
0,00786	3.	spanend	Sägen	Fräsen	Drehen	Fräsen	Bohren	Schleifen	
0,00783	4.	spanend	Sägen	Drehen	Drehen	Stoßen	Bohren	Schleifen	
0,00783	5.	spanend	Sägen	Drehen	Drehen	Räumen	Bohren	Schleifen	
0,00773	6.	spanend	Scheren	Fräsen	Drehen	Fräsen	Bohren	Schleifen	
0,00769	7.	spanend	Scheren	Drehen	Drehen	Stoßen	Bohren	Schleifen	
0,00769	8.	spanend	Scheren	Drehen	Drehen	Räumen	Bohren	Schleifen	
0,00756	9.	spanend	Sägen	Fräsen	Drehen	Stoßen	Bohren	Schleifen	
0,00756	10.	spanend	Sägen	Fräsen	Drehen	Räumen	Bohren	Schleifen	

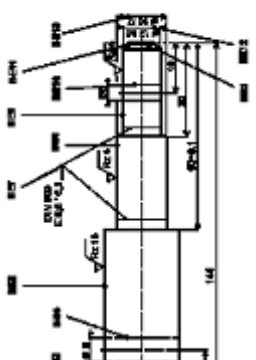
Anlage IIIh: Berechnete Gliederung der Fertigungsstrategien.

Zielsystem Gewichtung - Welle4.xml:1

File Bearbeiten Ansicht ?

Bewertungsziele

- Fertigteile
  - Welle
    - BE: Bearbeitungselemente (BE)
    - RT: Rohnteile (RT)
    - FS: Fertigungselemente (FS)
    - FS: spannend
    - FS: umformend
    - Reihenfolge: Fertigungsstrategie
    - Reihenfolge: Prozessvarianten
    - Bildung Prozessplan



EW	Nr.	Rohrteil	Fertigun...	1. Prozess...	2. Prozes...	3. Prozess...	4. Prozess...	5. Prozess...	6. Prozess...	7. Prozess...
0,00783	1.	A Rd 25*145	spannend	Sägen	Drehen	Drehen	Fräsen	Bohren	Schleifen	
0,00771	2.	A Rd 25*145	spannend	Scheren	Drehen	Drehen	Fräsen	Bohren	Schleifen	
0,00759	3.	A Rd 25*145	spannend	Sägen	Fräsen	Drehen	Fräsen	Bohren	Schleifen	
0,00756	4.	A Rd 25*145	spannend	Sägen	Drehen	Drehen	Stoßen	Bohren	Schleifen	
0,00756	5.	A Rd 25*145	spannend	Sägen	Drehen	Drehen	Räumen	Bohren	Schleifen	
0,00747	6.	A Rd 25*145	spannend	Scheren	Fräsen	Drehen	Fräsen	Bohren	Schleifen	
0,00744	7.	A Rd 25*145	spannend	Scheren	Drehen	Drehen	Stoßen	Bohren	Schleifen	
0,00744	8.	A Rd 25*145	spannend	Scheren	Drehen	Drehen	Räumen	Bohren	Schleifen	
0,00732	9.	A Rd 25*145	spannend	Sägen	Fräsen	Drehen	Stoßen	Bohren	Schleifen	
0,00732	10.	A Rd 25*145	spannend	Sägen	Fräsen	Drehen	Räumen	Bohren	Schleifen	
0,00728	11.	A Rd 25*145	spannend	Sägen	Drehen	Drehen	Fräsen	Erodieren	Schleifen	
0,00727	12.	A Rd 25*145	spannend	Sägen	Drehen	Drehen	Erodieren	Bohren	Schleifen	

Anlage IIIi: Gliederung der Prozessvarianten.