

Kompetenzzellenbasierte Produktentwicklung

Von der Fakultät für Maschinenbau
der Technischen Universität Chemnitz

genehmigte

Dissertation
zur Erlangung des akademischen Grades

Doktor der Ingenieurwissenschaften

(Dr.-Ing.)

vorgelegt

von Dipl.-Ing. Ralf Steiner

geboren am 27. Mai 1967 in Sonneberg

eingereicht am 20. April 2006

Gutachter: Prof. Dr.-Ing. habil. Prof. E.h. Dr.-Ing. E.h. Reimund Neugebauer
Prof. Dr.-Ing. Axel Kuhn
Prof. Dr.-Ing. Egon Müller

Chemnitz, den 17.11.2006

Bibliografische Beschreibung

Steiner, Ralf:

Kompetenzzellenbasierte Produktentwicklung

Dissertation an der Fakultät für Maschinenbau der Technischen Universität Chemnitz, Institut für Werkzeugmaschinen und Produktionsprozesse, Chemnitz, 2006.

192 Seiten

69 Abbildungen

12 Tabellen

11 Anlagen

165 Quellen

Referat:

Die kompetenzzellenbasierte Vernetzung stellt für die kooperative Zusammenarbeit von elementaren Leistungseinheiten einen neuartigen wissenschaftlichen Ansatz zur Gewährleistung der Wettbewerbsfähigkeit dar. Die Wertschöpfung in der Produktentwicklung, erfordert die vollständige wissenschaftliche Durchdringung und Systematisierung der Planung und Gestaltung kompetenzzellenbasierter Produktentwicklungsprozesse. Die Arbeit beschreibt den konzeptionellen Aufbau des Partialmodells der Produktentwicklung als Beschreibungs- und Suchalgorithmus für Fach- und Methodenkompetenzen und deren softwaretechnischen Umsetzung im Kompetenz-Agenten. Das Modell in Verbindung mit der Bewertung von Kompetenzpotenzialen, bildet somit die Grundlage für die Struktur von Produktentwicklungskompetenzzellen als Engineering-Dienstleister. Darauf basierend können kompetenzzellenbasierte Produktentwicklungsprozesse generiert werden. Die Verifikation der entwickelten Modelle, Methoden und Konzepte erfolgt an den Beispielen der mechatronischen Produkte Sonderschleifmaschine und Baugruppe Motorspindel.

Schlagnworte:

Verteilte Produktentwicklung, Netzwerk, Entwicklungsmethode, Kompetenzzelle, Kompetenz

VORWORT DES VERFASSERS

"In den nächsten paar Jahren werden wir vorrangig um Vereinfachung bemüht sein.

Wir wollen mehr Einfachheit bei unserer Kommunikation. Bei Präsentationen. Bei Produkten.

Weniger Komponenten. Ein einfaches Design.

Die Unternehmen tendieren dazu, alles zu verkomplizieren - auch im Leben schlechthin wird vieles verkompliziert."

Jack Welch

Einfach sein und die Erkenntnisse umsetzen ist schwer. Eine Vielzahl der Menschen sind überzeugt von der Richtigkeit der These, man sollte alles einfacher machen; weit weniger verstehen die Zusammenhänge wirklich und nur wenige sind in der Lage, danach zu arbeiten und zu leben. Es gibt viele Beweise für den Erfolg von Einfachheit. Einleuchtende Lösungen und das Selbstverständliche sind einfach zu verstehen. Das Leben und die wirtschaftlichen Zusammenhänge sind so komplex und veränderlich, dass eine feste Reglementierung unvorstellbar ist. Um Einfachheit zu erreichen oder diesem Ziel möglichst nahe zu kommen müssen bestimmte Voraussetzungen erfüllt werden. Hierzu gibt es Instrumentarien und Werkzeuge welche dabei unterstützend wirken.

Diese Arbeit soll einen Beitrag dazu leisten, Fach- und Methodenkompetenz innerhalb der Produktentwicklung und somit kleinstmöglich sinnvolle Leistungseinheiten (Kompetenzzellen) einfach, schnell und sicher zu beschreiben. Die Gestaltung und Vorgehensweise der Suche von Kompetenzzellen und deren kompetenzoptimierte hierarchielose Auswahl dient der Vermeidung von Komplexität und bildet somit die Basis, kompetenzzellenbasierte Produktentwicklung in kürzester Zeit erfolgreich realisieren zu können.

DANKSAGUNG

Die vorliegende Dissertation entstand während meiner Tätigkeit als wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Werkzeugmaschinen und Produktionsprozesse (IWP) der Technischen Universität Chemnitz.

Mein besonderer Dank gilt Herrn Professor Dr.-Ing. habil. Prof. E. h. Dr.-Ing. E.h. Reimund Neugebauer und Herrn Professor Dr.-Ing. Dieter Weidlich, den Leitern dieses Instituts, für die Schaffung und Pflege der hervorragenden Rahmenbedingungen am IWP, unter denen diese Arbeit entstanden ist. Insbesondere möchte ich mich bei Herrn Professor Dr.-Ing. habil. Prof. E.h. Dr.-Ing. E.h. Reimund Neugebauer für die wohlwollende Förderung und großzügige Unterstützung meiner Arbeit bedanken.

Bei Herrn Professor Dr.-Ing. Axel Kuhn und Professor Dr.-Ing. Egon Müller möchte ich mich für die Erstellung der Gutachten und die aufmerksame Durchsicht der Arbeit sehr herzlich bedanken. Herrn Professor Dr.-Ing. Michael Dietzsch danke ich für die Übernahme des Vorsitzes im Promotionsausschuss.

Aus dem großen Kreis der Kollegen, die mich während der Entstehung der Arbeit begleitet haben möchte ich Herrn Dipl.-Ing. Sven Gleich besonders danken. Darüber hinaus gilt mein Dank all denjenigen Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern, sowie den Studenten des IWP, die mich bei der Erstellung dieser Arbeit unterstützt haben.

Mein ganz besonderer Dank gilt meiner Frau Gudrun, die mir in den Monaten der erhöhten nervlichen Anspannung stets Unterstützung und Kraft gab und es immer verstanden hat mich aufzumuntern. Mein Dank gilt meiner Familie; meinen Töchtern Stephanie und Cindy, meinen Enkelkindern und meinen Eltern. Meiner Frau und ihnen widme ich diese Arbeit.

Nosswitz, im November 2006

Ralf Steiner

Inhaltsverzeichnis

Abkürzungsverzeichnis.....	IX
Verzeichnis der Formelzeichen und Indizes	XII
Glossar	XIV
1 Einleitung	1
1.1 Instabilitäten im wirtschaftlichen Umfeld – Herausforderungen für die Produktentwicklung.	1
1.2 Zielsetzung der Arbeit	3
1.3 Vorgehensweise.....	4
2 Ausgangssituation und Problemstellung	6
2.1 Veränderte Märkte für Hersteller von Werkzeugmaschinen	6
2.1.1 Zukunftsbetrachtungen zur Marktentwicklung – neue Ansprüche und Erfolgsstrategien	6
2.1.2 Auswirkungen auf den bisherigen Produktentwicklungsprozess.....	7
2.2 Analyse von Werkzeugmaschinenherstellern (Empirie)	10
2.3 Anspruch des kompetenzzellenbasierten Vernetzungsansatzes.....	16
3 Stand der wissenschaftlichen Erkenntnisse.....	19
3.1 Definition relevanter Begriffe.....	19
3.1.1 Betrachtungen zu Netzwerken	19
3.1.2 Hierarchielose regionale Produktionsnetze.....	22
3.1.3 Produktentwicklung als Engineering-Dienstleistung.....	24
3.2 Analyse und Diskussion bestehender Forschungsarbeiten	25
3.3 Strategien und Methoden in der Produktentwicklung	30
3.3.1 Produktentwicklungsstrategien	30

3.3.2	Methoden und Werkzeuge der Produktentwicklung.....	32
4	Kompetenzbeschreibung in der Produktentwicklung.....	37
4.1	Vorgehensweise und Auswahl der Modellierungssprache	37
4.2	Kompetenzrahmen der Produktentwicklung	39
4.3	Partialmodell der Produktentwicklung	44
4.3.1	Generisches Kompetenzzellenmodell.....	44
4.3.2	Geschäftsobjektmodell.....	45
4.3.3	Methodenmodell	47
4.3.4	Aktivitätsmodell.....	48
4.3.5	Nichtpersonelles Ressourcenmodell	49
4.4	Merkmalsausprägungen von Produktentwicklungskompetenzzellen.....	50
4.4.1	Klassifikation und Beschreibungsgrundlagen von Produktentwicklungs- kompetenzzellen	50
4.4.2	Anforderungsvektorerstellung von Produktentwicklungskompetenzzellen	53
4.4.3	Projektführende/Projektunterstützende Kompetenzzellen.....	55
4.4.4	Kompetenzprofile von Produktentwicklungskompetenzzellen	56
4.5	Auswahl- und Bewertungsverfahren von Kompetenzzellen.....	57
4.5.1	Mathematische Betrachtung	57
4.5.2	Kompetenzpotenzialbewertung.....	59
4.5.3	Auswahlalgorithmus	65
4.6	Entwicklungs- und Adaptionstrategien	67
5	Umsetzung im Wertschöpfungsprozess	69
5.1	Phasen der Produktionsnetzbildung und des Produktionsnetzbetriebes	69
5.1.1	Kooperation zwischen Kompetenzzellen - Schnittstellenbetrachtung.....	69
5.1.2	Phasen der kompetenzzellenbasierten Produktentwicklung	70
5.1.3	Start-Up zur Produktentwicklung	71
5.1.4	Produktentwicklungsstrategien im kompetenzzellenbasierten Produkt- entwicklungsprozess	73

5.2	Anfrage-, Angebots- und Anforderungsszenario an die Produktentwicklung	74
5.2.1	Anfragedefinition	74
5.2.2	Angebotserstellung	76
5.3	Kompetenzzellenbasierter Produktentwicklungsprozess	77
5.3.1	Generierung von Verknüpfungen in hierarchielosen Kompetenznetzen	77
5.3.2	Kompetenzzellenbasierte Produktentwicklung mechatronischer Produkte	79
5.3.3	Kompetenzzellenbasierte Produktentwicklung von Werkzeugmaschinen	81
5.3.4	Produktentwicklungs-Workflow	83
6	Verifizierung der Produktentwicklungsmethode	84
6.1	Softwaretechnische Umsetzung – Kompetenz-Agent (KoAg)	84
6.1.1	Vorgehensweise zur Validierung und Beschreibung der softwaretechnischen Umsetzung	84
6.1.2	Integration des Beschreibungsalgorithmus	86
6.1.3	Implementierung der Kompetenzzelle	89
6.1.4	Projekt-, Angebot- und Nachrichten-Datenstruktur	90
6.1.5	Systemfunktionalitäten	92
6.2	Dienstleistung der Produktentwicklung am Beispiel einer Motorspindel	98
6.3	Dienstleistung der Produktentwicklung am Beispiel einer Sonderschleifmaschine	101
7	Bewertung des Forschungsansatzes	109
7.1	Einordnung der Forschungsergebnisse	109
7.2	Bewertung und Betrachtungen zur Zielsetzung der Arbeit	112
8	Zusammenfassung und Ausblick	115
8.1	Zusammenfassung	115
8.2	Ausblick	117
9	Literaturverzeichnis	120

10	Anhang.....	134
10.1	Abbildungsverzeichnis	134
10.2	Tabellenverzeichnis	137
10.3	Anlagenverzeichnis	138

Abkürzungsverzeichnis

2D	zweidimensional
3D	dreidimensional
APL	Arbeitsplanung
AK	Anpassungskonstruktion
APL-KPZ	Arbeitsplanungskompetenzzelle
BG	Baugruppe
CAD	Computer Aided Design
CAM	Computer Aided Manufacturing
CAP	Computer Aided Planning
DIN	Deutsches Institut für Normung
DL	Dienstleistung
ECA	Elektrochemisches Abtragen
E-CAD	Electronical Computer Aided Design
EDM	Engineering Data Management
EDV	Elektronische Datenverarbeitung
ERP	Enterprise Resource Planning
ET	Elektrotechnik
F	Fertigung
FEM	Finite Elemente Methode
FK	Fachkompetenz
FMEA	Failure Mode and Effects Analysis
F-KPZ	Fertigungskompetenzzelle
FS	Fremdschlüssel
GO	Geschäftsobjekt

HBG	Hauptbaugruppe
HTML	Hypertext Markup Language
imP	immaterielles Produkt
iViP	integrierte Virtuelle Produktentstehung
IMK	Informationstechnischer Modellkern
IT	Informationstechnik
ITr	Informationsträger
IuK	Informations- und Kommunikationstechnologie
KK	Kompetenzkomponente
KMU	kleine und mittelständische Unternehmen
KoAg	Kompetenz-Agent
KPZ	Kompetenzzelle
L	Logistik
mP	materielles Produkt
MB	Maschinenbau
MK	Methodenkompetenz
M/V	Marketing/Vertrieb
M/V-KPZ	Marketing-/Vertriebskompetenzzelle
MySQL	SQL-Datenbankverwaltungssystem
npR	nichtpersonelle Ressource
NK	Neukonstruktion
P	Produkt
PDM	Product Data Management
PE	Produktentwicklung
PE-KPZ	Produktentwicklungskompetenzzelle
PHP	Hypertext Preprocessor

PS	Primärschlüssel
QFD	Quality Function Deployment
QIS	Qualitätsinformationssystem
QM	Qualitätsmanagement
QM-KPZ	Qualitätsmanagementkompetenzzelle
RPD	Rapid Product Development
SUP	Start-Up zur Produktentwicklung
TA	Thermisches Abtragen
TQM	Total Quality Management
UBG	Unterbaugruppe
UML	Unified Modeling Language
VDI	Verein Deutscher Ingenieure
VK	Variantenkonstruktion
VR	Virtuelle Realität (Virtual Reality)
Wst	Werkstück
Wz	Werkzeug
WZM	Werkzeugmaschine

Verzeichnis der Formelzeichen und Indizes

Symbol	Einheit	Bedeutung
K	€	Produktentwicklungskosten
K_{Bg}		Term Basisgewicht
K_{exp}		Term Exponent
K_T		Preistreue
K_{Zg}		Term Zeitgewicht
K_{max}^m	€	maximale Kosten der Produktentwicklung des Projektes m
$KPZ^i KK_t^{jm}$	€	Kompetenzzellen-Komponentenkosten zum Zeitpunkt t für Projekt m
$KPZ^i KS_t^{jm}$	Datum	Kompetenzzellen-Komponententermin zum Zeitpunkt t für Projekt m
$KPZ^i KB_n^j$		Kompetenzzellen-Komponentenbewertung der Umsetzung n ; $KPZ^i KB_n^j \in R, R = \langle 0;1 \rangle$
$KPZ^i KBend_n^j$		Kompetenzzellen-Komponentenbewertung nach Projektende der Umsetzung n ; $KPZ^i KBend_n^j \in R, R = \langle 0;1 \rangle$
$KPZ^i KP_t^j$		Kompetenzzellen-Komponentenpotenzial zum Zeitpunkt t ; $KPZ^i KP_t^j \in R, R = (0;1)$
$KPZ^i KB_0^j$		Kompetenzzellen-Komponentenbewertung Initialwert ($= \frac{1}{2}$) und ($t_n^{ij} = t_0$)
KW_n^{ij}		Korrekturwert der Umsetzung n
i		Index der KPZ des KoAg; $i \in N^+$
j		Index der KK der KPZ; $j \in N^+$

m		Projektnummer
n		Anzahl der Umsetzung von Projekten
N^{ij}		Gesamtanzahl bewerteter realisierter Aufträge je Kompetenzkomponente; $N^{ij} \in N^+$
P		Potenzial
S	Datum	Fertigstellungstermin
S_{\max}^m	Datum	spätester Fertigstellungstermin des Projektes m
S_T		Termintreue
t	Datum	Zeitpunkt: heute
t_0	Datum	Startzeitpunkt des KoAg (Datum)
t_n^{ij}	Datum	Zeitpunkt der Umsetzung n (Datum)
t_{\min}	Datum	erster Bewertungstermin einer Kompetenzkomponente
U		Note der Umsetzung durch Kompetenzzelle
$W_K^m \in \langle 0;100 \rangle$	[%]	Gewicht des Auftragsattributs K , dabei K = Kosten der Produktentwicklung des Projektes m (Nebenbedingung: $W_p^m + W_k^m + W_s^m \equiv 100\%$)
$W_P^m \in \langle 0;100 \rangle$	[%]	Gewicht des Auftragsattributs P , dabei P = Potenzial des Projektes m (Nebenbedingung: $W_p^m + W_k^m + W_s^m \equiv 100\%$)
$W_S^m \in \langle 0;100 \rangle$	[%]	Gewicht des Auftragsattributs S , dabei S = spätester Fertigstellungstermin des Projektes m (Nebenbedingung: $W_p^m + W_k^m + W_s^m \equiv 100\%$)

Glossar

Aktivität

Eine Aktivität beschreibt die Durchführung einer Aufgabe/eines Schrittes (hier Tätigkeit) in einem Arbeitsablauf (hier Produktentwicklungsprozess) (i. A. a. /BORR-02/).

Beschreibungsalgorithmus

Mittels des Beschreibungsalgorithmus wird das strukturierte Vorgehen zur Beschreibung von Kompetenzkomponenten der Fach- und Methodenkompetenz bzw. nichtpersonellen Ressourcen festgelegt.

Extended Value Chain Management (EVCN)

EVCN ist die ganzheitliche, kompetenzorientierte Betrachtung der Wertschöpfungsprozesse eines Produktionsnetzes über alle Produktionsstufen, beginnend beim Kunden und endend bei elementaren Zulieferern. Es umfasst dabei alle strategischen, taktischen und operativen Maßnahmen zur effizienten Koordination aller inter- und intraorganisatorischen Wertschöpfungsprozesse, einschließlich der sozialkompetenten, operationalisierten Auswahl von Netzpartnern (i. A. a. /TEIC-03/).

Engineering

Unter Engineering wird das ingenieur- und planmäßige Arbeiten verstanden, das durch die Anwendung wissenschaftlich fundierter Methoden und darauf aufbauender Werkzeuge charakterisiert ist /TEUB-99/.

Fachbereich

Ein Fachbereich ist ein sinnvoll abgegrenzter Teilbereich eines Fachgebietes.

Fachgebiet

Ein Fachgebiet ist eine aufgrund der Wissenschaftsentwicklung, nach dem Selbstverständnis von Wissenschaft und Praxis, selbstständig geltende Wissenschaftsdisziplin.

Generisches Modell

Ein generisches Modell stellt ein verallgemeinertes Modell dar, das wesentliche Strukturen und Elemente einer ganzen Gattung von Modellen (Partialmodelle) abbildet /ENDE-02/.

Geschäftsobjekt

Ein Geschäftsobjekt ist das Ergebnis einer Aktivität (i. A. a. /MASI-99/).

Hierarchielosigkeit

Die Hierarchielosigkeit charakterisiert ein durch ↗Selbstorganisation gekennzeichnetes System (hier ↗Kompetenznetz) voneinander relativ unabhängiger Akteure (hier ↗Kompetenzzellen), in dem es keine zentrale Kontrolle gibt, sondern die Führung des Systems durch Konkurrenz bzw. Konflikt oder in Kooperation immer wieder neu ausgehandelt wird (i. A. a. /WIND-01/).

Kompetenz

Kompetenz (Synonym Individualkompetenz) ist die Fähigkeit zur Umsetzung von Wissen durch richtiges Handeln. Kompetenz basiert auf menschlichen Dispositionen und ist abhängig von den zur Verfügung stehenden ↗Ressourcen. Kompetenz besteht aus fachlicher, methodischer, personaler und sozialer Kompetenz (i. A. a. /ERPE-98/).

- Fachkompetenzen sind die Dispositionen, geistig organisiert zu handeln, das heißt mit fachlichen Kenntnissen und fachlichen Fertigkeiten kreativ Probleme zu lösen, das Wissen sinnorientiert einzuordnen und zu bewerten.
- Methodenkompetenzen sind die Dispositionen, instrumentell selbstorganisiert zu Handeln, d. h. Tätigkeiten, Aufgaben und Lösungen methodisch kreativ zu gestalten und von daher auch das geistige Vorgehen zu strukturieren.
- Sozialkompetenzen sind die Dispositionen, kommunikativ und kooperativ selbstorganisiert zu Handeln, d. h. sich mit anderen kreativ auseinander- und zusammenzusetzen, sich gruppen- und beziehungsorientiert zu verhalten, um neue Pläne und Ziele zu entwickeln.
- Personalkompetenzen sind die Dispositionen, reflexiv selbstorganisiert zu handeln, d. h. sich (Individualkompetenzen) selbst einzuschätzen, produktive Einstellungen, Werthaltungen, Motive und Selbstbilder zu entwickeln, eigene Begabungen, Motivationen, Leistungsvorsätze zu entfalten und sich im Rahmen der Arbeit und außerhalb kreativ zu entwickeln und zu lernen.

Kompetenzkomponente

Eine Kompetenzkomponente existiert in einem ↗Kompetenzrahmen und ist eine Teilmenge einer ↗Kompetenz. Sie entspricht einer sinnvoll abgegrenzten Teilmenge eines Wissensgebietes /ENDE-02/.

Kompetenznetz

Das Kompetenznetz bezeichnet die quasi-permanente Form der aktiven Zusammenarbeit der ↗Kompetenzzellen. Es dient als eine Art institutionalisierte Plattform der Verhaltensabstimmung und Kapazitätsszusammenlegungen (i. A. a. /ENDE-02/).

Kompetenzpotenzial

Das Kompetenzpotenzial spiegelt bewertete ↗Kompetenzprofile wider. Dies wird realisiert durch eine Bewertung von ↗Kompetenzkomponenten bzw. ↗Kompetenzprofilen und ermöglicht somit die Differenzierung des Niveaus und der Güte der Fach- und Methodenkompetenz (↗Kompetenz) von ↗Kompetenzzellen.

Kompetenzprofil

Ein Kompetenzprofil ist die Menge aller ↗Kompetenzkomponenten, die in der jeweiligen Beschreibungsstruktur das gleiche Beschreibungselement innerhalb eines Pfades des ↗Beschreibungsalgorithmus besitzen. Es werden somit Fachkompetenz- und Methodenkompetenzprofile unterschieden.

Kompetenzrahmen

Ein Kompetenzrahmen definiert ein sinnvoll abgegrenztes Wissensgebiet, das einem Teil des ↗Wertschöpfungsprozesses entspricht, innerhalb dessen ganz spezifische ↗Kompetenzkomponenten charakteristisch sind /ENDE-02/.

Kompetenzzelle

Eine Kompetenzzelle stellt die kleinste nicht mehr sinnvoll teilbare Leistungseinheit innerhalb des Wertschöpfungsprozesses dar (i. A. a. /ENDE-02/).

- Sie besteht aus dem Menschen mit seinen individuellen ↗Kompetenzen und aus den ihr zur Verfügung stehenden nichtpersonellen ↗Ressourcen.
- Sie realisiert, in Analogie zur Biologie, Grundfunktionen des Lebens.
- Sie besitzt die Eigenschaften, elementar, autonom, kooperations- und damit lebensfähig im Netz zu sein.
- Sie ist in einem Raum innerhalb einer Region integriert.
- Sie ist in hohem Maße anpassungs-, erweiterungs- und lernfähig und besitzt damit Voraussetzungen zur Selbstorganisation.

Die Kompetenzzelle fungiert im Netz als Knoten und ist als elementare Leistungseinheit des Wertschöpfungsprozesses dadurch charakterisiert, dass sie

- partnerschaftliche, materiell-technische und betriebswirtschaftliche Beziehungen zu anderen Netzknoten unterhält und dafür Schnittstellen aufweist,
- Aufträge akquiriert und in Verbindung mit geeigneten Methoden und Verfahren in der Lage ist, selbst Netze zu konfigurieren,
- die Fähigkeit zur Selbstorganisation und -optimierung von Wertschöpfungsketten und -netzen besitzt.

Kompetenzzellenbasierter Vernetzungsansatz

Der kompetenzzellenbasierte Vernetzungsansatz ist als ein Denkmodell zu verstehen, welches sowohl aufbau- als auch ablauforganisatorische Grundbetrachtungen über die Zusammenarbeit von ↗Kompetenzzellen in sich vereint (i. A. a. /ENDE-02/).

Methode

Eine Methode ist in den Wissenschaften eine Vorgehensweise, die zur Erlangung von (wissenschaftlichen) Erkenntnissen oder praktischen Ergebnissen dient.

Partialmodell

Ein Partialmodell ist ein Modell, das ausgewählte Aspekte einer zu modellierenden Realität darstellt. Partialmodelle ähnlicher Struktur und mit ähnlichen Elementen können in einem übergeordneten ↗generischen Modell verallgemeinert werden.

Produktionsnetz

Ein Produktionsnetz stellt die auftragsbezogene (temporäre) Vernetzung von ↗Kompetenzzellen zur Herstellung eines Produktes bzw. zur Realisierung einer ↗Engineering-Dienstleistung dar. Es entspricht einem Projekt des ↗Kompetenznetzes.

Regionales Netz

Das regionale Netz bezeichnet die latent angelegten sozialen Beziehungen potenzieller Kooperationspartner. Es bildet somit die tragende mentale und kulturelle Infrastruktur für die zukünftige, zweckorientierte Zusammenarbeit der ↗Kompetenzzellen (i. A. a. /ENDE-02/).

Ressource

Als Ressourcen werden Akteure verstanden, welche für die Durchführung einer Aktivität erforderlich sind. Als Beispiel können gelten Personal, Flächen, Bestände, Arbeits-, Arbeitshilfs-, Organisations- und Finanzmittel. Es werden personelle und nichtpersonelle Ressourcen unterschieden.

Wertschöpfungsprozess

Ein Wertschöpfungsprozess ist die Menge aller ↗Aktivitäten zur Realisierung der Produkt- bzw. Dienstleistungserstellung. Wertschöpfungsprozesse werden durch ↗Kompetenzzellen realisiert.

1 Einleitung

1.1 Instabilitäten im wirtschaftlichen Umfeld – Herausforderungen für die Produktentwicklung

In den Zeiten der anhaltenden Globalisierung des Wettbewerbes und der damit verbundenen Segmentierung der Absatzmärkte kommt es, als typisches Kennzeichen der Kundenorientierung, zu einer steigenden Produktindividualität und -komplexität. Gleichzeitig gewinnen Produktqualität sowie Zeit und Kosten für die Markteinführung neuer und innovativer Produkte immer mehr an Bedeutung. Diese stetige Optimierung der Produkte veranlasst die kleinen und mittelständischen Unternehmen dazu, sich auf ein bestimmtes Produkt oder eine bestimmte Dienstleistung zu spezialisieren. Nur so kann die geforderte Funktionalität und Zuverlässigkeit in der entsprechenden hohen Qualität realisiert werden.

Durch diesen extremen Kostendruck werden immer ambitioniertere Vorgaben für die Produktentwicklungszeiten gefordert. Dadurch werden die Unternehmen gezwungen ihre Aktivitäten zu parallelisieren. Ein höherer Parallelisierungsgrad setzt gleichzeitig voraus, dass neue Erkenntnisse im Entwicklungsprozess in immer kürzeren Zyklen zu aktualisieren und zu verteilen sind. Herkömmliche, zentral gesteuerte Vorgehensweisen, stoßen angesichts des exponentiellen Anwachsens solcher Verteilungserfordernisse inzwischen an ihre Grenzen. Für eine verstärkte Dezentralisierung mangelt es den Verantwortlichen aber zumeist an Mut sowie an den geeigneten Instrumenten. Voraussetzung für tiefgreifende Änderungen ist, dass sich das Management endlich dazu durchringt, die alten Theorien und Instrumente hierarchischer Steuerung, Bevormundung und Kontrolle über Bord zu werfen, und sich neuer Methoden, Werkzeuge und wissenschaftlicher Erkenntnisse im Entwicklungsmanagement bedient /LIN-04/. Manager in der Produktentwicklung sind gefordert, ihren Mitarbeitern mehr Verantwortung und Kompetenz zu übertragen, ihre Teilleistungen selbstständig zu planen, deren Leistungs-, Qualitäts-, Termin- und Budgeteinhaltung zu überwachen und nur bei Bedarf selbst steuernd einzugreifen. Voraussetzung dafür ist die Modellierung und Abbildung kleinster eigenständiger Leistungseinheiten innerhalb der Produktentwicklung und ein den Anforderungen eines dynamischen Produktentwicklungsprozesses gerecht werdende strukturierte kompetenzzellenbasierte Vernetzungstheorie. Durch die Frage nach den Kernkompetenzen und der Kerneigenleistung gilt es vielfältige Aspekte in deren Umsetzung zu berücksichtigen, wie z. B.:

- verfügbare Ressourcen, Fähigkeiten und Erfahrungen,
- das Marktpotenzial verfügbarer Leistungen und die Gefahr der strategischen Abhängigkeit,

- die Komplexität der Organisation einschließlich deren Koordinierungsaufwand sowie
- Wettbewerbs- und Rentabilitäts Gesichtspunkte /MILB-02/.

Ausgehend von einer steigenden Dynamik und den sich daraus ergebenden Veränderungen in den Wertschöpfungsketten konzentrierte sich die Wissenschaft in den letzten Jahren auf das Wirtschaftsmodell der Produktion in kooperativen Netzwerken. Es entstand das Bedürfnis, mit einer Vielzahl von Spezialisten, auch geografisch getrennt, konsistent und effektiv komplexe Entwicklungsprozesse mittels einer verteilten kooperativen Produktentwicklung durchzuführen.

Durch diese vermehrte Instabilität im Ergebnis einer wachsenden Dynamik der Prozesse entstehen gleichzeitig erhebliche Chancen der Bearbeitung bestehender sowie neuer Märkte. Zur Stärkung des Produktionsstandortes Deutschland müssen diese konsequent genutzt werden (/REIN-97/, /MILB-97/, /WILD-97/). Die kleinen und mittelständischen Unternehmen bilden aufgrund ihrer wirtschaftlichen Bedeutung als Arbeitgeber, Innovator und Ausbilder das Rückgrat der deutschen Wirtschaft /WIRT-00b/. Bereits heute sind KMU massiv mit einem instabilen wirtschaftlichen Umfeld konfrontiert, das auch als "agiler Wettbewerb" bezeichnet wird /GOLD-96/. Die Anforderungen des Marktes entwickeln sich nach dem Schema "immer größer werdende Veränderungen innerhalb eines gekürzten Veränderungszeitraums", z. B. Time-to-customer/Time-to-market (/SPAT-01/, /WEST-00a/).

Im Gegensatz dazu stehen Einflussfaktoren welche dieser Instabilität entgegenwirken und somit ein sicheres Umfeld ermöglichen /REIN-00/. Jede Organisationsform muss nun somit für sich entscheiden, in welchem Umfeld sie sich befindet. Nur so ist es möglich eine Wandlungsfähigkeit in Bezug auf stabile bzw. instabile wirtschaftliche Umgebungsbedingungen zu gewährleisten /BROS-02/. Dabei ist unter Wandlungsfähigkeit die Flexibilität und die Reaktionsfähigkeit der Organisationseinheit zu verstehen. Für kleine und mittelständische Unternehmen ist es schwierig den auftretenden Instabilitäten entgegenzuwirken, diese zu vermeiden bzw. zu beherrschen. Deshalb schaffen dynamische Kooperationen (zeitlich befristet) die Voraussetzung, um in einem sich ständig verändernden Umfeld sicher agieren zu können, ohne die Eigenständigkeit der jeweiligen Organisationsform aufgeben zu müssen (/REIN-00/, /WIRT-01/). Durch die Anpassungsfähigkeit an das neue wirtschaftliche Umfeld besitzen diese Unternehmen durch den Einsatz neuer Organisationsstrategien Vorteile gegenüber Grossunternehmen.

Die optimale Verknüpfung von Fach- und Methodenkompetenz in Verbindung mit entsprechenden nichtpersonellen Ressourcen, unter Anwendung der Strategie der kompetenzzellenbasierten Produktentwicklung, ermöglicht die Verknüpfung von Teilsequenzen des Produktentwicklungsprozesses. Somit kann dem Einfluss des sich ständig verändernden wirtschaftlichen Umfeldes entgegengewirkt werden /BULL-02/.

1.2 Zielsetzung der Arbeit

Im Fokus der Arbeit steht die Systematisierung der Planung und Gestaltung kompetenzzellenbasierter Produktentwicklungsprozesse. Kleinunternehmen mit einer Mitarbeiterzahl kleiner 20, die in einigen Regionen bis zu 95 Prozent der Unternehmen ausmachen /REHA-98/, verfügen neben ihrer hohen Fachkompetenz über begrenzte Ressourcen und können somit nur begrenzte Teilsequenzen von Prozessketten erstellen. Zum Erhalt bzw. Erwerb der Fähigkeiten zur ganzheitlichen kundenorientierten Leistungserstellung innovativer komplexer Produkte, müssen entweder fehlende Kompetenzen angelagert oder durch Kooperationen vervollständigt werden. Daraus ergibt sich die Notwendigkeit der Beschreibung entsprechender Leistungseinheiten (Kompetenzzellen) in Bezug auf ihre jeweiligen Fach- und Methodenkompetenzen sowie der verwendeten nichtpersonellen Ressourcen.

Ausgangspunkt hierfür ist die Umsetzung der kompetenzzellenbasierten Vernetzungstheorie auf die Wertschöpfung, im Speziellen auf Produktentwicklungen in hierarchielosen Netzen /SFB457-05/. Die Basis bildet die Entwicklung eines geeigneten Partialmodells zur Beschreibung und Suche von Produktentwicklungskompetenzzellen (PE-KPZ). Im Partialmodell erfolgt die Darstellung des Kompetenzrahmens sowie der Kompetenzkomponenten der Produktentwicklung. Es werden sowohl Fach- und Methodenkompetenzkomponenten in Beschreibungsalgorithmen strukturiert gebildet, um darauf aufbauend entsprechende Kompetenzprofile abzuleiten. Die Bewertung der Kompetenzprofile ermöglicht eine annähernd objektive Einschätzung der Potenziale der Kompetenzzelle oder auch spezieller Kompetenzkomponenten bezüglich ihres Kompetenzniveaus.

Weiterhin ist es notwendig, den Produktentwicklungsprozess unter dem Blickwinkel der kompetenzzellenbasierten Vision der Wertschöpfung wissenschaftlich zu untersuchen. Aufgrund eines hochdynamischen und flexiblen Verhaltens braucht das Produktionsnetz Methoden zur Unterstützung dieser Dynamik und um den Aufwand im Produktentwicklungsprozess nicht zu vermehren. Dahingehend werden sowohl Konstruktionsmethoden, als auch die Produktentwicklung in Kooperationen und Netzwerken sowie die verteilten Produktentwicklungsmethoden bezüglich ihrer Eignung für Kompetenzzellen im Entwicklungsprozess untersucht. Es werden geeignete Instrumentarien und Werkzeuge zur kompetenzzellenbasierten Produktentwicklung entworfen und in Bezug auf ihre Anwendbarkeit verifiziert. Für die Validierung der Ergebnisse ist eine Software zur Beschreibung und Suche von Produktentwicklungskompetenzzellen für mechatronische Produkte des Werkzeugmaschinenbaus zu entwickeln.

Diese bildet die softwaretechnische Plattform für kompetenzzellenbasierte Produktentwicklungen und ermöglicht eine bewertete hierarchielose Auswahl von Kompetenzzellen. Der entwickelte Vernetzungsansatz der kompetenzzellenbasierten Produktentwicklung muss beispielhaft an mechatronischen Produkten (Baugruppen, Werkzeugmaschinen) verifiziert werden.

1.3 Vorgehensweise

Ausgehend von der genannten Zielsetzung werden zu Beginn der Arbeit die Ausgangssituation und Problemstellung detailliert analysiert sowie die Anforderungssituation aus Unternehmenssicht beruhend auf empirischen Untersuchungen und eigenen Erfahrungen näheren Betrachtungen unterzogen. Im Anschluss daran erfolgt im Kapitel 3 die Darstellung der wissenschaftlichen Erkenntnisse bezogen auf den Betrachtungsumfang der Arbeit:

- Netz- und Kooperationsforschung,
- Stande der Produktentwicklung mechatronischer Produkte,
- verteilten Produktentwicklung sowie
- Engineering-Dienstleistungen.

Bezüglich dieses analysierten Umfeldes wird der Handlungsbedarf, die Zielsetzung und Aufgabenstellung der Arbeit abgeleitet.

Im Kapitel 4 wird das strukturierte Vorgehen der Kompetenzbeschreibung und somit das Konstrukt der Organisationseinheit Kompetenzzelle erläutert. Ausgehend von einem Kompetenzrahmen der Produktentwicklung wird das Partialmodell zur Kompetenzzellenbeschreibung abgeleitet und daraus resultierend eine Klassifikation von Produktentwicklungskompetenzzellen vorgenommen. Darauf aufbauend werden Kompetenzprofile der Kompetenzkomponenten, Fach- und Methodenkompetenz gebildet, welche technisch und betriebswirtschaftlich bewertet eine hierarchielose Auswahl von Kompetenzzellen ermöglichen.

Kapitel 5 beinhaltet die Umsetzung des kompetenzzellenbasierten Lösungsansatzes bezüglich des Prozesses der Produktentwicklung innerhalb der Wertschöpfung. Im Besonderen werden die Phasen des Kompetenznetzbetriebes, der Produktionsnetzbildung und des Produktionsnetzbetriebes in differenzierten Szenarien wissenschaftlich betrachtet und untersucht. Darauf aufbauend wird der kompetenzzellenbasierte Produktentwicklungsprozess einschließlich der methodenspezifischen Randbedingungen und Merkmale abgeleitet.

Die Verifizierung des entwickelten methodischen Vorgehens folgt im Kapitel 6. Ausgangspunkt bildet die softwaretechnische Umsetzung der Beschreibung und Suche von Kompetenzkomponenten/Kompetenzzellen, einschließlich deren definierter Kompetenzprofil- und Kompetenzpotenzialbewertung. Am Beispiel der Produktentwicklung einer Sondermaschine erfolgt eine entsprechende Prozessvalidierung sowie die Nachweisführung der, auf Basis von Anforderungsvektoren definierten, Suche und Auswahl von Kompetenzzellen.

Im Weiteren wird die vorgestellte Produktentwicklungsmethode in Kapitel 7 einer Bewertung unterzogen und deren Vor- bzw. Nachteile erläutert. Somit wird eine Abschätzung des Nutzens für die entwickelten Methoden und Werkzeuge durch einen Vergleich des Aufwandes in Bezug auf den zu erwartenden Nutzen realisiert. Den Abschluss bildet Kapitel 8 mit einer Zusammenfassung, einer Analyse der Übertragbarkeit auf andere mechatronische Produkte sowie einem Ausblick auf weiterführende Forschungsgebiete. Die Abbildung 1 zeigt in grafischer Form den Aufbau und die Struktur der Arbeit und verdeutlicht die Zusammenhänge zwischen den einzelnen Kapiteln.

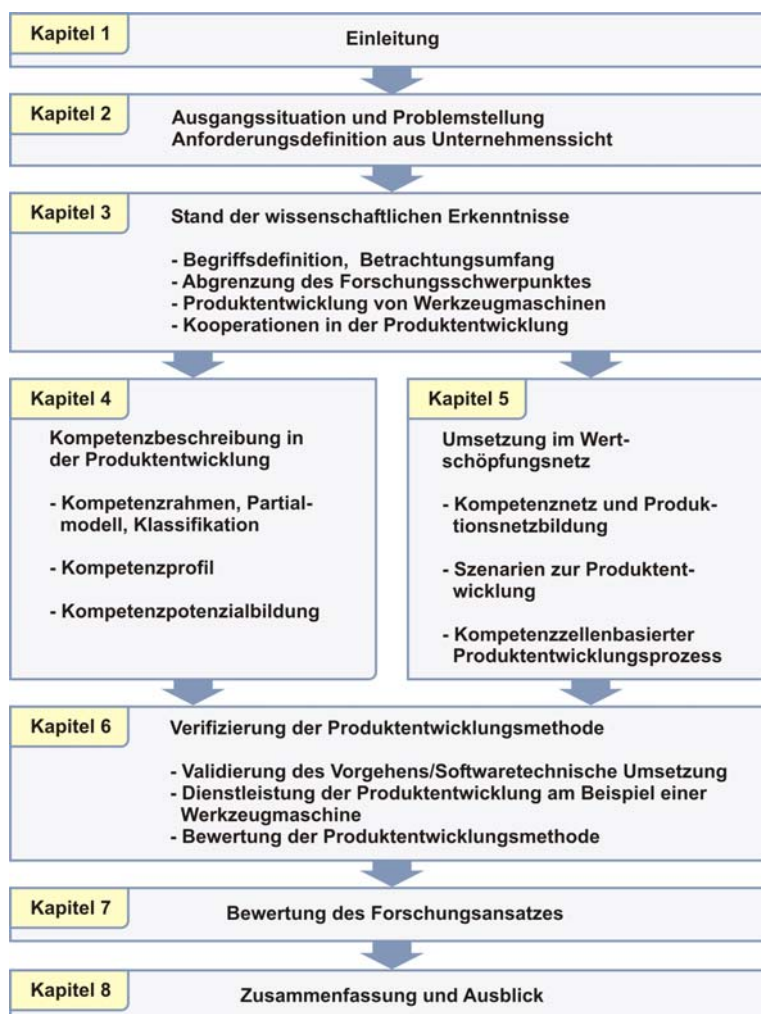


Abb. 1: Zielsetzung und Gliederung der vorliegenden Arbeit

2 Ausgangssituation und Problemstellung

2.1 Veränderte Märkte für Hersteller von Werkzeugmaschinen

2.1.1 Zukunftsbetrachtungen zur Marktentwicklung – neue Ansprüche und Erfolgsstrategien

Die genaue Definition von Rahmenbedingungen des marktlichen, organisatorischen sowie produktentwicklungstechnischen Umfeldes von Herstellern mechatronischer Produkte ist notwendig, um daraus Strategien zur Bewältigung der Veränderungen im wirtschaftlichen Umfeld ableiten zu können. Deshalb werden diese Faktoren aus Sicht der Forschung und aus Unternehmenssicht in Bezug auf die Produktentwicklung mechatronischer Produkte näher betrachtet.

Produktentwicklungskooperationen stellen aufgrund der aktuellen wirtschaftlichen Entwicklung eine bedeutsame Ausprägung im Rahmen der Unternehmensnetzwerke dar (/WILD-02/, /BART-90/, /JARI-88/, /SYDO-95/). Die Entstehung begründet sich zum einen auf den Faktor Time-to-market, aber auch in Bezug auf die gestiegenen Herausforderungen aufgrund der kurzen Entwicklungszeit. Ein weiterer wesentlicher Einfluss ist das Risiko der Amortisationszeit des Entwicklungsaufwandes. Die Automobilindustrie in Verbindung mit deren Zulieferern nimmt dabei eine Vorreiterrolle in Bezug auf die Forcierung der Kooperation in der Produktentwicklung ein. Diesen Trend gilt es künftig auch verstärkt innerhalb der Produktentwicklung von Werkzeugmaschinen zu betrachten, da diese Weiterentwicklung der Kooperationen einen entscheidenden Wettbewerbsvorteil ermöglicht.

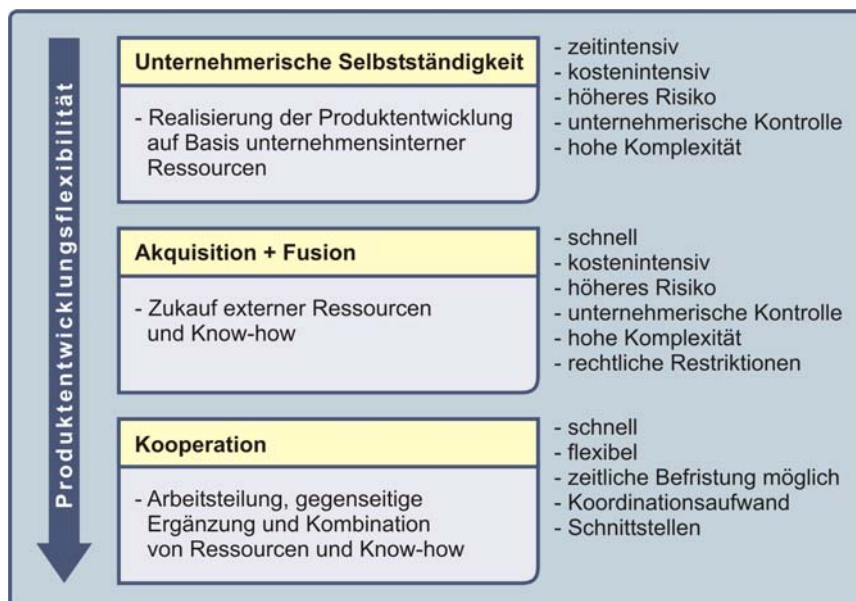


Abb. 2: Chancen und Risiken von Kooperationen/Unternehmen

Kooperationen innerhalb der Produktentwicklung verfolgen die Zielsetzung, durch fertigungsgerechte Konstruktionen eine kostenoptimale Wertschöpfung auf einem verbesserten Qualitätsniveau zu realisieren. Fehlende Entwicklungskompetenzen bzw. -kapazitäten einzelner Organisationen können somit kompensiert werden. Es werden sachliche, finanzielle und personelle Ressourcen sowie die Risikobereitschaft, einschließlich der Bewertung der Marktgegebenheiten innerhalb des Kooperationsnetzes, optimiert. Entwicklungsaufgaben, wie beispielsweise die Kontrolle von Entwürfen, die Beurteilung virtueller/realer Prototypen, die gemeinsame Realisierung von Prozess- und System-FMEA und die Umsetzung der Zielkostenkonstruktion können dabei gemeinsam abgestimmt werden. Die Abb. 2 zeigt die Chancen und Risiken, die durch eine intensive Zusammenarbeit und somit erhöhtem Koordinationsbedarf entstehen.

2.1.2 Auswirkungen auf den bisherigen Produktentwicklungsprozess

Der Produktentwicklungsprozess im Unternehmensumfeld, in Bezug auf die Entwicklung von Werkzeugmaschinen, wird prinzipiell unterschieden in unternehmensbezogene Neuentwicklungen und kundenspezifische Produktentwicklungen (Abb. 3). Im Werkzeugmaschinenbau hat sich eine Spezialisierung auf Maschinentypen durchgesetzt. Alle Maschinenkomponenten mit innovativen Eigenschaften sowie Kerngeschäftsbereiche des Unternehmens verbleiben bei diesem und werden durch das Unternehmen selbst realisiert. Die Produktentwicklung, speziell die Konstruktion, beinhalten das firmenspezifische Know-how und stellen demzufolge einen solchen Kerngeschäftsbereich dar.

Die strategische Unternehmensplanung derartiger Unternehmen ist gezielt auf die Schaffung geeigneter Rahmenbedingungen zur kurzfristigen Ergänzung der eigenen Kernkompetenzen durch externe Ressourcen angelegt. Somit wird eine langfristige Basis für veränderbare Prozesse innerhalb der Produktentwicklung gewährleistet. Auf diesem Vorgehen bauen dann die kurzfristigen Maßnahmen für die notwendigen Wandlungen bezüglich dynamischer Marktveränderungen auf. Im Vergleich dieser Produktentwicklungsprozesse, zum einen dem Ergänzen eigener Kompetenzen durch extern bezogene, und zum anderen Unternehmen die sich auf interne Kompetenzen der Wertschöpfung beschränken, machen sich Unterschiede in der Ergebnisbetrachtung nicht sofort bemerkbar. Dies liegt darin begründet, dass auch starr ablaufende Prozessketten eine gewisse Flexibilität innerhalb ihrer Aktivitäten besitzen (Abb. 4). Sie können in bestimmten Grenzen an neue Gegebenheiten und Sachverhalte angepasst werden /MURR-99/.

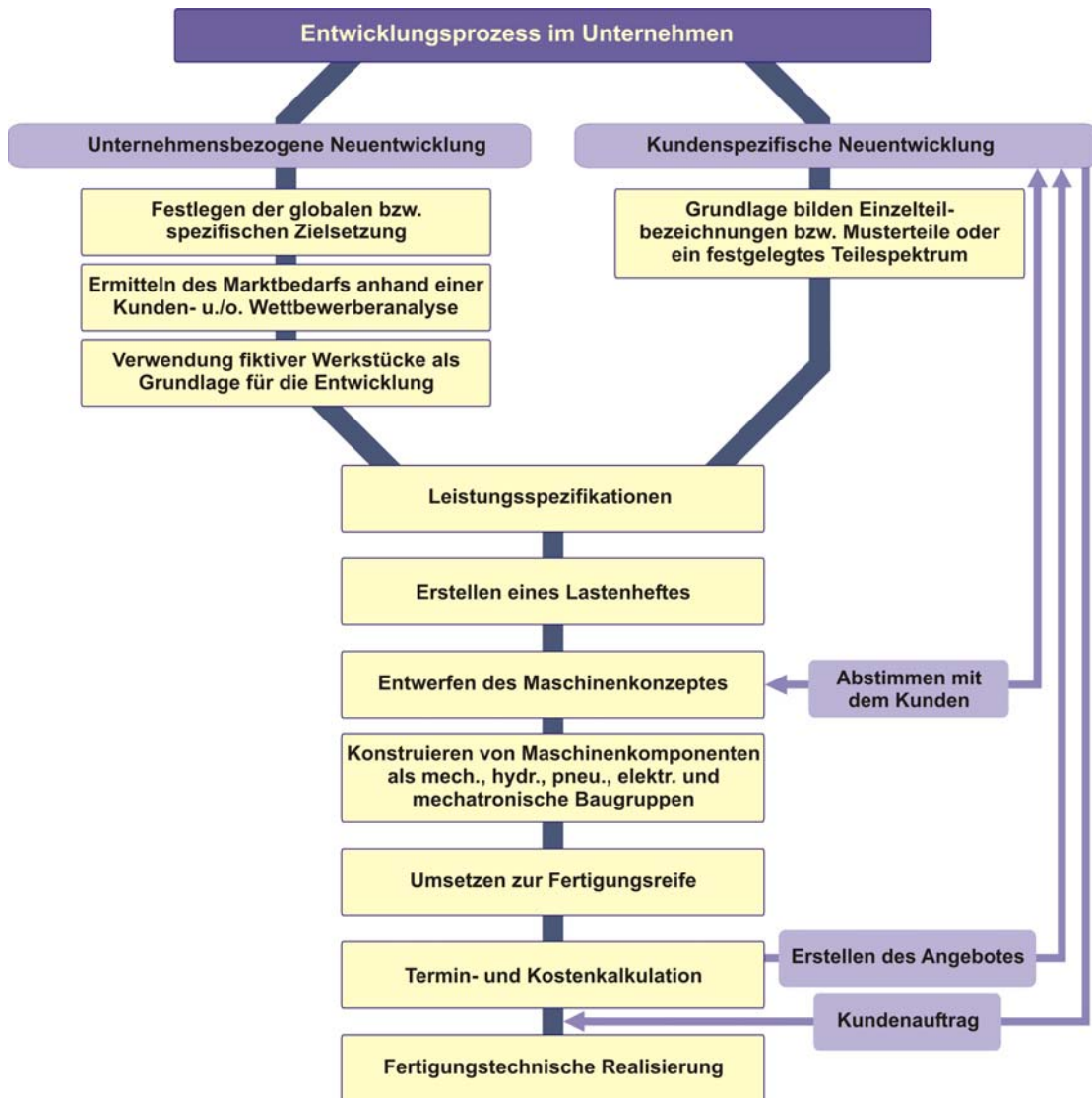


Abb. 3: Entwicklungsprozess im Unternehmen

Aus dieser Situation kann die Notwendigkeit abgeleitet werden, künftig zur Entwicklung von Produkten kurzfristig benötigte Kompetenzen einzubeziehen. Kompetenzen werden daher nicht mehr ausschließlich auf Grundlage langfristiger Kooperationen bezogen, sondern kurzfristig an den eigenen Produktentwicklungsprozess angelagert bzw. integriert. Die Beschreibung der Organisationseinheit Kompetenzzelle und deren Verknüpfung innerhalb kurzfristiger Wertschöpfungsprozesse stellt daher ein wichtiges Element für eine erfolgreiche Strategie im Umfeld eines dynamischen Marktes dar.

Größere Unternehmen arbeiten häufig mit überregionalen, personalstarken Engineering-Dienstleistern auf Basis von Rahmenverträgen zusammen. Sie stellen somit sicher, dass ihnen binnen kürzester Zeit Kompetenzen und Ressourcen zur Verfügung stehen und sie diese in die eigenen Prozesse integrieren können /FISC-00/.

Kleinstunternehmen und KMU agieren vermehrt in dynamischen Märkten. Für diese stellen Rahmenverträge aufgrund von hohen Investitionskosten sowie Vorhaltekosten bezüglich Personal und Kapazitäten keine Alternative dar. In diesem Umfeld besteht somit ein erhöhter Bedarf, die Organisationsformen in Bezug auf die Produktentwicklung flexibler zu gestalten. Die Gestaltung einer neuen Organisationsform innerhalb der Produktentwicklung und die Modellierung des kompetenzzellenbasierten Produktentwicklungsprozesses stellen somit den Anspruch der vorliegenden Arbeit dar.

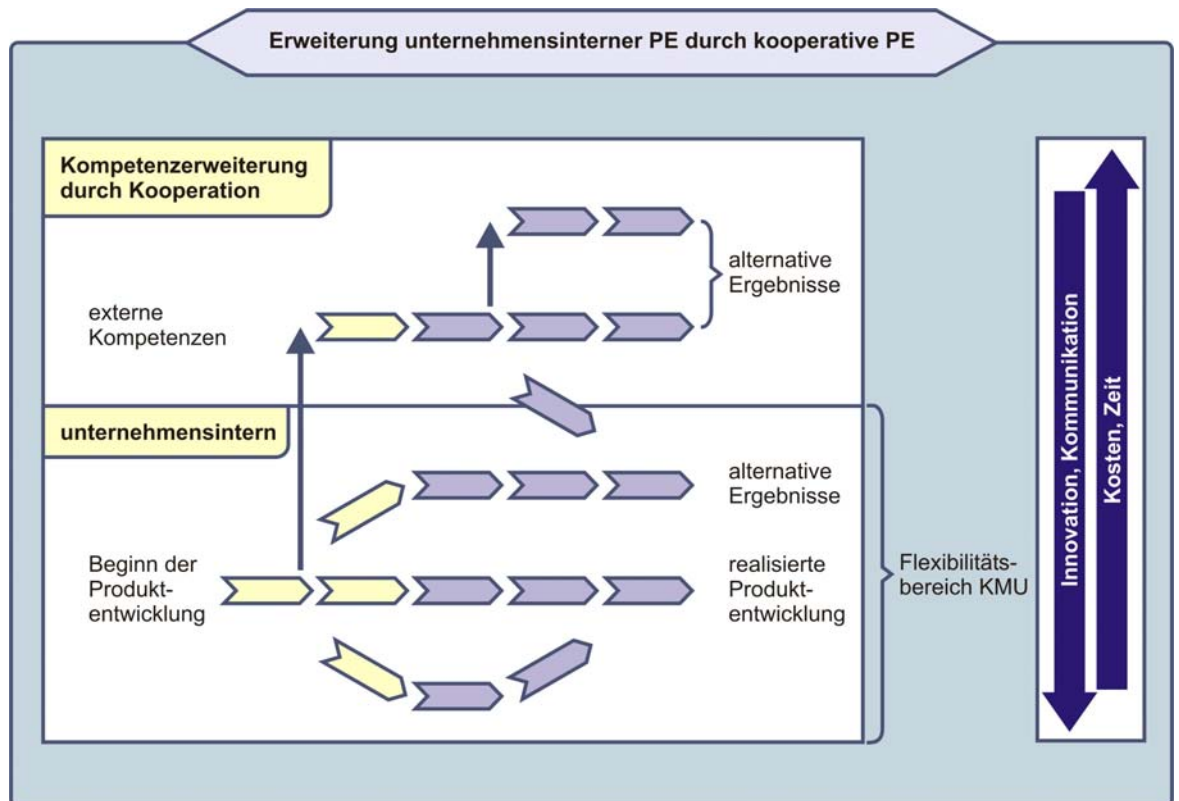


Abb. 4: Vergleich unternehmensinterne und kooperative Produktentwicklung (i. A. a. /HAGE-03/)

2.2 Analyse von Werkzeugmaschinenherstellern (Empirie)

Um den aufgezeigten Bedarf innerhalb der Unternehmen konkreter analysieren zu können und den theoretischen Ansatz in Bezug auf die Praxisrelevanz zu untersuchen, wurden eine Reihe produzierender Unternehmen, hinsichtlich Engineering-Dienstleistungen innerhalb der Produktentwicklung und der eingesetzten Ressourcen, exemplarisch befragt. Anhand der Ergebnisse wird es möglich konkrete Potenziale und Risiken unter Einbeziehung industrieller Randbedingungen für Kooperationen in der Produktentwicklung abzuschätzen. Das Potenzial temporärer Produktentwicklungskooperationen leitet sich aus der Nutzung zeitlich befristeter Marktpotenziale, bzw. aus fehlenden Kompetenzen und Kapazitäten ab (/WILD-00/, /PICO-96/, /SCHL-00/, /RUDO-01/).

Die Umfrage wurde im ersten Quartal 2005 auf Basis eines Fragebogens durchgeführt /NEUG-05b/. Befragt wurden über 50 zufällig ausgewählte Unternehmen. Dabei handelte es sich fast ausschließlich um kleine und mittelständische Unternehmen. Die Anzahl verwertbarer Fragebögen betrug 23.

Die Ergebnisse aus der Studie sind sicherlich aufgrund der geringen Anzahl an Rückantworten nicht verallgemeinerbar, liefern jedoch wertvolle Anhaltspunkte für die Beschreibung von Fach- und Methodenkompetenzen sowie den zum Einsatz kommenden nichtpersonellen Ressourcen (Hard- und Softwaretechnik). Als Ansprechpartner in den Unternehmen fungierten vorrangig Geschäftsführer, Technische Leiter bzw. Leiter der Konstruktion. Das Produktspektrum der Firmen umfasst die Bereiche des Werkzeug- und Sondermaschinenbaus sowie Hersteller von Komponenten für Werkzeugmaschinen (Abb. 5).

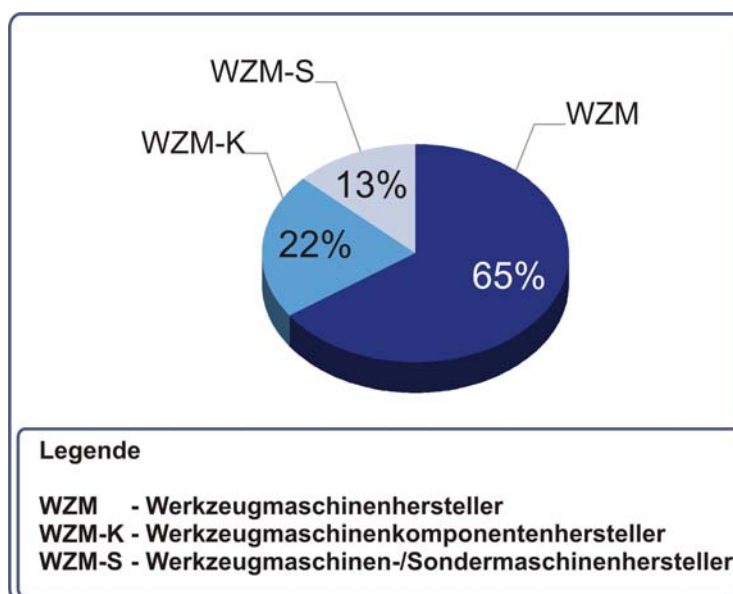


Abb. 5: Produktspektrum der befragten Unternehmen

Bei der Befragung waren teilweise Mehrfachnennungen möglich. Zunächst wurden die Auftragscharakteristik (Neu-/Wiederholauftrag) sowie der prozentuale Anteil der jeweiligen Konstruktionsart (Neu-/Varianten-/Anpassungskonstruktion) am Auftragsvolumen ermittelt (Abb. 6).

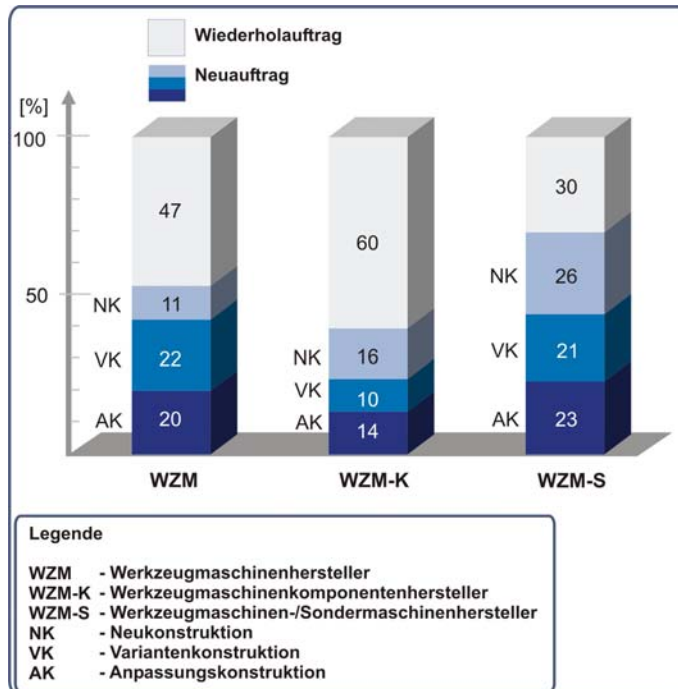


Abb. 6: Auftragscharakteristik

Die Betrachtungen zur Charakteristik/Konstruktionsart der Aufträge ist für spätere Darstellungen zur Vorgehensweise innerhalb der kompetenzzellenbasierten Produktentwicklung (vgl. Kapitel 5.3) von Bedeutung. Auf die Frage, auf welche Art und Weise die Unternehmen in der Produktentwicklung kooperieren, sehen fünf der Befragten ihr eigenes Unternehmen als Dienstleister, 18 arbeiten mit einem Kooperationspartner als Dienstleister zusammen und fünf fungieren als gleichberechtigte Kooperationspartner. Innerhalb der Kooperation arbeiten 11 der Befragten in Entwicklungsteams. Ähnliche, prozentual anteilige Ergebnisse wurden im Rahmen des kooperativen Produktengineering innerhalb einer Befragung unter 76 kleinen und mittleren produzierenden Unternehmen festgestellt /GAUS-00/.

Die Kooperationsdauer war annähernd gleichmäßig verteilt, d. h. kurzfristig (acht Nennungen), mittelfristig (acht Nennungen) und langfristig (zehn Nennungen) mit einem breit gefächerten Zeitfenster von wenigen Wochen bis zu mehreren Jahren. Diese Erkenntnis entspricht einem leichten Anstieg in Bezug auf den Anteil kurzfristiger Kooperationen, da innerhalb von Untersuchungen im Jahr 2000 festgestellt wurde, dass der Anteil von Kooperationen zur Erfüllung unmittelbar operativer Ziele lediglich 27 Prozent betrug /GAUS-00/. Die Abb. 7 und Abb. 8 zeigen die Kooperationsgründe und Kooperationshemmnisse von Unternehmen innerhalb der Produktentwicklung.

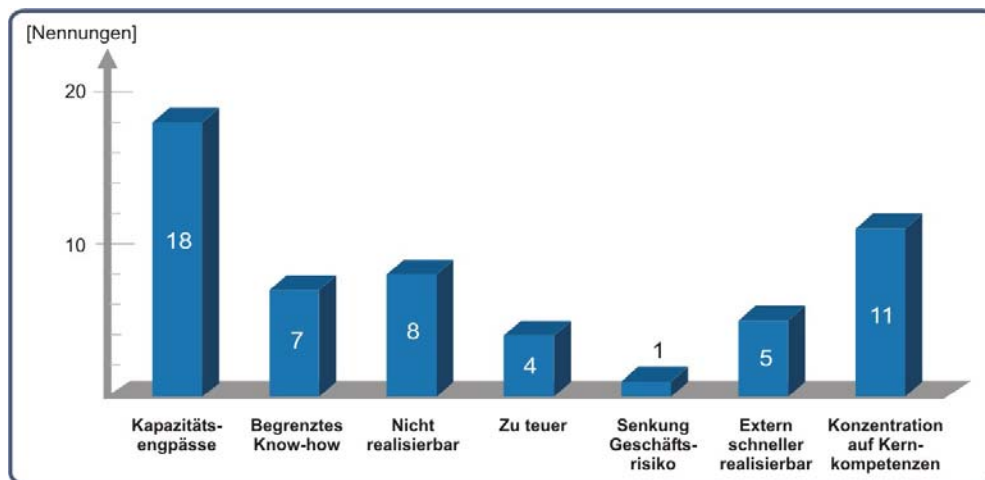


Abb. 7: Kooperationsgründe (Mehrfachnennungen möglich)

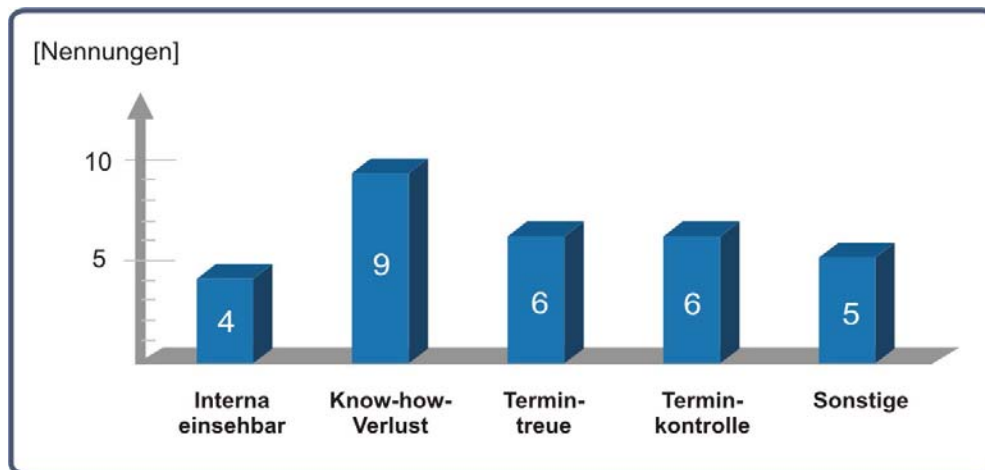


Abb. 8: Kooperationshemmnisse (Mehrfachnennungen möglich)

Den prozentualen Anteil der Kooperationsprojekte an der Gesamtprojektzahl schätzen 17 der befragten Unternehmen als eher niedrig (<20%) ein, vier kooperieren häufiger (20%...50%) und lediglich zwei Unternehmen kooperieren intensiv auf dem Gebiet der Produktentwicklung (>50%).

Als wesentliche Gründe für eine noch nicht ausgeprägte Kooperationsbereitschaft werden hierbei der mögliche Know-how-Verlust, die Termintreue und -kontrolle sowie die Geheimhaltung von Interna betrachtet. Als weitere Defizite von Kooperationen werden gesehen:

- keine schnelle Entscheidungsfindung,
- zu lange Reaktionszeiten auf Änderungen,
- Kommunikationsschwierigkeiten und
- Schnittstellenprobleme.

Durch den neu entwickelten kompetenzzellenbasierten Lösungsansatz im Fokus der vorliegenden Arbeit werden die theoretischen Grundlagen geschaffen, das Vertrauen mittels hierarchieloser Kompetenzzellenauswahl zu fördern. Weiterhin kann aus der Befragung abgeleitet werden, dass für eine kompetenzzellenbasierte Zusammenarbeit, die Einhaltung der Projektterminierung sowie die schnelle Entscheidungsfindung unter Vermeidung von Kommunikationsschwierigkeiten entscheidend ist. Der erwartete praxisrelevante Know-how-Verlust muss als wesentliches Kriterium innerhalb der Forschungsarbeiten berücksichtigt werden. Zur Lösung müssen benötigte Controllinginstrumente entwickelt sowie entsprechende rechtliche und betriebswirtschaftliche Rahmenbedingungen innerhalb des Kompetenznetzes geschaffen werden. Dies entspricht einer Zielsetzung, welche mittels der entwickelten ganzheitlichen Integrationsmethode (GIM; /MUEL-04/, ENDE-03/) in Zusammenarbeit mit den Betreiberstrukturen des Extended Value Chain Management (EVCM, /TEIC-03/)-Konzeptes gelöst wird.

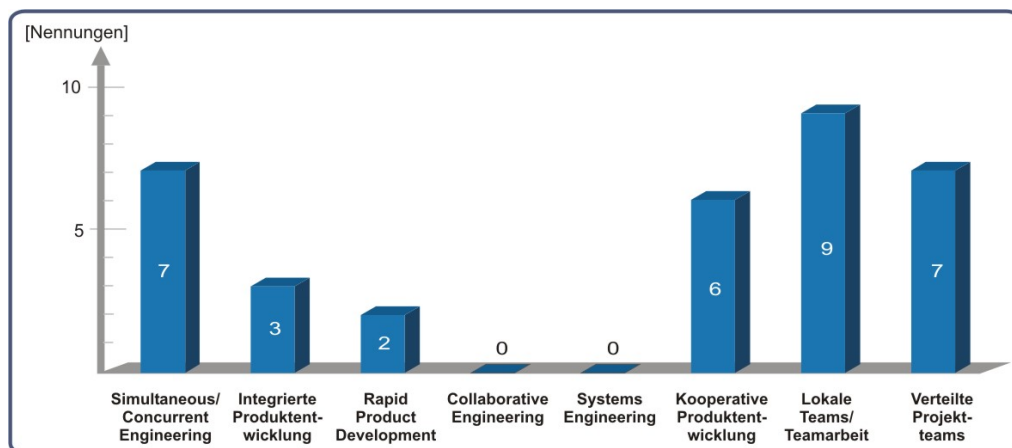


Abb. 9: Produktentwicklungsstrategien (Mehrfachnennungen möglich)

Einen weiteren Schwerpunkt der Fragebogenstudie umfasste die Abfrage verwendeter Strategien (Abb. 9) und Methoden (Abb. 10) innerhalb der Produktentwicklung. Eine wesentliche Erkenntnis ist die Tatsache, dass ca. 40% der Unternehmen keine übergeordnete Produktentwicklungsstrategie verfolgen. Zum Einsatz kommen die bekannten Strategien der Teamarbeit und der verteilten Projektteams sowie die weiterentwickelte Form der Kooperation innerhalb der Produktentwicklung des Simultaneous Engineering.

Zehn Unternehmen arbeiten vorzugsweise nach einer aus der Theorie bekannten übergeordneten Produktentwicklungsmethodik. Die Mehrzahl der Nennungen bezieht sich dabei auf die Methodik von PAHL/BEITZ (/PAHL-03/) und VDI /VDI-2221/, /VDI-2222/ sowie deren kombinierte Anwendung. Die unternehmensspezifischen Produktentwicklungsmethodiken, welche innerhalb der Firmen zum Einsatz kommen, resultieren einerseits aus den "gewachsenen" Unternehmensstrukturen, widerspiegeln aber auch die unbewusste Verwendung klassischer Methoden. Daraus folgt zwar ein methodisches Vorgehen, eine spezielle Konstruktionsmethodik wird jedoch nicht vordergründig verwendet.

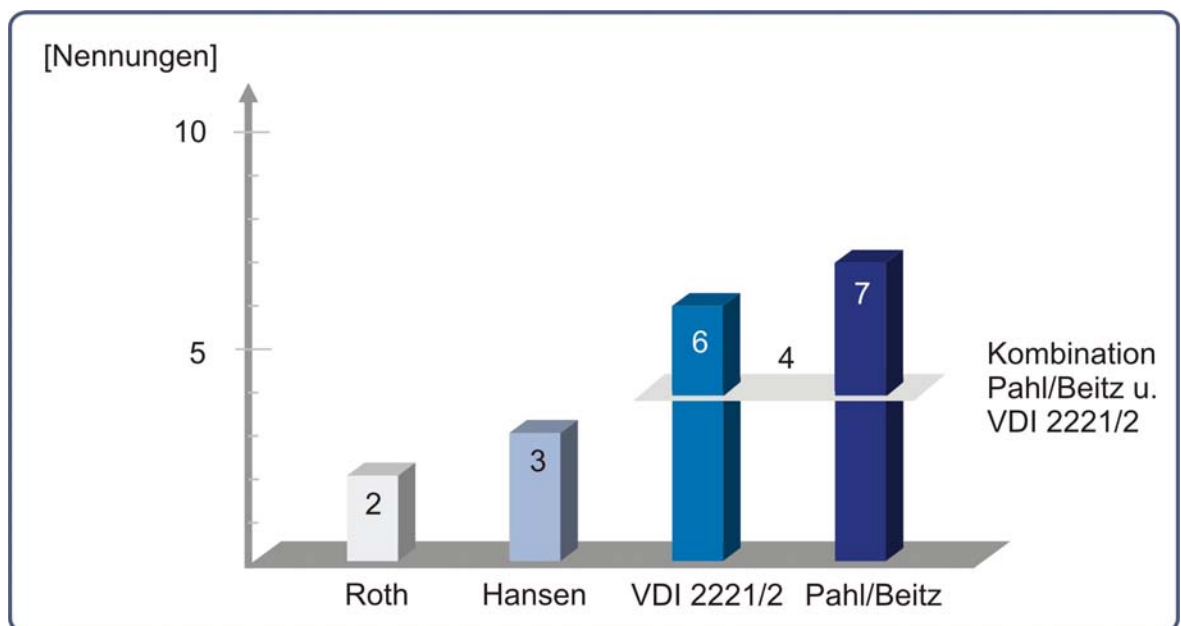


Abb. 10: Verwendete Produktentwicklungsmethoden (Mehrfachnennungen möglich)

Nach Aussagen der befragten Firmen lassen sich die Engineering-Dienstleistungen der kooperierenden Unternehmen in die Bereiche Planung/Konzeption, Entwurf, Detaillierung und Umsetzung zu Prototypen unterteilen. Das heißt einerseits Zusammenarbeit auf dem Gebiet der Konstruktion, dem Design, der Berechnung und Simulation, aber auch Kooperation in Bezug auf Aktivitäten wie beispielsweise Personalleasing und Schulungen.

Die Darstellung in Abb. 11 zeigt, in welchen Phasen der Produktentwicklung ausgewählte Simulationsmethoden zum Einsatz kommen. Der Methodeneinsatz erfolgt verstärkt in der Konzeptions- und Entwurfsphase. Am häufigsten kommen die Finite Elemente Methode, die Kollisionssimulation, die Ablaufsimulation sowie die Parameteroptimierung zum Einsatz. In Ableitung der Häufigkeit der Nennungen ist näher zu untersuchen, in welcher Phase und bei welcher Simulationsmethode der Einsatz von Kompetenzen bezüglich der Virtuellen Realität für die Produktentwicklung von Werkzeugmaschinen als sinnvoll erscheint.

	Planung	Konzeption	Entwurf	Detailierung	Umsetzung zum Prototyp	Methode unbekannt
Ablauf- oder Systemsimulation	7	10	4	1	2	3
Finite Elemente Methode	-	7	15	7	3	1
Kinematiksimulation	1	8	9	2	1	2
Montagesimulation	2	2	8	4	1	4
Strömungssimulation	-	-	-	1	-	5
Topologieoptimierung	-	2	3	-	1	4
Mehrkörpersimulation	-	1	5	1	-	2
Thermische Simulation	-	3	6	-	3	4
Kollisionssimulation	1	10	11	9	3	1
Parameteroptimierung	-	3	6	7	7	2
Ergonomiesimulation	3	6	3	-	1	4

Abb. 11: Simulationsmethoden versus Produktentwicklungsphase (Mehrfachnennungen möglich)

Ein weiterer Fragekomplex umfasste die eingesetzten nichtpersonellen Ressourcen in den Unternehmen. In Bezug auf die Produktentwicklung sind dies vorrangig die verwendeten Softwaresysteme in Abb. 12.

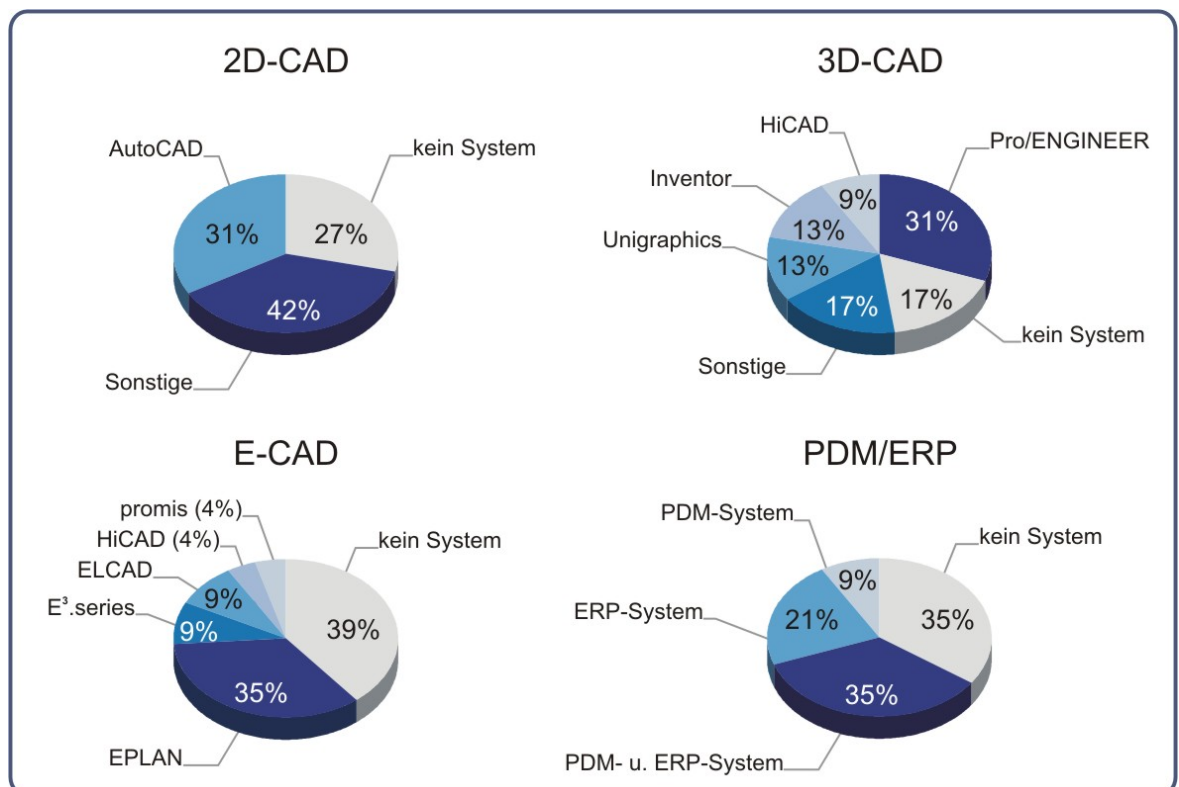


Abb. 12: Verwendete Softwaresysteme (Mehrfachnennungen möglich)

Wie die Ergebnisse der Umfrage zeigen, hat sich der Einsatz von 3D-CAD-Systemen immer weiter durchgesetzt. Lediglich vier der befragten Unternehmen arbeiten noch ausschließlich mit 2D-CAD-Anwendungen, sechs der Befragten konstruieren ausschließlich dreidimensional und 13 in Kombination 2D/3D. Ein Drittel aller Unternehmen verwenden AutoCAD als 2D-CAD-System. Pro/ENGINEER kommt ebenfalls in einem Drittel aller Unternehmen als 3D-CAD-System zum Einsatz. Die Systeme Inventor, Unigraphics und HiCAD werden in mehreren Unternehmen verwendet.

Als E-CAD-System wird vorrangig die Software EPLAN eingesetzt. In zwei Drittel aller Unternehmen kommen PDM- und/oder ERP-Systeme zum Einsatz. Für die Nutzung von Software für Maschinenelemente besteht weiteres Potenzial bei den Anwendern. In Bezug auf die Verwendung von Simulationsprogrammen wurden FEM-Programme (11 Nennungen), Kinematik-Programme (fünf Nennungen) und Programme zur Montagesimulation (vier Nennungen) ermittelt.

Die Erkenntnisse der Befragung bestätigen die verwendete Struktur des Partialmodells der Produktentwicklung (vgl. 4.3) zur Beschreibung und Auswahl von Produktentwicklungskompetenzzellen sowie deren Implementierung und softwaretechnischen Umsetzung innerhalb eines Kompetenz-Agenten (vgl. 6.1). Der kompetenzzellenbasierte Produktentwicklungsprozess basiert auf den Phasen zur Produktentwicklung, in Kombination mit einem generierenden und projektierenden Vorgehen in Anlehnung an Pahl/Beitz und VDI sowie der Phase der Umsetzung zum Prototyp. Die ermittelten Kooperationsgründe bzw. -hemmnisse wurden im Hinblick auf den neuen Forschungsansatz der kleinsten Leistungseinheiten kritisch geprüft und bewertet. In Bezug auf die verwendeten Produktentwicklungsstrategien und Simulationsmethoden konnte das Methodenmodell zur Beschreibung der Methodenkompetenz entsprechend verifiziert werden.

2.3 Anspruch des kompetenzzellenbasierten Vernetzungsansatzes

Aus der Ist-Analyse von Herstellern für Werkzeugmaschinen wird ersichtlich, welche Forderungen an die Kooperation innerhalb der Produktentwicklung gestellt werden. Diese sind nachfolgend dargestellt und abgeleitet:

- Um fehlende Ressourcen und Kompetenzen schnell in den Produktentwicklungsprozess integrieren bzw. adaptieren zu können ist es notwendig, den Planungs- und Entwicklungsprozess neu zu gestalten.

- Durch die genaue Definition von Anforderungsvektoren in Bezug auf benötigte Kompetenzen bzw. nichtpersonelle Ressourcen, einschließlich der Festlegung organisatorischer und technologischer Schnittstellen, können bestehende Risiken positiv beeinflusst und somit reduziert werden.
- Zur Anbahnung des Wertschöpfungsprozesses der Produktentwicklung ist ein geeignetes Instrumentarium für die Phasen Kompetenznetzbetrieb/Produktionsnetzbildung zu entwickeln.
- Für die Realisierung der Produktentwicklung mittels Kompetenzzellen fehlen methodische Vorgehensweisen und geeignete softwaretechnische Werkzeuge.

Die Kompetenzzellen sind so klein und überschaubar zu halten, dass eine ganzheitliche systemische Betrachtung überhaupt erst möglich wird und noch sinnvoll bleibt. Umfangreiche Kommunikation und Koordination wird im Unternehmen zwischen einzelnen Bereichen und Abteilungen zu einer Riesenlast und einem bedeutenden Komplexitätsfaktor. Wenn Kompetenzzellen mit eigenen Zielen und eigener Verantwortung ausgestattet sind, so ist es nicht notwendig, dass sie sich mit anderen über alles und jedes Detail abstimmen und gegenseitig informieren müssen.

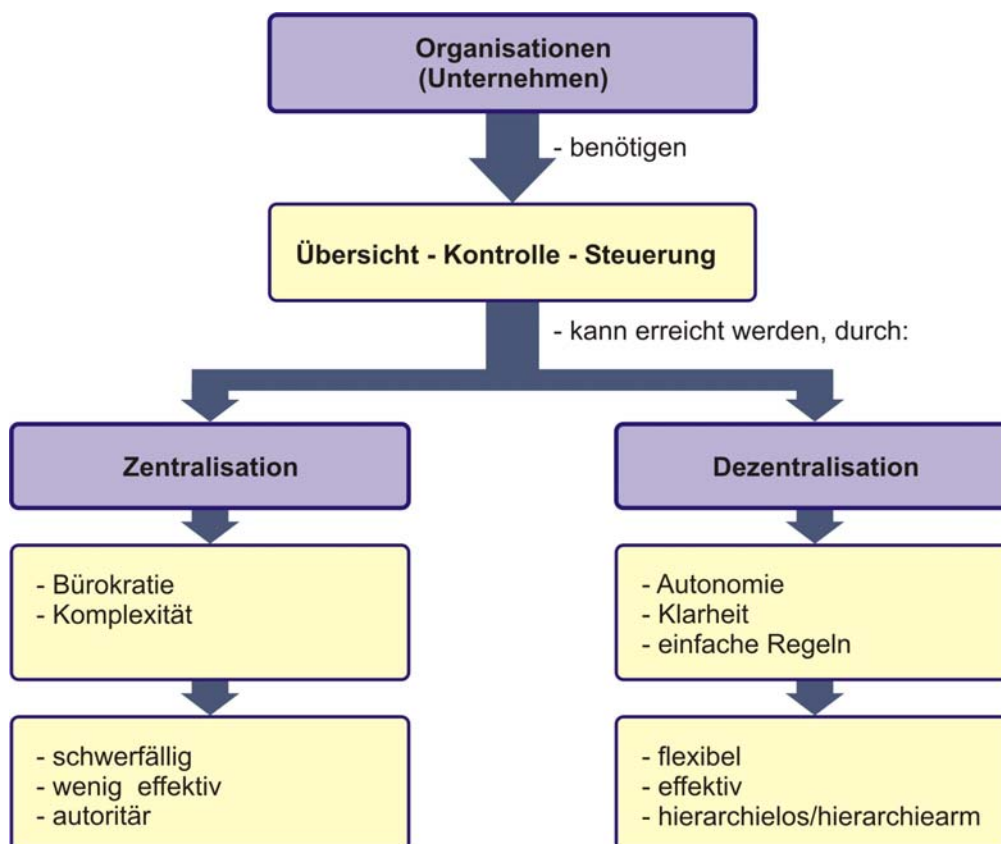


Abb. 13: Charakteristik: Zentralisation versus Dezentralisation

Kompetenzzellen können prinzipiell unabhängig voneinander arbeiten. Eine solche dezentrale Organisation beschleunigt die Projekte und es werden unnötige Wege, Kosten und zwischenmenschliche Konflikte vermieden. Die Leistungsfähigkeit einer extremen Dezentralisation nutzt auch das menschliche Hirn. An vielen Orten werden gleichzeitig Teilergebnisse erarbeitet. Es gibt keine Zentrale letztendlicher Entscheidungen. In Abb. 13 ist eine Gegenüberstellung der Zentralisation und Dezentralisation von Organisationseinheiten aufgezeigt.

Die Vorteile der Dezentralisation im Kompetenznetz und der Wertschöpfung im Produktionsnetz sind:

- geringere Komplexität → kleine überschaubare Einheiten → bessere Marktkenntnis vor Ort;
- besser einzugrenzende Problemfelder → geringerer Kommunikation-/Koordinierungsbedarf;
- größere Sicherheit → durch geringere Anfälligkeit des Gesamtsystems;
- Details werden wichtiger → Konzentration auf Kernkompetenzen;
- weniger Menschen, weniger Konfliktstoff → besseres Gemeinschaftsgefühl;
- größere Ideenvielfalt → schnellere Reaktionsmöglichkeiten auf Überraschendes;
- Wettbewerb von Kompetenzzellen auf Kompetenznetzebene.

3 Stand der wissenschaftlichen Erkenntnisse

3.1 Definition relevanter Begriffe

3.1.1 Betrachtungen zu Netzwerken

Zum Stand der wissenschaftlichen Erkenntnisse werden zunächst für die Arbeit relevante Begriffe erläutert und daran anschließend der Betrachtungsumfang der Arbeit dargelegt. Diese Erläuterungen dienen als Basis zur Darstellung von Theorien, Werkzeugen und Methoden, um den Produktentwicklungsprozess so zu gestalten, dass darauf aufbauend die Theorie der kompetenzzellenbasierten Produktentwicklung entwickelt werden kann.

Netzwerke und Kooperationen werden aus Sicht der kompetenzzellenbasierten Produktentwicklung eingehenden Betrachtungen unterzogen und der Begriff der Dienstleistung, speziell der Engineering-Dienstleistung näher beleuchtet. Im Weiteren wird die Theorie der hierarchielosen regionalen Wertschöpfung analysiert und die Einordnung des Fachgebietes der Produktentwicklung in das Kompetenznetz/Produktionsnetz dargestellt. Daraus wird der Handlungsbedarf dieser Arbeit abgeleitet.

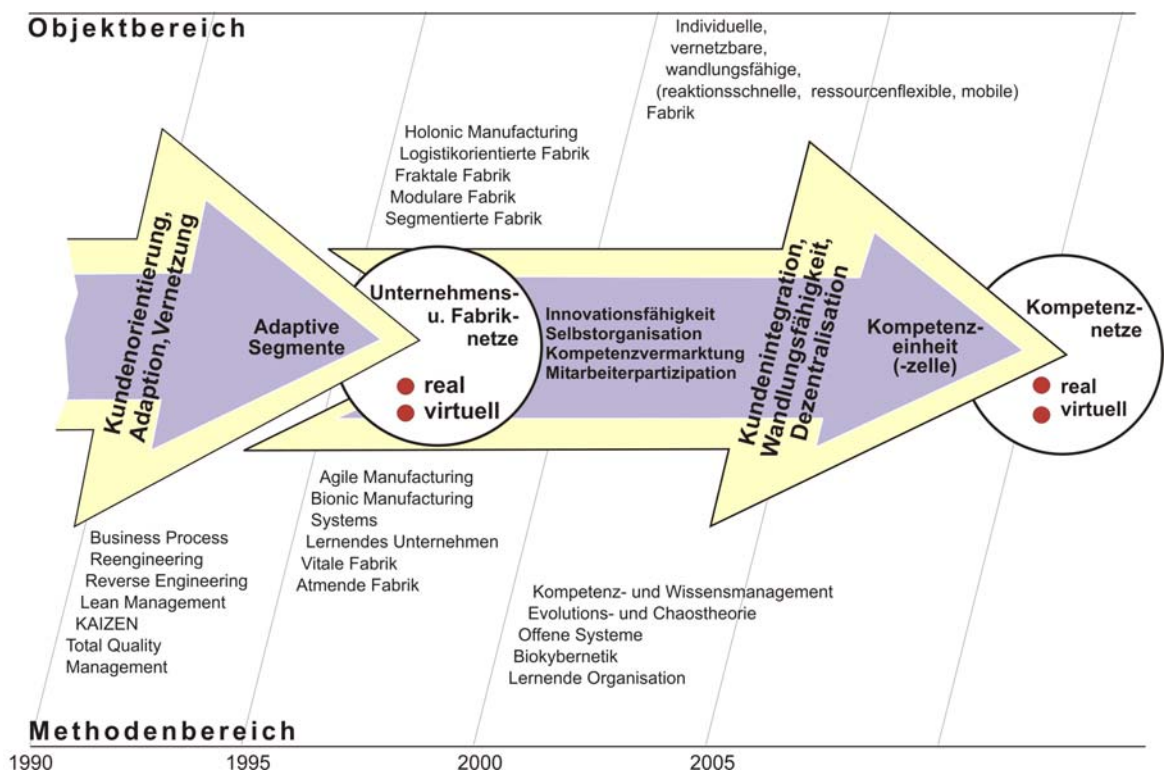


Abb. 14: Entwicklung von Unternehmens- zu Kompetenznetzen (i. A. a. /SCHE-04/, /WIRT-00b/)

Die Abb. 14 zeigt die Entwicklung von Unternehmens- zu Kompetenznetzen, beginnend mit unternehmenseigenen Fraktalen /WARN-92/, über Module /WILD-94/ und adaptive Segmente zu autonomen Kompetenzzellen (/WIRT-98/, /WEST-00b/, /WIRT-00a/). Dies entspricht der Entwicklung von hierarchisch strukturierten Unternehmensnetzen zu hierarchielosen Kompetenznetzen (/SCHE-04/, /WIRT-00b/).

Kennzeichen hierarchieloser kompetenzzellenbasierter Produktionsnetze sind die hohe Innovationsfähigkeit, Selbstorganisation, Kompetenzvermarktung und Mitarbeiterpartizipation. Dies führt zum kompetenzzellenbasierten Vernetzungsansatz (vgl. Kapitel 3.1.2). In bisherigen Arbeiten wurden anwendungsorientierte Netzverbände, mit zum Teil kleinsten Unternehmen punktuell erforscht. Jedoch fehlen wissenschaftliche Vorgehensweisen und Netzbildungsstrategien zur gewählten Thematik (/HERT-00/, /KRUS-01/ /SCHE-04/).

In Anlehnung an Sydow erfolgt eine Typologie in einem zweidimensionalen Sichtenkonzept bezüglich der Steuerungsform und der zeitlichen Stabilität der Netzwerke /SYDO-01/. Die Steuerungsform kann sowohl heterarchisch (polyzentrisch), als besondere Ausprägung hierarchielos/-arm oder auch hierarchisch strukturiert sein. Die zeitliche Stabilität kann in kurz- und längerfristig differenziert werden. Anhand dieser Dimensionen ist es möglich eine Matrix aufzustellen, in welcher sich die grundlegenden Netzwerktypen einordnen lassen (Abb. 15).

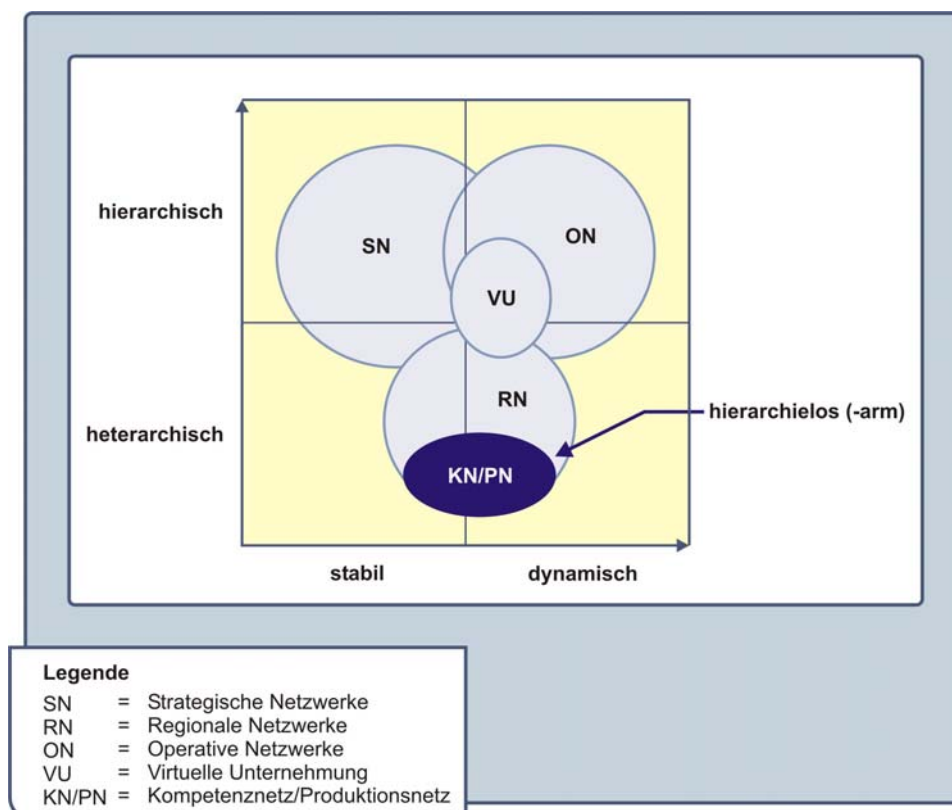


Abb. 15: Typologie interorganisationaler Netzwerke (i. A. a. /SYDO-01/)

Strategische Netzwerke nehmen unter allen Netzwerkformen den bedeutendsten Platz ein und werden von einem oder mehreren fokalen Unternehmen strategisch geführt. Vom fokalen Unternehmen werden die Art und der Inhalt der gemeinsamen Zusammenarbeit, die Marktbearbeitungsstrategie und die Organisation des Netzwerkes festgelegt.

Regionale Netzwerke bestehen aus einer räumlichen Ballung kleiner und mittlerer Unternehmen. Sie besitzen eine heterarchische Organisation und keine strategische Führerschaft. Der Vorteil dieser Netzwerke besteht in der Nutzung von Größenvorteilen und in Bezug auf die Förderung der Innovationskraft. Regionale Netzwerke sind häufig international tätig und in strategischen Netzwerken integriert.

Operative Netzwerke sind zeitlich befristete und unterscheiden sich dadurch von strategischen und regionalen Netzwerken. Sie werden häufig durch ein lokales Unternehmen geführt. Sie sind gekennzeichnet durch fehlende zeitliche Stabilität und können somit die Effekte langfristiger stabiler Beziehungen nicht nutzen.

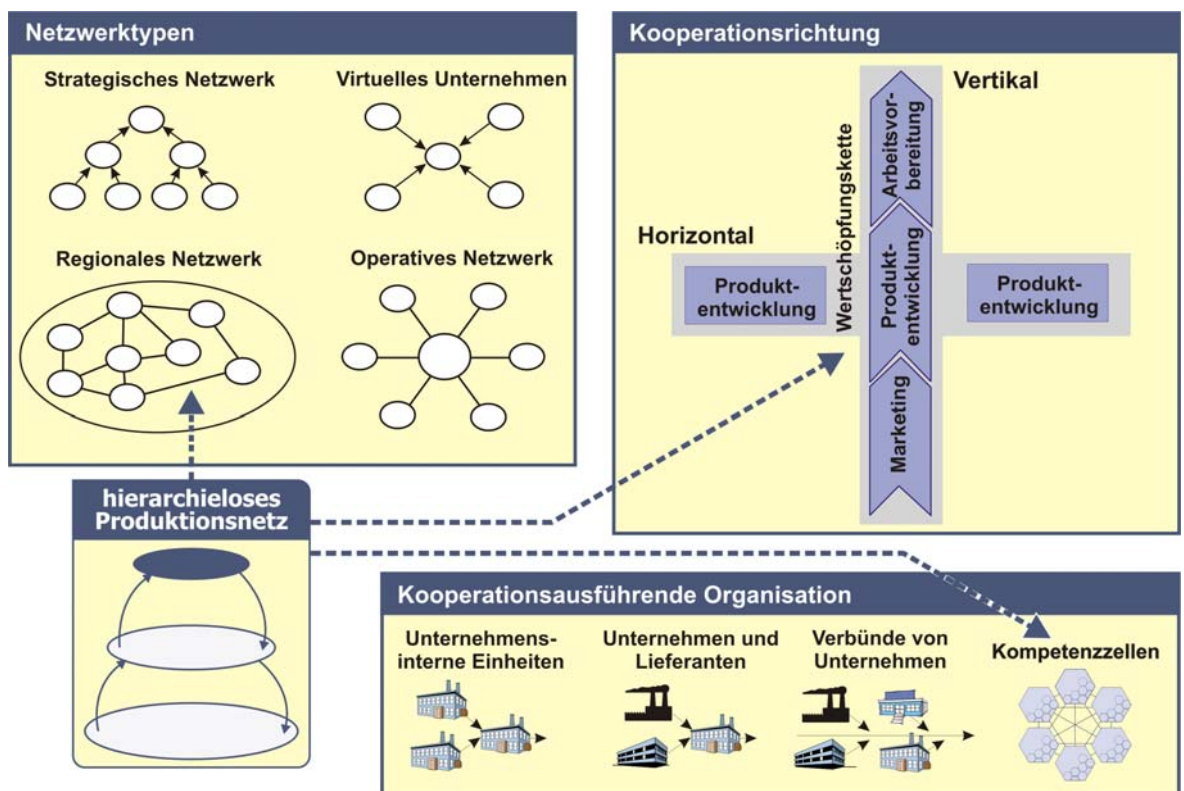


Abb. 16: Einordnung des Forschungsansatzes in die Netzwerk-/Kooperationsforschung (i. A. a. /BUSE-97/, /WILD-96/, /MECK-96/)

Die **Virtuelle Unternehmung** kann sowohl zeitlich stabil, als auch instabil, sowie hierarchisch oder heterarchisch sein. Kooperationspartner sind unabhängige Unternehmen, welche sich auf ihre Kernkompetenzen (bspw. Marketing oder Produktentwicklung) konzentrieren, einen projektorientierten kurzfristigen Verbund bilden und die Produktion sowie Logistik von Partnerunternehmen durchführen lassen /SCHE-02/.

Kompetenznetze/Produktionsnetze agieren hierarchielos(-arm) in einem regionalen Umfeld. Innerhalb der Wertschöpfung kommt es zu einer temporären Verknüpfung von Kompetenzzellen /WIRT-99/. Wie in Abb. 16 gezeigt sind hierarchielose regionale Produktionsnetze als regionale Netzwerke gekennzeichnet, mit sowohl vertikaler (bzgl. Wertschöpfungskette) als auch horizontaler (bspw. Produktentwicklung) Kooperationsrichtung. Kompetenzzellen agieren hierbei als kooperationsausführende Organisationseinheiten.

3.1.2 Hierarchielose regionale Produktionsnetze

Aus Strukturgründen, der Ressourcensituation und der Standortgebundenheit zeigt sich bei KMU und Kleinunternehmen der Trend zur Kompetenzelementarisierung bzw. –spezialisierung und einer kundenorientierten auftragsbezogenen Vernetzung. Insofern ist es notwendig, künftige Anstrengungen stärker auf die Gestaltung hierarchieärmer Produktions- und Organisationsstrukturen zu lenken. Diese Tendenzen zeichnen sich derzeit zur Realisierung effizienter Kooperations- und Vernetzungsmodelle in einer Wissens- und Informationsgesellschaft vermehrt ab (/BULL-02/, /JUNG-99/, /JURC-05/, /SFB457-05/). Ein neuer, im Sonderforschungsbereich 457 entwickelter, Ansatz ist die Kooperation in hierarchielosen Netzen. Ausgangspunkt ist ein Pool von existierenden Kompetenzzellen (KPZ), welche gleichberechtigt in diverse Wertschöpfungsprozesse eingebunden werden können (Abb. 17).

Die Auswahl der Kompetenzzellen erfolgt anhand einer Anforderungsdefinition, welche sich aus der Produktspezifikation bzw. dem Auftrag ergibt. Fachspezifische, produktorientierte und problemorientierte Kompetenzcluster stellen gemeinsam das regionale Netz aller potentiellen Vernetzungspartner dar. Aus diesem regionalen Vernetzungspotenzial entsteht in der nächsten Ebene ein Kompetenznetz mit existierenden Kompetenzzellen /WIRT-03/. Die Spezialisierung vollzieht sich primär auf der obersten Stufe der Wertschöpfungskette. Neben Produktentwicklungskompetenzzellen (PE-KPZ) existieren Kompetenzzellen des Marketing/Vertrieb (M/V-KPZ), der Arbeitsplanung (APL-KPZ), der Fertigung (F-KPZ), der Logistik (L-KPZ) und des Qualitätsmanagements (QM-KPZ) (/DUER-01/, /NEUG-01/, /ACKE-01/, /GERB-04/).

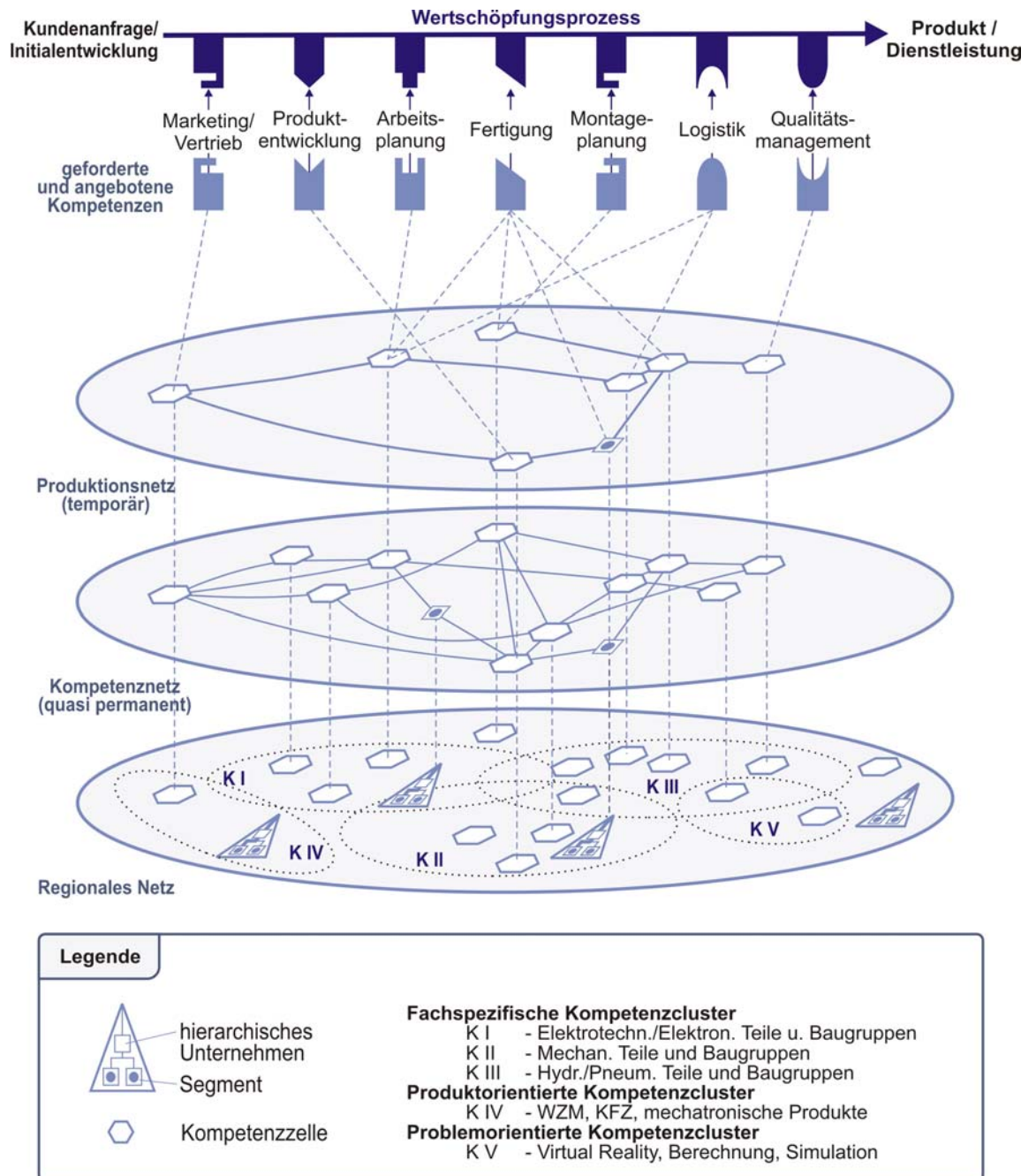


Abb. 17: Hierarchieloses Produktionsnetz (i. A. a. /WIRT-00b/)

Die Kompetenzzellen werden zeitlich, auf einen Wertschöpfungsprozess begrenzt, hierarchielos verknüpft und realisieren auf der Produktionsnetzebene die eigentliche Produkt- bzw. Dienstleistungserstellung. Unter dem Begriff Kompetenzzelle wird die kleinste, nicht mehr sinnvoll teilbare Leistungseinheit verstanden. Die Zelle setzt sich aus Kompetenzkomponenten zusammen. Auf ein Fachgebiet bezogene Zellen sind funktionsorientiert. Prozessorientierte Zellen beinhalten Kompetenzkomponenten aus mehreren Fachgebieten. In der vorliegenden Arbeit wird ausschließlich auf die Kompetenzzelle der Produktentwicklung in Produktionsnetzen eingegangen.

In Abb. 18 ist eine Gegenüberstellung zwischen einem Einzelunternehmen und dem hierarchielosen Vernetzungsansatz, mit den entsprechenden organisationsspezifischen Besonderheiten dargestellt /NEUG-05a/.



Abb. 18: Einzelunternehmen – Hierarchieloses Netz

3.1.3 Produktentwicklung als Engineering-Dienstleistung

In Bezug auf den Begriff Dienstleistung herrscht in der Fachliteratur keine Einigkeit. Für das Verständnis dieser Arbeit in Bezug auf die Engineering-Dienstleistung der Produktentwicklung erfolgt deshalb eine nähere Erläuterung des Begriffgefüges. Kompetenzen der Entwicklung und Planung, welche von Unternehmen bzw. Organisationen, aber auch innerhalb von Kooperationen extern bezogen werden, sind so genannte Engineering-Dienstleistungen /TEUB-99/.

In Bezug auf Dienstleistungen ist es wichtig zu unterscheiden, was Tätigkeiten (Aktivitäten) und was die Ergebnisse dieser Tätigkeiten sind. Tätigkeiten können realisiert werden durch Menschen bzw. Maschinen oder in deren Kombination. Ergebnisse von Tätigkeiten können sowohl materielle Produkte als auch immaterielle Produkte (Dienstleistungen) bzw. kombinierte Produkte (Werkzeugmaschinen) sein /RTCA-92/.

Bei Dienstleistungen sind die Tätigkeiten oftmals schwer von den Ergebnissen zu trennen (Abb. 19). Dies sagt auch die spezielle Begriffsdefinition nach /JONE-91/ aus:

"Die Erbringung einer Dienstleistung entspricht denjenigen Tätigkeiten eines Lieferanten, welche zur Bereitstellung einer Dienstleistung nötig sind."

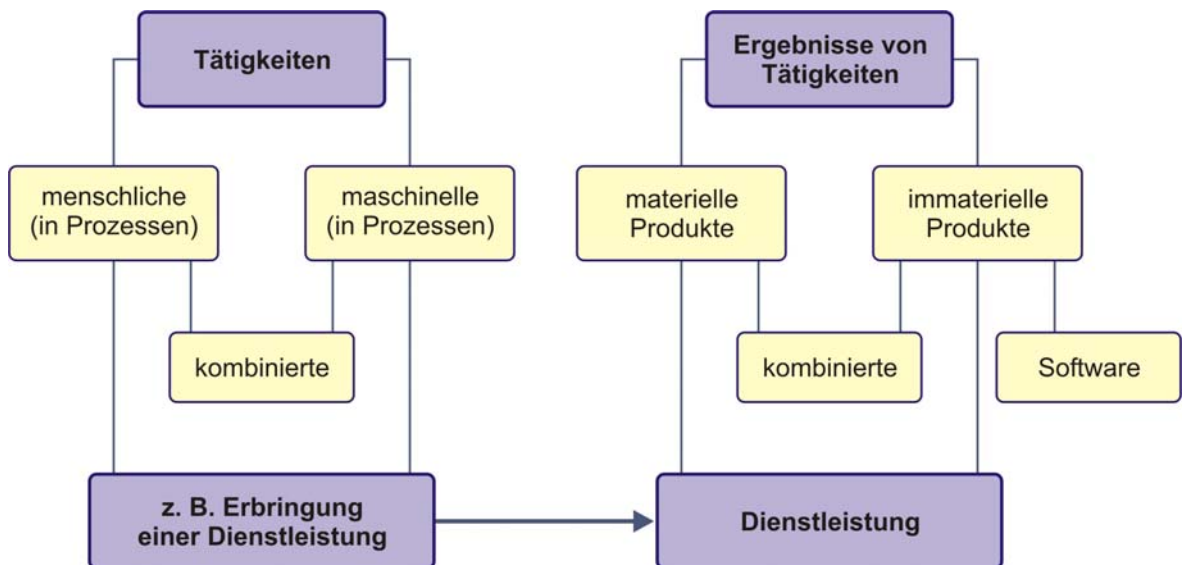


Abb. 19: Tätigkeiten und Ergebnisse in Bezug auf die Dienstleistungssicht

Immaterielle Produkte (vgl. 4.3.2), die als gespeicherte Information nur in Kombination mit materiellen Produkten angewendet werden können, sind keine Dienstleistungen, sondern Informationsträger, wie beispielsweise Konzepte, Entwürfe und Planungsunterlagen /MASI-99/.

Im Umfang dieser Arbeit werden ausschließlich Engineering-Dienstleistungen der Produktentwicklung untersucht. Auf Betrachtungen von Engineering-Dienstleistungen der Arbeitsplanung, der Montageplanung, der Logistikplanung, des Qualitätsmanagements und auf Servicedienstleistungen wird kein Bezug genommen.

3.2 Analyse und Diskussion bestehender Forschungsarbeiten

In den Kapiteln 3.2 und 3.3 erfolgt eine Abgrenzung des Forschungsschwerpunktes sowie eine vergleichende Analyse bestehender Forschungsarbeiten bezüglich des Themengebietes. Insbesondere werden hier verschiedenste Kooperationsformen, Produktentwicklungsstrategien der verteilten Produktentwicklung und verwendete Methoden und Werkzeuge Betrachtungen unterzogen.

Die kooperative Durchführung von FuE-Projekten ("Virtuelles Entwicklungszentrum") zwischen Wettbewerbern ist Inhalt der Arbeiten von SCHNAUBER /SCHN-98/. Sie zielen auf eine dauerhafte Zusammenarbeit verschiedener Lieferanten im Entwicklungsbereich, und ermöglichen insbesondere bei KMU eine schnellere und preiswertere Produktentwicklung. Es wird jedoch von bereits bestehenden Unternehmen ausgegangen und kann nicht ohne weiteres auf den Anspruch der Arbeit der kompetenzzellenbasierten Produktentwicklung übertragen werden. Die Gestaltung von mechatronikgerechten Organisationen in der Produktentwicklung in SCHERNIKAU /SCHE-01/ bezieht sich auf die Optimierung der Verknüpfung zwischen Produkt- und Organisationsstrukturen und ist ausschließlich auf den Einsatz in Unternehmen ausgelegt.

STOCK prüft die Rolle von unternehmensübergreifenden Teams an der Schnittstelle zwischen Anbieter- und Kundenunternehmen und vergleicht Wirkmechanismen im Hinblick auf den Teamerfolg bei interorganisationalen und intraorganisationalen Teams /STOC-03/. In den Arbeiten von BROSER /BROS-02/ und DOHMEN /DOHM-02/ werden Methoden vorgestellt, welche eine Einschätzung bzw. Aufwand-/Nutzenabschätzung ermöglichen, wann es für Unternehmen sinnvoll ist ein Kompetenznetz zur Herstellung von kundenindividuellen Gütern zu generieren. Es werden dabei strategische Erfolgsfaktoren bewertet und die Vor- und Nachteile eines Interneteinsatzes dargestellt. Es wird eine Konzeption für die integrierte mechatronische Produktentwicklung auf Basis eines Sichtenkonzeptes abgeleitet. Die Ergebnisse können in Ansätzen Eingang in die eigene Arbeit finden.

In SCHLIFFENBACHER werden Merkmale eines Dienstleisters mehrdimensional zu einem so genannten Fitnesswert zusammengefasst. Hierbei werden die grundsätzlichen Fähigkeiten eines Unternehmens als Bewertungskriterien betrachtet. Es werden komplette Wertschöpfungsketten, die für die Gesamtheit des Prozesses, zur Erstellung eines Produktes oder einer Leistung erforderlich sind virtuell, im Sinne einer virtuellen Fabrik beschrieben /SCHL-00/.

VON HAGEN stellt eine Weiterentwicklung der Methode vor, welche die kurzfristige Integration externer Kompetenzen und Ressourcen in dynamisch-iterative Prozessketten der Entwicklung und Planung berücksichtigt. Es erfolgt eine vektorielle Sichtweise auf modulare Entwicklungs- und Planungsdienstleistungen und eine Klassifizierung von Beschreibungsmerkmalen. Aktivitäten und Geschäftsobjekte der Produktentwicklung werden dabei mit eingeschränktem Bezug zum methodischen Vorgehen innerhalb der Produktentwicklung betrachtet /HAGE-03/.

Die Entwicklung eines Assistenzsystems für die Entwicklung mechatronischer Produkte beschreibt SCHÖN /SCHO-00/. Dieses System dient der Unterstützung des Produktentwicklers bei Fragestellungen in der Konzeptionsphase und bietet die Möglichkeit der Integration in das Konstruktionssystem *mfK* /MEER-94/.

Die Zielsetzung der Wandlungsfähigkeit in der Auftragsabwicklung definieren PRITSCHOW und WESTKÄMPER unter Nutzung von Agentenmodellen Turbulenzindikatoren und nutzen diese zur Feststellung eines Umplanungsbedarfes /WEST-02a/. Bezüglich verteilter Produktentwicklung ist dies ein wichtiger Gedanke, um bereits frühzeitig in der Entwicklung Defizite zu erkennen und entsprechende Abhilfemaßnahmen einzuleiten.

Die humanzentrierte Vorgehensweise in der integrierten Produktentwicklung betrachtet den Menschen nicht als bloßes Objekt bzw. Produktionsfaktor, sondern als wichtigste Ressource des Unternehmens /BULL-96a/. Das setzt eine andere Unternehmenskultur voraus, die den Bedürfnissen der Menschen bei der Produktentwicklung gerecht wird und sich positiv auf die Motivation, die Innovationskraft und die Kreativität der Mitarbeiter auswirkt. Dadurch werden eine interdisziplinäre und teamorientierte Arbeit sowie die ganzheitliche Planung und Aktivitäten in allen Phasen der Produktentwicklung ermöglicht /VANJ-98/.

Mit dem Ziel einer durchgängigen virtuellen Produkt- und Prozessentwicklung wurden und werden an Themenstellungen zum einheitlichen Datenfluss, an Verfahren zur Einbindung verschiedenster Entwicklungswerkzeuge in den Konstruktionsprozess, an Möglichkeiten zur Unterstützung des Konstruktionsprozesses bereits in der Planungsphase und an allumfassenden Datenmodellen gearbeitet. WARSCHAT ET AL. haben nachgewiesen, dass dem Datenmanagement starke Aufmerksamkeit gewidmet werden muss. Mit diesem Leitgedanken und rechnergestützten Methoden und Werkzeugen lässt sich eine digitale Integration von Produktdaten, Prozessen und Ressourcen erreichen und die „Digitale Fabrik“ durchsetzen. Eine frühzeitige Absicherung der Produktfunktion und Produzierbarkeit kann damit erreicht werden /WARS-01/. Es wurde gezeigt, dass mit dem evolutionären Ansatz des Rapid Product Development (RPD) Projektteams multifunktional und dezentral arbeiten (/WARS-97/, /WARS-99/, /WARS-00a/).

EVERSHEIM ET AL. zeigen mit dem „i³-Engineering“ ein auf Netzwerken basierendes Gestaltungskonzept, welches eine innovative, intelligente und integrierte Produktentwicklung anstrebt. Berücksichtigung finden dabei die drei Gestaltungsparameter Mitarbeiter, Prozesse und Informationstechnologie-Systeme. Die Vorteile in Form von Potenzialen zur Reduzierung der Produktionskosten und der Steigerung der Produktqualität werden in /EVER-02/ dargelegt.

Auch SANFT beschreibt ein Datenverarbeitungssystem zur durchgängigen Unterstützung der Produktentwicklung im Werkzeugmaschinenbau. Das Konzept beinhaltet ein zentrales Datenverarbeitungssystem zur Verwaltung von Komponenten der jeweiligen Werkzeugmaschine in einem integrierten Produktmodell /SANF-95/. Aufgrund der Komplexität erscheint die Anwendung dieses Systems in Kompetenznetzen nicht vorteilhaft.

Aus wirtschaftlicher Sicht rücken Kostenfragen immer stärker in den Vordergrund, finanzielle Aspekte des Konstruktionsprozesses sind somit transparenter zu gestalten /FRIE-97/. Untersuchungen zur Auftragsbearbeitung in Netzwerken sind ebenfalls Gegenstand aktueller Veröffentlichungen zur Problematik. HALMOSI stellt ein interessantes Verfahren der reaktiven Auftragskoordination vor, welches agentenbasiert im Produktionsnetz Verhandlungen zwischen den Netzknoten führt und vor allem Vorteile bei der Umgehung von Störungen (sog. Entstörung) in der Abarbeitung des Kundenauftrages bietet /HALM-02/.

VANJA /VANJ-98/ beschreibt einen humanzentrierten und ganzheitlichen Ansatz des Produktentwicklungsprozesses. Die integrierte Produktentwicklung wird hier als dynamisches Netzwerk bekannter Unternehmensformen beschrieben, welches aus Knoten (autonome Zellen) und Kanten (Beziehungen, Kooperationen) besteht. Die Strukturen sollen äußerst flexibel sein und können in verschiedenen Verknüpfungen erfolgreich Aufgaben lösen.

Im SFB 559 „Modellierung großer Netze in der Logistik“ wird der Zusammenhang von vernetzten Unternehmensstrukturen mit neuen Logistikstrukturen untersucht. Dabei stehen, im Gegensatz zu hierarchielosen Produktionsnetzen mit regionaler Ausprägung, quantitativ große, nationale und globale Material- und Informationsströme im Vordergrund (/KUHN-01/, /KUHN-04/).

Rapid Prototyping, FEM-Analysen, NC-Programmierung und Digital Mock-Up sind aktuelle Methoden und Hilfsmittel der Produktentwicklung /UHLM-01/. REINHART sieht ebenso die effektive Unterstützung der einzelnen Entwicklungsspezialisten in ihrer Kommunikation durch Technologien der Virtuellen Realität /REIN-01/.

In Kompetenznetzen gilt es eine Vielfalt an Informationen zielgerichtet zu steuern und nach Bedarf zu jeder Zeit an jedem Ort in kürzester Zeit verfügbar zu machen. Demzufolge sind Instrumente für ein erfolgreiches Wissensmanagement nötig. STOFFELS hat dazu einen Modellentwurf vorgestellt, welcher besonders auf die Steuerung des Wissens in der Produkt- und Prozessentwicklung eingeht /STOF-01/. Die wissensbasierte agentengestützte Modellierung in parametrischen 3D-CAD-Systemen wird von LIESE /LIES-03/ untersucht. Wissensbasierte CAD-Modelle sollen dabei als Träger der Wissensbasis den höchstmöglichen Gehalt an Semantik des integrierten Produktwissens besitzen. Ein grundlegender Lösungsansatz besteht in der Transferierung und Weiterentwicklung neuer Modelle und Methoden des Wissensmanagements in die wissensbasierte Modellierung.

WESTKÄMPER /WEST-02b/ erstellt ein Modell zur Bewertung technischer Risiken im Produktentwicklungsprozess mit probabilistischen Schlussfolgerungsnetzen. Ziel ist dabei eine Methodik zu schaffen, die eine aussagekräftige Risikobewertung in jeder Phase der Produktentwicklung auch bei unvollständigen Informationen ermöglicht.

Derzeit werden Bemühungen zur Normung bzw. Standardisierung von Schnittstellen unternommen. Ein Ansatz liegt in der Idee einer systemübergreifenden VR-Plattform /WEID-04b/. In einem Projekt wird eine zukunftsweisende, auf VR-Technologien basierende Plattform zur Entwicklung von Fertigungsprozessen und Fertigungsanlagen in Analogie zu bestehenden CAx-Werkzeugen unter der Bezeichnung VRAX® entwickelt (/NEUG-03/, /NEUG-04a). Dabei wird die VR-Technologie erstmalig als aktives Entwicklungs- und Konstruktionsmedium zur immersiven Modellierung genutzt, d. h. in VR erzeugte Daten werden wieder in den Gesamtprozess der Entwicklung zurückgeführt.

Den Einsatz Virtueller Realität in der Produktentwicklung untersuchen weiterhin u. a. ENCARNACÃO /ENCA-02/, KRAUSE /KRAU-99b/ und GÖBEL /GOEB-00/. Neben Analysen zu produktzentrierten, intuitiven 3D-Interaktionsmetaphern für die Konstruktion von Baugruppen erfolgt die Entwicklung eines virtuellen Modellbauverfahrens für das Industriedesign und zur Echtzeit-Interaktion mit Freiformflächen in virtuellen Umgebungen. Ein featurebasierter Modellierer soll das exakte Konstruieren in VR ermöglichen.

Das Projekt VIVERA /VIVE-05/ soll die Forschungsergebnisse bisheriger vom BMBF geförderter Verbundprojekte zur Virtuellen- und Erweiterten Realität bündeln und diese kleinen und mittleren Unternehmen branchenübergreifend zur Verfügung stellen. Wesentliche Themenfelder hierbei sind Planung/Konstruktion, Verifikation und Qualifizierung.

WACHSMUTH /WACH-01/ eruiert eine Entwicklungsplattform für virtuelles Konstruieren mit Gestik und Sprache und strebt die Zusammenführung von Forschungsarbeiten aus den Bereichen multimodale Interaktion und virtuelles Konstruieren an. Im Mittelpunkt stehen sprachbegleitende Gesteneingaben und die Erstellung sowie Erprobung computergrafisch visualisierter 3D-Modelle in der Virtuellen Realität. Weiterhin werden wissensbasierte Methoden für Erstellung, Modifikation und funktionalen Überprüfung virtueller Variantenkonstruktionen sowie der Eignungserprobung entwickelt und sollen in der Kooperation örtlich verteilter Arbeitsgruppen zur Anwendung kommen.

LUCZAK ET. AL. /LUCZ-04/ untersuchen die personenzentrierte Simulation von Arbeitsprozessen in der Produktentwicklung mit Hilfe von Petri-Netzen. Langfristig soll ein simulationsbasiertes Instrumentarium geschaffen werden, das für eine partizipative Gestaltung von Arbeitsprozessen in der Produktentwicklung geeignet ist und somit auf eine Unterstützung der dezentralen Koordination von Entwicklungsteams abzielt /LICH-04/.

3.3 Strategien und Methoden in der Produktentwicklung

3.3.1 Produktentwicklungsstrategien

Wie bereits innerhalb der durchgeführten Empirie (vgl. 2.2) ermittelt, haben sich die verschiedensten Ansätze der verteilten Produktentwicklung in nur wenigen Unternehmen durchgängig etabliert. Es dominieren dabei die bekannten Formen der Team- und Projektarbeit in Verbindung mit kooperativer Produktentwicklung. In deren Erweiterung und der ganzheitlichen Betrachtung der fachgebietsübergreifenden Zusammenarbeit in Unternehmen hat sich der Einsatz des Simultaneous Engineering bewährt. Zielsetzung künftiger Aktivitäten innerhalb von Forschungen sollte die Sensibilisierung der Unternehmen/Organisationen für Produktentwicklungsstrategien und deren schrittweise Umsetzung sein. Die strukturierten Vorgehensweisen sind dabei für die praxisnahe Anwendung und den sofortigen Gebrauch insbesondere für kleine und mittelständische Unternehmen weiterzuentwickeln /PAHL-05/. Diese Werkzeuge müssen zur Einführung, ohne umfangreiche Veränderungen (Anpassungen) bzw. neue Vorgehensweisen innerhalb der Unternehmen, optimiert werden.

Der Ansatz in /KRAU-98/ beschäftigt sich mit der verteilten Produktentwicklung. Die integrierte virtuelle Produktentstehung basiert auf der Aufgabenverteilung und Bearbeitung durch spezialisierte Teams und der dafür notwendigen Kommunikation zwischen allen Beteiligten auf rechnergestütztem Wege. Der Informationsaustausch erfolgt über Internet bzw. Intranet.

Untersuchungen zu Strategien innerhalb der Produktentwicklung waren und sind die Zielsetzung zahlreicher Forschungsarbeiten. Die verteilte Produktentwicklung ist Gegenstand des SFB 374. Umfangreiche Untersuchungen zum Rapid Prototyping, die Entwicklung einer Arbeitsoberfläche zum verteilten Entwickeln, Lösungen zur gemeinsamen Nutzung von Simulationssoftware durch geografisch verteilte Anwender sowie grafische Werkzeuge zur Darstellung einer Produktstruktur mit Integration von Zwangsbedingungen sowie die Anbindung an CAD und Kennzeichnung durch zuständige Projektbearbeiter liefern ein Instrumentarium zur effizienten Arbeit. Untersuchungen werden an Serienprodukten der Großindustrie durchgeführt (/SFB374-02/, /WEST-02b/). Diese Ergebnisse und Lösungen sind für einen Ansatz in hierarchielosen Netzen nur begrenzt anwendbar.

Im Projekt IViP, das über 50 Industrieunternehmen und Forschungseinrichtungen vereint, steht das Virtuelle Produkt als „Digitaler Master“ mit der vollständig virtuellen Produktentstehung im Mittelpunkt. Angestrebt wird dabei eine durchgehende Digitalisierung (/KRAU-99b/, /IVIP-02/).

Weiterhin greift der SFB 467 das Modell der Rekonfigurierung von Werkzeugmaschinen mit dem Schwerpunkt „Schnittstellendefinitionen“ auf /SFB467-02/. Dies fördert den Gedanken der Produktion in einem hierarchielosen Netzwerk, welches durch Genese aus Kompetenzzellen mit ausgeprägter Schnittstellenspezifität gebildet wird, für den einzelnen Wertschöpfungsprozess bestehen bleibt und danach möglicherweise wieder zerfällt. Unter diesem Aspekt ist eine hohe Fertigungsflexibilität, gepaart mit hoher Produktivität und der Randbedingung eines kurzen Zeitraumes, zur Funktionswandlung unabdingbar.

Die Forschung zur Produktentwicklung widmet sich seit einigen Jahren den Methoden zur ganzheitlichen Umsetzung und Einbindung der CAx Technologien in den Produktentwicklungsprozess sowie der Entwicklung von Rapid Prototyping Verfahren. Derzeit liegt der Schwerpunkt auf der Bewältigung der Datenflut, der strukturierten Organisation von Wissen im Konstruktionsprozess (EDM, Engineering Data Management) und der Abbildung des Produktlebenszyklus. Einen weiteren Schwerpunkt bilden die verteilte Entwicklung, die Integration und Parallelisierung der gesamten Abläufe zur Produktentwicklung sowie der zielgerichtete Einsatz von Virtual Reality Technologien (/RIX-00/, /BRAU-00/).

In Abb. 20 erfolgt eine qualitative Bewertung bestehender verteilter Engineering-/Produktentwicklungsstrategien in Bezug auf deren Anwendbarkeit innerhalb der kompetenzzellenbasierten Produktentwicklung. Anhand von Bewertungskriterien wie Organisationsform, Kommunikation, Kooperation, Prozessfähigkeit und unter dem Gesichtspunkt der Kompetenzintegration erfolgten eine vergleichende Gegenüberstellung der Kriterien und eine Prüfung auf deren Eignung.

Bewertungskriterien wie beispielsweise Rahmenbedingungen der Organisation, Flexibilitätsparameter und Kompetenzanforderungen verdeutlichen die verschiedenen Anwendungsmöglichkeiten für eine hierarchielose, regionale, kompetenzzellenbasierte Produktentwicklung. Es lässt sich erkennen, dass sich die Strategien der integrierten (virtuellen) und kooperativen Produktentwicklung sehr gut zur Einbindung in eine kompetenzzellenbasierte Produktentwicklung eignen. Das Defizit hierbei liegt augenscheinlich in der Erkennung, dem Finden sowie der Einbindung weiterer Kompetenzen. Diese Strategien unterstützen weder eine Kompetenzpotenzialbewertung der Humanressourcen, noch deren optimierte Auswahl innerhalb der Kooperation. Weniger vorteilhaft zum Einsatz im Produktentwicklungsprozess erweisen sich die Strategien des Global Engineering Network, Continuous Engineering und die lokalen Teams/Teamarbeit, da diese auf einen anderen kooperativen Grundgedanken abzielen.

Literaturverweise		verteilte Engineeringstrategien							verteilte Produktentwicklungsstrategien					
		lokale Teams/Teamarbeit	verteilte Projektteams ^a	virtuelle Projektteams ^b	Simultaneous Engineering/ Concurrent Engineering ^c	Collaborative Engineering ^d	Systems Engineering ^e	Continuous Engineering ^f	Global Engineering Network ^g	Rapid Product Development ^h	integrierte Produktentwicklung ⁱ	integrierte virtuelle Produktentwicklung ^j	kooperative Produktentwicklung ^k	
Beurteilungskriterien		Kommunikationsform	⊕	⊕	○	○	○	○	○	○	⊕	⊕	○	○
Intensität der Kommunikation	⊕	⊕	○	⊕	○	○	○	⊕	○	⊕	⊕	○	○	
Ort (Ansiedlung der Kooperationspartner)	○	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	○	⊕	⊕	⊕	
Organisation (gleiches/anderes Unternehmen)	○	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	○	○	⊕	⊕	⊕	
Größe der Organisation	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	⊕	⊕	
Entwicklungsumgebung/-plattform/Schnittst.	○	○	⊕	⊕	○	○	○	○	○	⊕	⊕	○	⊕	
Zusammenarbeit	○	○	○	⊕	⊕	○	○	○	○	○	⊕	⊕	⊕	
Wandlungsfähigkeit der Prozesse	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	⊕	⊕	⊕	
Parallelisierung von Planungsprozessen	⊕	○	○	⊕	⊕	⊕	○	○	○	⊕	⊕	⊕	⊕	
Beherrschung dynamisch-iterativer Prozesse	⊕	○	○	○	○	○	○	○	○	⊕	⊕	⊕	○	
Erkennen fehlender Kompetenzen	⊕	⊕	⊕	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	
Finden benötigter Kompetenzen	○	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	○	○	⊕	
Einbindung weiterer Kompetenzen	○	○	○	⊕	○	○	○	○	○	○	⊕	⊕	⊕	
Kompetenzpotenzialbewertung (FK, MK)	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	
optimierte Auswahl der Kooperationspartner	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	

Abb. 20: Qualitative Bewertung von Produktentwicklungsstrategien

3.3.2 Methoden und Werkzeuge der Produktentwicklung

Konstruktionsarten

Abb. 21 zeigt Begriffsdefinitionen, die in der Theorie und Praxis am häufigsten angewendet werden. Dabei ist der Zusammenhang zwischen den vier prinzipiellen Konstruktionsarten mit den entsprechenden Konstruktionsphasen grafisch dargestellt.

Man spricht von *Neukonstruktionen*, wenn diese mit neuen Lösungsprinzipien durchgeführt werden. Dies wird realisiert durch die Auswahl und Kombination bekannter Prinzipien bzw. Technologien oder durch völlig neue technische Gegebenheiten. Auch wenn bekannte oder nur wenig geänderte Aufgabenstellung mit neuen Lösungsprinzipien gelöst werden, spricht man von Neukonstruktionen /PAHL-03/. Neukonstruktionen können sowohl das gesamte Produkt, Baugruppen oder entsprechende Einzelteile betreffen. Völlige Neukonstruktionen sind im Werkzeugmaschinenbau selten (vgl. Abb. 6). Die Gesamtmaschine wird schrittweise in einzelne Baugruppen bzw. Teilaufgaben zerlegt und in entsprechenden Granularitäten innerhalb von Baumstrukturen weiter untersetzt.

Konstruktionsarten		Konstruktionsphasen			
		Konzipieren		Entwerfen	Ausarbeiten
Guppenbegriffe	Bezeichnung in der Praxis	Funktionsfindung	Prinziparbeit	Gestaltung	Detaillierung
Neukonstruktion	Neukonstruktion	[Gestaltung, Detaillierung]			
	Entwicklungskonstr.	[Gestaltung, Detaillierung]			
	Angebotskonstr.	[Funktionsfindung]	[Prinziparbeit]	[Gestaltung]	[Detaillierung]
Anpassungskonstruktion	Anpassungskonstr.	[Gestaltung, Detaillierung]			
	Angebotskonstr.	[Gestaltung, Detaillierung]			
	Fertigungskonstr.	[Gestaltung, Detaillierung]			
	Änderungskonstr.	[Gestaltung, Detaillierung]			
Variantenkonstruktion	Variantenkonstr.	[Gestaltung, Detaillierung]			
Konstruktion mit festem Prinzip	Prinzipkonstr.	[Gestaltung, Detaillierung]			

Abb. 21: Konstruktionsarten/Konstruktionsphasen nach VDI 2210 /VDI-2210/

Bei *Anpassungskonstruktionen* bleiben bekannte und bewährte Lösungsprinzipien bestehen und die Gestaltung wird entsprechend veränderten Rahmen- bzw. Eingangsbedingungen angepasst. Häufig stehen dabei geometrische, festigkeitsrelevante, fertigungs- und werkstofftechnische Fragestellungen im Vordergrund. Die Wirtschaftlichkeit von Anpassungskonstruktionen hängt von der Anzahl der zu verändernden Baugruppen ab. Werden mehr als 50 Prozent der Baugruppen verändert, sind in der Regel Neukonstruktionen wirtschaftlicher /WAHL-00/.

Variantenkonstruktionen sind Änderungen der Größe und Anordnung von Teilen und Baugruppen innerhalb von Grenzen vorausgedachter Systeme (Baureihen, Baukästen). Der wesentliche Arbeitsaufwand besteht dabei in der Entwicklung des Variantensystems. Innerhalb von Baukastenkonstruktionen werden Baugruppen bzw. -teile innerhalb einer Maschine mehrfach verwendet oder in verschiedenen Maschinen eingesetzt (Wiederholteile). Bei Baureihen werden ähnliche Maschinen entwickelt. Es wird zunächst eine Grundvariante konstruiert sowie getestet und im Anschluss daran deren Maße durch Ähnlichkeitsgesetze übertragen. Die daraus abgeleiteten Größen entsprechen bezüglich ihrer Eigenschaften im Wesentlichen dem Ursprungsmodell.

Bei einer *Konstruktion nach festem Prinzip* werden in der Auftragsumsetzung nur noch Abmessungen von Einzelteilen geändert. Die Betrachtung der Konstruktionsarten in Verbindung mit entsprechenden Konstruktionsphasen dient der späteren Einbindung in die Phasen des kompetenzzellenbasierten Produktentwicklungsprozesses sowie der Modellierung des theoretischen Ansatzes der kompetenzzellenbasierten Entwicklung von Werkzeugmaschinen (vgl. 5.1.2, 5.3.3).

Konstruktionsmethodiken

Buchholz /BUCH-87/	VDI 2222 /VDI-2222/	VDI 2221 /VDI-2221/	Rodenacker /RODE-91/	Roth /ROTH-82/	Koller /KOLL-85/	Pahl/Beitz /PAHL-03/	Hansen /HANS-74/
Festlegen der Aufgabe	Planen	Aufgabenformulierung	Aufgabenstellung	Aufgabenformulierung	Produktplanung	Klären der Aufgabenstellung	Präzisieren der Aufgabe
Aufbau der Funktionsstruktur	Konzipieren	Ermitteln der Funktionsstruktur Finden des strukturierten Lösungsprinzips	Festlegen des logischen Wirkzusammenhangs Festlegen des physikalischen Wirkzusammenhangs	allgemein speziell	Funktions-synthese Prinzip Gestalt	Aufstellen der Funktionsstruktur	Ermitteln der technischen Funktion
Erarbeiten des Prinzips							Aufstellen von Topologien
Qualitatives Entwerfen	Entwerfen	Gliederung in Module Gestalten der Module Gestalten des Gesamtprodukts	Festlegen des konstruktiven Wirkzusammenhangs	geometrisch und stofflich	qualitative Synthese	Bilden von Gestaltungsvarianten	Konkretisieren des technischen Entwurfs
Quantitatives Entwerfen							quantitative Synthese
Erstellen der Dokumentation	Ausarbeiten	Produktdokumentation	Anfertigen der Unterlagen	fertigungstechnisch		Erstellen der Fertigungsunterlagen	Erarbeiten der Systembeschreibung

Abb. 22: Gegenüberstellung von Konstruktionsmethodiken

Der Konstruktionsprozess technischer (mechatronischer) Produkte ist bereits mehrfach in der Literatur beschrieben und wurde weiterentwickelt. Die Vorgehensweise ist hierbei nicht grundsätzlich unterschiedlich. Die Arbeitsschritte einschließlich der festgelegten Arbeitsergebnisse sind durch Anwendung bestimmter Regeln und Prinzipien, in Abhängigkeit der jeweiligen Konstruktionsmethodik, differenziert. In Anlehnung an BUCHHOLZ sind in Abb. 22 die wichtigsten Methodiken des deutschen Sprachraums aufgeführt /BUCH-87/. Die Konstruktionsmethodiken entsprechen Arbeitstechniken, welche den Ablauf in den entsprechenden Produktentwicklungsphasen systematisieren und dokumentieren und das Finden der Lösung strukturiert erleichtern sollen. Die Erkenntnisse des methodischen Konstruierens sind in den VDI-RICHTLINIEN /VDI-2221/, /VDI-2222/ zusammengefasst. Europaweit hat sich besonders das Werk „*Konstruktionslehre, Grundlagen erfolgreicher Produktentwicklung, Methoden und Anwendung*“ von PAHL und BEITZ zu einem Standard entwickelt /PAHL-03/.

Für die Produktentwicklung in hierarchielosen Netzen erfolgte eine Anlehnung an die VDI 2221 „*Methodik zum Entwickeln und Konstruieren technischer Systeme und Produkte*“, welche ein generelles Vorgehen zum Entwickeln und Konstruieren technischer Produkte vorschlägt. Diese Methode wurde gewählt, weil im Fokus der vorliegenden Arbeit die Allgemeingültigkeit für mechatronische Produkte des Maschinenbaus steht. Das Vorgehen in der VDI-Richtlinie hat einen iterativen Charakter, d. h. der Ablauf der Arbeitsschritte ist nicht starr, sondern erfolgt in der Regel durch Wiederholung von Teilschritten oder durch Überspringen einzelner Schritte in den Iterationszyklen. Iterationen im Produktentwicklungsprozess sind im Interesse einer übersichtlichen Darstellung in den Abbildungen dieser Arbeit nicht enthalten. Es erfolgt an entsprechender Stelle lediglich ein Verweis auf fehlende Iterationen. Branchenspezifisch kann diese Methode durch andere Vorgehensweisen ergänzt werden. Im Ergebnis der Empirie bei Herstellern von Werkzeugmaschinen und -komponenten kann festgestellt werden, dass die Konstruktionsmethode PAHL und BEITZ in Verbindung mit den VDI-Richtlinien am häufigsten zur Anwendung kommt (vgl. Abb. 10). Diese Konstruktionsmethodiken sind deshalb zur Umsetzung des kompetenzzellenbasierten Produktentwicklungsprozesses für mechatronische Produkte verstärkt zu berücksichtigen.

Die Neuheit des Ansatzes der vorliegenden Arbeit besteht darin, dass die klassischen aus der Literatur bekannten Phasen der Produktentwicklung um die Phase der *Umsetzung zum Prototypen* (virtuell, real) erweitert (Abb. 23) und die Phasen der Produktentwicklung in einen *generierenden* (Planung, Konzeption, Entwurf) und *projektierenden* (Entwurf, Detaillierung, Umsetzung zum Prototyp) Abschnitt unterteilt werden (vgl. 5.3.1). Daraus kann abgeleitet werden, dass das generierende Vorgehen bis zum Grobentwurf, dem Gliedern in realisierbare Module, nur bei Neu- und Anpassungskonstruktionen zur Anwendung kommt.

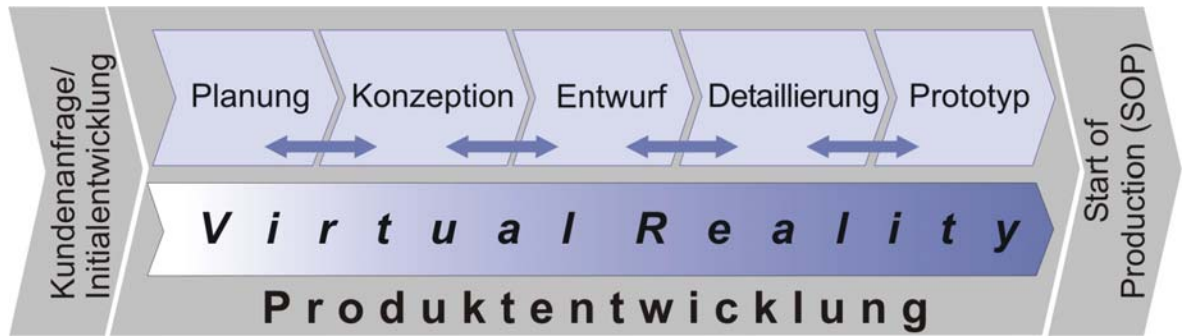


Abb. 23: Phasen der Produktentwicklung

Die unterteilten Module können somit hinsichtlich der für die Entwicklung benötigten Kompetenzen und Ressourcen Betrachtungen unterzogen werden und darauf basierend benötigte Kompetenzzellen gesucht und hierarchielos ausgewählt werden. Die für diesen Arbeitsschritt zusätzlich benötigte Zeit wird durch eine gute kooperative Zusammenarbeit der Partner, in deren Folge qualitativ und quantitativ höherwertige Produkte realisierbar sind, wieder ausgeglichen. Durch diese frühzeitige Einbindung der kooperierenden Kompetenzzellen können Fehler und damit auch zeitaufwändige Änderungen vermieden werden.

Im Rahmen der kompetenzzellenbasierten Produktentwicklung wird die Umsetzung zum Prototyp noch zur Produktentwicklung und nicht, wie aus der einschlägigen Literatur bekannt zur Fertigung gezählt. Dies beruht auf dem zunehmenden und fast durchgängigen Rechneinsatz in der Produktentwicklung. Unter der Maßgabe, dass heutzutage häufig, bevor ein realer Prototyp gebaut wird, meist ein virtueller Prototyp vorgelagert ist, wurde diese Integration vorgenommen.

Des Weiteren erfolgt die konsequente Integration von Technologien der Virtuellen Realität in den Produktentwicklungsprozess und bietet somit einen innovativen und vielversprechenden Ansatz die Entwicklungszeit zu reduzieren und die Fehler in der Entwicklung des Prototypen drastisch zu senken /NEUG-03/. Die Umsetzung dieses Vorgehens der durchgängigen Implementierung von Methoden und Werkzeugen der Virtuellen Realität ist Zielsetzung derzeitiger Forschungsarbeiten am Institut für Werkzeugmaschinen und Produktionsprozesse der TU Chemnitz und nicht Thema dieser Arbeit. VR-Technologien werden im Kompetenzansatz mittels einer methodenspezifischen Beschreibung der VR-unterstützten Produktentwicklung integriert. Die bestehenden Methoden und Vorgehensweisen in der Produktentwicklung, werden im kompetenzzellenbasierten Lösungsansatz eingebunden und um Kompetenzbeschreibungen in Form neuer Organisationseinheiten sowie deren Zusammenwirken erweitert. Daraus lässt sich die Notwendigkeit der Beschreibung von Kompetenzzellen der Produktentwicklung und des kompetenzzellenbasierten Produktentwicklungsprozesses ableiten.

4 Kompetenzbeschreibung in der Produktentwicklung

4.1 Vorgehensweise und Auswahl der Modellierungssprache

Informationen zur Beschreibung von Prozessschritten, eingesetzten nichtpersonellen Ressourcen und Ablauforganisationen wurden mittels Literaturrecherche, Interviews und durch Analyse bekannter Lösungen in kleinen und mittelständischen Unternehmen gewonnen. Die Auswertung der Umfrage erfolgte mittels statistischer Methoden. Für die Analyse der Funktionalitäten von CAD- und VR-Software sowie der Datenschnittstelle zwischen CAD- und VR-Software wurden die Systeme anhand von Beispieldaten zur Validierung der Arbeit an dem Referenzprodukt „Motorspindel“ im Betrieb getestet.

Die wissenschaftlichen Untersuchungen des Konstruktes hierarchieloses Produktionsnetz erfolgt durch eine parallele und interdisziplinäre Entwicklung von Konzepten, Modellen und Methoden /MEHN-04/. Für den in der Wertschöpfungskette enthaltenen Aufgabenbereich der Produktentwicklung wurden nachfolgend aufgeführte Anforderungen an die benötigte Modellierungssprache abgeleitet:

- Modellierbarkeit von verteilt und gleichzeitig ablaufenden Prozessen,
- Möglichkeit der Modellierung beliebiger Abläufe zur Visualisierung von Netzbildungs-, Netzbetreiber-, Organisations- und Steuerungsstrukturen,
- Verwendung einer konsistenten Begriffs- und Modellwelt,
- Abbildbarkeit verschiedenster Netzbildungsstrategien,
- zur Weiterentwicklung der Modelle, die Unterstützung der Flexibilität von Modellkomponenten,
- leichte und schnelle Erlernbarkeit der Modellierungssprache,
- Möglichkeit der nachträglichen Änderung von Modellen,
- Unabhängigkeit von Programmiersprachen,
- Notationsunterstützung durch geeignete Software und
- Erweiterung der Semantik für spezielle Aufgaben.

Aufgrund dieser Anforderungen wurde die Unified Modeling Language (UML), aus 25 bewerteten in der Praxis angewandten Modellierungssprachen ausgewählt (/BOOC-99/, /SFB457-02/). Zur Realisierung der Modellierungsarbeiten diente das Softwaretool Rational Rose /BORR-01/.

Durch diese Modellierungssprache kann eine interdisziplinäre Zusammenarbeit, speziell zwischen den ingenieur- und informationstechnischen Bereichen umgesetzt werden. Um fachspezifische Zusammenhänge darzustellen, werden in diesem Zusammenhang Analysemodelle erarbeitet. Die Modellierung der Produktentwicklungskompetenz zur Anwendung im hierarchielosen Produktionsnetz erfolgte objektorientiert. Dieses Vorgehen beruht auf dem Schema Systemanalyse, Modularisierung und Implementierung. Die gewählte Methodik stellt sicher, dass die erzielten Forschungsergebnisse auch fachbereichsübergreifend in Bezug auf die Wertschöpfungskette für die prozessorientierte Ausrichtung von Kompetenzzellen anwend- und erweiterbar sind. Durch das objektorientierte Vorgehen wird gewährleistet, nachträglich Änderungen ohne Effizienzverschlechterung an den Modellen vornehmen zu können, da durch bestehende Vererbungsmechanismen bereits die erforderlichen Referenzen implementiert sind.

Die Systemanalyse erfolgte nach dem Top-Down-Prinzip. Eine Abbildung bis in die niedrigste Schicht der Produktentwicklungskompetenz ist somit möglich, eine vollständige Systembeschreibung gewährleistet und eine einfache Integration in das Gesamtforschungsgebiet „Hierarchielose Produktionsnetze“ garantiert. Die nachfolgende Modularisierung reduziert die Komplexität des Forschungsbereiches Produktentwicklungskompetenz und ermöglicht die Bildung von überschaubaren Abschnitten und somit die Abbildung von Modellen, welche aus Klassen bestehen. Dabei erfolgte die Umsetzung des Produktentwicklungsprozesses in Anlehnung an die in der Praxis am häufigsten verwendeten Konstruktionsmethoden für mechatronische Produkte (i. A. a. /VDI-2221/, /VDI-2222/, /PAHL-03/, vgl. Abb. 10).

Die Darstellung der Sachverhalte erfolgte, zur besseren Kommunikation zwischen den wissenschaftlichen Teilprojekten (PE, APL, QM, ...) innerhalb des Wertschöpfungsprozesses, mit Hilfe der Beschreibungssprache Unified Modeling Language (UML). Hierbei wurden einerseits für die Methoden, Geschäftsobjekte und nichtpersonellen Ressourcen Klassendiagramme und andererseits für die Darstellung der Beziehungen Aktivitäts- und Sequenzdiagramme gebildet. Die Konkretisierung der modellierten Klassendiagramme erfolgt durch deren Instanziierung. Somit werden Objekte gebildet und es entstehen Objektdiagramme, innerhalb derer sich das Zusammenwirken realer Akteure widerspiegelt. Daraus kann das generische Kompetenzzellenmodell als Klassendiagramm ableitet werden.

Die Klassifizierung der Geschäftsobjekte (Produkte) erfolgt i. A. a. DIN EN ISO 9000:2000 und Masing (/ISO-9000/, /MASI-99/). Dabei wurden in der vorliegenden Arbeit die materiellen Produkte (Werkzeugmaschinen) i. A. a. DIN 69651 und die nichtmateriellen Produkte i. A. a. VDI 2206, VDI 2221/2 unterschieden (/DIN-69651/, /VDI-2206/, /VDI-2221/, /VDI-2222/).

In Klassendiagrammen erfolgt die Beschreibung sowohl der Aktivitäten als auch von Methoden der Produktentwicklung in Anlehnung an die VDI 2221. Die Darstellung des Systems Produktentwicklungskompetenzzelle in UML-Notation bildet die Basis für deren Abbildung im Partialmodell der Produktentwicklung und somit Grundlage zur softwaretechnischen Umsetzung im Kompetenz-Agenten (KoAg, vgl. 6.1).

4.2 Kompetenzrahmen der Produktentwicklung

Durch die Bildung des Kompetenzrahmens kann die Vision des hierarchielosen regionalen Produktionsnetzes in Bezug auf die Praktikabilität des Betrachtungsfeldes der Produktentwicklung nachgewiesen werden. Die Umsetzung erfolgt zum einen durch den Kompetenzrahmen als Voraussetzung zur Modellierung des Partialmodells und im weiteren durch die strikte Abgrenzung des Produktentwicklungsprozesses zu anderen Teilsequenzen der Wertschöpfung. Die sich aus dem hierarchielosen Vernetzungsmodell ergebenden Einflussfaktoren, bezüglich des Kompetenzrahmens der Produktentwicklung wurden ermittelt und auf ihre Umsetzbarkeit geprüft.

Im ersten Schritt ist es notwendig, das Forschungsfeld des Kompetenzrahmens Produktentwicklung durch die Anwendung der kompetenzzellenbasierten Vernetzungstheorie und des Kompetenzbegriffes auf den Geschäftsprozess der Produktentwicklung zu definieren. Des Weiteren werden durch die Dekomposition des Vorgehens zur Produktentwicklung elementare Produktentwicklungskompetenzen und Produktentwicklungskompetenzkomponenten im Rahmen der Systemanalyse ermittelt und können somit als Kompetenzkomponenten für prozessorientierte bzw. spezielle funktionsorientierte Produktentwicklungskompetenzzellen genutzt werden.

Zur Untersuchung von Produktentwicklungskompetenzzellen ist die Betrachtung der auszuführenden Prozessschritte innerhalb der Produktentwicklung, die im Weiteren als Aktivitäten bezeichnet werden, notwendig. Die Dekomposition erfolgt durch die Aufstellung der Prozessschritte mit Hilfe von Aktivitätsdiagrammen. Der Prozess der Produktentwicklung ist ein unscharfer Prozess, welcher nicht sequentiell abläuft und durch Iterationsschritte gekennzeichnet ist. Iterationen werden im Umfang dieser Arbeit nur partiell modelliert.

Der Kompetenzrahmen der Produktentwicklung beinhaltet die Darstellung des Prozesswissens der Produktentwicklung und die Gesamtheit der Kompetenzkomponenten des Entwicklungswissens /TASS-05/. Dabei wurde das Prozesswissen in Bezug auf die Produktgenerierung, die Produktprojektierung, die Produkterprobung und den Produkthanlauf betrachtet (Abb. 24).

Die Komponenten der Kompetenzzelle umfassen die ingenieurtechnischen Grundlagen, Mittel und Methoden zur Beschreibung eines umfassenden und wissenschaftlichen Vorgehens bei der Neuentwicklung von Produkten.

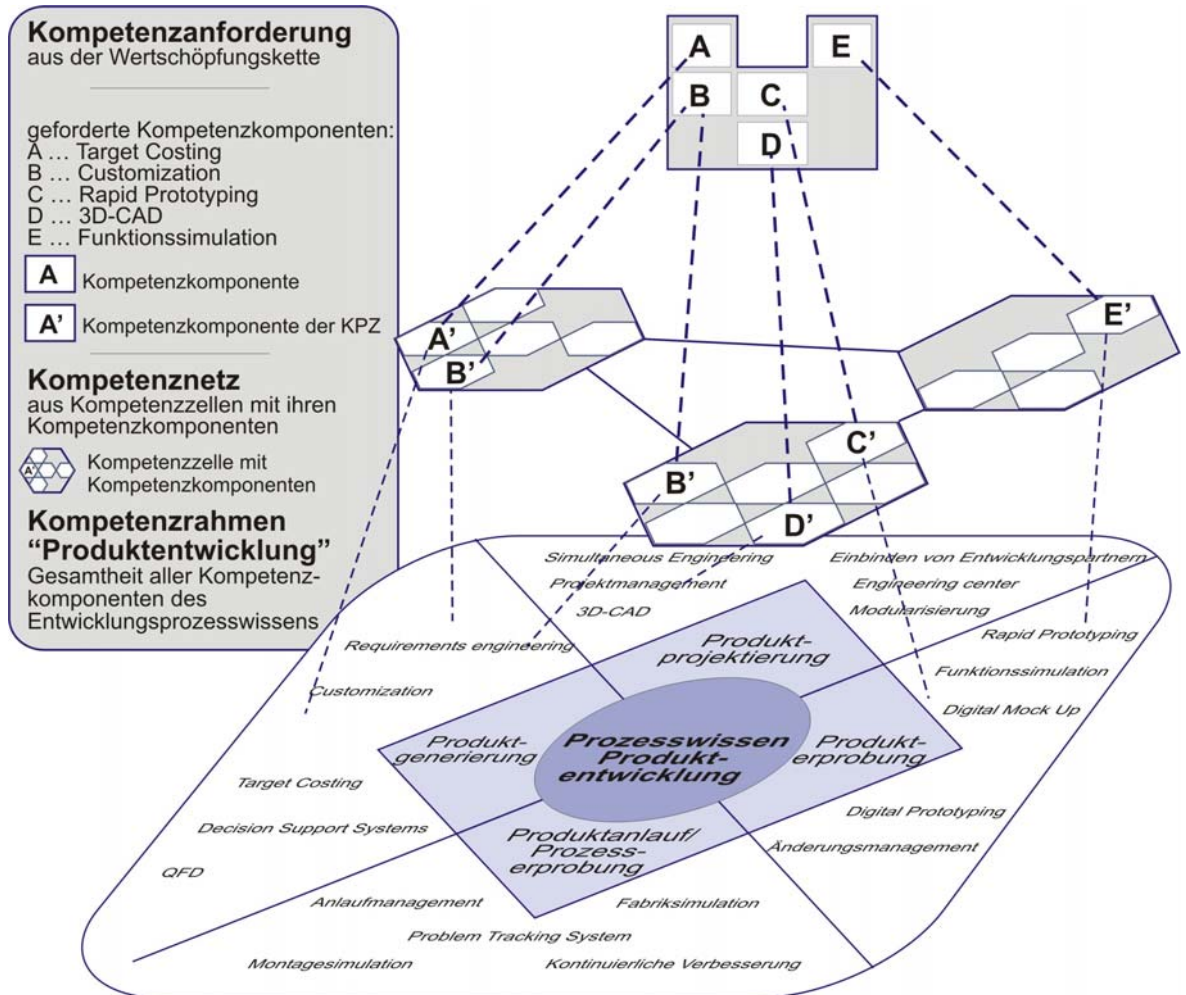


Abb. 24: Kompetenzrahmen der Produktentwicklung

Aus den ermittelten Einflussfaktoren und Anforderungen an die Produktentwicklung im hierarchielosen Produktionsnetz sowie dem Agieren im Kompetenz- und Produktionsnetz werden folgende Funktionen für Kompetenzzellen der Produktentwicklung abgeleitet:

- Beschreibungsfunktion: ermöglicht die gezielte Suche nach benötigter Kompetenz, durch die Abbildung der Produktentwicklungskompetenz im Partialmodell,
- Produktentwicklungsprozessplanung: zum Generieren eines Produktentwicklungs-Workflows als Basis für eine auftragsspezifische Netzwerkkonfiguration,
- Produktentwicklung/Konstruktion: beinhaltet die eigentliche Ausführung der Entwicklungsaufgabe und deren kundengerechte Umsetzung,

- Entwicklungsdienstleister: als autonomer Bestandteil des Produktionsnetzes Dienstleister bei potenziellen Kunden des Netzes zu sein,
- Konstruktionsoptimierung: für die Einbringung von Produktentwicklungskompetenz in Bereiche der Marketing-, Arbeitsplanungs-, Fertigungs- und Qualitätsmanagementkompetenz,
- Angebotserstellung: zur Realisierung des Technischen Angebotes und als Schnittstelle zwischen dem Marketing und anderen Wertschöpfungsbereichen des Produktionsnetzes,
- Produktentwicklungsbewertung: zur Sicherstellung der anforderungsgerechten Umsetzung und unter Beachtung der Zielvorgaben des Kunden,
- Beschreibungsüberwachung: für die Sicherstellung und Pflege der in der ontologiebasierten Datenbank hinterlegten Beschreibungen der Produktentwicklungskompetenzzellen.

Das Kompetenznetz des hierarchielosen Netzwerkes besteht aus Kompetenzzellen mit ihren Komponenten, deren Abbildung und Beschreibung das jeweils spezifische Kompetenzprofil der Zelle beinhaltet. Durch die Suche nach speziellen Kompetenzanforderungen an die Produktentwicklung aus der Wertschöpfungskette entsteht eine prozess- oder produktbestimmte Verknüpfung der Kompetenzkomponenten verschiedener Zellen. Bereits aus diesem sehr grob modellierten Detaillierungsniveau wird deutlich, dass sich innerhalb des hierarchielosen Vernetzungsmodells die Aktivitäten und Inhalte der Produktentwicklung, verglichen mit den allgemeinen Produktentwicklungsvorgehensweisen, in den betrachteten Anwendungsdomänen unterscheiden.

Die Modellierung von Produktentwicklungskompetenzzellen basiert auf einem Sichtenkonzept, bezogen auf Geschäftsobjekte, Aktivitäten, nichtpersonelle Ressourcen und Methoden. In Abb. 25 sind die Aktivitäten erster Granularität der Produktentwicklungskompetenzzellen in den Phasen Kompetenznetzbetrieb, Produktionsnetzbildung und Produktionsnetzbetrieb dargestellt (vgl. auch 5.3, Kompetenzzellenbasierter Produktentwicklungsprozess). Somit wird der Untersuchungsrahmen der Produktentwicklungskompetenz unter Beachtung des Zielsystems eingegrenzt und definiert sowie gleichzeitig eine Abgrenzung bezüglich der Aktivitätsausprägungen zu anderen Kompetenzrahmen der Wertschöpfungskette vorgenommen. Die Aktivitäten der Produktentwicklung wurden weiter untergliedert. Hieraus wird ersichtlich, dass das Kompetenzgebiet der Produktentwicklung Aktivitäten und Methoden enthält, die den Kompetenzgebieten der Qualitätssicherungs- und Servicekompetenz, der Arbeitsplanungskompetenz und der Fertigungskompetenz zugeordnet werden können.

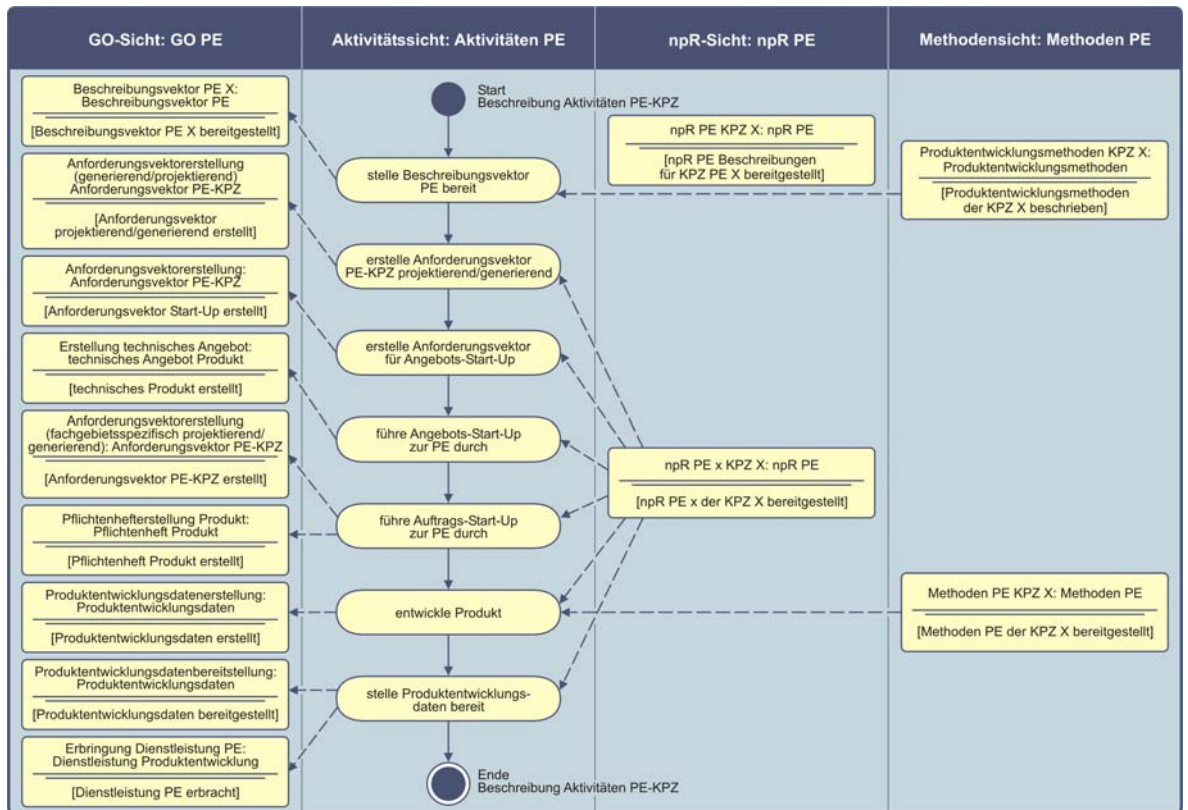


Abb. 25: Aktivitäten der Produktentwicklungskompetenzzellen

Bei der späteren Gestaltung von Kompetenzzellen der Produktentwicklung entstehen, unter Einbeziehung dieser Aktivitäten und Methoden, prozessorientierte Kompetenzzellen. Diese Aktivitäten und Methoden stellen solche Kompetenzkomponenteninhalte dar, welche sinnvoll an andere Kompetenzzellen weitergegeben werden können.

Für die Beschreibung und Suche von Kompetenzzellen im Kompetenz-Agenten (vgl. 6.1) ist die Darstellung von Aktivitäten/Phasen des Produktentwicklungsprozesses der ersten Ebene ausreichend bzw. sinnvoll und somit geeignet für die Modellierung der Kompetenzzelle Produktentwicklung (Anl. 7). Diese Vorgehensweise ist ein Ergebnis der Anwendung der Kompetenztheorie und des Kompetenzbegriffs auf den Geschäftsprozess der Produktentwicklung und spiegelt den hohen aber zwingend notwendigen Spezialisierungsgrad von Kompetenzzellen innerhalb des hierarchielosen Vernetzungsmodells wider. Die weitere Untersetzung der Aktivitäten der Produktentwicklung in Granularitäten n-ter Ordnung ist, für die Beschreibung und Suche von Kompetenzen im Fokus dieser Arbeit, nicht erforderlich und würde, ohne Erkenntniszuwachs, die Komplexität und Klarheit des Partialmodells, einschließlich dessen softwaretechnischer Umsetzung im Umfang potenzieren.

In Abb. 26 ist in Anlehnung an die verwendeten Phasen innerhalb der kompetenzzellenbasierten Produktentwicklung, für das mechatronischen Produkt Werkzeugmaschine, ein Ausschnitt des benötigten Kompetenzrahmens bezüglich notwendiger Kompetenzen, Aktivitäten, Informationsträger und nichtpersoneller Ressourcen aufgezeigt. Dies dient zur Veranschaulichung der gewählten Vorgehensweise der Dekomposition des Geschäftsprozesses aus Sicht der Produktentwicklung am konkreten Beispiel.

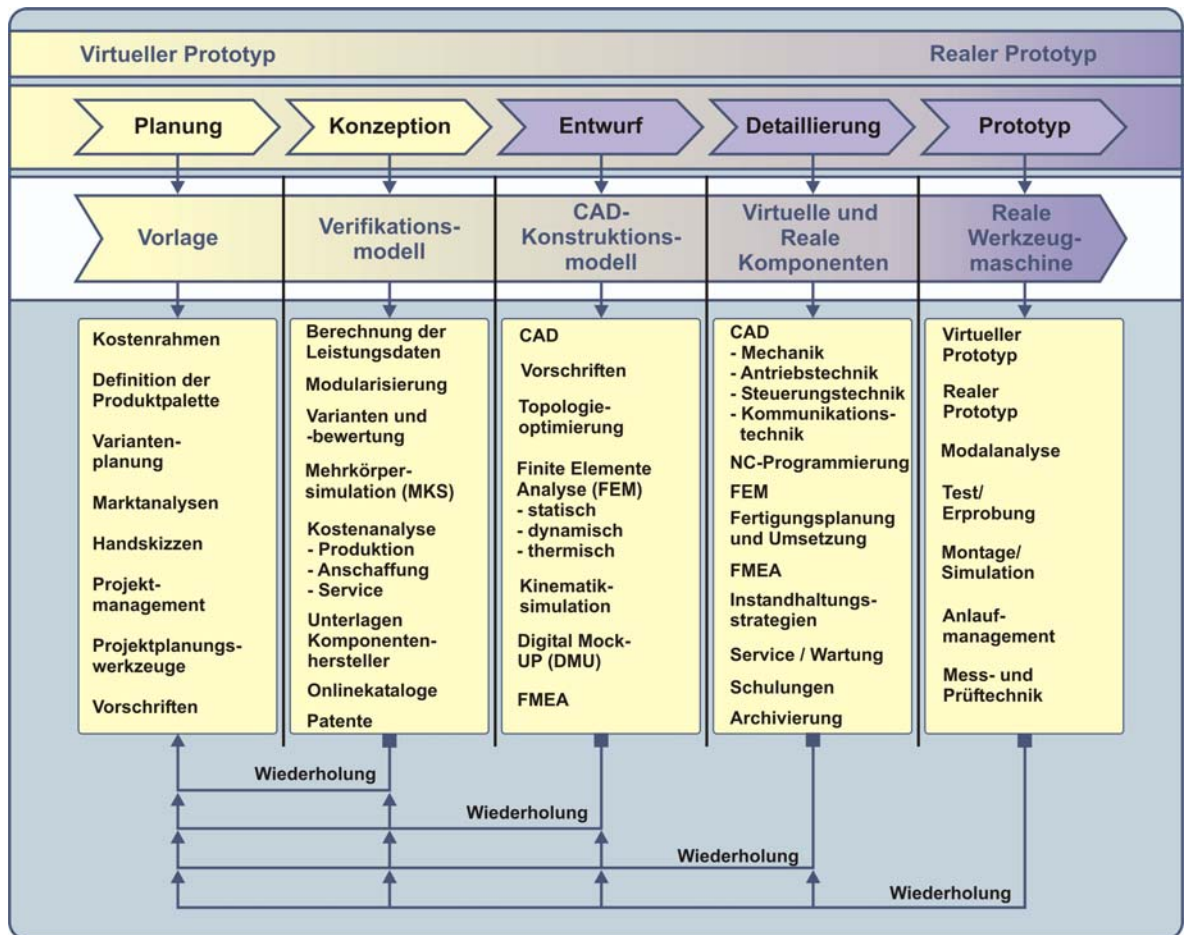


Abb. 26: Entwicklungsprozess am Beispiel des mechatronischen Produktes WZM

4.3 Partialmodell der Produktentwicklung

4.3.1 Generisches Kompetenzzellenmodell

Kompetenzzellen fungieren als elementare Leistungseinheiten im hierarchielosen Produktionsnetz. Sie bilden somit die Basis für die Elementarisierung von Organisationseinheiten und KMU, um in einem Kompetenznetz existieren zu können. Hierzu existieren Beschreibungsvorlagen innerhalb des Partialmodells der Produktentwicklung, basierend auf einem generischen Kompetenzzellenmodell (Abb. 27).

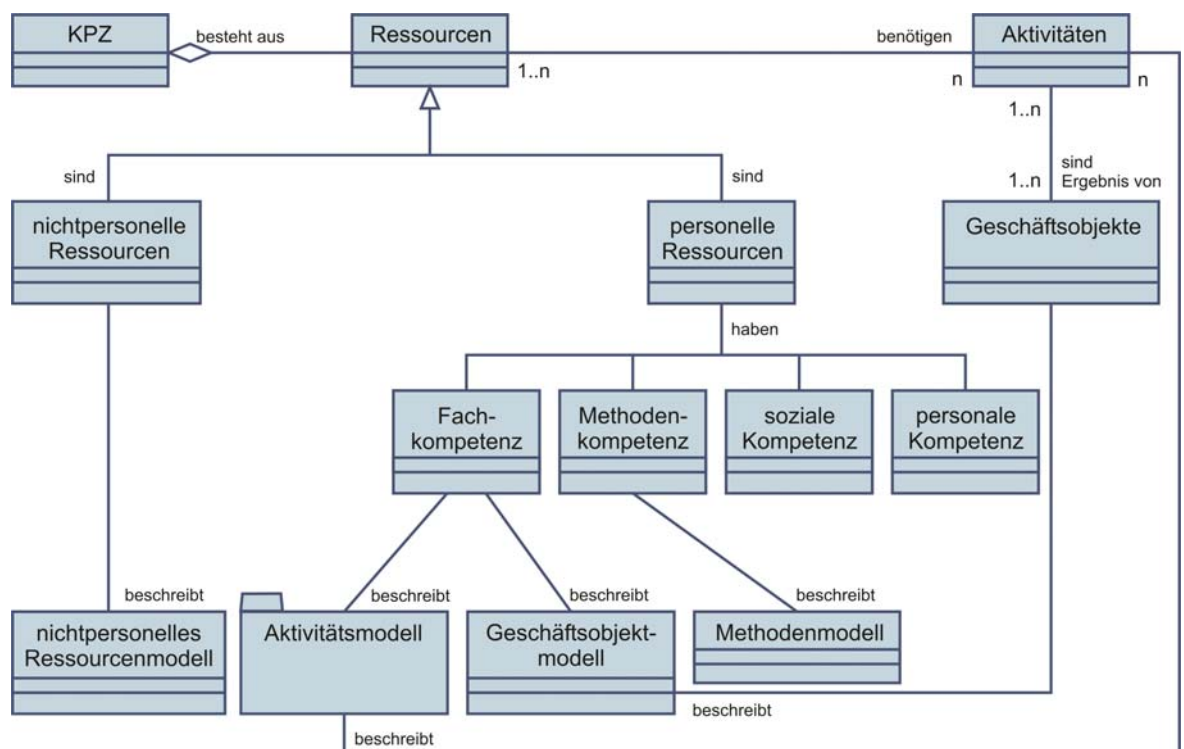


Abb. 27: Generisches Kompetenzzellenmodell

Den zentralen Kern der Kompetenzzelle stellt der Mensch mit seinen individuellen Fähigkeiten und Fertigkeiten, unter Nutzung der ihm zur Verfügung stehenden nichtpersonellen Ressourcen, dar. Die Darstellung der *nichtpersonellen Ressourcen* erfolgt hierbei durch ein entwickeltes nichtpersonelles Ressourcenmodell (Anl. 6). In Anlehnung an ERPENBECK besitzen personelle Ressourcen Fach-, Methoden-, Sozial- und Personalkompetenz /ERPE-99/. Das Methodenmodell beschreibt die *Methodenkompetenz*. Die Verknüpfung einzelner Elemente des Aktivitätsmodells mit Elementen des Geschäftsobjektmodells liefert eine Beschreibung der *Fachkompetenz*.

Die soziale und personale Kompetenz wird im vorliegenden Partialmodell der Produktentwicklung nicht modelliert, sondern durch andere Forschergruppen aus organisationstheoretischer, humanzentrierter Perspektive wissenschaftlich untersucht (/MEYE-04/, /SCHO-03/). Kompetenzzellen fungieren als Knoten im Netz und sind mittels Kanten miteinander verknüpft. Auf diesen Kanten werden soziale und personale Abhängigkeiten der Kompetenzzellen mittels des EVCN, dem Betreiberkonzept des hierarchielosen Produktionsnetzes, abgebildet /TEIC-03/. Durch das generische Kompetenzzellenmodell werden wesensbestimmende Merkmale von Kompetenzzellen (Schnittstellen, Organisationsstrukturen, Strategien etc.) beschrieben. Auf Basis dieses allgemeinen Kompetenzzellenmodells können wertschöpfungsprozessspezifische Teilmodelle (Partialmodelle) gebildet werden (Abb. 27). Somit erfolgen eine Konkretisierung der allgemeingültigen Merkmale des generischen Kompetenzzellenmodells und die Umsetzung des Kompetenzrahmens der Produktentwicklung. Das Partialmodell dient der Beschreibungsunterstützung bezüglich der Organisationseinheiten im Kompetenznetz und bildet gleichzeitig den Ausgangspunkt, zur Bereitstellung kompetenzzellenbasierter Vorgehensweisen (Produktentwicklungsprozess) zum Agieren der Kompetenzzellen im Kompetenz- und Produktionsnetz.

4.3.2 Geschäftsobjektmodell

In Analogie zum generischen Kompetenzzellenmodell erfolgt die Umsetzung des Partialmodells der Produktentwicklung. Komponenten der Fachkompetenz werden mittels des Geschäftsobjektmodells und des Aktivitätsmodells beschrieben.

Tab. 1: Produkt und Geschäftsobjekt

Produkt /ISO_9000/	Geschäftsobjekt /NEUG-05c/
Dienstleistung	Engineering-Dienstleistung Mechatronische Produktentwicklung
Hardware	Werkzeugmaschine/ Werkzeugmaschinenbaugruppen
Software	Informationsträger
Verfahrenstechnische Produkte	keine Betrachtung (Fokus der Arbeit sind mechatronische Produkte des Maschinenbaus)

Die Modellierung des Geschäftsobjektmodells erfolgt in Anlehnung an DIN ISO 9000 und der darin enthaltenen Beschreibung von Produkten (/ISO-9000/, Anl. 1). Das Geschäftsobjekt (GO) als Ergebnis der Aktivität ist in Bezug auf die Produktentwicklung die realisierte Engineering-Dienstleistung (Mechatronische Produktentwicklung) als immaterielles Produkt /MASI-99/. In Tab. 1 sind die Begriffe Produkt sowie Geschäftsobjekt im Fokus der vorliegenden Arbeit veranschaulicht. Diese Produktentwicklungsdienstleistung wird in Klassenmodellen bezogen, auf die Fachgebiete der Produktentwicklung, näher beschrieben (Abb. 28).

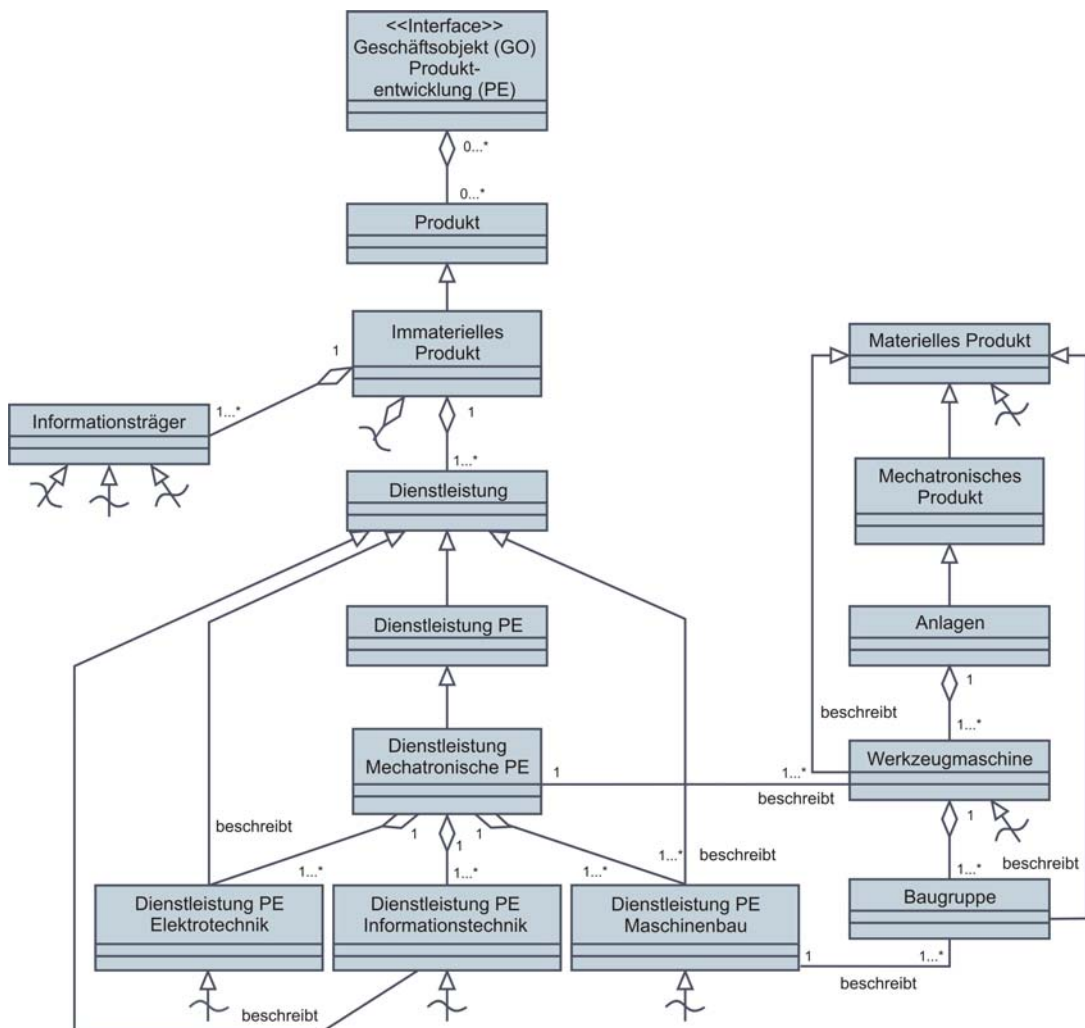


Abb. 28: Geschäftsobjektmodell

Die Produktentwicklung von mechatronischen Produkten ist die Synergie des Zusammenwirkens verschiedener Ingenieurwissenschaften /ISER-99/:

- Maschinenbau (Mechanik, Fluidtechnik) → Maschinenelemente (Lager, Kupplungen, ...)
- Elektrotechnik (Mikroelektronik, Leistungselektronik, ...) → CPU, Speicherperipherie, ...
- Informationstechnik (Systemtheorie, Softwaretechnik, ...) → numerische Steuerungen, ...

Dabei werden Klassen von Fertigungsanlagen nach der Realisierung der Fertigungsverfahren nach DIN 8580 sowie die Klasse der Werkzeugmaschine in Anlehnung an DIN 69651 unterschieden (/DIN-8580/, /DIN-69651/). Das Klassenmodell der Werkzeugmaschinenbaugruppen ist ausgehend von den Hauptbaugruppen /HIRS-00/ bis hin zu Baugruppen n-ter Ordnung modelliert worden (Anl. 3/4). Diese Einschränkung der Klasse mechatronischer Produkte entspricht den gestellten Anforderungen und der wissenschaftlichen Zielsetzung der vorliegenden Arbeit.

4.3.3 Methodenmodell

In Anlehnung an die VDI 2221 sind die Methoden der Produktentwicklung in entsprechenden Klassendiagrammen beschrieben (Anl. 5) und für die Nutzung der Beschreibung von Kompetenzzellen den kompetenzzellenspezifischen Erfordernissen angepasst worden (Abb. 29). Das Methodenmodell beschreibt die Fähigkeit Probleme strukturiert lösen zu können. Das entwickelte Modell beinhaltet drei Arten von Methoden:

- a) Allgemeine Methoden → Integrierte Methoden, Intuitive Methoden, ...
- b) Problemorientierte Methoden → Entwurfsmethoden, Strukturmethoden, ...
- c) Spezifische Produktentwicklungsmethoden

Die spezifischen Produktentwicklungsmethoden dienen der Beschreibung und Suche von Produktentwicklungskompetenzzellen in den Phasen der Kompetenznetz- und der Produktionsnetzbildung des hierarchielosen Netzes. Spezifische Produktentwicklungsmethoden verkörpern Methoden, welche in erster Linie innerhalb der Produktentwicklung zum Einsatz kommen.

Es existieren vier Ausprägungen spezifischer Produktentwicklungsmethoden:

- Simulationsbeschreibung → Simulationsmethode/Simulationsart/Simulationsalgorithmen (z. B. Kinematiksimulation, Topologieoptimierung, FEM-Festkörper, ...)
- Verteilte Engineeringmethoden → Methoden der verteilten Produktentwicklung, (z. B. Systems Engineering, Teamarbeit/Projektarbeit, Virtuelle Projektteams, ...)
- Art der Rechnerunterstützung → Methode der VR-unterstützten PE, CAE, CAD, ...
- Art der Prototypenerstellung → Realer Prototyp, Virtual Prototyping, ...

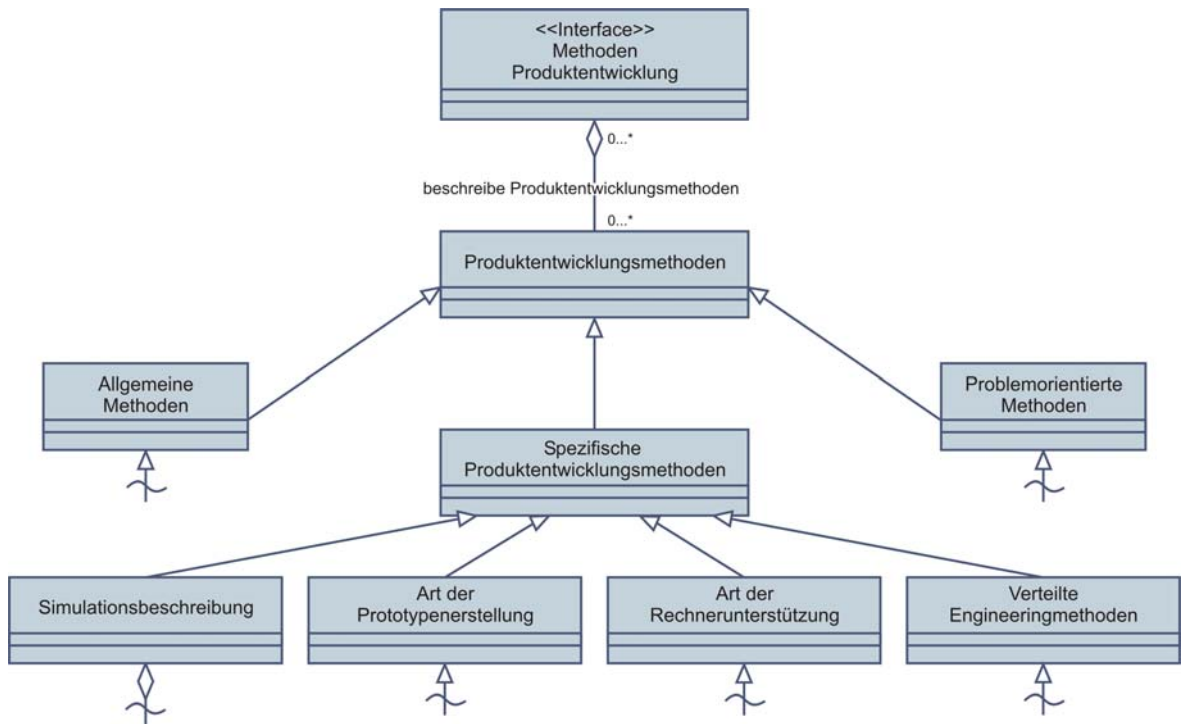


Abb. 29: Methodenmodell

Daraus folgend können mittels der Methodenbeschreibung die Beschreibung der Kompetenzkomponenten von Kompetenzzellen präzisiert werden, wodurch eine weitere Eingrenzung des in der Datenbank vorhandenen Suchraumes möglich ist. Neben dieser Funktionalität zur Beschreibungsdetailierung von Produktentwicklungscompetenzen, leistet das Methodenmodell einen wesentlichen Beitrag, um Produktentwicklungscompetenzzellen bezüglich ihrer Vorgehensweisen im hierarchielosen Produktionsnetz eine geeignete Unterstützung bei den erforderlichen Produktentwicklungsaufgaben zu geben. Diesem Anspruch werden die modellierten spezifischen Produktentwicklungsmethoden gerecht.

4.3.4 Aktivitätsmodell

Im Aktivitätsmodell der Produktentwicklungscompetenz ist der allgemeine Ablauf der Produktentwicklung abgebildet. Dadurch kann die nachgefragte oder angebotene Dienstleistung der Produktentwicklung detailliert formuliert werden. Die genutzte Beschreibungshierarchie der Aktivitäten basiert auf dem bereits vorgestellten Aktivitätsdiagramm entsprechend den Produktentwicklungsinhalten des Kompetenzrahmens (vgl. Abschnitt 4.2). Auf Grund der bereits erfolgten Auszugsweisen Darstellung des Aktivitätsdiagrammes wird an dieser Stelle auf eine Abbildung verzichtet.

Tab. 2: Vergleich Produktentwicklungsphasen/-aktivitäten

Produktentwicklungsphasen/ -aktivitäten /PAHL-03/	Aktivitäten kompetenzzellenbasierte Produktentwicklung /NEUG-05d/
Planung	Planung
Konzeption	Konzeption
Entwurf	Entwurf Unterteilung in realisierbare Module
	Entwurf - Umsetzung
Detaillierung	Detaillierung
-	Umsetzung zum Prototyp

Die Analyse der Produktentwicklungsaktivitäten Tab. 2 zeigt, dass speziell zur Umsetzung der in dieser Arbeit gestellten Ziele zur Konfiguration des Produktionsnetzes, sowie dessen Betrieb, insbesondere die Aktivitäten einen hohen Stellenwert besitzen. In der Folge besteht der Bedarf nach einer Systematisierung von geeigneten Abläufen zur Umsetzung dieser Aufgaben in hierarchielosen Produktionsnetzen. Zur Vereinfachung der Tätigkeitsbeschreibungen als Bestandteil der Fachkompetenzabbildung wurde das Aktivitätsdiagramm in UML-Notation überführt (Anl. 7). Somit ist eine übersichtliche Beschreibungsvorlage für Produktentwicklungsaktivitäten zur Nutzung durch existierende Kompetenzträger entstanden, die aufgrund ihres Ursprungs eine informationstechnische Weiterverarbeitung im KoAg ermöglicht. In der Folge können Prozesse, bspw. die Fachkompetenzbewertung, welche die Informationen dieses Teilmodells benötigen, unterstützt werden. Darüber hinaus ist es möglich, entsprechende Modifikationen vorzunehmen, ohne dabei Abhängigkeiten zu den UML-Diagrammen im Rahmen der Beschreibung der Produktentwicklungskompetenz im KoAg zu verändern.

4.3.5 Nichtpersonelles Ressourcenmodell

Die Unterstützung der zielgerichteten Beschreibung der Produktentwicklungskompetenzzellen durch das nichtpersonelle Ressourcenmodell erfolgt durch die Darstellung, der zur Umsetzung der jeweiligen Aktivität erforderlichen Arbeitsmittel (Abb. 30 sowie Anl. 6). Darüber hinaus wird davon ausgegangen, dass dieses Modell zur Ermittlung von betriebswirtschaftlichen Parametern genutzt wird.

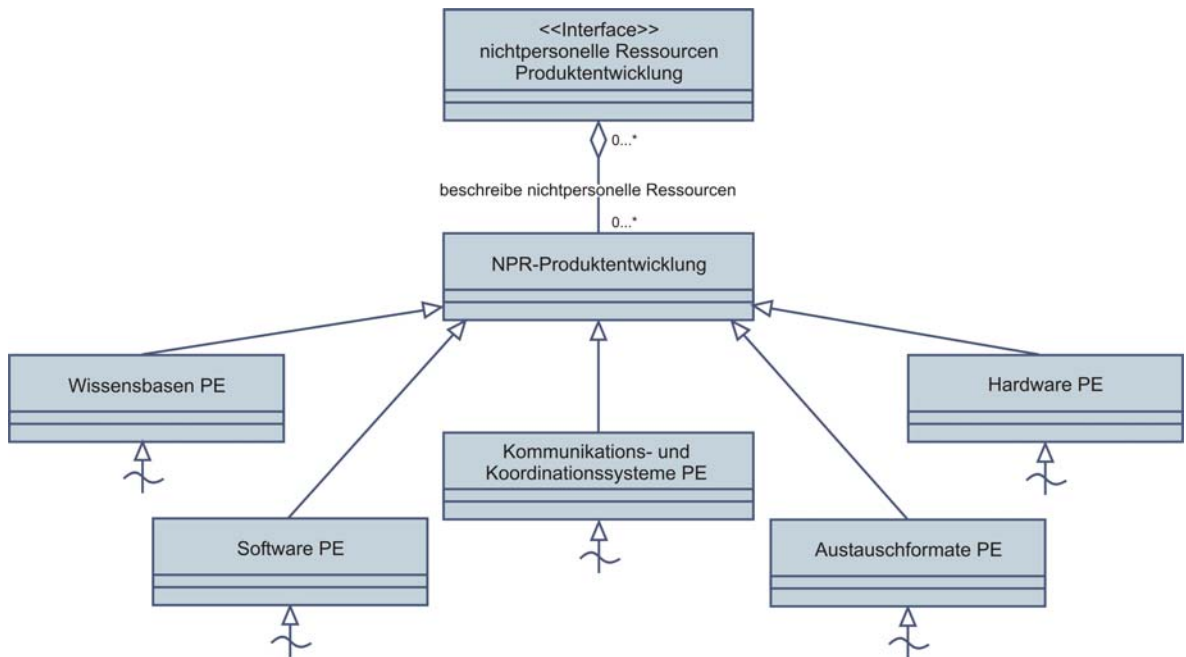


Abb. 30: Nichtpersonelles Ressourcenmodell

Vor diesem Hintergrund dienen folgende Merkmale der Beschreibungsunterstützung:

- Hard- und Softwarespezifikationen zur Durchführung von Produktentwicklungsaktivitäten,
- Wissensbasen, als Voraussetzung bzw. Basis einer strukturierten Produktentwicklung und
- Kommunikations- und Koordinationssysteme zur Zusammenarbeit und Ergebnisübermittlung zwischen Kompetenzzellen.

4.4 Merkmalsausprägungen von Produktentwicklungskompetenzzellen

4.4.1 Klassifikation und Beschreibungsgrundlagen von Produktentwicklungskompetenzzellen

Abgeleitet aus den entwickelten Modellstrukturen werden für die Klassifikation von Produktentwicklungskompetenzzellen die in der Tab. 3 dargestellten Modelle und Klassen verwendet. Dies erfolgt auf Basis der Unterscheidung von Ausprägungen der entsprechenden Kompetenzkomponenten, bezüglich des jeweils verwendeten Modells und wird für spezifische Kompetenzkomponententypen realisiert.

Tab. 3: Klassifikation von Komponenten der Produktentwicklungskompetenzzellen

Modell	Klasse	Bezeichnung	Kompetenzkomponententyp
Geschäftsobjektmodell	Immaterielles Produkt	Dienstleistung Produktentwicklung	fachgebietsspezifisch
Geschäftsobjektmodell	Materielles Produkt	Mechatronisches Produkt	produktspezifisch
Aktivitätsmodell	Aktivität	Phasen der Produktentwicklung	aktivitätsspezifisch
Methodenmodell	Methode	Produktentwicklungs- methoden	methodenspezifisch

Diese Klassifikation von Produktentwicklungskompetenzzellen ergibt sich aus der Notwendigkeit der eindeutigen und schnellen Beschreibung von Kompetenzkomponenten. Dem Anwender (Kompetenzzelle) ist es somit möglich, sein Kompetenzprofil in Bezug auf die Fach- und Methodenkompetenz zielgenau zu beschreiben und definiert im KoAg zu hinterlegen. Eine beispielhafte Umsetzung der kompetenzzellenbasierten Klassifikation von Produktentwicklungskompetenzzellen ist in Abb. 31 dargestellt.

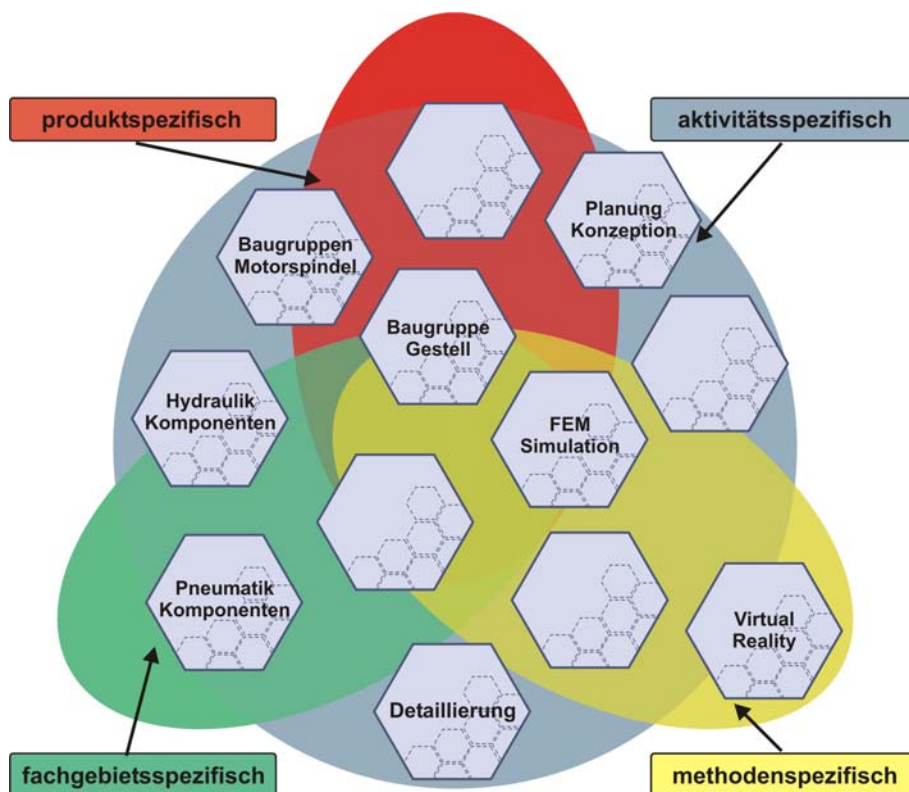


Abb. 31: Beispielhafte Produktentwicklungskompetenzzellen

Die Kompetenzzelle wird durch Beschreibungsvektoren näher beschrieben (Abb. 32), d. h. es werden Geschäftsobjekte (materielle/immaterielle Produkte), mit Aktivitäten und der jeweiligen Projektcharakteristik verknüpft. Gemeinsam mit beschriebenen Methoden und nichtpersonellen Ressourcen werden diese in einem Beschreibungsvektor zusammengeführt.

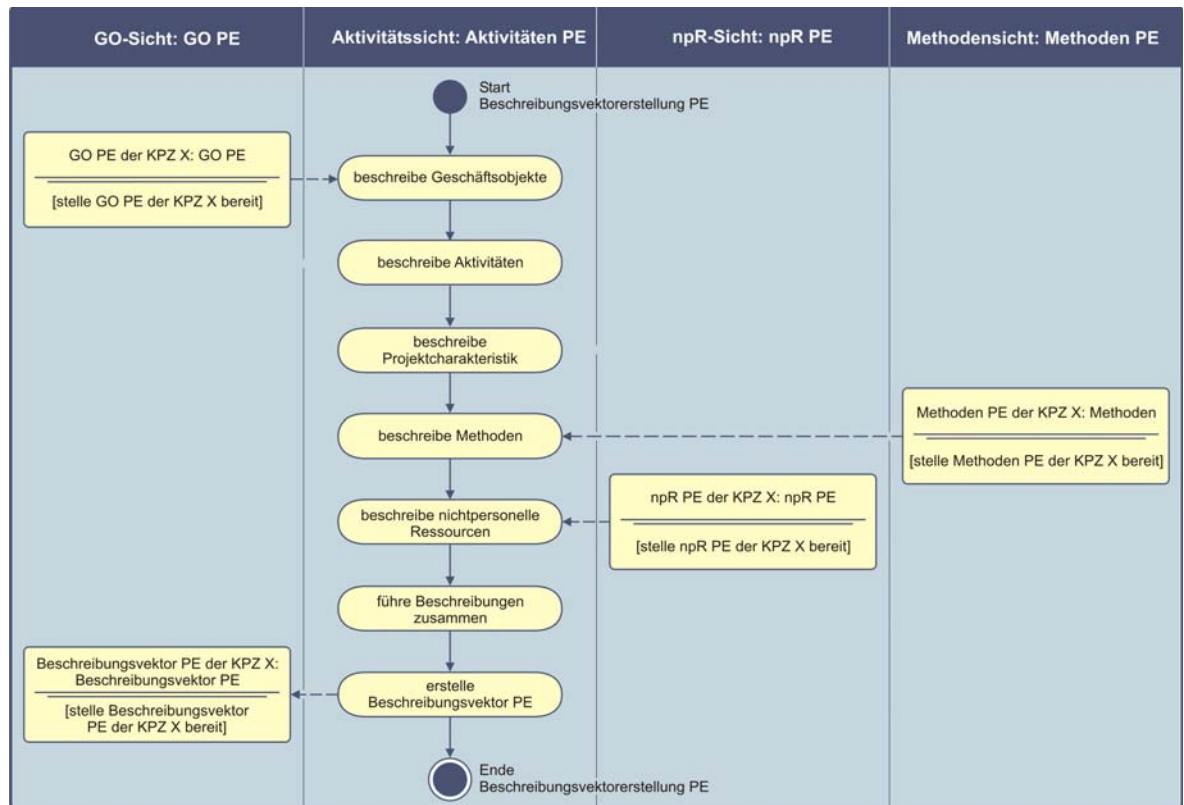


Abb. 32: Erstellung des Beschreibungsvektors (UML)

Im ersten Schritt wird zur Beschreibung der Produktentwicklungskompetenzzelle der jeweils zutreffende Kompetenzkomponententyp ausgewählt. Im Anschluss daran können anhand des Algorithmus weitere Auswahlkriterien markiert und somit die Komponentenbeschreibung vervollständigt werden. Produktentwicklungskompetenzzellen setzen sich aus Kompetenzkomponenten der Fach- und Methodenkompetenz, nichtpersonellen Ressourcen und als untergeordnetes Kriterium aus Informationsträgern zusammen. Fachgebietsspezifische, produktspezifische und aktivitätsspezifische Kompetenzkomponententypen beschreiben Kompetenzkomponenten der Fachkompetenz von Kompetenzzellen. Der methodenspezifische Zelltyp dient der Beschreibung der Kompetenzkomponenten der Methodenkompetenz. Die in der Abb. 33 markierten Pfade entsprechen dem Vorgehen zur Beschreibung von Kompetenzkomponenten und somit deren Generierung im Kompetenz-Agenten.

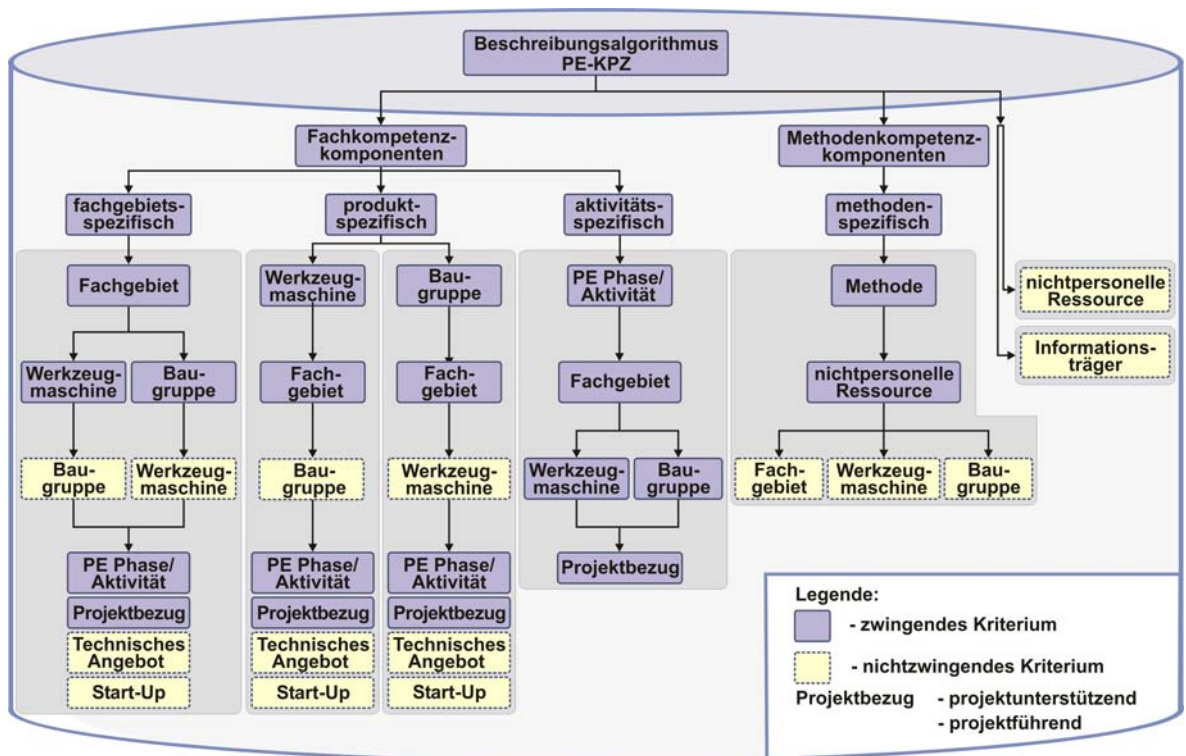


Abb. 33: Beschreibungsalgorithmus Produktentwicklungs-kompetenzzellen

Durch die Auswahl entsprechender Kompetenzzellenkomponenten der Fachkompetenz, Methodenkompetenz und der nichtpersonellen Ressource der Kompetenzzelle wird diese näher beschrieben. Die Gesamtheit aller ausgewählten Komponenten entspricht dem jeweils spezifischen Kompetenzzellenprofil einer Kompetenzzelle.

4.4.2 Anforderungsvektorerstellung von Produktentwicklungs-kompetenzzellen

Zur Suche von Kompetenzzellen werden entsprechende Anforderungsvektoren erstellt und die Kompetenzzellen mittels des KoAg, technisch und wirtschaftlich bewertet, hierarchielos ausgewählt (vgl. 6.1). Die Vorgehensweise zur Suche von Kompetenzzellen (dem Erstellen von Anforderungsvektoren) ist analog dem Vorgehen bei deren technischer Beschreibung, d. h. es werden bei der Suche ganz gezielt benötigte Kompetenzkomponenten der Fach- und Methodenkompetenz in der Phase der Produktionsnetzbildung gefunden und zur Wertschöpfung innerhalb der Produktentwicklung miteinander verknüpft. Die Besonderheit besteht darin, dass die im Anforderungsvektor gestellten Attribute eindeutig einem Kompetenzzellentyp mit den gestellten Beschreibungsmerkmalen entsprechen.

Der Vektor enthält für die Suche von Kompetenzzellen sowohl zwingend erforderliche Eingaben als auch frei wählbare Attribute, welche die Auswahl von Kompetenzzellen weiter einschränken bzw. die benötigte Kompetenzzelle näher spezifizieren (Tab. 4). Hierbei sind auch Teilmengen von Kompetenzmerkmalen für die Beschreibung einzelner Kompetenzkomponenten zulässig (vgl. Beschreibungsalgorithmus).

Tab. 4: Anforderungsvektor Produktentwicklungskompetenzzelle

Kompetenzmerkmal	Datentyp	Angabe zwingend
GO PE Bezeichnung Dienstleistung: Fachgebiet	String	ja
GO PE Bezeichnung für materielles Produkt: WZM	String	ja
GO PE Bezeichnung für materielles Produkt: BG	String	ja
Aktivitätsbezeichnungen	String	ja
Methodenbezeichnungen	String	ja
Projektbezug: projektführend	Boolean	ja
Projektbezug: projektunterstützend	Boolean	ja
Technisches Angebot Produkt	Boolean	ja
Nichtpersonelle Ressourcen PE Bezeichnungen: npR	String	nein
GO PE Bezeichnung Informationsträger: IT	String	nein

Die Anforderungsvektoren sind auf Basis von Aktivitäten informationstechnisch verarbeitbar und beschreiben konkrete Produktentwicklungsaufgaben. In der Folge können Produktentwicklungskompetenzzellen weitestgehend automatisiert im Kompetenznetz identifiziert, nach betriebswirtschaftlichen und technischen (Kompetenzpotenzial) Kenngrößen bewertet und auftragsabhängig vernetzt werden.

Der spezielle Anspruch an den entwickelten Beschreibungsalgorithmus besteht in der Informationsreduktion auf wesentliche Beschreibungsmerkmale innerhalb der Kompetenzkomponenten. Dadurch wird einerseits eine zielgerichtete Kandidatenauswahl auf Kompetenznetzebene (KoAg) und andererseits eine aufwandsarme Integration der jeweils selektierten Produktentwicklungskompetenzzellen auf Produktionsnetzebene sichergestellt. Dies führt zu einer Komplexitätsreduktion, da sich die Anforderungsvektoren, unter Beachtung der benötigten Funktionalitäten, auf bestimmende Parameter beschränken.

4.4.3 Projektführende/Projektunterstützende Kompetenzzellen

Ein wesentliches Merkmal zur Beschreibung von Kompetenzzellen ist Festlegung des Projektbezuges, d. h. ob die Kompetenzzelle in den Phasen Produktionsnetzbildung und Produktionsnetzbetrieb, in Bezug auf eine Kompetenzkomponente, projektführend und/oder projektunterstützend agiert. Auch für erfolgreiche Produktentwicklungen innerhalb von Kooperationen gilt der Grundsatz jedes Unternehmens, Projekte müssen geführt (geleitet) und es müssen zielgerichtet Entscheidungen getroffen werden. Der hierarchielose Ansatz der kompetenzzellenbasierten Vernetzungstheorie bezieht sich, innerhalb der Wertschöpfung der Engineering-Dienstleistung Produktentwicklung, auf die hierarchielose Auswahl der, nach betriebswirtschaftlich und technisch bewerteten Kriterien, ausgewählten Kompetenzzelle. Dem Nutzer des Systems (Ersteller des Anforderungsvektors) ist es nahezu unmöglich, die Auswahl nach subjektiven Kriterien zu beeinflussen. Bezüglich ihrer Fach- oder Methodenkompetenz geeignete Kompetenzzellen werden ausgewählt, geben ein Angebot anhand definierter Zielkosten ab und es wird die am besten geeignete Kompetenzzelle, anhand von Kundenkriterien (Preis, Zeit, Kompetenzpotenzial) gewichteten Größen, in einem normierten Rangfolgeverfahren ausgewählt (vgl. 4.5.3).

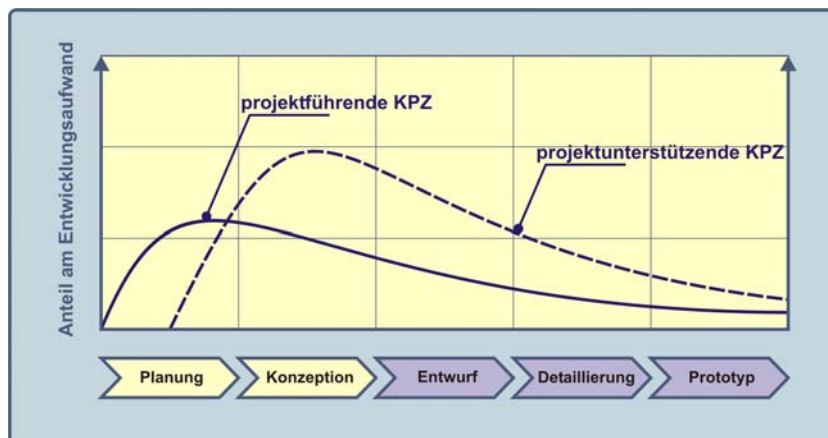


Abb. 34: Serienentwicklung mechatronischer Produkte

Für mechatronische Produktentwicklungen der Einzel- und Kleinserie im Fokus dieser Arbeit gilt hierbei der Ansatz, dass die projektführende Kompetenzzelle einen hohen Anteil am Entwicklungsaufwand in der Planungs- und Konzeptionsphase selbst realisiert. Erst in der Phase des Entwurfs (Gliedern in die realisierbaren Module) werden andere, sowohl teilprojektführende als auch projektunterstützende Kompetenzzellen in die kompetenzzellenbasierte Produktentwicklung integriert. Im Gegensatz hierzu steht das Vorgehen innerhalb der Produktentwicklung von Serienmaschinen (Abb. 34).

Die kompetenzzellenbasierte Zusammenarbeit beginnt in der Planungsphase und verstärkt sich in der gemeinsamen Erstellung des Maschinenkonzeptes, d. h. die projektunterstützenden Kompetenzzellen realisieren einen hohen Anteil am Entwicklungsaufwand. Die wesentliche Funktion der projektführenden Kompetenzzelle liegt somit in der Koordination, der Überwachung, der Ermittlung des Abstimmungsbedarfs und der termin- und zielkostengerechten Projektführung. Der eigentliche Entwicklungsaufwand wird durch beteiligte projektführende/-unterstützende Kompetenzzellen überwiegend in Teilprojekten realisiert.

4.4.4 Kompetenzprofile von Produktentwicklungskompetenzzellen

Das Profil einer Kompetenzzelle wird durch spezifische Kompetenzkomponenten der Fach- und Methodenkompetenz beschrieben (Abb. 35:).

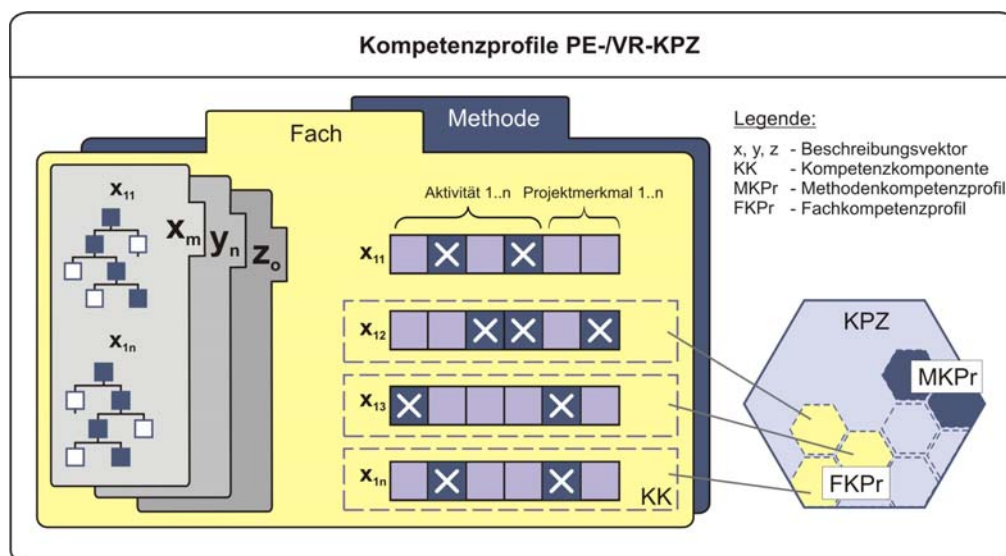


Abb. 35: Kompetenzprofile

Die verschiedenen Ausprägungen sind charakterisiert durch den jeweiligen Kompetenzkomponententyp, in der jeweils bestimmenden fachgebiets-, produkt-, aktivitäts- und methodenspezifischen Ausprägung in Verbindung mit den entsprechenden Zusatzinformationen (Aktivitäten, Projektmerkmalen). Ein Profil einer Kompetenzzelle wird gebildet aus der Menge von Kompetenzkomponenten, welche in der ersten Ebene des Beschreibungspfad im Beschreibungsalgorithmus identisch beschrieben sind. Jede Kompetenzzelle kann somit verschiedenste Fach- und Methodenkompetenzprofile besitzen. Abb. 36 zeigt zur besseren Veranschaulichung ein mögliches Kompetenzprofil einer Kompetenzzelle bezogen auf eine produktspezifische Fachkompetenz von HSC-Fräsmaschinen.

Profiltyp: Werkzeugmaschine » Typ » Spanende Werkzeugmaschinen » geometrisch bestimmte Schneide » Fräsmaschinen

	Komponente 1	Komponente 2	Komponente 3
Werkzeugmaschine			
Typ			
Spanende Werkzeugmaschinen			
geometrisch bestimmte Schneide			
Fräsmaschinen	» HSC-Fräsmaschinen	» HSC-Fräsmaschinen	» HSC-Fräsmaschinen
Fachgebiet			
Mechatronische PE			
Maschinenbau			
Mechanik	» Maschinenelemente	» Maschinenelemente	» Maschinenelemente
Baugruppe			
Antriebe			
Antriebsart			
Motorspindel			
Typ	» Motorspindel mit Werkzeugaufnahme	» Motorspindel mit Werkzeugaufnahme	» Motorspindel mit Werkzeugaufnahme
Art der Hauptspindel			
Lage	» horizontal	» horizontal	» vertikal
Fertigungsaufgabe	» Bohren	» Fräsen	» Fräsen
Typ	» Hauptantriebe	» Hauptantriebe	» Hauptantriebe
Zusatzinformationen			
PE Phase/Aktivität	» Start-Up » Phase 1 - Planung » Phase 2 - Konzeption » Phase 3 - Entwurf » Phase 4 - Detaillierung » Phase 5 - Umsetzung zum Prototyp	» Start-Up » Phase 1 - Planung » Phase 2 - Konzeption » Phase 3 - Entwurf » Phase 4 - Detaillierung » Phase 5 - Umsetzung zum Prototyp	» Start-Up » Phase 1 - Planung » Phase 2 - Konzeption » Phase 3 - Entwurf » Phase 4 - Detaillierung » Phase 5 - Umsetzung zum Prototyp
Projektbezug	» projektführend	» projektunterstützend » projektführend	» projektunterstützend » projektführend
Technisches Angebot	» Erstellung Angebot	» Erstellung Angebot	» Erstellung Angebot

Abb. 36: Beispiel Kompetenzprofil HSC-Fräsmaschinen einer Kompetenzzelle

Dessen Profilbeschreibung dient der Bildung von Vorzugslösungen. Daraus abgeleitet ist es möglich, die Kompetenzzelle durch Profil- und Defizitanalysen gezielt weiterzuentwickeln. Durch Formulierung von Bewertungskriterien für Produktentwicklungskompetenzzellen wird es möglich, Kompetenzpotenziale für einzelne Kompetenzkomponenten, aber auch für Kompetenzprofile, mittels eines Bewertungsalgorithmus zu ermitteln. Diese Potenzialentwicklung bildet die Grundlage für die Erarbeitung geeigneter Entwicklungs- und Adaptionsstrategien von Kompetenzzellen.

4.5 Auswahl- und Bewertungsverfahren von Kompetenzzellen

4.5.1 Mathematische Betrachtung

Aufbauend auf die ermittelten Kompetenzprofile der Fach- und Methodenkompetenz von Kompetenzzellen ist es notwendig deren Kompetenzkomponenten zu bewerten. Es wird eine Methode entwickelt, welche eine sachliche Bewertung von Kompetenzpotenzialen ermöglicht ohne die Komplexität des Vorgehens im hierarchielosen Auswahlprozess zu erweitern. Dabei wird die Produktentwicklungsqualität sowohl kompetenzzellenspezifisch als auch Netzwerk übergreifend in die Betrachtungen einbezogen.

Weitere Parameter der sachlichen Bewertung von Kompetenzzellen sind die, im Zusammenwirken mit dem Kompetenz-Agenten dokumentierten, projektspezifischen Eingangsgrößen wie die Anzahl realisierter Aufträge und deren prozentualer Anteil an erfolgreichen Realisierungen. Einen weiteren Einfluss auf die Bewertung haben die bereits im KoAg verwendeten technischen und betriebswirtschaftlichen Auswahlkriterien von Kompetenzzellen (Abb. 37). Diese finden über einen Bewertungsalgorithmus Eingang in die Bewertung des Kompetenzzellenpotenzials. Von entscheidender Bedeutung sind hierbei auch das Design-Review innerhalb des Produktentwicklungsprozesses und die partielle qualitative/quantitative Bewertung des Projektes, einschließlich der Bewertung beteiligter Produktentwicklungs-kompetenzzellen.

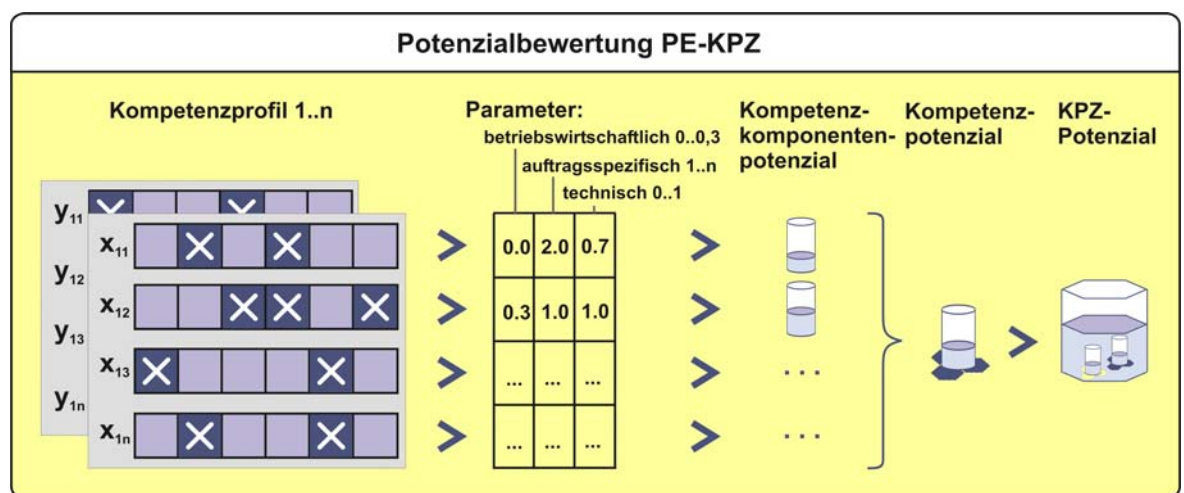


Abb. 37: Kompetenzpotenzialbewertung

Im nachfolgenden Abschnitt wird das Vorgehen zur Umsetzung des Profils, dessen Bewertung und die Umsetzung des Kompetenzpotenzials einer Kompetenzzelle erläutert und der Ablauf zur Auswahl der am besten anwendbaren Kompetenzzelle beschrieben. Eine Kompetenzzelle setzt sich aus den verschiedenen möglichen Kompetenzkomponenten und deren Potenzial zusammen.

Auf der untersten Ebene der Beschreibungsstruktur definierte Komponenten bilden das Kompetenzzellenprofil. Dieses kann für jede Kompetenzzelle unterschiedliche Ausprägungen annehmen. Es muss zwischen permanenten (KK-Bezug) und sich ändernden (Potenzial-Bezug) Attributen unterschieden werden. Permanente Attribute sind alle Attribute innerhalb eines Beschreibungsvektors einer Kompetenzkomponente der Kompetenzzelle. Sich ändernde Attribute sind die Menge der bewerteten realisierten Projekte (Datum + Bewertung KK) und daraus abgeleitet das entsprechende Kompetenzkomponentenpotenzial, sowie die spezifischen Projektattribute, wie Produktentwicklungskosten (K) und der späteste Fertigstellungstermin (S).

4.5.2 Kompetenzpotenzialbewertung

Bevor es zu einer Definition des Auswahlalgorithmus der besten anwendbaren Kompetenzzelle mit deren Komponente kommen kann, muss die Potenzialbewertung und -entwicklung betrachtet werden. Der Begriff Potenzial beschreibt in diesem Zusammenhang die Fähigkeit (Umsetzung) einer Auftragsrealisierung. Die Potenziale einer Kompetenzkomponente können dabei nur auf Pfadebene der Beschreibungsstruktur gesetzt werden. Dies korrespondiert mit der Festlegung, dass Kompetenzbeschreibungen ebenfalls bis zur untersten Ebene der Beschreibungsstruktur erfolgen müssen.

Da der Beschreibungsvektor einer Kompetenzkomponente nur einmalig für eine Kompetenzzelle erfolgen darf (fach- oder produkt- oder aktivitätsspezifisch), ist es nötig Ableitungen dieser Beschreibungen und dazugehöriger Attribute jeder Kompetenzkomponente im KoAg zu hinterlegen, um möglichst viele Treffer innerhalb der Suche zwischen Anforderungs- und Beschreibungsvektor zu erzielen. Diese Ableitungen und das dazugehörige Potenzialattribut sind keine permanenten Kopien, sondern werden nur als temporäre Attributmengen im KoAg vorgehalten (vgl. 6.1). Damit ergibt sich auch, dass erzielte Bewertungen und damit Potenzialänderungen nicht auf die KK-Ableitungen, sondern auf die originären Kompetenzkomponentenpotenziale angerechnet werden. Das Potenzial errechnet sich aus den durchgeführten Bewertungen (projektführende Kompetenzzelle bzw. Kunde) bereits realisierter Aufträge. Diese Bewertung umfasst die Güte der Umsetzung, Preis-, Termintreue sowie die Einhaltung der produktentwicklungsabhängigen Zielkosten innerhalb der Wertschöpfung im Produktionsnetz. Um eine korrekte Potenzialberechnung gewährleisten zu können, welche die Verteilung der Bewertungen im Zeitablauf, die Häufigkeit und jeweilige Ausprägung beachtet, ist es nötig eine Liste der Umsetzungsbewertungen zu speichern und mitzuführen. Nachfolgend wird die Berechnung des Potenzials aus den Umsetzungsbewertungen dargestellt.

Dabei gilt:

$i \in N^+$ = Index der KPZ im KoAg und $j \in N^+$ = Index der KK der KPZ

t = heute und t_0 = Startzeitpunkt des KoAg sowie t_n^{ij} = Zeitpunkt der Umsetzung n

$KPZ^i KP_t^j$ = KPZ-Komponentenpotenzial zum Zeitpunkt t; $KPZ^i KP_t^j \in R, R = (0;1)$

$KPZ^i KB_n^j$ = KPZ-Komponentenbewertung der Umsetzung n; $KPZ^i KB_n^j \in R, R = \langle 0;1 \rangle$

$KPZ^i KB_0^j$ = Kompetenzzellen-Komponentenbewertung Initialwert ($= \frac{1}{2}$) und ($t_n^{ij} = t_0$)

N^{ij} = Gesamtanzahl bewerteter realisierter Aufträge je Kompetenzkomponente; $N^{ij} \in N^+$

Für jede Kompetenzzelle KPZ^i und jede ihrer Kompetenzkomponenten kann das Komponentenpotenzial KP_t^j zum heutigen Tage berechnet werden ($\forall N^{ij} > 0$):

$$KPZ^i KP_t^j = K \exp \sqrt{K_{Bg} + K_{Zg}} \quad (1)$$

Dafür findet im inneren Teil der Formel eine Gewichtung der Bewertungen $KPZ^i KB_n^j$ durch folgende Terme K_{Bg} und K_{Zg} statt:

$$K_{Bg} = \left(\frac{1}{N^{ij}} \right) \cdot \sum_{n=0}^{N^{ij}} \frac{KPZ^i KB_n^j}{(N^{ij} + 1)} \quad (2)$$

$$K_{Zg} = \left(1 - \frac{1}{N^{ij}} \right) \cdot \sum_{n=1}^{N^{ij}} \frac{KPZ^i KB_n^j \cdot (t_n^{ij} - t_1^{ij} + 1)}{\sum_{n=1}^{N^{ij}} (t_n^{ij} - t_1^{ij} + 1)} \quad (3)$$

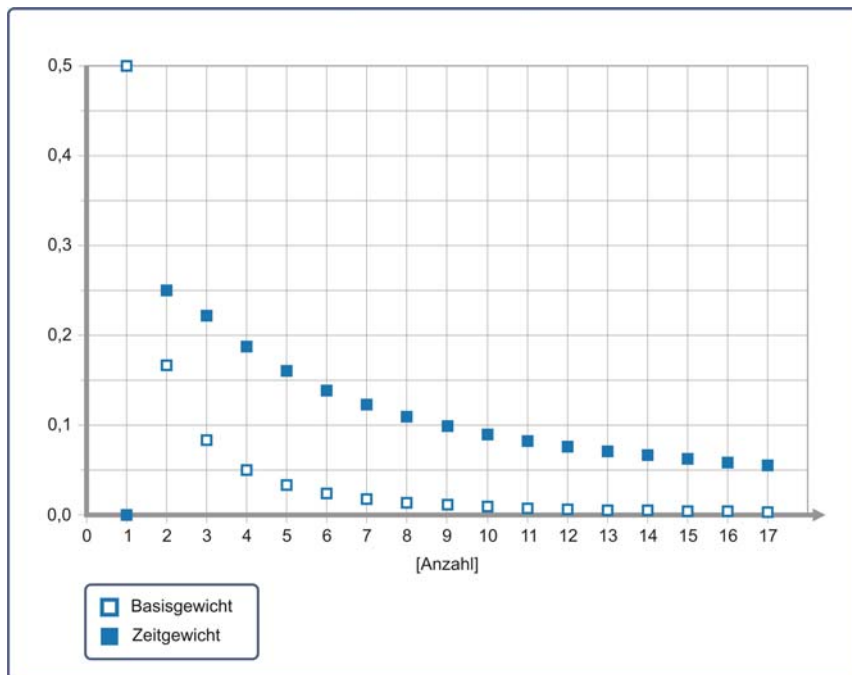


Abb. 38: Einfluss des Basis- und Zeitgewichts in Abhängigkeit der Projektanzahl

Der erste Summand, dessen Gewicht mit zunehmender Anzahl von Bewertungen abnimmt, gewichtet alle Bewertungen (inklusive Initialwert) gleich stark (Basisgewicht). Der Zweite, dessen Gewicht mit zunehmender Anzahl von Bewertungen zunimmt, berücksichtigt in welcher zeitlichen Reihenfolge und welchen Abständen die Bewertungen erfolgen. Es werden neuere Bewertungen über- und ältere untergewichtet (Zeitgewicht) (Abb. 38). Durch diese mehrstufige Gewichtung kommt es zu einer Stabilisierung des Potenzials, besonders wenn nur wenige Bewertungen zur Verfügung stehen. Es kommt bei einer geringen Anzahl von Bewertungen zu einer eher gleichstarken Gewichtung einzelner Bewertungen durch das Basisgewicht. Erhöht sich jedoch die Anzahl dieser, so werden Bewertungen zunehmend nur noch nach ihrem zeitlichen Auftreten in der Vergangenheit gewichtet (Zeitgewicht). Als Initialwert wird $KPZ^i KB_0^j = \frac{1}{2}$ in t_0 gesetzt, also für jede Kompetenzkomponente eine neutrale Bewertung zum Startzeitpunkt festgelegt.

Im Anschluss an diese beiden Gewichtungen erfolgt die Aggregation der Komponentenbewertung durch Aufsummierung. Die Verdichtung umfasst zusätzlich auch den stabilisierend wirkenden Initialwert $KPZ^i KB_0^j$. Andere Arten der Aggregation, zum Beispiel geometrisches Mittel oder harmonisches Mittel, können auf Grund möglicher Null Eingangswerte nicht angewendet werden.

Die weiteren Bewertungen $KPZ^i KB_n^j$ setzen sich aus drei Elementen summarisch zusammen:

- Preistreue K_T : wurden die Produktentwicklungskosten eingehalten/verfehlt dann (0,15/0),
- Termintreue S_T : wurde der Zieltermin eingehalten/verfehlt dann (0,15/0),
- Note der Umsetzung U : bewertet durch die projektführende Kompetenzzelle bzw. den Kunden 1..6 -> (0,70; 0,56; 0,42; 0,28; 0,14; 0).

Somit kann die Gesamtbewertung einen Wert von 0 über 0,5 bis 1 (Bewertung von negativ über neutral bis positiv) annehmen.

Die Einhaltung der Zielkosten bezogen auf deren Umsetzbarkeit innerhalb der Wertschöpfung (Produktion) kann nach Abschluss der Produktentwicklung noch nicht bewertet werden. Durch ein übergeordnetes Qualitätssystem (QIS), welches im Kompetenz- und Produktionsnetz projektbegleitend agiert, wird diese Kenngröße nachfolgend in die Bewertung einbezogen. Der Korrekturwert kommt nur dann zur Anwendung, wenn eindeutig einer Produktentwicklungskompetenzzelle das Nichterreichen der Zielkosten zugeordnet werden kann. Dies erfolgt über einen Korrekturwert KW und wird im Umfang dieser Arbeit keinen näheren Betrachtungen unterzogen:

$$KPZ^i KBend_n^j = KPZ^i KB_n^j \cdot KW_n^{ij} \quad (3)$$

Bis zu diesem Teil der Formel werden die Anzahl der Bewertungen und ihre durchschnittliche zeitliche Lage nicht berücksichtigt. Die weitere Miteinbeziehung dieser Faktoren wird mit Hilfe einer Wurzelfunktion realisiert, welche nun N^{ij} und die durchschnittliche zeitliche Lage der Bewertungen berücksichtigt:

$$K_{\text{exp}} = \frac{1 + \left(\frac{N^{ij}}{N_{\text{max}}} + \frac{\sum_{n=1}^{N^{ij}} (t_n - t_{\text{min}})}{N^{ij} \cdot (t - t_{\text{min}})} \right)^{\log_2(3)}}{2} \quad (4)$$

Die Wurzelfunktion führt nun dazu, dass die gewichteten aufsummierten Bewertungen umso stärker erhöht/verringert werden, je mehr/weniger Aufträge realisiert wurden und je aktueller/älter diese sind (Abb. 39). Der dunkel dargestellte Bereich enthält Alter-Anzahl-Kombinationen, welche einen Term K_{exp} kleiner 1 erzeugen und damit zu einer Verringerung des Potenzials führen. Sind hingegen die Bewertungen neueren Datums bzw. die Anzahl der Bewertungen hoch, so führt dies zu einer Vergrößerung des Potenzials.

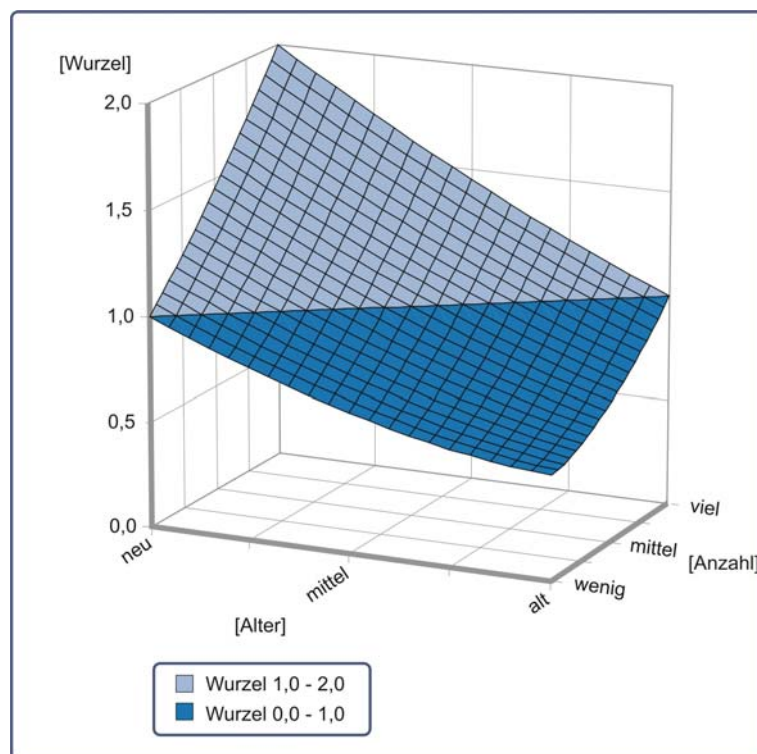


Abb. 39: Wurzelexponent K_{exp} in Abhängigkeit der Anzahl und des Alters der Bewertungen

Der Wurzelterm ergibt bei einer durchschnittlichen Anzahl und durchschnittlich alten Bewertungen eine neutrale ($K_{\text{exp}} = 1$) Verrechnung der gewichteten und aufsummierten Bewertungen.

$$\frac{N^{ij}}{N_{\text{max}}} + \frac{\sum_{n=1}^{N^{ij}} (t_n - t_{\text{min}})}{N^{ij} \cdot (t - t_{\text{min}})} \quad (5)$$

N_{max} ist dabei die maximale Anzahl realisierter Aufträge innerhalb einer Gruppe von Kompetenzkomponenten verschiedenster Kompetenzzellen mit gleichem Beschreibungsvektor oder Ableitungen davon. t_{min} ist der erste Bewertungstermin dieser Gruppe in Bezug auf die Kompetenzkomponente. Zur Verdeutlichung des Zusammenhanges von aggregierten Bewertungen (Basis) und Wurzelterm soll folgendes Diagramm (Abb. 40) dienen. Es zeigt die Auswirkung aller verschiedenen Parameterkombinationen auf den Potenzialwert. Die hier dargestellte Formel wurde durch hinreichende Tests mit unterschiedlichen Werten bezüglich Verteilung, Altersschnitt, Häufigkeit und Ausprägung getestet und bestätigte die richtige und gewünschte Arbeitsweise der Formel (Anl. 8), welche nun Funktionswerte des Potenzials in einem Wertebereich von (0;1) generiert. Durch den Grenzwertcharakter der Umrechnung konnte das gewünschte Verhalten der Potenzialentwicklung der Kompetenzkomponenten abgebildet werden.

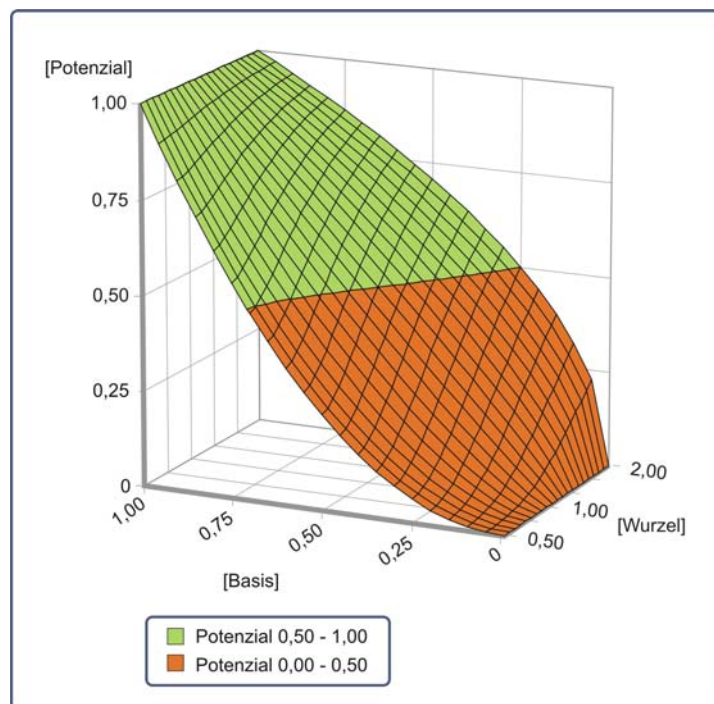


Abb. 40: Potenzialwert in Abhängigkeit vom Basis- und Wurzelwert

Zur Veranschaulichung zeigt Tab. 5 eine Wertetabelle zufällig generierter zeitlicher Bewertungen und Abb. 41 den daraus generierten zeitlichen Verlauf der Potenzialentwicklung.

Tab. 5: Zufallsbeispiel Kompetenzpotenzialentwicklung

n	K_T	S_T	U (WERT)	$KPZ^j KB_n^j$	t_n^{jj}	$KPZ^j KP_n^j$
0				0,50	01.01.2005	0,50
1	0,15	0,15	1 (0,70)	1,00	01.02.2005	0,87
2	0,15	0,15	2 (0,56)	0,86	27.04.2005	0,87
3	0,00	0,15	3 (0,42)	0,57	31.07.2005	0,77
4	0,15	0,15	1 (0,70)	1,00	13.11.2005	0,87
5	0,00	0,15	3 (0,42)	0,57	15.01.2006	0,81
6	0,15	0,00	2 (0,56)	0,71	26.04.2006	0,80
7	0,15	0,15	4 (0,28)	0,58	09.05.2006	0,79
8	0,15	0,00	5 (0,14)	0,29	13.07.2006	0,72
9	0,15	0,15	3 (0,42)	0,72	02.10.2006	0,73
10	0,00	0,15	2 (0,56)	0,71	20.11.2006	0,75
11	0,15	0,15	1 (0,70)	1,00	29.11.2006	0,79
12	0,15	0,15	3 (0,42)	0,72	24.02.2007	0,79
13	0,15	0,15	1 (0,70)	1,00	01.03.2007	0,82
14	0,15	0,15	3 (0,42)	0,72	24.06.2007	0,81
15	0,15	0,15	2 (0,56)	0,86	24.08.2007	0,83
16	0,15	0,15	2 (0,56)	0,86	04.09.2007	0,84
17	0,15	0,15	1 (0,70)	1,00	12.11.2007	0,85

Um eine Verzerrung des Potenzialwertes (Extremfall: Kompetenzkomponente einer Kompetenzzelle sehr häufig bewertet) im Kompetenznetz zu vermeiden und neu im Netz implementierten Kompetenzzellen eine entsprechende Einstiegschance zu geben, wird unter der Berücksichtigung der Halbwertszeit von Wissen (1,5 Jahre bei technischen Produkten), ein zeitlicher Verfall von Bewertungen realisiert. Es wurden zwei mögliche Lösungen hierfür näheren Betrachtungen unterzogen, erstens eine stetige Annäherung an eine Bewertung von 0,5 (d. h. „Kompetenzfähigkeitsverfall“/„-unfähigkeitsverfall“) und zweitens die komplette Löschung einer Bewertung nach einem festen Zeitraum, z. B. 3 Jahren. Die Löschung von Bewertungen nach einem fest definierten Zeitabschnitt wird als Variante bevorzugt, da somit im Fall häufig bewerteter Kompetenzkomponenten der Wert N^{ij} nicht zu einem Extrema (∞) tendiert. Ein weiterer Vorteil ist die Einschränkung des zu verwaltenden Datenvolumens bezüglich der Anzahl der Bewertungen. Welcher Zeitraum von zirka ein bis drei Jahren für ein derartiges Bewertungssystem zu bevorzugen ist, kann durch praxisnahe Tests untersucht werden und ist nicht Inhalt dieser Arbeit.

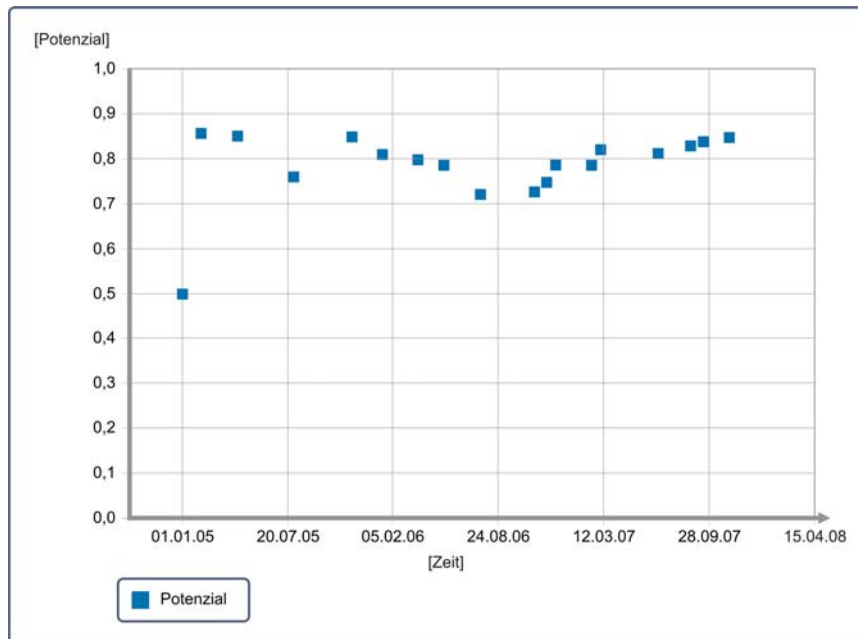


Abb. 41: Beispielhafter Kompetenzpotenzialverlauf

4.5.3 Auswahlalgorithmus

Für die Auswahl der am besten einsetzbaren Kompetenzzelle für eine aus einem Produktentwicklungsprojekt abgeleitete Anforderung ist es nötig, den Anforderungsvektor mit den entsprechenden Beschreibungsvektoren von Kompetenzzellen im Kompetenznetz abzugleichen und auszuwerten. Erfüllt die Kompetenzkomponente die geforderten Attribute, stimmen also Anforderungs- und Beschreibungsvektor überein, so kommt diese in die engere Auswahl und kann ein Angebot mit den Attributen Produktentwicklungskosten und spätestem Fertigstellungstermin erstellen, welches bis zum Zeitpunkt der endgültigen Auswahl, z. B. innerhalb einer Woche, eingegangen sein muss (vgl. 6.1). Nach Selektion der gültigen Kompetenzzelle, unter Berücksichtigung der Nebenbedingungen und der Ermittlung des Potenzials, kann unter Anwendung der Kundengewichte die am besten geeignete Kompetenzzelle (im Bsp. KPZ-9) ausgewählt werden (Tab. 6). Da dieses Tripel verschiedenartige Wertebereiche und Dimensionen (Einheiten) besitzt, muss eine Umrechnung auf einen Wert erfolgen, um eine Vergleichbarkeit gewährleisten zu können. Der Kunde oder eine übergeordnete Kompetenzzelle, welche Projekte/Teilprojekte an andere Kompetenzzellen übertragen möchte, definiert einen Gewichtungsvektor W der drei Zielgrößen Potenzial, Kosten und Termin. Zusammen müssen diese Gewichte eine Summe von 100% erzielen. Damit kann eine Zielgröße mit je 0-100% gewichtet werden. Zusätzlich wird für die beiden Zielgrößen Kosten und Termin eine Obergrenze angegeben.

Nachdem diese zu erfüllenden Nebenbedingungen und Gewichte bekannt sind, kann es zur hierarchielosen Auswahl der am besten anwendbaren Kompetenzkomponente und somit Kompetenzzelle innerhalb des KoAg kommen, welche daraufhin den Auftrag erhält. Der Auswahlalgorithmus mit den gesetzten Randbedingungen wird nachfolgend genauer erläutert, hierbei gilt:

$$W_p^m, W_k^m, W_s^m \in \langle 0;100 \rangle = \text{Gewichte der Auftragsattribute } p = \text{Potenzial, } k = \text{Kosten, } s = \text{spätester Fertigstellungstermin für den Auftrag } m$$

$$(\text{Nebenbedingung: } W_p^m + W_k^m + W_s^m \equiv 100\%)$$

K_{\max}^m in € als maximale Kosten und S_{\max}^m als spätester Fertigstellungstermin (Datum)

$KPZ^i KP_t^j$ = KPZ-Komponentenpotenzial zum Zeitpunkt t ; $KPZ^i KP_t^j \in R, R = (0;1)$

$KPZ^i KK_t^{jm}$ = KPZ-Komponentenkosten zum Zeitpunkt t in € für Projekt m

$KPZ^i KS_t^{jm}$ = KPZ-Komponententermin zum Zeitpunkt t für Projekt m

Tab. 6: Selektion einer Kompetenzzelle (Beispiel)

Kundengewichte	100%		Nebenbedingungen:									
Potenzial	50%	W_p	Auswahl Termin:	22.09.								
Kosten (€)	30%	W_k	maximale Kosten(€):	10.000	K_{\max}							
Termin	20%	W_s	spätester Termin:	31.12.	S_{\max}							
alle KPZ-Angebote	KPZ-1	KPZ-2	KPZ-3	KPZ-4	KPZ-5	KPZ-6	KPZ-7	KPZ-8	KPZ-9	KPZ-10	KPZ-11	
Potenzial:	0,25	0,32	0,81	0,08	0,43	0,31	0,37	0,78	0,69	0,59	0,32	
Kosten (€):	9.141	9.534	8.759	7.297	9.865	7.771	8.080	9.870	8.546	7.223	7.743	
Termin:	14.12.	08.01.	08.01.	15.12.	17.12.	23.12.	30.12.	26.12.	14.11.	14.12.	30.12.	
gültige KPZ-Angebote												
Potenzial:	0,25	#	#	0,08	0,43	0,31	0,37	0,78	0,69	0,59	0,32	
Kosten (€):	9.141	#	#	7.297	9.865	7.771	8.080	9.870	8.546	7.223	7.743	
Termin:	14.12.	#	#	15.12.	17.12.	23.12.	30.12.	26.12.	14.11.	14.12.	30.12.	
Normierung												
Potenzial:	0,75	#	#	0,92	0,57	0,69	0,63	0,22	0,31	0,41	0,68	
Kosten (€):	0,91	#	#	0,73	0,99	0,78	0,81	0,99	0,85	0,72	0,77	
Termin:	0,83	#	#	0,84	0,86	0,92	0,99	0,95	0,53	0,83	0,99	
gewichtete Summe → min	0,82	#	#	0,85	0,75	0,76	0,75	0,59	0,52	0,59	0,77	

Aus der Menge der KPZ, welche Angebote für das Projekt m erstellen durften, werden jene verworfen, für die gilt:

$$KPZ^i KK_t^{jm} > K_{\max}^m \quad \text{ODER} \quad KPZ^i KS_t^{jm} > S_{\max}^m \quad (6)$$

Die nun folgende Auswahl der besten Kompetenzzelle kann auf unterschiedliche Arten (Rangfolgeverfahren, Normierungsverfahren) erfolgen. Die vorgestellte Variante liefert dabei die beste und realitätsnaheste Auswahlentscheidung. In diesem Ansatz werden die beiden Attributausprägungen Kosten und Termin auf einer Skala zwischen 0 und 1 durch Division mit dem vom Auftraggeber definierten Maximalwert normiert. Um der Zielfunktion (Minimum) gerecht zu werden, erfolgt eine Umrechnung des Potenzials, d. h. es wird die Differenz aus 1 und dem Potenzialwert gebildet. Anschließend können diese drei normierten Angebotsattribute mit der vom Kunden bzw. übergeordneten Kompetenzzelle festgelegten Gewichtung W^m multipliziert und aufsummiert werden. Die kleinste Summe (Minimum der Zielfunktion) zeigt dabei die optimale KPZ auf:

$$\text{Min} \left[\left(1 - KPZ^i KP_t^{jm} \right) \cdot W_p^m + \frac{KPZ^i KK_t^{jm}}{K_{\max}^m} \cdot W_k^m + \frac{KPZ^i KS_t^{jm}}{S_{\max}^m} \cdot W_s^m \right] \quad (7)$$

Kommt es innerhalb des Auswahlprozesses zu mehreren besten Lösungen, so müssen diese Kompetenzzellen eine weitere Angebotsphase durchlaufen bis eine eindeutige am besten anwendbare Kompetenzzelle für das Projekt gefunden wurde. Kann hingegen keine Kompetenzzelle zur Auftragsrealisierung gefunden werden, so wird dies dem Auftraggeber mitgeteilt und dieser kann seine Anforderungen (Anforderungsvektor u./o. Zielkriterien) gegebenenfalls anpassen, um eine geeignete Kompetenzzelle finden zu können.

4.6 Entwicklungs- und Adaptionstrategien

Es existieren im Wesentlichen zwei Entwicklungsstrategien von Produktentwicklungskompetenzzellen. Diese dienen zum einen dem Fortbestand der Kompetenzzelle durch Weiterentwicklung und Adaption oder dem gezielten Auslagern einzelner Kompetenzzellenkomponenten für die Stabilisierung und Optimierung der gesamten Kompetenzzelle.

Wenn durch Analysen realisierter Projekte der Kompetenzzelle einzelne Kompetenzzellenkomponenten nicht mehr angefordert bzw. ausgewählt werden, müssen diese ausgelagert werden, um die wirtschaftliche Belastung gering zu halten. Diese Möglichkeit kann auftreten, wenn zum Beispiel neue spezifische Produktentwicklungsmethoden ältere ablösen oder auch nichtpersonelle Ressourcen, wie zum Beispiel Software, welche nicht mehr dem aktuellen Entwicklungsstand entsprechen, weiterhin im Kompetenzzellenprofil existieren.

Für Produktentwicklungskompetenzzellen sind Entwicklungsstrategien von wesentlicher Bedeutung, um ihre Kompetenz entsprechend dem vom Netz oder vom Kunden geforderten Potenzialausprägungen weiter zu entwickeln. Eine Möglichkeit der Entwicklungsstrategie besteht darin, durch die Analyse der Anfragehäufigkeit von Kompetenzkomponenten aus dem Netzwerk oder vom Kunden einen Entwicklungsbedarf für die Kompetenzzelle abzuleiten.

Dies kann beispielsweise durch die Adaption von fehlendem Methoden- oder Fachwissen in Form von Kompetenzkomponenten geschehen. Als Basis für die Entwicklung des Kompetenznetzes ist es von Vorteil, Vorzuglösungen (häufig angefragte Kompetenzkomponenten) für Produktentwicklungskompetenzzellen zu generieren und somit das Kompetenzpotenzial des Netzes zu optimieren. Die Bildung von Vorzuglösungen kann innerhalb eines prototypischen Kompetenz- und Produktionsnetzbetriebes weiterentwickelt werden.

Eine weitere Entwicklungsstrategie ist die gezielte Marktbeobachtung der tendenziellen technischen Entwicklung mechatronischer Produkte. Die Kompetenzzelle der Produktentwicklung orientiert sich frühzeitig an diesen Trends und adaptiert bereits im Vorfeld die für künftige Aufträge benötigten Kompetenzkomponenten. Dies könnte beispielsweise die Adaption von Methoden der VR-unterstützten Produktentwicklung, einschließlich der benötigten nichtpersonellen Ressourcen sein. Durch die Aneignung von Kompetenzkomponenten anderer Fachbereiche der Wertschöpfungskette bieten sich für Produktentwicklungskompetenzzellen neue Möglichkeiten der Adaption. Ein Beispiel wäre die Anlagerung von Komponenten der Kompetenzzelle Fertigung an die Kompetenzzelle Produktentwicklung, um den Anlauf der Produktion eines neuen Produktes ingenieurtechnisch zu begleiten und eventuelle Änderungen sofort in die Konstruktion einarbeiten zu können. Die dargestellten Entwicklungs- und Adaptionsstrategien stellen eine Möglichkeit dar, die Struktur der Produktentwicklungskompetenzzelle in einem ständigen iterativen Prozess zu optimieren und gewährleisten somit das Überleben der Kompetenzzelle.

5 Umsetzung im Wertschöpfungsprozess

5.1 Phasen der Produktionsnetzbildung und des Produktionsnetzbetriebes

5.1.1 Kooperation zwischen Kompetenzzellen - Schnittstellenbetrachtung

Für die Produktentwicklungskompetenzzelle sind sowohl interne Schnittstellen innerhalb der Kompetenzzelle als auch externe Schnittstellen zur Produktionsnetzbildung (KoAg: dynamische Daten) und zum Produktionsnetz (KoAg: statische Daten, QIS: dynamische Daten) von Bedeutung. Dieser vielfältige Informationsaustausch orientiert sich an den definierten Aufgaben der Kompetenzzelle Produktentwicklung. Die Beschreibung von Kompetenzzellen zur Darstellung des Kompetenzzellenprofils kann via Nutzerinterface mittels Internetbrowser an den KoAg übertragen werden und wird dort in einer MySQL-Datenbank abgelegt (vgl. 6.1.1).

Für die Planung des Produktentwicklungsprozesses wird durch die projektführende Kompetenzzelle Produktentwicklung ein Workflow erstellt, anhand dessen in Form von Checklisten die Kontrolle von Entwicklungsetappen geprüft wird. Dieser wird webbasiert den am Projekt beteiligten Kompetenzzellen mittels des Qualitätssystem, beispielsweise per Tabellenkalkulation, zur Verfügung gestellt. Für Produktentwicklungs-/Konstruktionsdaten erfolgt die Datenhaltung im System, projektspezifisch strukturiert im QIS in Form von 3D-CAD-Daten und VR-Modellen. Als Entwicklungsdienstleister steht die persönliche Kommunikation mit dem Kunden im Vordergrund. Es ist ebenfalls möglich, mit dem Kunden via Internet über den KoAg zu kommunizieren. Die Schnittstellenausprägung ist kundenspezifisch und sollte keinen Restriktionen durch das Betreiberkonzept des Kompetenznetzes unterliegen.

Für die Konstruktionsoptimierung ist die persönliche Kommunikation per Telefon, Fax bzw. in Form einer XML-Schnittstelle oder auch durch das Einbeziehen von VR-Technologien in Kommunikationsprozesse (z.B. Start-Up, Meilensteinentscheidungen) geeignet /WEID-04a/. Die Produktentwicklungs(kompetenz)bewertung kann im Anschluss an die realisierte Produktentwicklung, sowohl durch automatisierte Funktionalitäten des KoAg, welche dem Anwender internetbasiert zur Verfügung stehen und durch VR-basierte Werkzeuge unterstützt werden.

5.1.2 Phasen der kompetenzzellenbasierten Produktentwicklung

Zur Generierung eines Produktionsnetzes zur Produktentwicklung wurde der Prozess wissenschaftlich analysiert und an die Bedingungen hierarchieloser Netze angepasst (Abb. 42). Das daraus resultierende Start-Up (vgl. 5.1.3) zur Produktentwicklung wurde als Instrument für die Phase der Produktionsnetzbildung entwickelt und in das Betreiberkonzept des hierarchielosen Kompetenznetzes implementiert /NEUG-04b/.

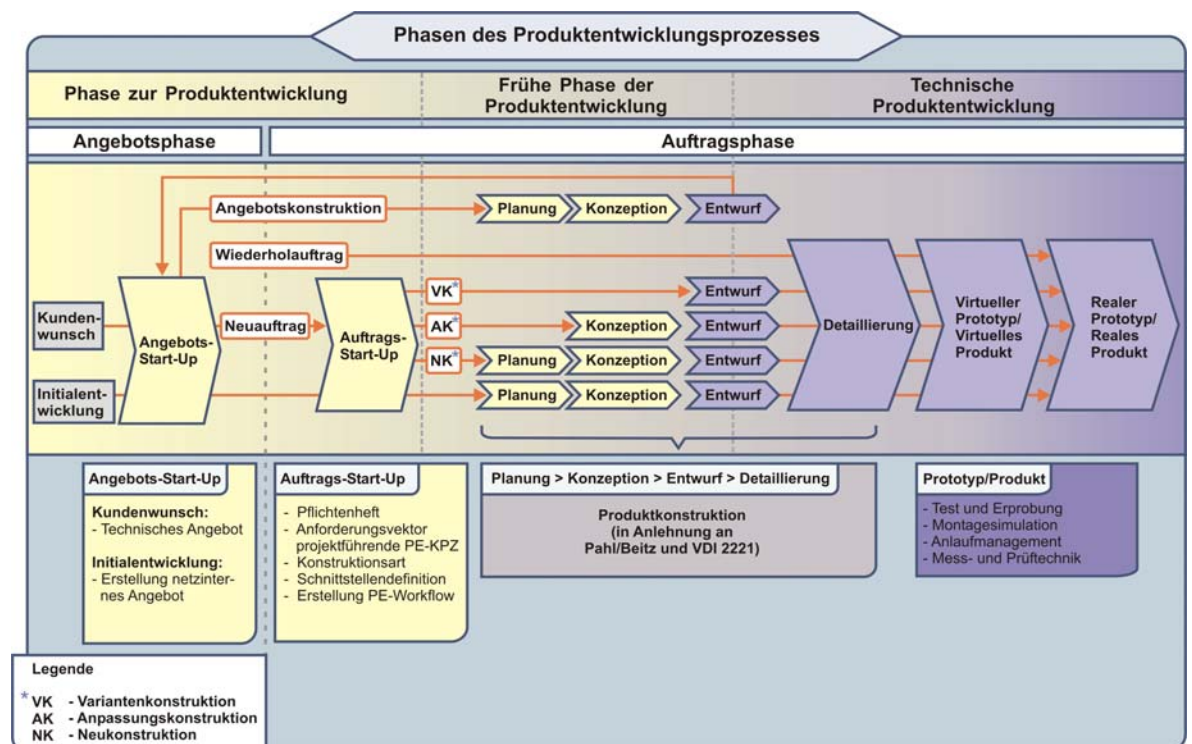


Abb. 42: Phasen des Produktentwicklungsprozesses in hierarchielosen Netzen

Ausgangspunkt ist ein Kundenwunsch bzw. eine Initialentwicklung innerhalb des Kompetenznetzes. In der Angebotsphase wird der Kundenwunsch im Angebots-Start-Up analysiert und mittels der Methode des QFD für die Produktentwicklung technisch aufbereitet. Das Ergebnis ist die gemeinsame technische Angebotserstellung der am Start-Up beteiligten Kompetenzzellen bzw. die Erstellung eines Anforderungsvektors zur Suche einer Produktentwicklungskompetenzzelle, um eine Angebotskonstruktion zu initiieren. Bei Auftragserteilung wird unterschieden in einen Wiederholauftrag bzw. Neuaufrags. Im Falle des Wiederholauftrages werden ausschließlich die Phasen der technischen Produktentwicklung durchlaufen. Die Konstruktion nach festem Prinzip wird wie ein Wiederholauftrag im Ablauf gehandhabt.

Bei einem Neuauftrag wird innerhalb des Auftrags-Start-Up durch die beteiligten Kompetenzzellen das Pflichtenheft erstellt, die Konstruktionsart (Varianten-, Anpassungs-, Neukonstruktion) festgelegt, die notwendigen Schnittstellen näher spezifiziert und der Anforderungsvektor für die projektführende Kompetenzzelle generiert. Die eigentliche Produktentwicklung erfolgt in Anlehnung an die Konstruktionsmethodiken von Pahl/Beitz bzw. VDI 2221. Innerhalb der kompetenzzellenbasierten Produktentwicklung schließen sich die Phasen der Umsetzung des virtuellen/realen Prototypen/Produktes an. Der modellierte Produktentwicklungsprozess wird dem Anspruch zur ganzheitlichen Einbindung in die kompetenzzellenbasierte Vernetzungstheorie gerecht und dient als Grundlage zur Umsetzung weiterer Sequenzen im Produktentwicklungsprozess mechatronischer Produkte.

5.1.3 Start-Up zur Produktentwicklung

Das Start-Up zur Produktentwicklung, stellt eine temporäre auftragspezifische Verknüpfung von Kompetenzzellen dar und erfüllt zwei wesentliche Prozessschritte. In der Phase der Angebotserstellung als Angebots-Start-Up (Abb. 43) und in Bezug auf die Auftragsrealisierung als Auftrags-Start-Up (Abb. 44) zur Produktentwicklung /WEID-03/. Auf der Grundlage der Anforderungsliste werden Kompetenzzellen aus dem Kompetenz-Agenten miteinander temporär zu einem Start-Up zur Produktentwicklung verknüpft.

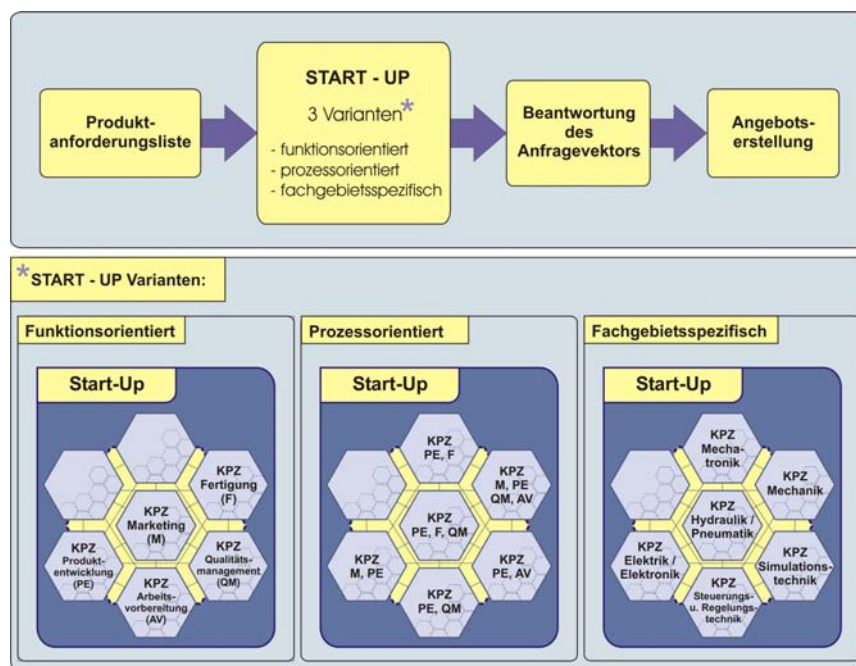


Abb. 43: Angebots-Start-Up/Start-Up-Varianten

Es werden drei Varianten des Start-Up unterschieden:

- funktionsorientiert,
- prozessorientiert und
- fachgebietsspezifisch.

Eine Möglichkeit der Verknüpfung im funktionsorientierten Start-Up ist das Zusammenwirken von funktionsorientierten Kompetenzzellen des Marketing (M), der Produktentwicklung (PE), der Arbeitsplanung (APL), der Fertigung (F) /WIRT-03/ und des Qualitätsmanagements (QM) (Abb. 43). Dies ermöglicht bereits in dieser frühen Phase des Geschäftsprozesses die Einbindung fachgebietsübergreifender Kompetenzen der Wertschöpfungskette. Ein prozessorientiertes Start-Up stellt eine Verknüpfung von prozessorientierten Kompetenzzellen verschiedener Fachbereiche mit ihren jeweiligen existierenden Kompetenzkomponenten dar.

Ein weiterer Lösungsansatz besteht darin, ausschließlich fachgebietsspezifische Kompetenzzellen der Produktentwicklung in das Start-Up einzubeziehen. Hierbei werden, bezogen auf ein mechatronisches Produkt, fachgebietsspezifische Produktentwicklungskompetenzzellen bspw. aus den Bereichen Hydraulik/Pneumatik, Elektrik/Elektronik, Mechanik und Simulationstechnik miteinander temporär verknüpft. Das Start-Up zur Produktentwicklung kann in Abhängigkeit von der zu realisierenden Aufgabenstellung oder des Lastenheftes sowohl als funktionsorientiertes, prozessorientiertes oder fachgebietsspezifisches, als auch durch eine Kombination dieser Möglichkeiten realisiert werden.

Das Angebots-Start-Up bildet die Basis zur Vorbereitung und Umsetzung des technischen Angebotes und zur Beantwortung der Anfrage anhand der Produkthanforderungsliste. Entscheidend für die erfolgreiche kompetenzzellenbasierte Produktentwicklung sind sowohl die Festlegung der projektspezifischen Produktentwicklungskosten, aber auch die Festlegung der Zielkosten, für die gesamte Wertschöpfung des mechatronischen Produktes, innerhalb des Auftrags-Start-Up (Abb. 44).

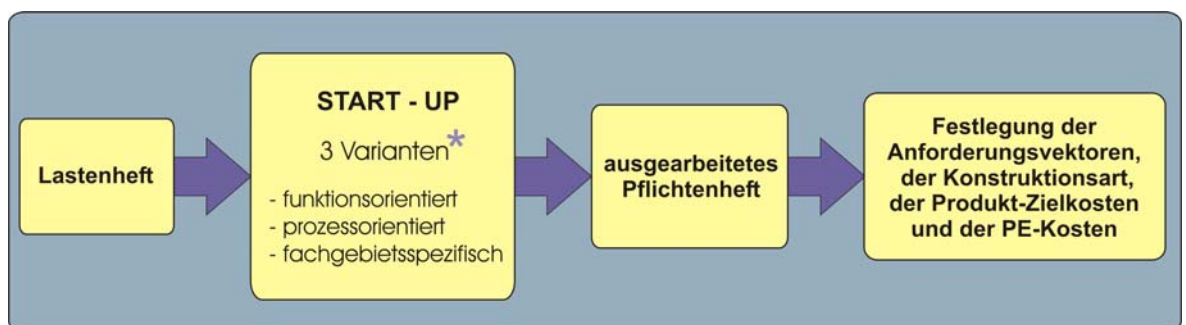


Abb. 44: Auftrags-Start-Up

Weiterhin erfolgt die Bestimmung des Vorgehens in Bezug auf eine generierende (Neuentwicklung) oder projektierende (Rückgriff auf Bestehendes) Vorgehensweise, die Erstellung eines Produktentwicklungsworkflows des auftragsspezifischen Produktentwicklungsprozesses und die Definition der Schnittstellen. Die Start-Up zur Produktentwicklung dienen als Grundlage für die Auswahl von geeigneten Produktentwicklungs-kompetenzzellen, welche im Softwaresystem KoAg in Form von Beschreibungsvektoren hinterlegt sind.

5.1.4 Produktentwicklungsstrategien im kompetenzzellenbasierten Produktentwicklungsprozess

Abb. 45 zeigt eine qualitative Bewertung bestehender verteilter Engineering-/Produktentwicklungsstrategien bezüglich des Einsatzes im Start-Up (vgl. 5.1.3) zur bzw. innerhalb der Phasen der kompetenzzellenbasierten Produktentwicklung.

		verteilte Engineeringstrategien							verteilte Produktentwicklungsstrategien				
		lokale Teams/Teamarbeit	verteilte Projektteams ^a	virtuelle Projektteams ^b	Simultaneous Engineering/ Concurrent Engineering ^c	Collaborative Engineering ^d	Systems Engineering ^e	Continuous Engineering ^f	Global Engineering Network ^g	Rapid Product Development ^h	integrierte Produktentwicklung ⁱ	integrierte virtuelle Produktentwicklung ^j	kooperative Produktentwicklung ^k
Eignung in Phase zur Produktentwicklung													
Start-Up		○	○	⊖	⊕	⊖	⊕	⊖	⊖	⊕	⊕	⊕	⊕
Eignung in Phase der Produktentwicklung													
Planung		○	⊕	⊖	○	⊖	⊕	⊖	⊖	⊕	⊕	○	○
Konzeption		○	⊕	○	⊕	○	⊕	⊖	○	⊕	⊕	○	○
Entwurf		○	○	⊕	⊕	○	⊕	○	○	○	⊕	○	⊕
Detaillierung		○	○	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊖	○	⊕	⊕	⊕
Umsetzung zum Prototyp		○	⊕	⊖	⊕	○	⊕	⊖	⊖	○	○	⊕	⊕

Literaturverweise

^a /GAUL-01/
^b /LIPN-98/
^c /EVER-95/, /BULL-96b/, /SMIT-98/
^d /KERS-03/
^e /SCHE-98/, /HABE-99/
^f /REDE-00/, /SAUE-02/
^g /SAUE-96/
^h /BULL-96c/, /WARS-00c/
ⁱ /EHL-95/, /VANJ-98/
^j /VIP-02/
^k /BULL-01/

Legende

⊕ geeignet
 ○ bedingt geeignet
 ⊖ ungeeignet

Abb. 45: Strategien im kompetenzzellenbasierten Produktentwicklungsprozess

Es lässt sich erkennen, dass die Strategien der integrierten (virtuellen) und kooperativen Produktentwicklung sehr gut in die kompetenzzellenbasierte Produktentwicklung eingebunden werden können. In der Produktionsnetzbildungsphase eignen sich zur Anwendung sowohl die verteilten Produktentwicklungsstrategien als auch das Simultaneous Engineering und Systems Engineering. Welche Strategie innerhalb der Phasen zur Produktentwicklung zur Anwendung gebracht wird ist abhängig von:

- Art und Umfang der Engineering-Dienstleistung,
- der Komplexität des zu entwickelnden materiellen Produktes,
- der Methodenkompetenz (Art der Zusammenarbeit) der beteiligten Kompetenzzellen und
- den entsprechenden Zielkriterien des Auftrages (Kunde).

Die Entscheidung bezüglich des Strategieeinsatzes in den entsprechenden Phasen der Produktentwicklung trifft die projektführende Kompetenzzelle (vgl. 4.4.3). Die Übersicht in Abb. 45 gibt Kompetenzzellen Unterstützung bei der Auswahl und dem Einsatz der geeigneten Produktentwicklungsstrategie und dient der gezielten Erstellung von Anforderungsvektoren zur Suche von Kompetenzzellen. Im Umfang der vorliegenden Arbeit werden Produktentwicklungsstrategien zur verteilten Produktentwicklung im Methodenmodell des Partialmodells der Produktentwicklung entsprechend implementiert und stehen somit zur gezielten Auswahl innerhalb des kompetenzzellenbasierten Produktentwicklungsprozesses bereit (vgl. 4.3).

5.2 Anfrage-, Angebots- und Anforderungsszenario an die Produktentwicklung

5.2.1 Anfragedefinition

Ausgangspunkt für das Initiieren einer Produktentwicklung im hierarchielosen Netzwerk bildet die Kundenanfrage beziehungsweise die Entscheidung für eine Initialentwicklung innerhalb des Netzwerkes. Als Schnittstelle zwischen Kunde und Netzwerk fungieren Kompetenzzellen des Marketing/Vertrieb. Eine Möglichkeit der Verknüpfung der Kompetenzzelle Marketing/Vertrieb mit den Kompetenzzellen der Produktentwicklung stellt die Quality Function Deployment (QFD) dar. QFD ist eine Methode zur Wichtung von Kundenwünschen und deren Übersetzung in eine Produkthanforderungsliste. Die Produkthanforderungsliste dient als Eingangsgröße zur Auswahl geeigneter Produktentwicklungskompetenzzellen bzw. als Grundlage für das Start-Up zur Produktentwicklung.

Ausgehend von einem Produkt des Werkzeugmaschinenbaus werden sowohl Anfrageszenarien zwischen dem Kunden und dem quasi permanenten Produktionsnetz als auch Initialentwicklungen innerhalb des regionalen Produktionsnetzes als Möglichkeiten der Auftragsentstehung betrachtet (Abb. 46). Eine wesentliche Rolle im Anfrageprozess spielen die Kompetenzzellen des Marketing/Vertrieb. Diese repräsentieren und vermarkten das hierarchielose regionale Produktionsnetz innerhalb des jeweiligen Absatzmarktes weltweit, akquirieren Kunden und leiten Kundenanfragen an M/V-KPZ mit anfragespezifisch geforderten Kompetenzkomponenten weiter.

Weitere Möglichkeiten sind die direkte Kontaktaufnahme des Kunden mit Kompetenzzellen des Kompetenznetzes oder auch eine webbasierte Anfrage mittels des Kompetenz-Agenten an das Netz. Diese Anfrage dient dem Kunden zur Information bzw. Feststellung, ob die geforderten Kompetenzen im Kompetenznetz existieren. Die Anfrage an das EVCM kann beispielsweise für Wiederholaufträge in Anwendung kommen, z. B. wann und in welchem Umfang ein entsprechender Auftrag durch das Kompetenznetz realisiert werden kann.

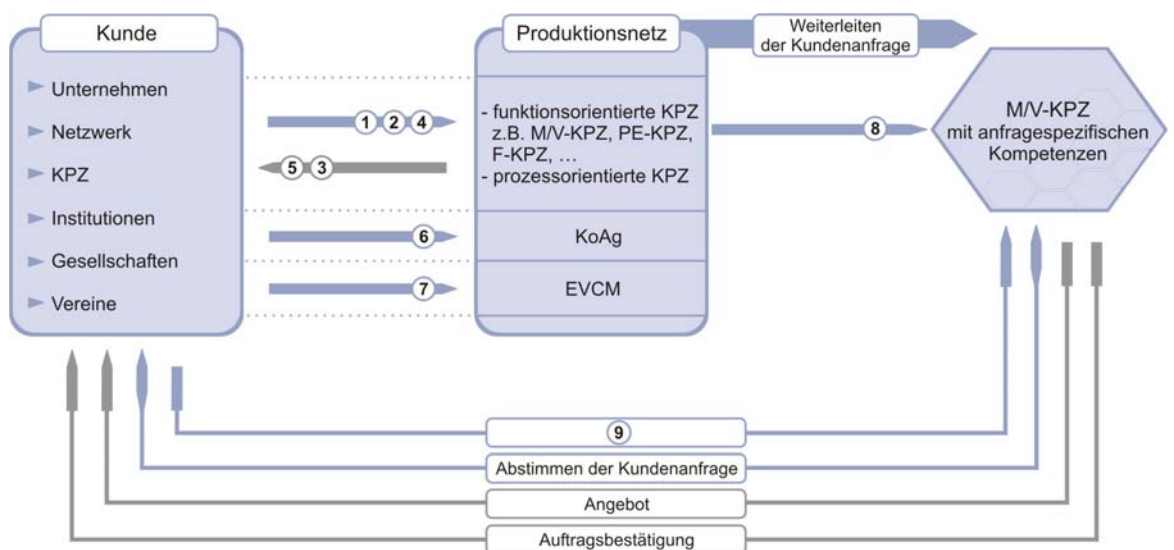


Abb. 46: Anfragezyklus Kompetenznetz

Der Anfragealgorithmus kann für den Kunden entsprechend automatisiert und visualisiert werden. Für ein sicheres und reproduzierbares Auftragshandling erweist sich die dargestellte Ablauffolge (Abb. 46) zur Anfragebearbeitung als zweckmäßig. Direkte Produkthanfragen vom Kunden, bezogen auf die definierte Produktpalette bzw. das Sortiment des Kompetenznetzes, können sofort einer spezifischen M/V-KPZ zugeordnet und an diese gerichtet werden. Die Abstimmung mit dem Kunden, evtl. Rückfragen, das Erstellen des Angebotes sowie die Erstellung der Auftragsbestätigung nach Auftragserteilung, werden durch die M/V-KPZ mit dem entsprechenden Kompetenzprofil umgesetzt.

5.2.2 Angebotserstellung

Die Angebotsgenerierung im Netzwerk beginnt mit der Ausarbeitung eines Anfragevektors durch die M/V-KPZ, mit den entsprechenden Kompetenzkomponenten zur Angebotserstellung (Abb. 47). Initialentwicklungen innerhalb des Produktionsnetzes können durch jede beliebige Kompetenzzelle innerhalb des Kompetenznetzes initiiert werden und sind in der Angebotsphase wie ein Neuauftrag zu bearbeiten.

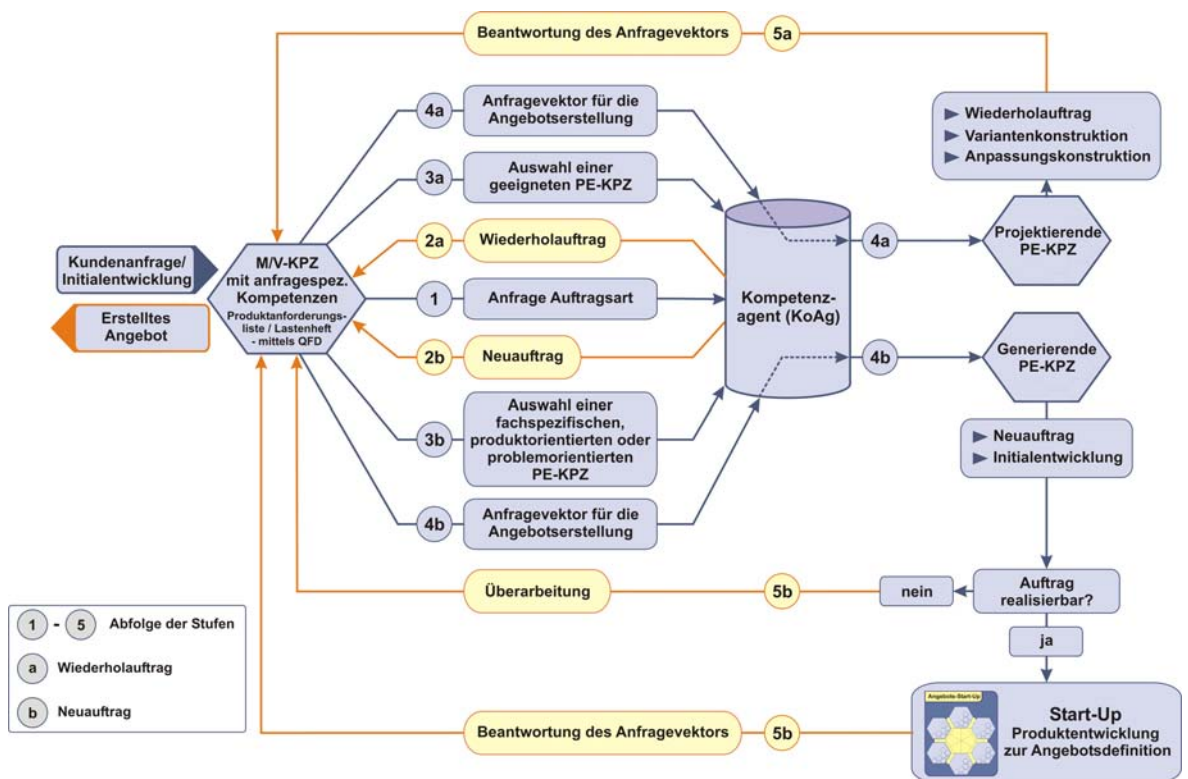


Abb. 47: Angebotsgenerierung

Durch die Verwendung der Methode des QFD erfolgt die Umsetzung in eine Produkthanforderungsliste/Lastenheft und die Festlegung der Auftragsspezifikation bezüglich der Betrachtung Neuauftrag/Initialentwicklung bzw. Wiederholauftrag. Bei einem Wiederholauftrag werden solche Produktentwicklungskompetenzzellen im KoAg ausgewählt und durch die M/V-KPZ angefragt, welche bereits gleiche oder ähnliche Werkzeugmaschinen/Baugruppen innerhalb von Baureihen bzw. Baukästen mit ähnlichem Wirkprinzip ausgeführt haben. Durch diese Vorgehensweise mit Rückgriff auf bestehende Produktentwicklungen wird eine schnellstmögliche Beantwortung des Anfragevektors zur Angebotserstellung ermöglicht.

Zur Erstellung eines Angebotes für einen Neuauftrag/Initialentwicklung wird aus dem KoAg eine fachgebiets- oder produktspezifische Produktentwicklungskompetenzzelle aus dem quasi permanenten Kompetenznetz ausgewählt und an diese die Produkthanforderungsliste weitergeleitet.

Die Produktentwicklungskompetenzzelle analysiert die Aufgabenstellung in Bezug auf die vorhandenen Kompetenzkomponenten im Kompetenznetz und trifft die Entscheidung, ob der Auftrag realisiert werden kann oder nicht. Bei negativer Einschätzung, z. B. fehlender Kompetenz oder Kapazität bzw. Überschreitung des Kostenlimits, erfolgt die Information über die Kompetenzzelle des Marketing/Vertrieb an den Kunden und es werden die Eingangsparameter der Anfrage gemeinsam überarbeitet bzw. es werden fehlende Kompetenzen im regionalen Netz in die Entscheidung einbezogen. In Ausnahmefällen wird kein Angebot erstellt und der Auftrag abgelehnt. Bei Einschätzung der Realisierbarkeit des Auftrages folgt die Generierung eines Start-Up zur Produktentwicklung zur Angebotsdefinition. Auf Basis des erstellten technischen Angebotes in Verbindung mit eventuellen betriebswirtschaftlichen kompetenznetzspezifischen Zuschlägen (bspw. Kompetenznetz-Betriebskosten) erfolgt die Angebotserstellung durch die M/V-KPZ an den Kunden. Das konkrete Vorgehen der Angebotserstellung innerhalb kompetenzzellenbasierter hierarchieloser Kooperationen wird eine wesentliche Zielsetzung künftiger Forschungsarbeiten sein.

5.3 Kompetenzzellenbasierter Produktentwicklungsprozess

5.3.1 Generierung von Verknüpfungen in hierarchielosen Kompetenznetzen

Generierende/Projektierende Vorgehensweise

Eine mögliche Sichtweise auf den Produktentwicklungsprozess ist das Konzept der generierenden und/oder projektierenden Vorgehensweise innerhalb der Wertschöpfung (Abb. 48).

Produktentwicklungs- methodik		Generierend		Projektierend		
Phasen der Produkt- entwicklung		Planung	Konzeption	Entwurf	Detaillierung	Prototyp
Konstruktionsarten	Neu- konstruktion	■	■	■	■	■
	Anpassungs- konstruktion		■	■	■	■
	Variante- konstruktion	■	■	■	■	■

Abb. 48: Abhängigkeit zwischen Konstruktionsarten und Produktentwicklungsphasen

Die Übersicht stellt eine Erweiterung der bereits aus der einschlägigen Literatur bekannten Abhängigkeiten zwischen Konstruktionsarten und Produktentwicklungsphasen dar. Für die Konstruktionsart Variantenkonstruktion sind bei deren Erstellung Baureihen/Baukästen zu generieren und zu konzipieren. In der späteren Anwendung kommen diese ausschließlich projektierend zum Einsatz. Die Umsetzung zum Prototyp erfolgt bei Anpassungs- und Variantenkonstruktionen auftragsabhängig. Aufbauend auf diese Erkenntnisse kann die kompetenzzellenbasierte Vernetzungstheorie (vgl. 5.3.2) abgeleitet werden. Grundlage für diesen methodischen Ansatz zur Produktentwicklung in hierarchielosen Netzen bildet die Trennung in einen konzeptionellen Teil zur Funktionsfindung sowie einen gestaltenden, die Konstruktionsaufgabe konkretisierenden Abschnitt.

Die Vereinigung beider Produktentwicklungsabschnitte führt zu einer Produktentwicklungsmethodik, welche eine Kombination von generierender Vorgehensweise zur Funktions- und Lösungsfindung und projektierender Methodik für die Konkretisierung aller Produktmodule beziehungsweise Baugruppen darstellt. Mit dieser Herangehensweise werden im hierarchielosen Produktionsnetz das Konzept der Funktionsfindung als Neuentwicklung sowie die Konstruktion der Baugruppen als Methode der geometrischen, stofflichen und fertigungstechnischen Umsetzung aus einem bestehenden Potenzial von Lösungen realisiert.

Dieses Konzept kann sowohl für Neu- als auch Anpassungskonstruktionen in Anwendung kommen (Abb. 49). Neu ist bei der generierenden Vorgehensweise für die Produktentwicklung im hierarchielosen Netz, die Möglichkeit der Generierung neuer, innovativer Lösungen und Produkte, ohne bereits in dieser frühen Phase auf Bestehendes zurückzugreifen. Dadurch kann die Kreativität, Flexibilität und Innovationsfähigkeit für alle Kundenanfragen beziehungsweise Initialentwicklungen des Produktionsnetzes gewährleistet werden und ein entscheidender Wettbewerbsvorteil entstehen. Im generierenden Abschnitt können die Bereiche der Planung und Konzeption sowohl als gemeinsame als auch separate Geschäftsprozesse in Anwendung kommen.

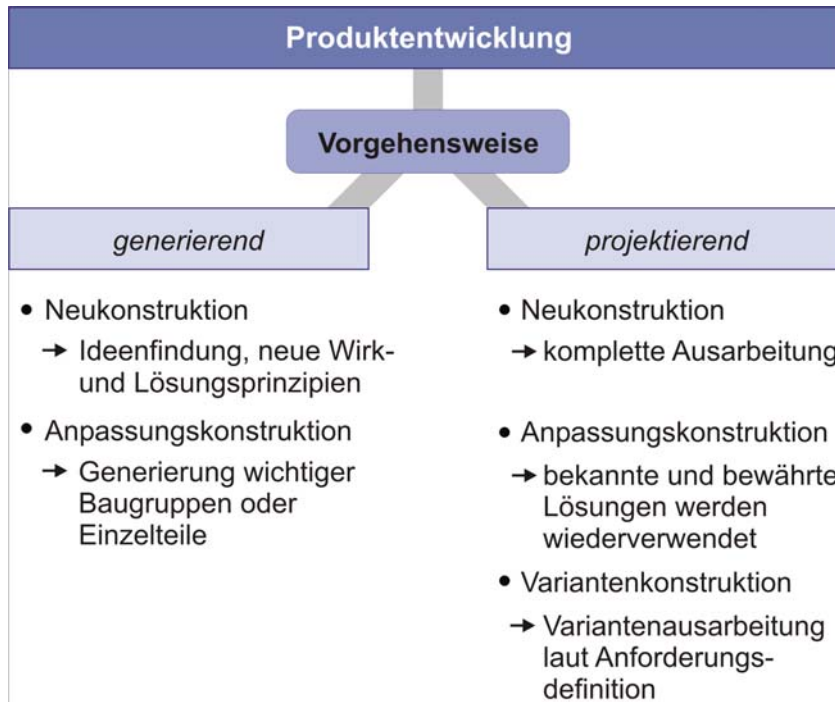


Abb. 49: Generierende/Projektierende Vorgehensweise

Die projektierende Methodik bildet den zweiten Abschnitt der Produktentwicklungsmethodik. Aufbauend auf das entwickelte Konzept beziehungsweise Lösungsprinzip werden die Produktmodule separat betrachtet. Voraussetzung für einen optimalen Durchlauf und die Ausarbeitung ist in diesem projektierenden Abschnitt der Rückgriff auf Bestehendes, zum Beispiel Erstentwürfe, Konstruktionen und Dokumentationen von vorangegangenen Aufträgen unter Einbeziehung aller Kompetenzzellen des hierarchielosen Netzes mit entsprechender Kompetenz.

5.3.2 Kompetenzzellenbasierte Produktentwicklung mechatronischer Produkte

Im Vergleich zu klassischen, vorwiegend durch einen mechanischen Bereich dominierten Produkten, existiert in der Produktentwicklung von mechatronischen Produkten ein dominierender Prozess (Abb. 50). Die Grenzen der verschiedenen Wissenschaftsdisziplinen werden dabei bewusst überschritten, um die Chance zu nutzen, die sich für die Entwicklung neuer innovativer Produkte ergeben, indem Wissen aus verschiedenen Disziplinen integriert wird.

Als Ziel dieser Arbeit wurden im Umfang der wissenschaftlichen Untersuchungen ausschließlich mechatronische Produkte des Maschinenbaus näheren Betrachtungen unterzogen. Im Beispiel für die Produktentwicklung von Werkzeugmaschinen ist dies der Prozess der Engineering-Dienstleistung der Produktentwicklung Maschinenbau.

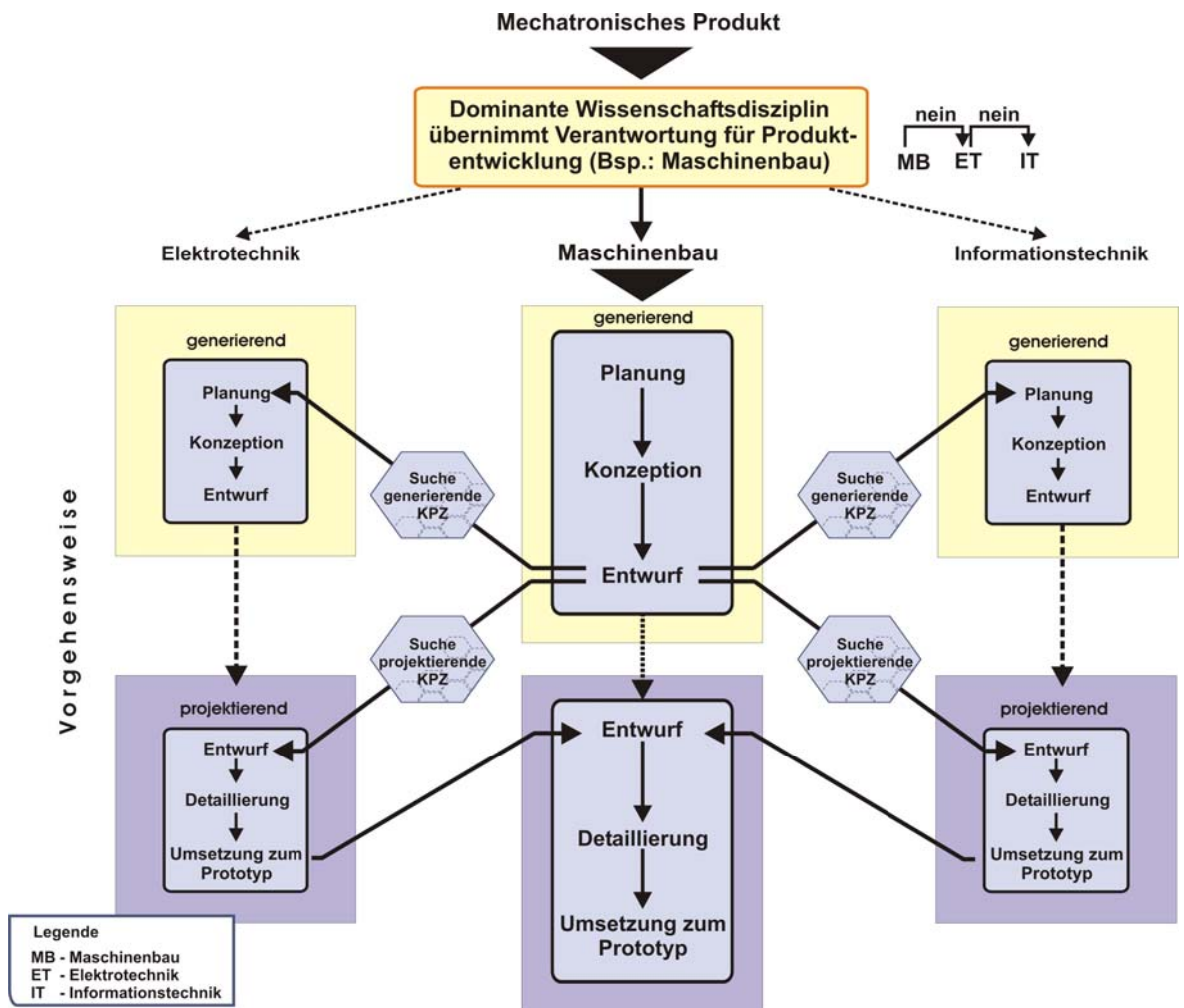


Abb. 50: Produktentwicklungsprozess am Beispiel mechatronischer Produkte

Bei Neukonstruktionen werden durch eine generierende, projektführende Kompetenzzelle der Produktentwicklung die Prozessschritte Planung und Konzeption realisiert. Nach Umsetzung der ersten Entwurfsphase, dem Gliedern in realisierbare Module, erfolgt die Suche von Kompetenzzellen der untergeordneten Entwicklungsbereiche Elektrotechnik und Informationstechnik. Hierbei wird die Suche von generierenden und projektierenden Kompetenzzellen unterschieden. Dies ist auftragsabhängig und im generierenden Vorgehen durch die Entwicklung neuer elektrotechnischer bzw. informationstechnischer Komponenten gekennzeichnet. Bei der projektierenden Vorgehensweise erfolgt der Rückgriff auf bestehende Wirkprinzipien und Lösungen aus bereits realisierten Projekten bzw. Initialentwicklungen. Mechatronische Produktentwicklungen sind durch einen interdisziplinären, geschlossenen Entwicklungsprozess charakterisiert /VDI-2221/, /VDI-2222/.

Diesem Sachverhalt wird innerhalb des kompetenzzellenbasierten Vorgehens bereits vor dem eigentlichen Produktentwicklungsprozess, innerhalb des Start-Up zur Produktentwicklung Rechnung getragen (vgl. 5.1.3). In Abhängigkeit der Aufgabenstellung und des jeweiligen Neuheitsgrades, werden die Phasen der Produktentwicklung in unterschiedlicher Intensität durchlaufen. Dabei besteht, in Bezug auf den Entwicklungsumfang und die beteiligten Fachgebiete, die Notwendigkeit der Parallelisierung einzelner Produktentwicklungsabschnitte, d. h. die getrennte (dezentralisierte), aber abgestimmte Entwicklung innerhalb von Teilprojekten (vgl. 6.3; Bsp. PE-WZM).

5.3.3 Kompetenzzellenbasierte Produktentwicklung von Werkzeugmaschinen

Der entwickelte Prozess der kompetenzzellenbasierten Produktentwicklung wird bestimmt durch das Geschäftsobjekt (materielles Produkt) der zu realisierenden Wertschöpfungskette (Abb. 51). Iterationen im Produktentwicklungsprozess sind im Interesse einer übersichtlichen Darstellung in der Abbildung nicht enthalten. Die Einstiegsebenen können am Beispiel des mechatronischen Produktes Werkzeugmaschine sowohl eine spezielle Maschinenausprägung, eine spezielle Hauptbaugruppe oder auch sinnvoll teilbare Baugruppen und Unterbaugruppen des Produktes sein. Der Produktentwicklungsprozess beginnt in Abhängigkeit von der Konstruktionsart in den entsprechenden Phasen Planung, Konzeption, Entwurf und wird durch eine projektführende generierende Produktentwicklungskompetenzzelle ausgeführt.

Im weiteren Verlauf werden entsprechend des Auftrages generierende oder projektierende Kompetenzzellen zweiter Ordnung hierarchielos aus der informationstechnischen Datenbank des KoAg ausgewählt. Die Auswahl von Kompetenzzellen kann nachfolgend in gleicher Weise bis zur Suche und Auswahl von baugruppenorientierten Kompetenzzellen n-ter Ordnung in weiteren Teilprojekten erfolgen. Ergebnisse, der projektunterstützenden Kompetenzzellen n-ter Ordnung, können sowohl der Gesamtentwurf eines Teilprojektes, die kompletten Fertigungsunterlagen oder auch der umgesetzte Prototyp sein. Diese werden der, für den Produktentwicklungsprozess verantwortlichen, generierenden Produktentwicklungskompetenzzelle zugeführt.

Die generierende, projektführende Produktentwicklungskompetenzzelle realisiert auf Grundlage der Ergebnisse der projektunterstützenden Kompetenzzellen den Gesamtentwurf. Auf Basis des Gesamtentwurfes ist es ebenso möglich, für die Phasen der Detaillierung und Umsetzung zum Prototyp Anforderungsvektoren zur Suche von projektunterstützenden Kompetenzzellen zu erstellen. Somit wird, bezogen auf den spezifischen Kundenauftrag, eine kosten- und zeitoptimierte Produktentwicklung im kompetenzzellenbasierten Produktionsnetz gewährleistet.

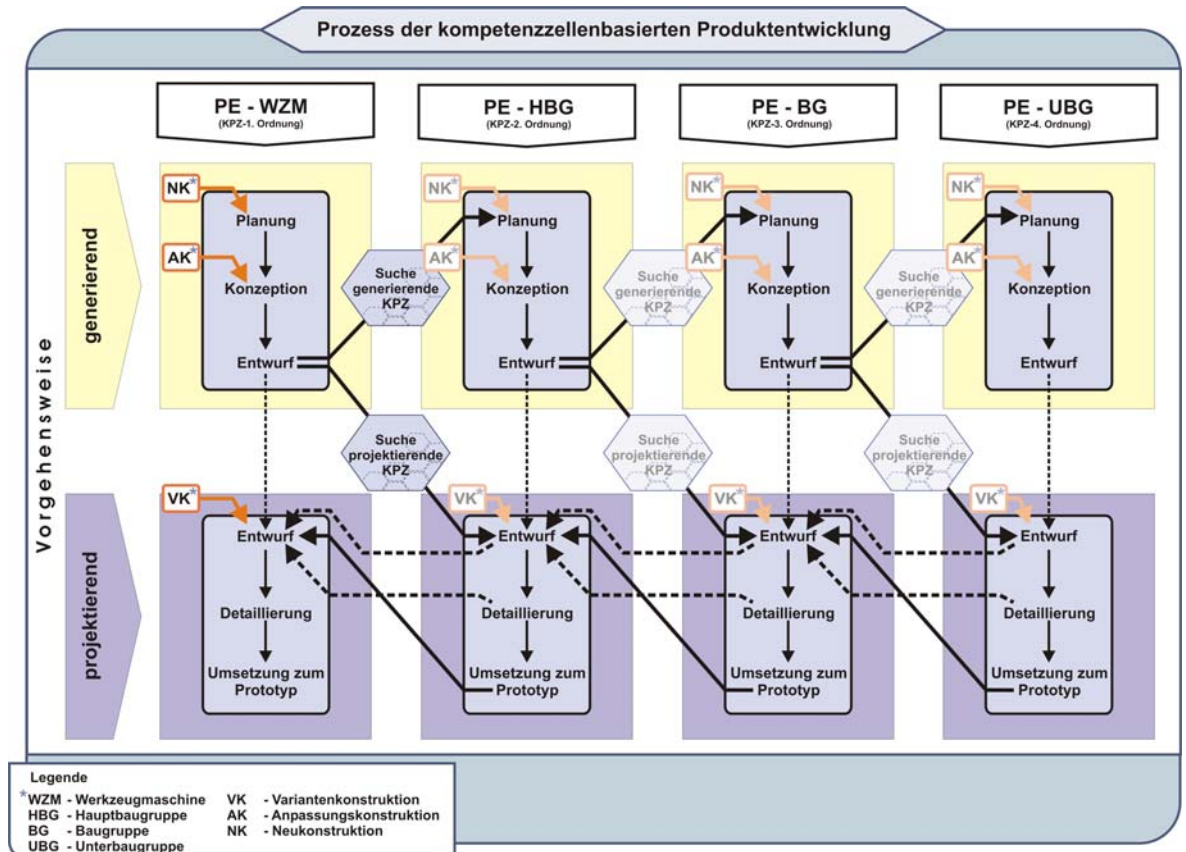


Abb. 51: Prozess der kompetenzzellenbasierten Produktentwicklung

Am Produktentwicklungsprozess sind zum einen projektführende/-unterstützende fachgebiets- und produktspezifische Kompetenzzellen, aber auch projektunterstützende aktivitäts- und methodenspezifische Kompetenzzellen beteiligt. Die Einbeziehung dieser kann zum einen aus den auftragsspezifischen Erfordernissen im Start-Up zur Produktentwicklung, im Pflichtenheft festgelegt u./o. im Verlauf der Produktentwicklung durch Produktentwicklungskompetenzzellen aufgrund fehlender Kompetenzen ausgelöst (hierarchielose Suche) werden. Der Vorteil dieser kompetenzzellenbasierten Vorgehensweise besteht darin, dass am Produktentwicklungsprozess ausschließlich benötigte Kompetenzzellen mit der entsprechenden Fach- und Methodenkompetenz beteiligt sind und diese anhand der Kriteriengewichte (Kompetenz, Preis, Zeit) des Kundenwunsches, nach betriebswirtschaftlichen und technischen Gesichtspunkten, hierarchielos optimiert ausgewählt werden.

5.3.4 Produktentwicklungs-Workflow

Für alle innerhalb der Wertschöpfung der Produktentwicklung im Produktionsnetz zu realisierenden Projekte muss, in Zusammenarbeit der Kompetenzzellen im Auftrags-Start-Up, ein Produktentwicklungs-Workflow erstellt werden (Abb. 52). Dieser ist Teil des Pflichtenheftes und bildet die terminliche Basis der Zusammenarbeit der beteiligten Kompetenzzellen. Durch die konkrete Definition von Meilensteinen (bspw. M1-M9) wird es möglich, die termingerechte Umsetzung des Projektes, mit Hilfe der Funktionalitäten des KoAg, automatisiert zu überwachen. Über die Instrumente der System-/Prozess-FMEA des Qualitätssystems QIS des hierarchielosen Produktionsnetzes wird dieser Prozess hierbei gezielt unterstützt (/GERB-04/). Durch das im EVCM des hierarchielosen Produktionsnetzes implementierte Störungsmanagement existieren Kontroll- und Steuerungsfunktionalitäten, um eine termin- und kostengerechte Wertschöpfung erfolgreich kompetenzzellenbasiert umsetzen zu können.

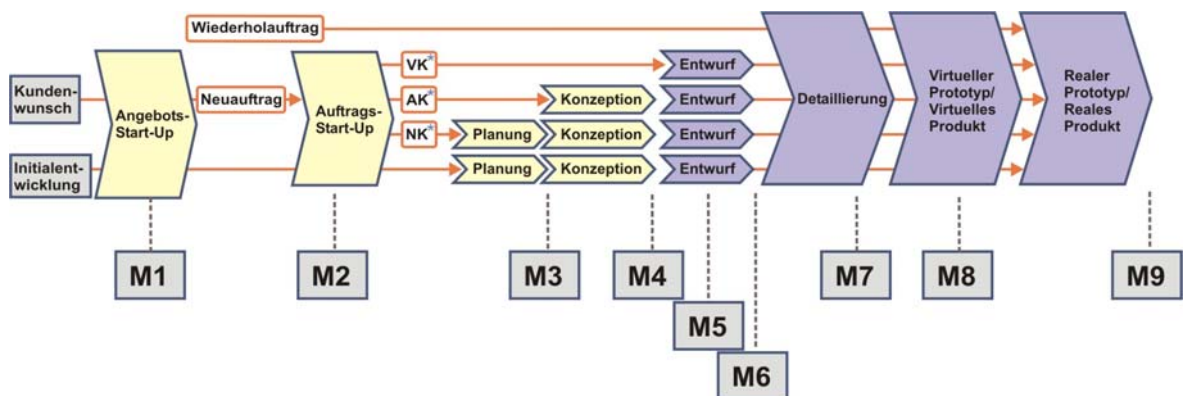


Abb. 52: Produktentwicklungs-Workflow

Der KoAg wird in späteren Arbeiten dahingehend weiterentwickelt, dass Projekt-Workflows gleicher Engineering-Dienstleistungen einem Vergleich unterzogen werden, um somit Vorzugslösungen bezüglich der beteiligten Fach- und Methodenkompetenzen ableiten zu können. Diese Erkenntnisse können dann in Folgeaufträgen entsprechend genutzt und umgesetzt werden. Daraus resultierend ist eine ständige Optimierung und Bewertung des Produktentwicklungsprozesses realisierbar.

6 Verifizierung der Produktentwicklungsmethode

6.1 Softwaretechnische Umsetzung – Kompetenz-Agent (KoAg)

6.1.1 Vorgehensweise zur Validierung und Beschreibung der softwaretechnischen Umsetzung

Die entwickelte kompetenzzellenbasierte Vorgehensweise im Produktentwicklungsprozess wird durch die Softwarelösung des Kompetenz-Agenten nachfolgend validiert. Es wird der Nachweis der Funktionsfähigkeit der entwickelten Algorithmen und Instrumentarien erbracht und das Partialmodell der Produktentwicklung softwaretechnisch umgesetzt (Abb. 53). Anhand der Produktentwicklung der mechatronischen Produkte Motorspindel und Sonderschleifmaschine erfolgt die prototypische Umsetzung der kompetenzzellenbasierten Produktentwicklung und somit der Nachweis der Eignung der entwickelten Methode. Auf Basis eines Kundenauftrages können innerhalb kürzester Zeit mögliche Kooperationslösungen generiert werden. Dies unterstützt die in Kapitel 5.3 vorgestellte systematische Vorgehensweise zur Gestaltung von kompetenzzellenbasierten Engineering-Dienstleistungen.

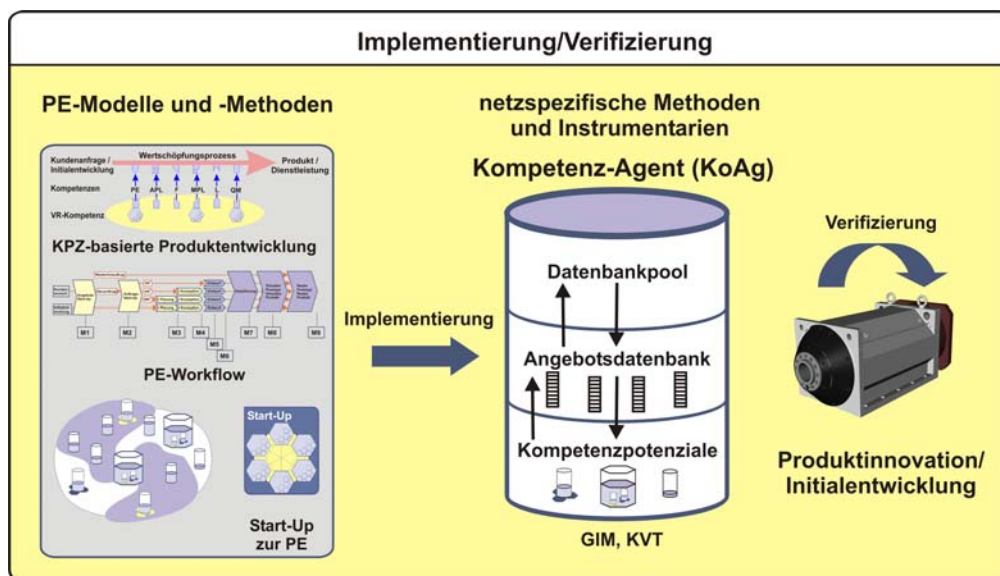


Abb. 53: Verifizierung/Validierung

Der Kompetenz-Agent ermöglicht Kompetenzzellen, sich bezüglich ihrer Kompetenzen zu beschreiben, aktiv im Kompetenznetz zu agieren und im Produktionsnetz erfolgreich Produktentwicklungen zu realisieren. Das Kapitel erläutert die Funktionsweise des Kompetenz-Agenten und die Vorgehensweise der kompetenzzellenbasierten Engineering-Dienstleistungen an Beispielen.

Der Kompetenz-Agent ist ein Softwaresystem, mit welchem Kompetenzzellen der Produktentwicklung ihre Kompetenzen beschreiben und speichern können. Andere Kompetenzzellen nutzen diese archivierten Informationen, um bestmögliche Kooperationspartner für eigene Projekte zu ermitteln. Diese Selektion aus allen geeigneten Kompetenzzellen erfolgt über ein automatisches Bewertungssystem, in dem für jede geeignete Kompetenzzelle das Potenzial der entsprechenden Kompetenzkomponente und das spezielle Angebot für das Projekt ausgewertet werden.

Alle Daten für die Ermittlung der Potenziale von Kompetenzkomponenten werden automatisch vom System verwaltet. In einer MySQL-Datenbank werden die Kompetenzzelleninformationen und Projektdaten abgelegt. Die Kompetenzzellen haben über ein PHP-Interface vollen Zugriff auf ihre Daten. Dieses Nutzerinterface besteht aus HTML-Webseiten, die dynamisch aus dem PHP-Quellcode auf dem Webserver erstellt werden. Damit ist es jederzeit möglich, ohne spezielle Clientsoftware auf das System zuzugreifen. Lediglich ein Internetbrowser mit http-Protokoll ist für den Zugriff notwendig. Nach der Anmeldung am System durch einen Anmeldedialog stehen der Kompetenzzelle die folgenden wesentlichen Funktionen zur Verfügung (Tab. 7).

Tab. 7: KoAg-Funktionalitäten für Kompetenzzellen

Verwaltung der Kompetenzzellendaten	Bearbeiten der Kompetenzzelleninformationen (Kontakt-, Logindaten), Beschreiben von Kompetenzkomponenten
Verwaltung der Projekte	Bearbeiten der Projekte, in denen die Kompetenzzelle projektführend auftritt; Anlegen von Teilprojekten und Erstellen von Angeboten für Projekte anderer Kompetenzzellen.
Kommunikation	Nachrichtenaustausch mit anderen Kompetenzzellen im System

Außerdem werden in der Datenbank alle Daten des Beschreibungsalgorithmus gespeichert. Dieser Algorithmus wurde nicht statisch in den Programmcode implementiert, sondern kann getrennt in mehrere Tabellen der Datenbank und eine spezielle Programm-Klasse jederzeit neu konfiguriert werden, um Komponenten zu beschreiben, zu suchen oder darzustellen. Durch diese Form der Implementierung ist eine Erweiterung oder Veränderung des Algorithmus einfach umsetzbar. Dem Administrator des Systems innerhalb des Kompetenznetzes obliegt die Verwaltung der Daten des Beschreibungsalgorithmus. Er hat durch ein spezielles Interface Zugriff auf alle Nutzerinformationen, mit der Möglichkeit diese zu bearbeiten. Der Administrator meldet sich mit speziellen Nutzerdaten beim System an und hat die folgenden Auswahloptionen (Tab. 8).

Tab. 8: KoAg-Funktionalitäten des Administrators

Verwaltung der Nutzerdaten	Übersicht über alle archivierten Nutzerdaten (Kompetenzzellen- und Projektdaten), mit der Möglichkeit zur eingeschränkten Bearbeitung
Verwaltung des Beschreibungsalgorithmus	Bearbeiten der Beschreibungsalgorithmusdaten (Objekttypen, Algorithmusstruktur und Beschreibungsobjekte)

6.1.2 Integration des Beschreibungsalgorithmus

Ein wesentlicher Bestandteil des Systems ist die Beschreibung, Archivierung und Suche von Kompetenzzellen und deren Komponenten. Als Muster für die Erzeugung und Verarbeitung der einzelnen Komponenten wird stets der Beschreibungsalgorithmus verwendet. Somit ist eine effiziente Integration des Algorithmus sehr wichtig. Eine relativ einfache Umsetzung des Algorithmus wäre die starre Implementierung aller Systemkomponenten. Das hieße, alle Teile des Systems auf jeden möglichen Zustand beim Abarbeiten des Algorithmus (beim Beschreiben, Suchen, u. a.) durch einzelne spezielle Routinen vorzubereiten. Dieses Verfahren führt zu einer riesigen Menge an kaum überschaubarem Quellcode und zum anderen sind Änderungen im Beschreibungsalgorithmus dann nur äußerst schwierig durchzuführen. Für eine flexible Umsetzung des Algorithmus wurde dieser daher komplett dynamisch in das System integriert.

Der Algorithmus wird dazu in einfache Datenstrukturen zerlegt und in der Datenbank in mehreren Tabellen so gespeichert, dass alle Teile des System mit wenig Aufwand auf den für sie relevanten Teil des Algorithmus zugreifen können. Zum einfachen Zugriff auf diese Algorithmusdaten wurde eine spezielle Programm-Klasse entwickelt.

Der Beschreibungsalgorithmus gibt vor, in welcher Reihenfolge die einzelnen Objekte einer Kompetenzkomponente beschrieben werden müssen (Struktur), von welchem Typ diese Objekte sind, wie diese Objekte beim Beschreiben zu behandeln sind (z. B. optionale Eingabe) und aus welcher Menge von Beschreibungsobjekten gewählt werden kann, um das Objekt zu spezifizieren. Diese Informationen werden in drei Informationsgruppen aufgeteilt und in Tabellen der Datenbank verwaltet: *kpz_beschrstr* (Strukturdaten), *kpz_objtyp* (Informationen zum Typ der Objekttypen) und *kpz_beschrobj* (Menge der Beschreibungsobjekte).

Die Beschreibungsstruktur des Algorithmus lässt sich leicht in eine Baumstruktur überführen (Abb. 54). Hierzu wird diese Struktur in eine Menge von Knoten übersetzt. Diese Knoten enthalten die Position innerhalb der Struktur und Informationen zu den Eigenschaften des Objektes, welches im Algorithmus beschrieben werden soll.

Die Position wird über einfache Vater-Sohn-Beziehungen beschrieben. Dazu erhält jedes Strukturelement den Identifikator des Vaterknotens. Strukturelemente ohne Vater ($\text{parentID} = 0$) bilden die Wurzeln von Strukturbäumen. Die Abarbeitung der Struktur bei einer Verarbeitung des Algorithmus beginnt stets an diesen Strukturwurzeln.

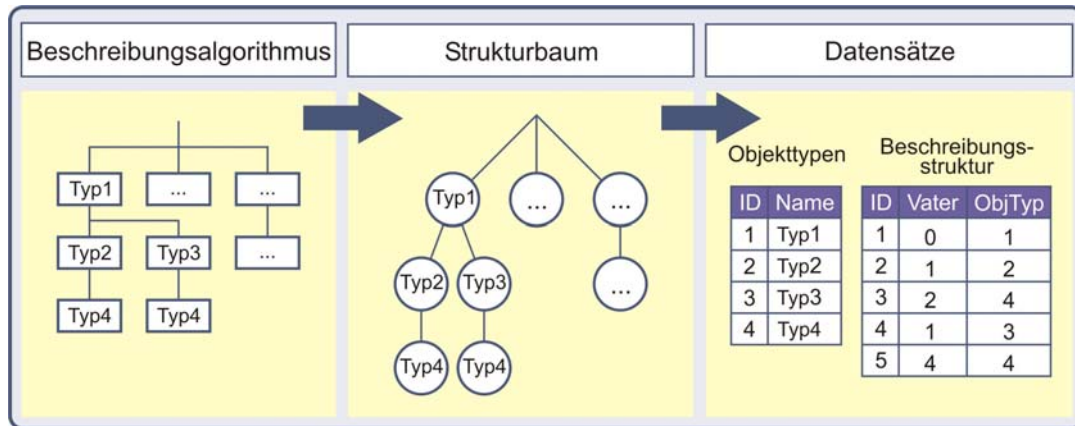


Abb. 54: Beschreibungsstruktur

Die Strukturknoten werden in einer Liste *kpz_beschrstr* der Datenbank gespeichert. Die Objekttypen werden in der Liste *kpz_beschrobjtyp* verwaltet. Ein solcher Objekttyp-Listeneintrag bezeichnet hauptsächlich den Typ eines Strukturobjektes im Algorithmusbaum durch das Zuweisen eines Beschreibungsobjektpools und die Spezifikation des Informationstyps. Die Information eines Objekts kann die in (Tab. 9) dargestellten Typen annehmen. Ferner enthält der Listeneintrag Informationen zur Bezeichnung des Objekttyps im Beschreibungs-, Such- und Analysevorgang von Komponenten und zur grafischen Darstellung der Strukturbaumobjekte.

Die Menge der Beschreibungsobjekte, mit denen der Nutzer beim Beschreibungsvorgang die Strukturelemente instanziiert, wird in einem globalen Objektpool gesammelt. Alle Elemente der Objektliste *kpz_beschrobj* enthalten Objektinformationen, wie den Namen des Beschreibungsobjektes und dessen Objekttyp, einschließlich Strukturinformationen, um ggf. hierarchische Abhängigkeiten unter den Objekten zu beschreiben. Jedem Nutzer des Systems wird die Möglichkeit gegeben die Menge der Beschreibungsobjekte zu erweitern, indem er während des Beschreibungsvorgangs eigene Objekte erstellt. Er selbst hat nun die Möglichkeit mit diesen nutzerspezifischen Beschreibungsobjekten neue Komponenten zu erstellen.

Der Administrator wird über diese Änderung im Datenbestand informiert und hat nun die Möglichkeit, diese neuen Objekte in die globale Menge der Beschreibungsobjekte zu übernehmen und somit für alle Nutzer des Systems zugänglich zu machen. Komponenten mit nutzerspezifischen Beschreibungsobjekten, die vom Administrator nicht freigegeben wurden, werden bei der Suche von Kompetenzzellen ignoriert.

Tab. 9: Objekttypen

Standardinformation	Der Nutzer wählt beim Beschreiben des Objekts aus der Menge der Beschreibungsobjekte maximal ein Beschreibungsobjekt aus. Die Beschreibungsobjekte sind in einer mehrstufigen Hierarchie (Baumstruktur) hinterlegt.
Zusatzinformation	Der Nutzer wählt beim Beschreiben des Objekts aus der Menge der Beschreibungsobjekte beliebig viele Beschreibungsobjekte aus. Die Beschreibungsobjekte sind in einer einfach unstrukturierten Liste hinterlegt.
Substruktur	Der Nutzer beschreibt das Objekt, indem er die Unterstruktur des Objekts beschreibt.

Um Objekte noch detaillierter beschreiben zu können, wird über Substrukturen die Möglichkeit geschaffen, diesen Objekten einen eigenständigen Beschreibungsalgorithmus zuzuweisen. Dieser Unteralgorithmus nutzt eigene Strukturdaten, Objekttypen sowie Mengen von Beschreibungsobjekten und wird folgendermaßen vom System verarbeitet: Trifft das System beim strukturierten Abarbeiten des Beschreibungsalgorithmus (Beschreiben, Suche, Analyse von Komponenten) auf ein Strukturelement, dessen Objekttyp vom Informationstyp ‚Substruktur‘ ist, wird anstatt ein Beschreibungsobjekt aus einem Pool auszuwählen, zunächst das Startstrukturelement der entsprechenden Substruktur ermittelt. Im Anschluss daran werden die Strukturelemente des Substrukturbaums strukturiert abgearbeitet, d. h. nur direkte Nachfolger des aktuellen Strukturelements werden für ein Fortschreiten im Algorithmus betrachtet.

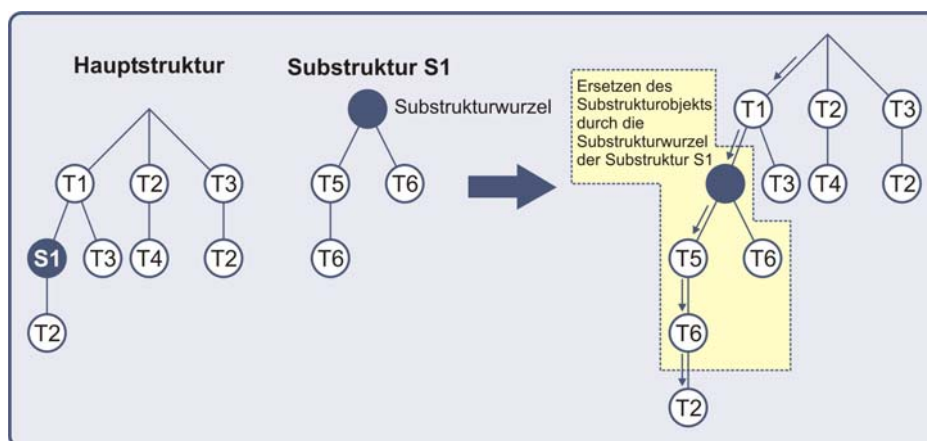


Abb. 55: Substrukturen

Wird ein Strukturelement in dieser Substruktur gefunden, das keine direkten Nachfolger besitzt, ist die Abarbeitung der Substruktur beendet und der Beschreibungsalgorithmus fährt mit den nächsten Strukturelementen der Hauptstruktur fort. Er bietet folglich die Nachfolgeelemente des Strukturelements, dessen Substruktur eben beschrieben wurde, zum Fortschreiten an.

Die Daten der Nutzer werden in weiteren Tabellen der Datenbank archiviert. Viele der Daten stehen in Abhängigkeiten (Listen-, Baumstrukturen, Zugehörigkeitsbeziehungen, u. a.) zu anderen Tabellen über Fremdschlüssel (Fremdschlüssel stellen inhaltliche Verbindungen zwischen Datenmengen her), d. h. Identifikatoren von Datensätzen in anderen Tabellen der Datenbank. Das System erkennt selbständig diese Beziehungen und löst fehlerhafte Abhängigkeiten automatisch auf, so werden z. B. Komponenten ohne eine zugehörige Kompetenzzelle vom System erkannt und gelöscht.

6.1.3 Implementierung der Kompetenzzelle

Jede Kompetenzzelle besitzt im KoAg eine eindeutige Identifikationsnummer, über die z. B. die Besitzverhältnisse für Kompetenzkomponenten und Projekte beschrieben werden. Außerdem enthält sie Anmeldeinformationen für das System, d. h. jede Zelle hat einen eigenen Nutzerzugang. Neben den allgemeinen Informationen zur Kompetenzzelle werden noch deren Kontaktdaten archiviert und in einem Datensatz *kpz_kpzlist* verwaltet (Tab. 10).

Die Verwaltung der Kompetenzkomponentendaten erfolgt in zwei Tabellen, einer Liste aller Komponenten (*kpz_komplst*) und einer Liste in der alle Objekte der Komponenten verknüpft werden (*kpz_kompstr*). Die Liste *kpz_komplst* enthält den Identifikator der Komponente, den Identifikator der Kompetenzzelle zu der die Komponente gehört und allgemeine Informationen zur Komponente. Diese Liste soll vor allem die Zugehörigkeitsbeziehungen zwischen Kompetenzzelle und Kompetenzkomponente aufzeigen.

Tab. 10: Kompetenzzellen-Datensatz *kpz_kpzlist* (Datentyp)

kpz_KpzID	Identifikator der Kompetenzzelle (Primärschlüssel) (unsigned int 10)
bezeichnung	Bezeichnung der Kompetenzzelle (varchar 64)
beschreibung	Kurzbeschreibung der Kompetenzzelle (text)
adresse	Postadresse der Kompetenzzelle (varchar 255)
email	E-Mailadresse der Kompetenzzelle (varchar 255)
nutzernamen	Nutzername für die Anmeldung beim System (varchar 32)
passwort	Passwort für den Anmeldevorgang (varchar 16)
admin	gibt an, ob die Kompetenzzelle Administratorenrechte besitzt (unsigned int 1)

In der Tabelle *kpz_kompstr* werden die Komponenten als Folge von Objekten gespeichert. Diese Objekte sind zu linearen Listen durch die Angabe von Vorgängerelementen verknüpft. Zur kompletten Rekonstruktion der Komponenten enthält jedes Objekt Informationen über das Strukturelement der Algorithmusstruktur, von dem es instanziiert wurde und den Identifikator des Beschreibungsobjektes, mit dem es beschrieben wurde. Außerdem hat jedes Objekt Informationen darüber, zu welcher Komponente es gehört.

6.1.4 Projekt-, Angebot- und Nachrichten-Datenstruktur

Die Projekte der Kompetenzzellen werden in der Liste *kpz_projlist* verwaltet. Jedes Projekt erhält eine laufende eindeutige Auftragsnummer, die gleichzeitig der Identifikator des Datensatzes ist. Zu jedem Projekt werden außerdem allgemeine Projektdaten (Name und Beschreibung des Projektes), der Identifikator der projektführenden Kompetenzzelle und ggf. die Auftragsnummer des Referenzprojektes vermerkt (Abb. 56).

Teilprojektdaten eines Projektes in *kpz_teilproj* enthalten hauptsächlich Informationen, mit denen der automatisierte Prozess zur Ermittlung eines Projektpartners erfolgt. Neben den allgemeinen Daten ist die Möglichkeit zum Hinterlegen detaillierter Daten zum Teilprojekt gegeben. Alle Anforderungsvektoren der Kompetenzkomponenten und das Angebot der projektunterstützenden Kompetenzzelle sind ebenfalls hinterlegt. Weiterhin werden Informationen über den Status des Projektes, die Zeitpunkte zur statistischen Erfassung des Projektverlaufs und die Bewertung der Durchführung des Projektes durch die projektführende Kompetenzzelle archiviert.

Angebotsdaten zu Projekten werden in der Tabelle *kpz_angebot* archiviert. Zu einem Angebot gehören zunächst die Informationen von welcher Kompetenzzelle und zu welchem Projekt das Angebot gilt. Dazu kommen die eigentlichen Angebotsdaten Produktentwicklungskosten, spätester Fertigstellungstermin und Zielkosten des Produktes. Eine Kompetenzzelle erhält die Möglichkeit ein Angebot abzugeben, wenn das System eine Komponente der Zelle ermittelt hat, die dem Anforderungsvektor des Teilprojektes genügt. In diesem Fall der Auswahl wird automatisch ein leerer Angebots-Datensatz in *kpz_angebot* angelegt mit der Angabe der Komponente der Kompetenzzelle, die zur Realisierung erforderlich ist. Da die Kompetenzzelle auch die Möglichkeit hat, die Angebotsabgabe abzulehnen, wird dem Angebot noch ein Status zugewiesen und für den Fall der Ablehnung können Bemerkungen zum Projekt abgegeben werden.

6.1.5 Systemfunktionalitäten

Systemanmeldung

Jeder Nutzer des Systems muss sich zunächst beim System anmelden. In einem Anmeldedialog werden Nutzernamen und Passwörter angegeben. Bei korrekter Eingabe ermittelt das System die Eigenschaften des angemeldeten Nutzers aus der Datenbank. Es werden dann je nach Rolle des Nutzers (Administrator, Kompetenzzelle) Schnittstellen mit unterschiedlichen Funktionalitäten angeboten. Kompetenzzellen, die sich neu beim System anmelden möchten, erhalten dazu im Anmeldedialog die Gelegenheit. Nach der Eingabe eines geeigneten Nutzernamens, eines Passworts und einer E-Mail-Adresse wird eine neue leere Kompetenzzelle in der Datenbank angelegt. Nach einer erfolgreichen Anmeldung hat der neue Nutzer nun die Möglichkeit, die Daten seiner Kompetenzzelle zu vervollständigen und alle Funktionalitäten des Systems zu nutzen. Im Umfang dieser Arbeit werden nur die wichtigsten Funktionen, der Beschreibung von Kompetenzzellen, der Suche von Kompetenzkomponenten sowie deren hierarchielose Auswahl dargestellt.

Kompetenzzellenverwaltung

In der Kompetenzzellenverwaltung stehen einem Nutzer des Systems sämtliche Funktionen zur Verfügung, die Daten der eigenen Kompetenzzelle anzuzeigen und zu verändern. Allgemeine Informationen zur Kompetenzzelle, wie Kompetenzzellenname, Kontaktdaten (E-Mail-Adresse, Postadresse u. a.) und eine Kurzbeschreibung können in einem Dialog angezeigt und direkt bearbeitet werden.

Tab. 11: Verwaltung und Beschreibung von Kompetenzkomponenten

Komponentendaten bearbeiten	Anzeige des Komponentennamens und der Kurzbeschreibung mit der Möglichkeit zur Bearbeitung
Komponente anzeigen	Komplette Darstellung der Beschreibung der Komponente
Projektstatus anzeigen	Auflistung aller Projekte der Kompetenzzelle, an denen die Komponente projektunterstützend beteiligt ist, mit Kurzinformation zur projektführenden Kompetenzzelle und dem Projektstatus
Komponente löschen	Löschen der Komponentendaten

Außerdem wird in diesem Dialog angeboten, die Zugangsdaten zum Nutzerzugang (Nutzername und Passwort) anzupassen. In einer Übersicht werden alle beschriebenen Komponenten der Kompetenzzelle aufgelistet. Neben der Möglichkeit, neue Kompetenzkomponenten zu beschreiben, werden zu jeder Komponente Funktionen geboten, um Informationen anzuzeigen und zu verändern (Tab. 11). Das Löschen von Komponenten ist nur zulässig, wenn die Komponenten zu diesem Zeitpunkt nicht in Projekte des Systems eingebunden sind. Die allgemeinen Komponenteninformationen verbleiben im System, um ggf. deren Mitwirken an abgeschlossenen Projekten vollständig aufzeigen zu können.

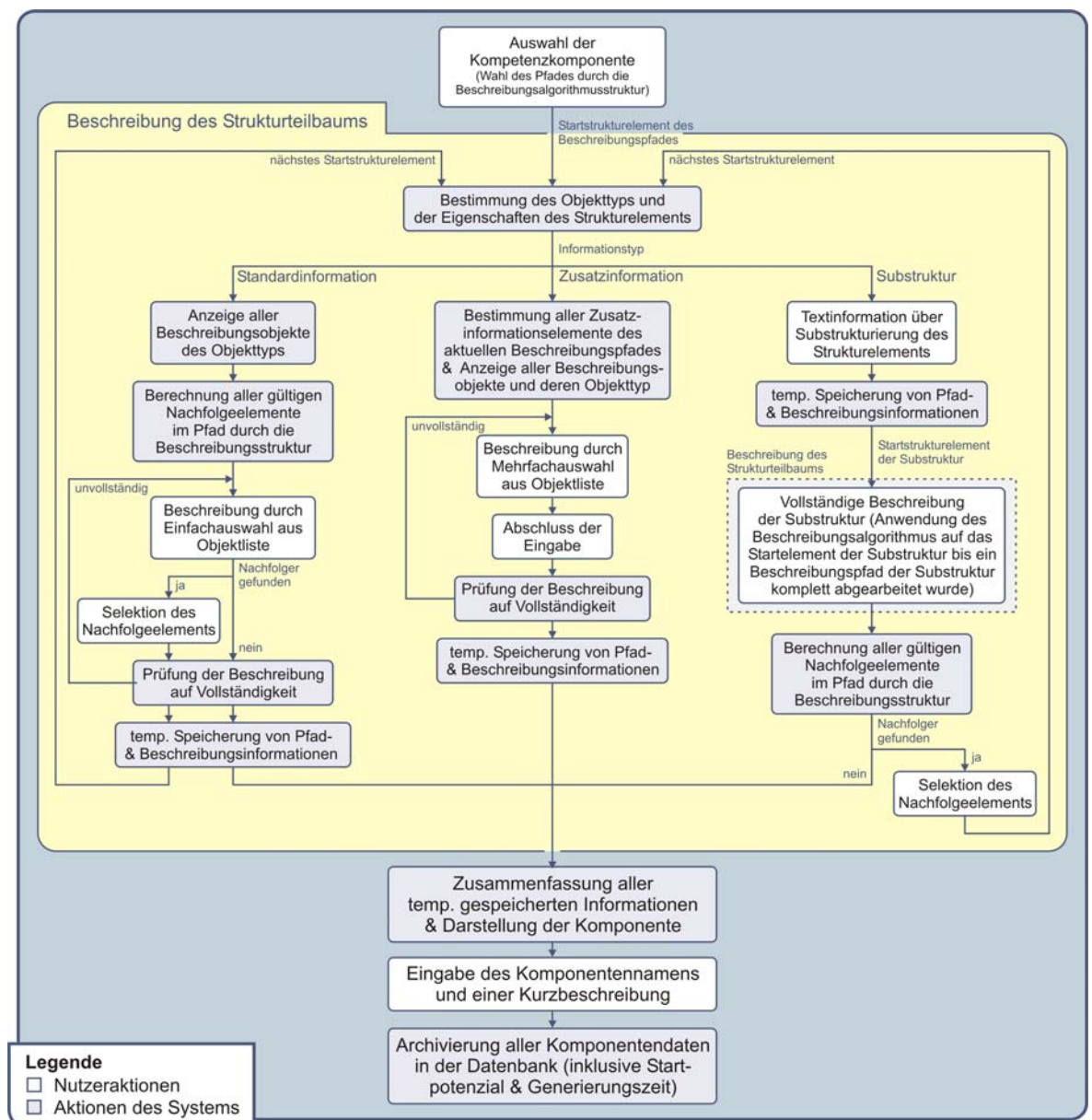


Abb. 57: Ablauf der Beschreibung von Kompetenzkomponenten

Zu jeder Kompetenzzelle können beliebig viele Kompetenzkomponenten beschrieben werden (Abb. 57). Der Beschreibungsvorgang wird in einem speziellen Dialog, in dem Schritt für Schritt die einzelnen Objekte der Komponente zu beschreiben sind, vollzogen (vgl. 4.4.1). Der Nutzer legt den Typ der Komponente während der Beschreibung fest, indem er den Pfad durch den Beschreibungsalgorithmus in jedem Beschreibungsschritt selbst bestimmt. Das System bietet ihm dazu stets alle gültigen Pfadelemente zum Fortfahren der Beschreibung an, d. h. alle Strukturelemente des Algorithmusbaums, die direkte Nachfahren des aktuellen Beschreibungsobjektes sind und so zum Erstellen einer gültigen Kompetenzkomponente führen.

Projektverwaltung

Jede Kompetenzzelle kann eigene Projekte und Teilprojekte anlegen (projektführend) und in Projekte von anderen Kompetenzzellen eingebunden werden (projektunterstützend). Zur einfachen Verwaltung aller Projekte und Teilprojekte wird dieser Teil des Verwaltungssystems zunächst in die Bereiche „Geführte Projekte“ und „Unterstützte Projekte“ aufgeteilt.

Geführte Projekte

In einer Übersicht werden alle Projekte, in denen die Kompetenzzelle projektführend auftritt, mit kurzen Informationen (Name, Statusinformation) aufgelistet und es besteht die Möglichkeit, Projektdaten anzuzeigen bzw. zu bearbeiten. Das Anlegen von Projekten erfordert die Eingabe von folgenden Daten in einem speziellen Dialog:

- Bezeichnung des Projektes,
- Kurzbeschreibung,
- Auftragsnummer des Referenzprojektes, falls das Projekt ein Teilprojekt eines bereits existierenden Projektes ist.

Ein neues Projekt wird angelegt. Gleichzeitig wird dem Projekt eine eindeutige fortlaufende Auftragsnummer zugewiesen (Abb. 58). Neue Teilprojekte werden in einer Folge von Dialogen erzeugt, in denen zunächst allgemeine Angaben zum Teilprojekt (Name, Kurzbeschreibung) gemacht werden. An dieser Stelle ist es auch möglich eine Datei mit detaillierten Informationen zum Teilprojekt an das System zu senden, die später den Auftragnehmern bereitgestellt wird. Nun folgt die Erstellung des Anforderungsvektors für die benötigte Kompetenzkomponente. Der vollständige Vektor wird in der Datenbank gespeichert. Der Nutzer hat nun die Möglichkeit diesen Anforderungsvektor zu testen. Dazu wird eine Suche aller gültigen Kompetenzzellen durchgeführt, d. h. eine Suche nach Kompetenzzellen, die Komponenten enthalten, die dem Anforderungsvektor genügen.

Als Ergebnis dieser Suche wird dem Nutzer die Zahl der gültigen Kompetenzzellen angegeben. Diese Anzahl kann vom Nutzer als Hilfe genutzt werden, um die Qualität seines Anforderungsvektors zu bestimmen. Er hat nun die Möglichkeit den Vektor zu überarbeiten oder, mit dem nächsten Schritt der Projektbeschreibung, den Ablauf fortzusetzen. Nun werden die Rahmenbedingungen für den Ablauf des Teilprojektes festgelegt (vgl. 4.5.3):

- Meldefrist für Angebote,
- Spätester Fertigstellungstermin der Produktentwicklung,
- Produktentwicklungskosten sowie
- Zielkostenvorgabe (Kosten der späteren realen Umsetzung des Teilprojektes).

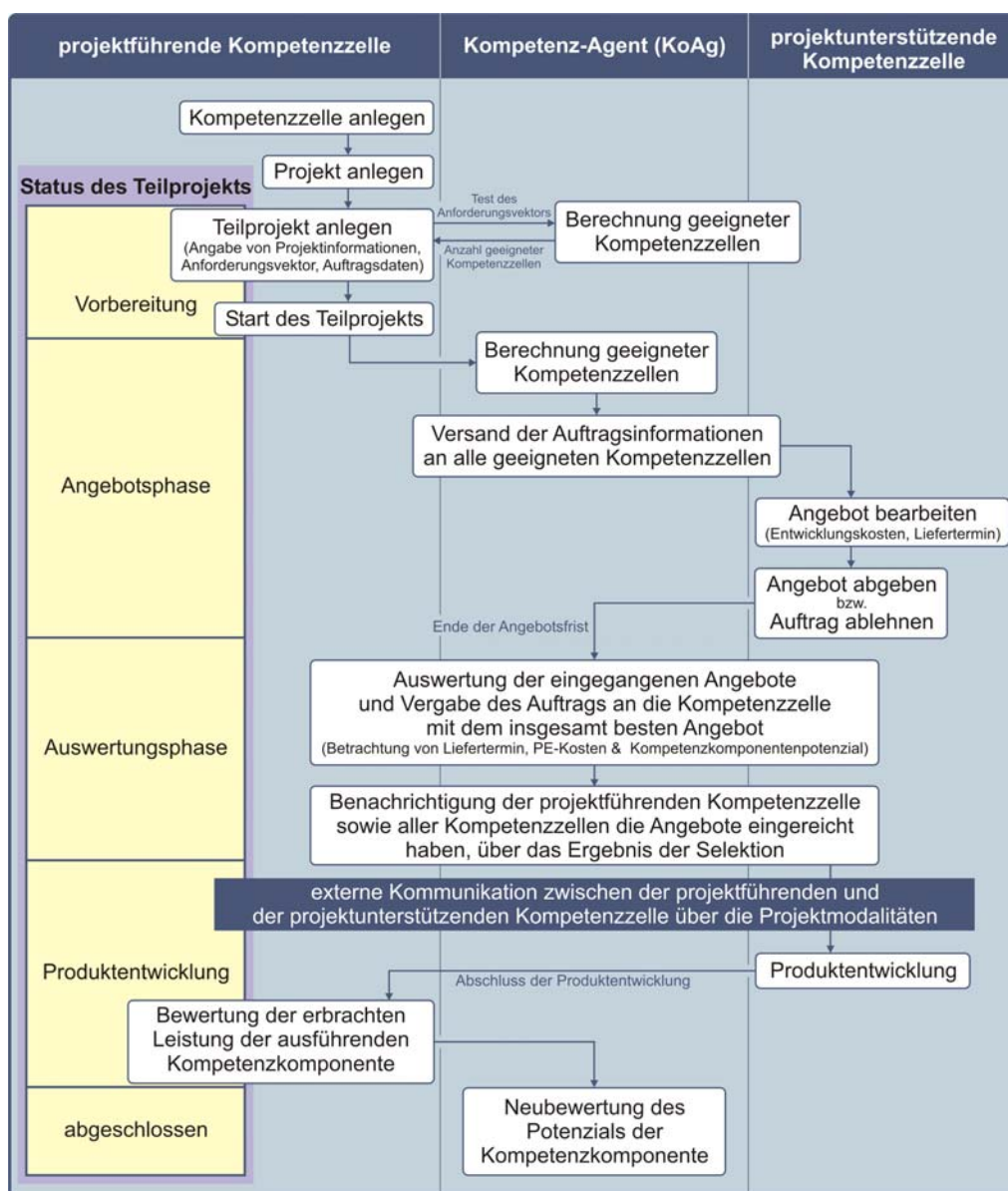


Abb. 58: Struktur des Ablaufs von Projekten im KoAg

Die Beschreibung der Projektanforderung ist somit abgeschlossen und alle Daten werden in der Datenbank gespeichert. Das Teilprojekt erhält den Status ‚1‘ (Vorbereitungsphase) und die angegebenen Daten können weiterhin bearbeitet werden. Das Teilprojekt kann jetzt gestartet werden. Nach dem Start erhält es den Status ‚2‘ (Angebotsphase) und das System übernimmt nun selbständig alle weiteren Schritte zur Ermittlung des besten Projektpartners.

Im ersten Teil der Angebotsphase ermittelt das System aus den Daten des Anforderungsvektors zunächst noch einmal alle Kompetenzzellen, die Komponenten mit den geforderten Eigenschaften besitzen. Jede der ermittelten Kompetenzzellen erhält nun die Möglichkeit ein Angebot zum Teilprojekt zu erstellen. Dazu wird für jede dieser Kompetenzzellen ein leerer Auftrags-Datensatz in der Datenbank angelegt (Status ‚0‘ – undefiniert). Ab diesem Moment existiert in der Projektverwaltung (Kategorie ‚Unterstützte Projekte‘) dieser ausgewählten Kompetenzzellen ein Vermerk zu diesem Teilprojekt, mit der Möglichkeit ein Angebot zu formulieren und abzugeben. Vom System wird zusätzlich noch eine Nachricht an diese Kompetenzzellen verfasst, um diese über die Auswahl zu informieren und auf die Angebotsmöglichkeit für das entsprechende Teilprojekt hinzuweisen.

Nach Ablauf der Meldefrist für Angebote werden alle eingegangenen Angebotsinformationen ausgewertet. Das System befindet sich jetzt in der Auswertungsphase (Status ‚3‘). Kompetenzzellen, die ihr Angebot nicht innerhalb der Frist abgegeben bzw. die Abgabe eines Angebotes abgelehnt haben werden ab sofort nicht weiter berücksichtigt. Ebenso werden die Zellen, deren Angebote die Rahmenbedingungen des Teilprojektes nicht erfüllen, aus der Liste der möglichen Projektpartner entfernt. Aus den verbleibenden Kompetenzzellen wird anhand der Rahmenbedingungen (Kompetenzpotenzial, Kosten, Termin) und unter Berücksichtigung der Kundengewichtung die Kompetenzzelle mit dem besten Angebot hierarchielos ausgewählt. Die am besten anwendbare Kompetenzzelle, erhält vom System eine entsprechende Benachrichtigung. Die projektführende Kompetenzzelle und alle anderen Kompetenzzellen, die an dem Angebotsprozess beteiligt waren, erhalten ebenfalls eine Systemnachricht über das Ergebnis der Selektion. Nachdem Auftraggeber und Auftragnehmer feststehen befindet sich das Teilprojekt, bis zum Abschluss der realisierten Produktentwicklung, in der Phase ‚Produktentwicklung‘ (Status ‚4‘).

Nach Abschluss eines Teilprojektes erfolgt ein entsprechender Vermerk im System. Nun bewertet die projektführende Kompetenzzelle in einem Dialog die erbrachte Leistung der ausführenden Kompetenzzelle. Diese Bewertung wird mit den Teilprojektinformationen in der Datenbank zur Berechnung des nunmehr veränderten Potenzials der entsprechenden Kompetenzkomponente der ausführenden Kompetenzzelle gespeichert. Als Zustand des Teilprojektes wird jetzt ‚abgeschlossen‘ (Status ‚5‘) vermerkt.

Kommunikation zwischen Kompetenzzellen

Eine Nachrichtenübersicht bietet dem Nutzer einen vollständigen Überblick über alle Nachrichten, die an die jeweilige Kompetenzzelle gerichtet sind. Die Form der direkten Kommunikation, d. h. Nachrichten von Kompetenzzelle zu Kompetenzzelle, wird allerdings nur zwischen Zellen zugelassen, wenn beide Kommunikationspartner durch ein Projekt verbunden sind. Die projektführende Kompetenzzelle und deren Projektpartner tauschen Kontaktdaten aus. Erst durch diese Kontaktdaten in den Projektinformationen kann über eine Verknüpfung eine Nachricht zur jeweiligen Kompetenzzelle abgesetzt werden. Da das System frei zugänglich ist, also jeder die Möglichkeit hat, eine oder mehrere Kompetenzzellen anzulegen und somit Zugang zum System zu erhalten, sollte davon abgesehen werden, eine komplette Übersicht aller Kompetenzzellen und der zugehörigen Kontaktdaten anzubieten. So werden im Projektvorfeld auch Absprachen, bspw. die Manipulation von Anforderungsvektoren oder Preisabsprachen, ausgeschlossen. Kommunikation und Kontaktdatenaustausch ist also nur zwischen Projektpartnern oder im Rahmen der Angebotsphase zwischen der projektführenden Kompetenzzelle und potenziellen Kandidaten für eine Zusammenarbeit möglich.

Das System generiert zusätzlich selbstständig Nachrichten, um alle Nutzer auf Änderungen im System hinzuweisen, z. B. strukturellen Veränderungen im Beschreibungsalgorithmus oder Erweiterungen von Objektpools. Außerdem erfolgt die Anzeige der Ergebnisse automatischer Aktionen des Systems, bspw. die Vorauswahl einer Kompetenzzelle für ein Projekt, die Annahme bzw. Ablehnung eines Projektes oder um die projektführende Kompetenzzelle zu informieren welche Kompetenzzelle für ein Teilprojekt ausgewählt wurde. In der Nachrichtenübersicht werden alle Nachrichten, die für die Kompetenzzelle bestimmt sind, in einer Liste für Systemnachrichten chronologisch geordnet und zur Kommunikation dargestellt. Zu jeder Nachricht wird die Funktion angeboten, die volle Nachricht anzuzeigen, dem Verfasser der Nachricht zu antworten bzw. die Nachricht aus der Übersicht zu löschen. Das System bietet jedem Nutzer zudem die Möglichkeit, Textnachrichten an den Administrator des Systems zu verfassen.

Administratorinterface

Der Administrator des KoAg hat im Kompetenzzellenverwaltungsteil Schnittstellen für einen vollständigen Überblick über alle Kompetenzzellen in der Datenbank und deren Informationen. Er hat außerdem sämtliche Rechte, die Kompetenzzellendaten zu verändern und die Möglichkeit Kompetenzzellen Nachrichten zukommen zu lassen. Über alle Änderungen der Daten durch den Administrator werden die jeweils betroffenen Kompetenzzellen automatisch vom System informiert.

Das System überprüft außerdem alle Änderungen durch den Administrator, erkennt Abhängigkeiten unter den Datenbankdaten und behebt bestehende Probleme selbstständig, indem Daten mit fehlenden Bezugsobjekten gelöscht werden. Auch zu diesen Änderungen werden automatisch Systemnachrichten an die entsprechenden Kompetenzzellen verfasst.

Der Administrator verwaltet den gesamten Beschreibungsalgorithmus, wie Objekttypen, Beschreibungsstrukturen und Beschreibungsobjektpools. Um den Algorithmus zu verändern, stehen ihm Funktionen zum Erstellen von Objekttypen und zugehörigen Beschreibungsobjekten bzw. Substrukturen zur Verfügung. Außerdem ist es ihm möglich die Struktur des „Algorithmusbaumes“ zu bearbeiten, indem er Strukturknoten in den Algorithmusbaum einfügen und diese auch bearbeiten und löschen kann. Auf Grund des Umfangs und der Zielsetzung der Arbeit soll an dieser Stelle auf weitere Beschreibungen der Funktionalitäten des KoAg verzichtet werden.

6.2 Dienstleistung der Produktentwicklung am Beispiel einer Motorspindel

Das kompetenzzellenbasierte Vorgehen wird für den Neuauftrag einer mechatronischen Baugruppe Motorspindel, näher betrachtet. Ausgangspunkt ist hierfür der Kundenwunsch, welcher über ein, dem Kunden bereitgestelltes Kundenkontaktformular näher spezifiziert und dem Kompetenznetz bereitgestellt wird. Hierbei werden mittels der Methode des Quality Function Deployment (QFD) abstrakte Formulierungen in konkrete Produkthanforderungen transformiert. Diese Anforderungen finden in Form des Lastenhefts Eingang in das Start-Up zur Produktentwicklung.

Am Start-Up sind Kompetenzzellen der Produktentwicklung (PE, VR), der Arbeitsplanung (APL) und des Qualitätsmanagements (QM) beteiligt. Diese Kompetenzzellen werden auf Basis von Anforderungsvektoren (Tab. 12) hierarchielos im KoAg ausgewählt. Ergebnis des Start-Up sind zum einen das ausgearbeitete Pflichtenheft, die Festlegung der Konstruktionsart (Anpassungskonstruktion) sowie der Anforderungsvektor für eine projektführende, generierende Produktentwicklungskompetenzzelle. Weiterhin wird durch die Beteiligten des Start-Up festgelegt, dass innerhalb des Entwurfes der Lagerstellen, aufgrund bestehender Defizite bereits realisierter Motorspindelkonstruktionen, eine prozessorientierte Kompetenzzelle (PE/QM-KPZ) innerhalb der Produktentwicklung zum Einsatz kommt. Für die Baugruppe Motorspindel wird als dominierender Prozess das Fachgebiet Maschinenbau identifiziert.

In der Entwurfsphase erfolgt die Gliederung der Entwicklung in realisierbare Module. Der Antrieb wird dem Fachgebiet Elektrotechnik zugeordnet und somit eine Produktentwicklungskompetenzzelle Elektrotechnik im KoAg hierarchielos ausgewählt. Das Ergebnis des Teilprojektes, die entwickelte Rotor-/Statoreinheit, wird als digitaler Prototyp in den Entwurf der projektführenden Kompetenzzelle eingebunden. Innerhalb des übergeordneten Prozesses mechanische Produktentwicklung bezieht die generierende Zelle, bei Defiziten bzw. bei erkennbaren Optimierungspotenzialen, bedarfsgerecht projektunterstützende Kompetenzzellen (z. B. für FEM- und Montagesimulationen) in die Entwicklung ein und initiiert somit deren Suche und hierarchielose Auswahl im Kompetenz-Agenten. Als projektunterstützende Kompetenzzellen kommen methoden-, aktivitäts- sowie produktspezifische Kompetenzzellen in der Produktentwicklung zum Einsatz (Abb. 59).

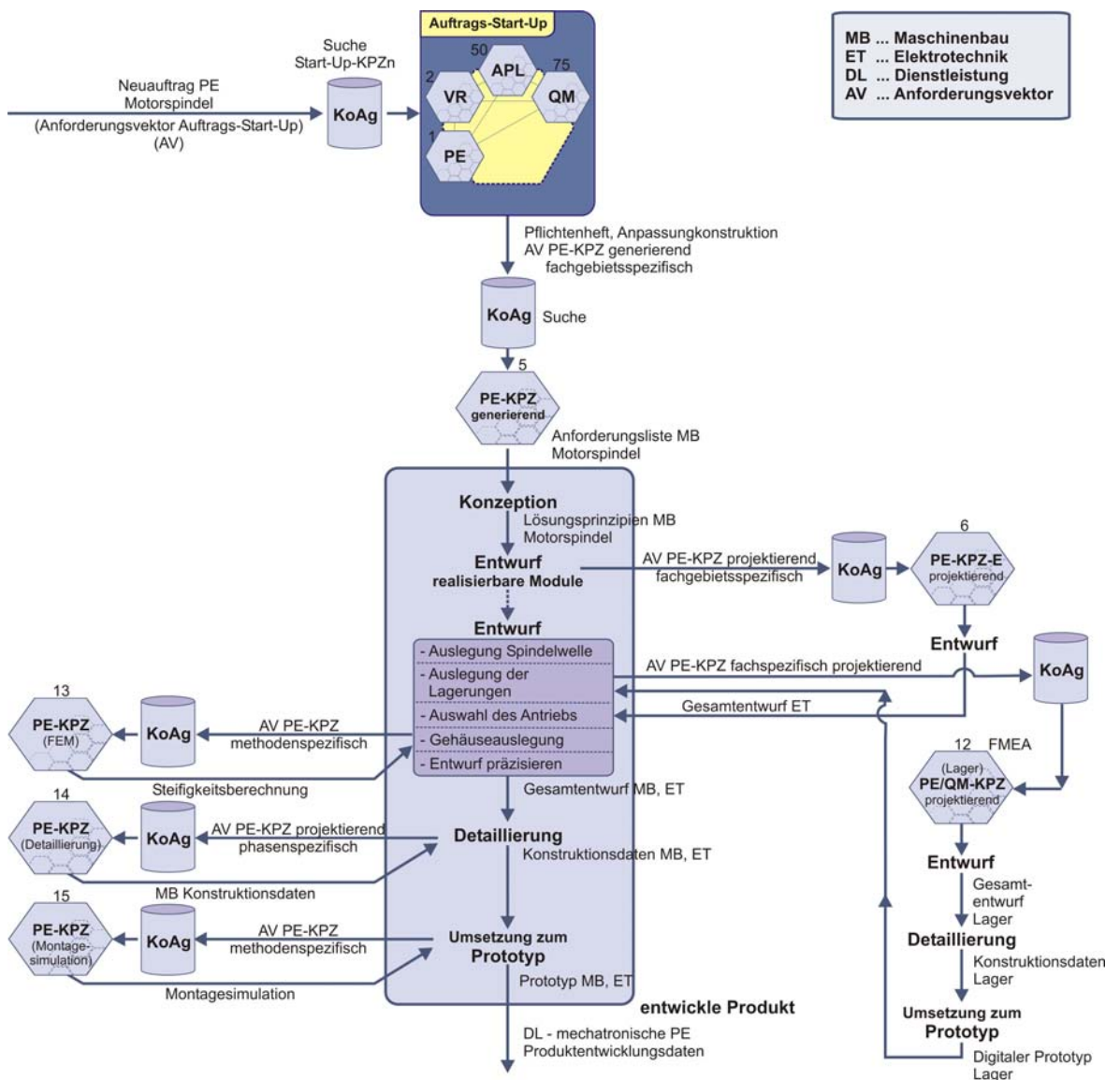


Abb. 59: Kompetenzzellenbasierte Produktentwicklung am Beispiel der Motorspindel

Ergebnis des Produktentwicklungsprozesses ist die realisierte Engineering-Dienstleistung der mechatronischen Produktentwicklung der Baugruppe Motorspindel, einschließlich der Produktentwicklungsdaten (Zeichnungen, Stücklisten, ...). Basierend auf diesen Daten wird ein Anforderungsvektor zur Suche einer geeigneten Arbeitsplanungskompetenzzelle zur weiteren Wertschöpfung im Produktionsnetz erstellt und diese Kompetenzzelle hierarchielos ausgewählt. Die entsprechenden Auftragsdaten werden zur Weiterbearbeitung des Auftrages innerhalb des Produktionsnetzes an nachfolgende Kompetenzzellen weitergeleitet.

6.3 Dienstleistung der Produktentwicklung am Beispiel einer Sonderschleifmaschine

Im zweiten Abschnitt der Validierung der Ergebnisse und der erwiesenen Eignung des kompetenzzellenbasierten Vorgehens für die Produktentwicklung einer mechatronischen Baugruppe, wird der Nachweis anhand eines komplexen mechatronischen Produktes, einer Sonderschleifmaschine erbracht. Somit wird dem Anspruch der Arbeit, der Betrachtung komplexer mechatronischer Produkte der Einzel- und Kleinserienfertigung, Rechnung getragen.

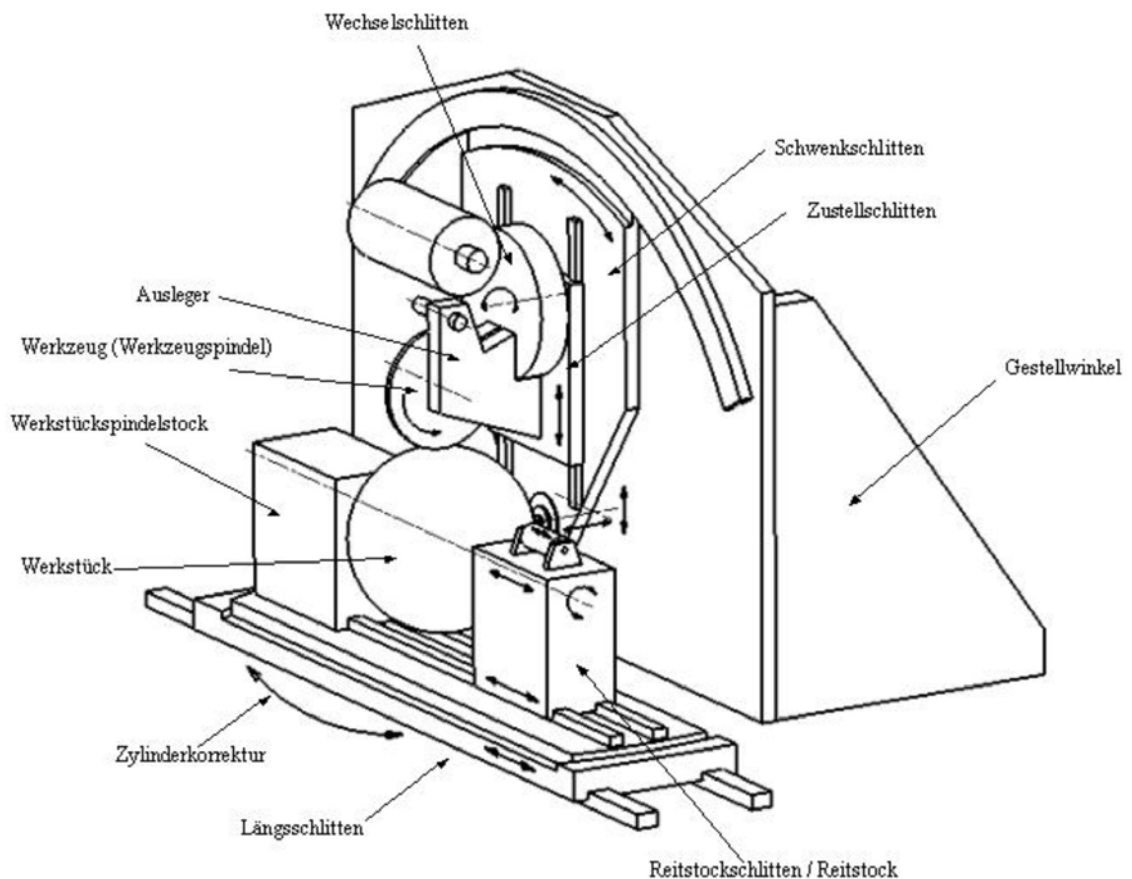


Abb. 60: Sonderschleifmaschine

Vorarbeiten hinsichtlich der Betrachtung wurden hierzu im Rahmen einer Diplomarbeit unter dem Titel „Kompetenzzellenbasierte Produktentwicklung am Beispiel einer Werkzeugmaschine“ geleistet /RENG-06/. Die reale Produktentwicklung (Entwicklung im KMU) wurde dabei wissenschaftlich analysiert und auf Basis des Partialmodells der Produktentwicklung (vgl. 4.3) in nicht mehr sinnvoll teilbare Kompetenzzellenkomponenten zerlegt. Somit war es möglich, die allgemeinen Informationen zum Produkt, Informationen zu beteiligten Entwicklungspartnern, den gestellten Kompetenzanforderungen, den zeitlichen Rahmenbedingungen und den benötigten personellen und nichtpersonellen Ressourcen gezielt zu erfassen. Anhand der Betrachtung der Kontaktinformationen können Aussagen zur kooperativen Zusammenarbeit, einschließlich benötigter nichtpersoneller Ressourcen (PE-Hardware) sowie zur Unterstützung bzw. zum Einsatz von spezifischen Produktentwicklungsmethoden (Verteilte Engineeringstrategien) abgeleitet werden.

Zielstellung der Produktentwicklung der Sondermaschine sind die konstruktive Umsetzung des Entwurfs und somit detaillierungsfähige Zusammenbauzeichnungen der Baugruppen. Zur Anwendung der kompetenzzellenbasierten Vernetzungstheorie werden die Vorgehensweise der konstruktiven Umsetzung im Unternehmen, d. h. die Reihenfolge bzw. der Inhalt der durchgeführten Aktivitäten, unverändert übernommen. Es werden lediglich die speziell für die kompetenzzellenbasierte Produktentwicklung erforderlichen Aktivitäten (bspw. das Auftrags-Start-Up) integriert.

Weiterhin wird die Annahme getroffen, dass die notwendigen Produktentwicklungsaktivitäten den gleichen Zeitumfang in Anspruch nehmen. Auf Grund der optimierten hierarchielosen Auswahl der Kompetenzzellen im Kompetenz-Agenten kann aber davon ausgegangen werden, dass diese Annahme in einem realen Vergleich des konstruktiven Vorgehens so nicht zutreffend ist. Der Nachweis kann derzeit nicht erbracht werden, da (noch) keine Kompetenzzellen real in regionalen Netzen existieren.

Die Produktentwicklung in hierarchielosen regionalen Produktionsnetzen erfordert zwingend eine Kooperationsfähigkeit der beteiligten Kompetenzzellen. Durch die frühe Einbindung kooperierender Kompetenzzellen in den Produktentwicklungsprozess müssen die Tätigkeiten abgestimmt und speziell in den beteiligten Fachgebieten parallel verlaufen. Aufgrund der Komplexität der Sondermaschine werden die Produktentwicklungsstrategien des Simultaneous und Systems Engineering als Kompetenzkomponenten in die Produktentwicklung integriert. Somit ist die Interdisziplinarität durch das Zusammenspiel der Fachgebiete Maschinenbau, Elektrotechnik und Informationstechnik gegeben. Das Systems Engineering dient als unterstützendes Controllinginstrument für das Gesamtprojekt sowie für komplexe interdisziplinäre Baugruppen.

Ausgangspunkt zur erfolgreichen Umsetzung im Kompetenz- und Produktionsnetz ist das Auftrags-Start-Up zur Produktentwicklung. Aufgrund der Komplexität der Maschine werden funktionsorientierte Kompetenzzellen der Fachgebiete Maschinenbau, Elektrotechnik und Informationstechnik sowie Kompetenzzellen des Qualitätsmanagement, des Marketing/Vertrieb und der Arbeitsplanung darin eingebunden. Eine Kompetenzzelle des Maschinenbaus, welche auf Schleifmaschinen spezialisiert ist und Kenntnisse in Bezug auf die Entwicklung kundenspezifischer Sondermaschinen besitzt, koordiniert die Aktivitäten im Start-Up. Ergebnis des Start-Up sind das erstellte Pflichtenheft, die Baugruppengrobstruktur (Abb. 61) und der Anforderungsvektor zur Suche der projektführenden Kompetenzzelle. Der Anforderungsvektor der projektführenden Kompetenzzelle beinhaltet die Kompetenzkomponenten, die für die Projektführung der Sonderschleifmaschine benötigt werden (Anl.10, PE-KPZ-MB 110).

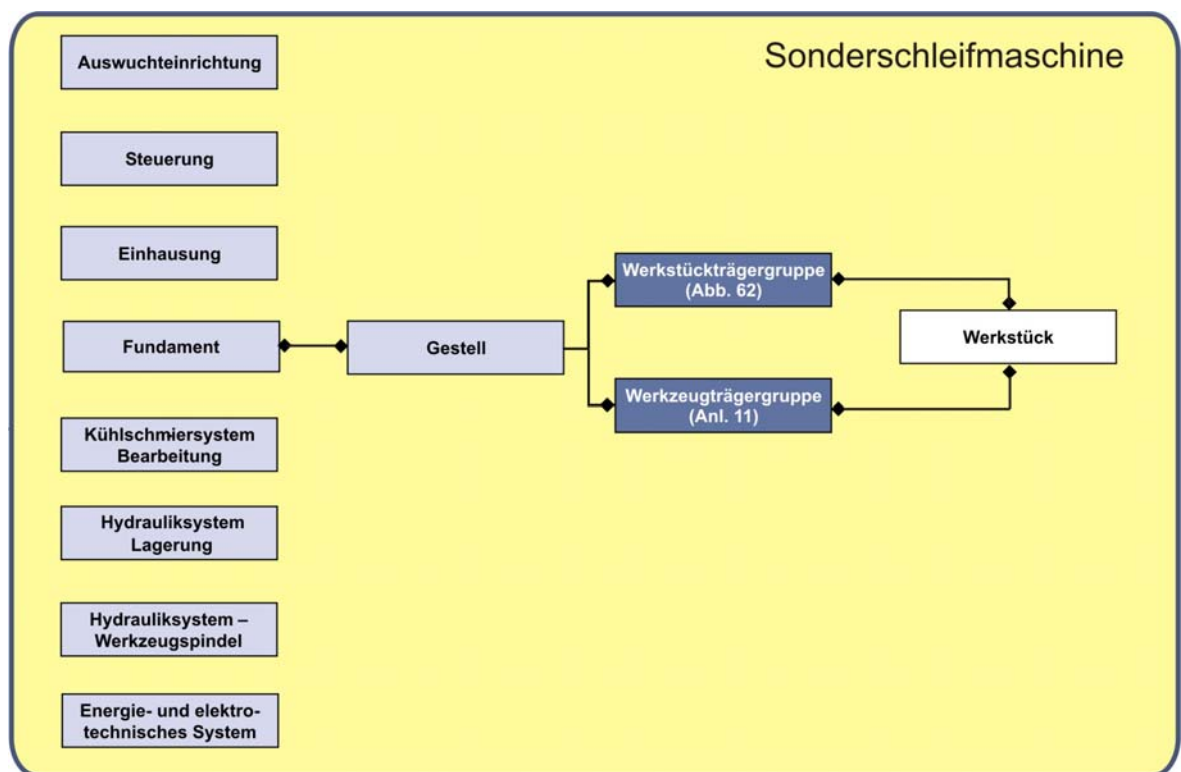


Abb. 61: Baugruppenstruktur Sonderschleifmaschine

Die Produktentwicklungsphasen der Planung und Konzeption werden durch die projektführende Kompetenzzelle ohne Kooperation mit weiteren Kompetenzzellen realisiert und das Maschinenkonzept erstellt. Daraus werden Baugruppenstrukturen, bspw. der Werkstück- (Abb. 62) und Werkzeugträgerbaugruppe (Anl. 11) abgeleitet. Zu diesem Zeitpunkt wird die Festlegung getroffen, welche Projekte in Bezug auf die Sondermaschine als Eigenentwicklung durch die projektführende Kompetenzzelle, und welche Baugruppen durch projektunterstützende Kompetenzzellen entwickelt werden.

Durch die Gliederung der Struktur der Sonderschleifmaschine in die realisierbaren Module werden die Fachgebiete Elektro- und Informationstechnik in die Produktentwicklung eingebunden (Abb. 63). Für jede Baugruppe existiert eine entsprechende Anforderungsliste. Daraus können Anforderungsvektoren abgeleitet und auf diesen basierend die geeigneten Produktentwicklungskompetenzzellen im Kompetenz-Agenten gesucht werden. Diese Kompetenzzellen erstellen entsprechende Angebote zur Realisierung. Im Anschluss daran wird die am besten anwendbare Kompetenzzelle automatisiert und optimiert, auf Basis der technischen (Kompetenzpotenzial) und betriebswirtschaftlichen (PE-Kosten, Termin) Kriterien ausgewählt.

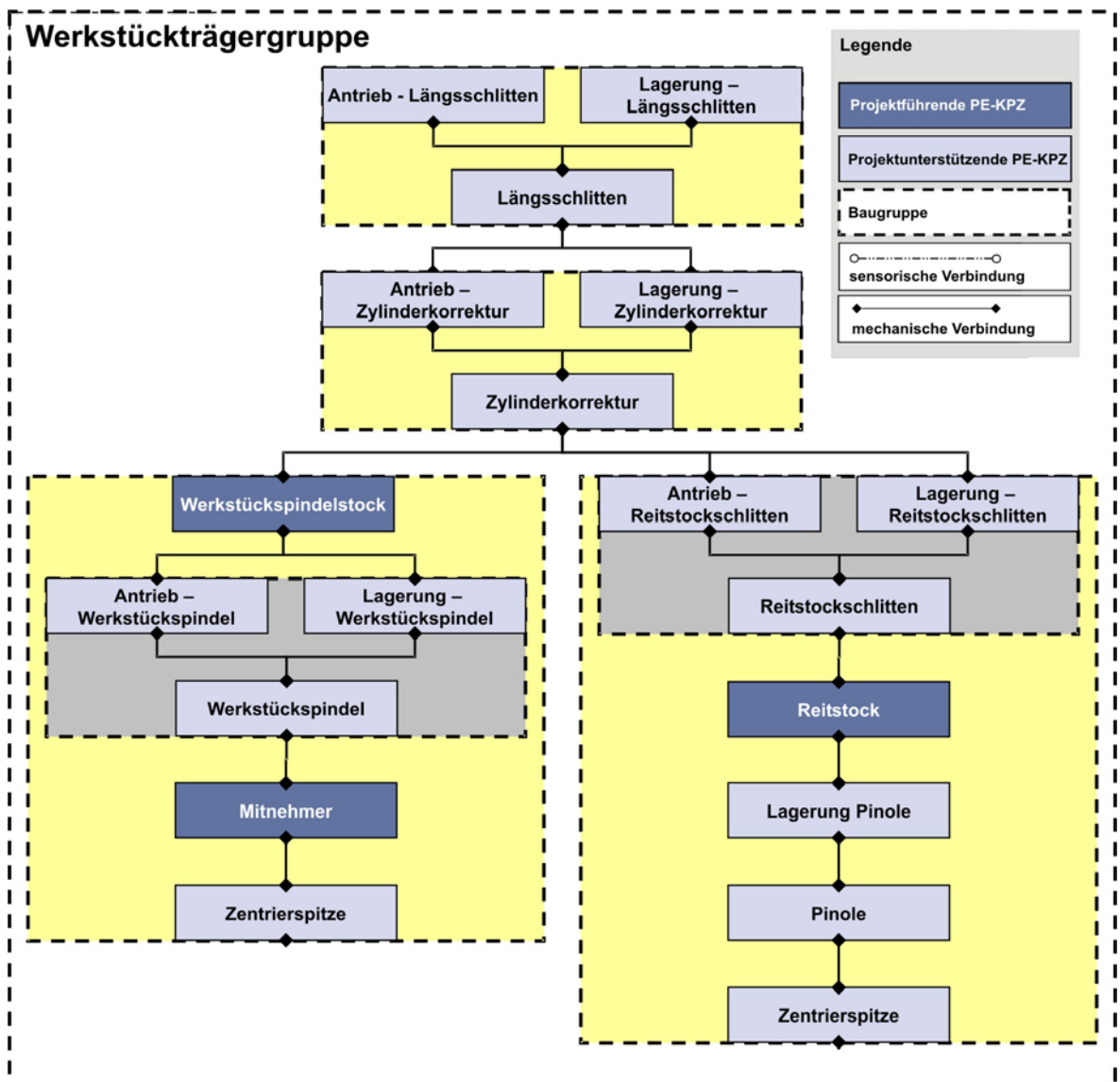


Abb. 62: Baugruppen Werkstückträgergruppe

Im dargestellten Prozess ist beispielhaft für die Hauptbaugruppe Gestell dargestellt (Abb. 63), wie sich der Produktentwicklungsprozess in weitere Teilprojekte verzweigt. Die Produktentwicklungskompetenzzelle (PE-KPZ-MB 111) fungiert, in Bezug auf das Gesamtprojekt der Sonderschleifmaschine, als projektunterstützende Kompetenzzelle. Durch diese Kompetenzzelle wird eine Anpassungskonstruktion mit dem Produktentwicklungsziel der Erstellung eines digitalen Prototyps Maschinengestell realisiert.

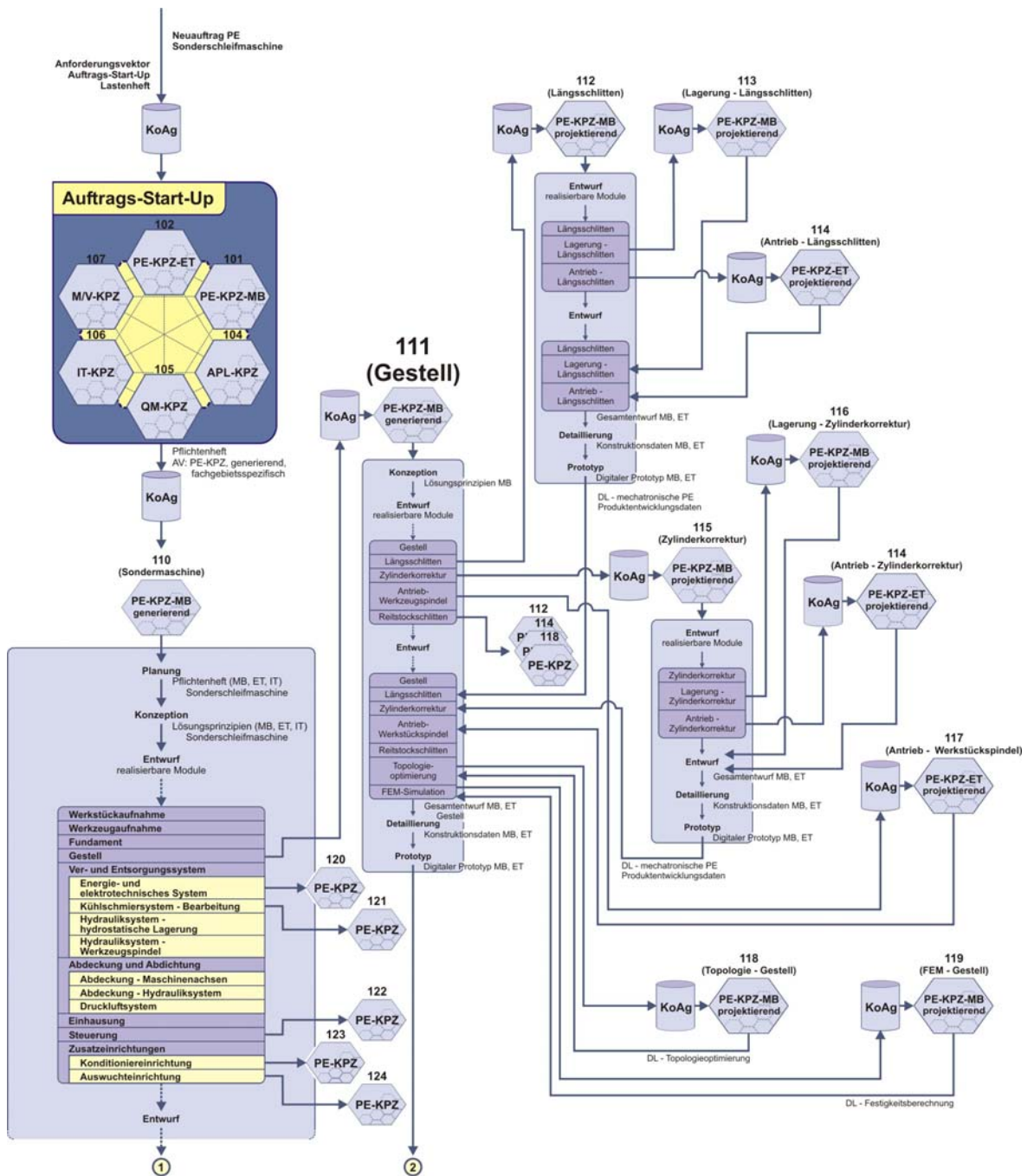


Abb. 63: Kompetenzzellenbasierte Produktentwicklung – Sonderschleifmaschine (Teil 1)

Für das Teilprojekt Gestell agiert diese Kompetenzzelle projektführend. Durch die PE-KPZ-MB 111 werden weitere Anforderungsvektoren zur Suche und hierarchielosen Auswahl von projektunterstützenden Kompetenzzellen erstellt und mit diesen gemeinsam die Produktentwicklung der Baugruppe Gestell der Sondermaschine realisiert. Aufgrund der Komplexität der Sondermaschine werden die Baugruppen Energie- und Elektrotechnisches System, Kühlschmiersystem Bearbeitung, die Steuerung, die Konditioniereinrichtung und die Auswuchteinrichtung ebenfalls in Teilprojekten, parallel zu den Tätigkeiten der projektführenden Kompetenzzelle entwickelt. Am kompetenzzellenbasierten Produktentwicklungsprozess sind insgesamt 28 Produktentwicklungskompetenzzellen beteiligt. Innerhalb des Prozesses wurde infolge der Neuheit des Produktes (neues Maschinenkonzept) meist generierend vorgegangen, da keine vergleichbaren Projekte bzw. Konstruktionsdaten zur Verfügung standen.

Die projektierende Vorgehensweise kam bspw. für die Entwicklung der Antriebseinheiten, der Sensoren sowie der Zentrierspitzen zur Anwendung. Hierfür konnte auf Entwürfe bzw. Entwicklungen in ähnlichen Projekten zurückgegriffen werden. Weiterhin kamen methodenspezifische projektunterstützende Kompetenzzellen zur Topologieoptimierung, FEM- und Mehrkörpersimulation zum Einsatz. Aufgrund des hohen Spezialisierungsgrades dieser Kompetenzzellen ist ein qualitativ höherwertiges Ergebnis bezüglich der Produktentwicklung zu erwarten (Abb. 64).

Im Vergleich zu der konventionellen Produktentwicklung kommt es kaum zu Änderungen der Arbeitsaufgabe sondern vorwiegend zu Änderungen im Arbeitsstil. Innerhalb der Entwicklung einer Sondermaschine arbeitet der Konstrukteur einzeln oder mit wenigen Partnern im Team. Im kompetenzzellenbasierten Produktentwicklungsprozess erhöht sich der Koordinations- und Kommunikationsaufwand erheblich. In dem dargestellten Produktentwicklungsprozess arbeiten die projektführende Kompetenzzelle PE-KPZ-MB 110, die projektunterstützenden Kompetenzzellen Gestell (PE-KPZ-MB 111), Werkstückspindel (PE-KPZ-MB 125) und hydrostatische Lagerungen ((PE-KPZ-MB 126/131) mit der gleichen CAD-Software. Zwischen diesen Kompetenzzellen erfolgt ein permanenter Datenaustausch.

Die hierarchielose Auswahl der gesuchten Kompetenzzellen gewährleistet für die Entwicklungsaufgabe immer die Einbeziehung des optimalen Partners (Kompetenzzelle), unabhängig davon, ob es sich um einen terminlichen, finanziellen oder kompetenzpotenzialorientierten Vorteil handelt. Durch die Synergieeffekte in der Zusammenarbeit der Kompetenzzellen wird die Entwicklung neuer innovativer Produkte beschleunigt. Dies resultiert daraus, dass jede Kompetenzzelle versucht, ihr spezifisches Kompetenzprofil zu optimieren.

Durch das Start-Up zur Produktentwicklung wird bereits vor dem eigentlichen Produktentwicklungsprozess eine interdisziplinäre Zusammenarbeit gewährleistet. Bereits in den frühen Phasen der Produktentwicklung werden Teilprojekte an andere Kompetenzzellen weitergeleitet und die parallele termingerechte Produktentwicklung sichergestellt (vgl. 5.1.3).

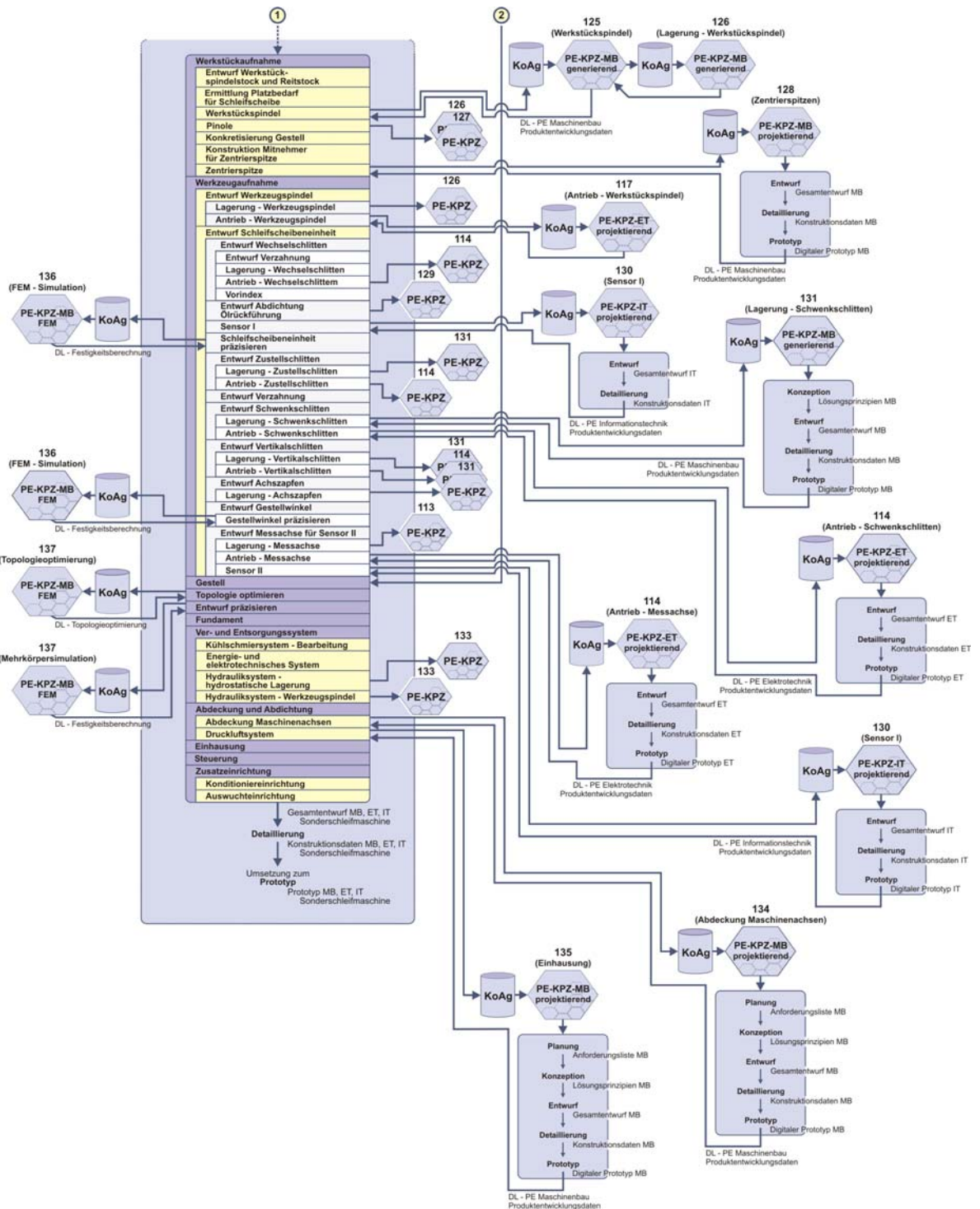


Abb. 64: Kompetenzzellenbasierte Produktentwicklung – Sonderschleifmaschine (Teil 2)

Die für die Sondermaschine angewendeten Anforderungsvektoren (Bsp. Anl. 10) basieren aus den Anforderungen an die jeweiligen Baugruppen. Es kann festgestellt werden, dass innerhalb des Kompetenz-Agenten die komplette Beschreibung der Kompetenzzellen mit ihren Kompetenzkomponenten ohne Einschränkung möglich ist. Die Suche und hierarchielose Auswahl von Kompetenzzellen konnte durchgängig umgesetzt werden.

Die Tatsache, dass für alle Kompetenzzellen Anforderungsvektoren erstellt werden konnten, bestätigt die inhaltliche Richtigkeit des Partialmodells der Produktentwicklung und der darin implementierten Modelle (Geschäftsobjekt, Aktivität, Methode, nichtpersonelle Ressource). Im Umfang dieser Arbeit, mit den Beispielen der mechatronischen Produkte Motorspindel und Sonderschleifmaschine, wurden bei weitem nicht alle Beschreibungsmöglichkeiten des Partialmodells und Funktionalitäten des Kompetenz-Agenten genutzt. Die Beispiele dienen zur Verifizierung des kompetenzzellenbasierten Vernetzungsansatzes und dem Nachweis der Richtigkeit der Zielsetzung der Forschung. Die Übertragung des Entwicklungsprozesses der Sondermaschine auf einen kompetenzzellenbasierten Produktentwicklungsprozess bestätigt dessen Umsetzbarkeit. Es lässt sich die Schlussfolgerung treffen, wenn eine kompetenzzellenbasierte Produktentwicklung für einen speziellen Fall (Sondermaschine) möglich ist, kann dies auch für mechatronische Produkte des Werkzeugmaschinenbaus verallgemeinert werden.

7 Bewertung des Forschungsansatzes

7.1 Einordnung der Forschungsergebnisse

In diesem Kapitel wird gezeigt, wie sich die Ergebnisse in die Forschung der kompetenzzellenbasierten Wertschöpfung einordnen, welche Vorteile, aber auch eventuelle Defizite und Risiken dieser Forschungsansatz enthält. Im zweiten Abschnitt erfolgen eine Bewertung der Zielsetzung der Arbeit und die Betrachtung der Ergebnisse in Bezug auf deren Anforderungserfüllung.

Abb. 65 zeigt die Einbindung der Ergebnisse dieser Arbeit, der entwickelten Instrumentarien, Werkzeuge und Methoden, der kompetenzzellenbasierten Engineering-Dienstleistung der mechatronischen Produktentwicklung, in den Forschungsansatz des hierarchielosen regionalen Produktionsnetzes. Mittels der entwickelten Beschreibungsalgorithmen für Kompetenzzellen (Kompetenzkomponenten) können Produktentwicklungskompetenzzellen sowohl aus dem regionalen Netz in der Phase der Kompetenznetzbildung, aber auch auf Kompetenznetzebene im Kompetenznetzbetrieb, generiert werden.

Durch das Instrumentarium des Start-Up zur Produktentwicklung, als Schnittstelle zwischen Kunden und/oder Marketing-/Vertriebskompetenzzellen, ist eine gezielte zeitnahe Angebotserstellung innerhalb der Kompetenzzellenkooperation möglich. Die interdisziplinäre Zusammenarbeit in der Phase der Produktionsnetzbildung dient zum einen der Aufbereitung des Kundenwunsches zur technischen Umsetzung in der Produktentwicklung einschließlich der Erstellung des Produktentwicklungsworkflows und zum anderen der Erstellung von Anforderungsvektoren zur Suche der am besten anwendbaren Produktentwicklungskompetenzzelle im Kompetenz-Agenten.

Die vielfältigen im Kompetenz-Agenten implementierten Funktionalitäten, bspw. der Beschreibung und Suche von Kompetenzzellen sowie die gezielte Kompetenzpotenzialentwicklung zeigen neue Wege auf, wie durch eine hierarchielose(-arme) Kooperation von Kompetenzzellen kunden- bzw. initialentwicklungsspezifische Produkte in naher Zukunft erfolgreich entwickelt werden können. Der Kompetenz-Agent bildet die softwaretechnische Basis, die Vision hierarchieloser Produktionsnetze in die Praxis umzusetzen und das Zusammenwirken von Produktentwicklungskompetenzzellen im Kompetenz- und Produktionsnetz unterstützend zu ermöglichen.

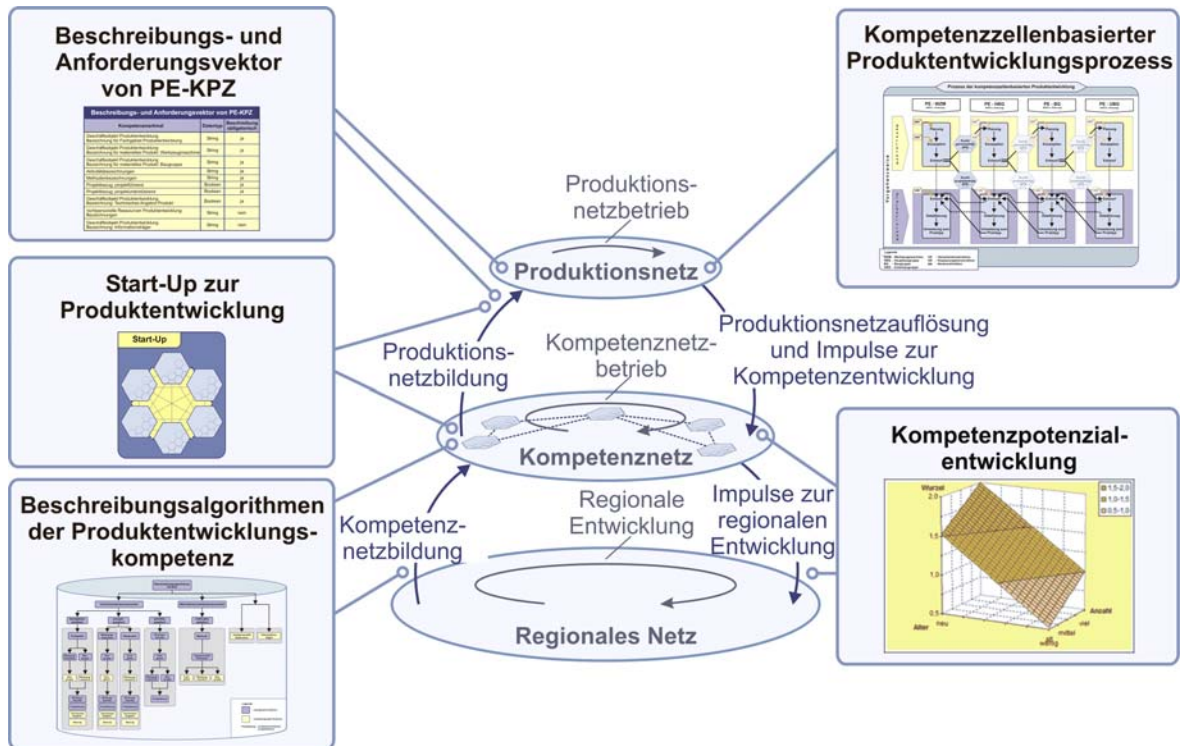


Abb. 65: Einordnung der Ergebnisse

Der modellierte kompetenzzellenbasierte Produktentwicklungsprozess gewährleistet zum einen ein strukturiertes Vorgehen, aber zum anderen Entscheidungsfreiheit und Eigenständigkeit der Kompetenzzelle im Konstruktionsprozess. Ein definiertes Vorgehen zur Normung, Gestaltung und zum Aufbau des kooperativen Planungs- und Entwicklungsprozesses ist somit möglich. Kundenprämissen, wie Kompetenz, Qualität, Kosten und Zeit werden durchgängig in der Wertschöpfung berücksichtigt. Der generelle Einsatz der Zielkostenkonstruktion ist hierbei ein wichtiges Kriterium. Durch die klare Struktur des Vorgehens wird die Komplexität der Produktentwicklung mechatronischer Produkte reduziert und ein dezentrales Vorgehen innerhalb parallel laufender Prozesse unterstützt.

Die Kompetenzpotenzialentwicklung dient der Weiterentwicklung der Kompetenzzelle im Kompetenznetz, und um dem regionalen Netz Impulse zur Kompetenzentwicklung zu geben. Kompetenzprofile zeigen anhand des Potenzialwerts deutlich die Stärken und Schwächen der jeweiligen Organisationseinheit. Das gezielte An- und Auslagern von Kompetenzkomponenten durch Entwicklungs- und Adaptionstrategien gewährleistet die Weiterentwicklung der Kompetenzzelle und ihrer spezifischen Kernkompetenzen.

Zusammengefasst sind die Vorteile des Forschungsansatzes:

- die klare Struktur des Vorgehens im Produktentwicklungsprozess,

- die Entscheidungsfreiheit des Entwicklers bleibt bestehen,
- die klaren Bewertungsregeln,
- die hierarchielose Auswahl, fördert das Vertrauen in die Kompetenznetzkooperation,
- durchgängige Berücksichtigung der Kundenprämissen im Auswahlprozess,
- der Einsatz der methodischen Zielkostenkonstruktion zur Kostenkontrolle,
- die bedarfsgerechte Konstruktion,
- hochwertige, innovative Produktentwicklungen (Kompetenzgewichtung 100%),
- der wissenschaftliche Ansatz der Kompetenzbeschreibung und Bewertung ist sowohl für Kompetenzzellen als auch für andere Organisationseinheiten bspw. Unternehmen/ Unternehmensbereiche anwendbar sowie
- die Förderung der Mitarbeiter(Kompetenz-) entwicklung.

Die kompetenzzellenbasierte Vernetzungstheorie geht davon aus, dass Kompetenzzellen kleinste, autonom handlungs- und lebensfähige Wertschöpfungseinheiten sind. Dabei werden die bekannten Betriebsstrukturen der Unternehmen in Frage gestellt. Somit wäre es denkbar, renommierte Unternehmen der Region wie bspw. StarragHeckert GmbH, NILES-SIMMONS Industrieanlagen GmbH oder Mikromat GmbH in Kompetenzzellen zu transformieren. Dadurch wäre aber nicht mehr gewährleistet, dass Kompetenzzellen eines Unternehmens weiterhin zusammenarbeiten. Dies könnte sowohl einen Know-how-Gewinn als auch einen Know-how-Verlust nach sich ziehen. Wichtig ist hierbei, die bisherigen Qualitätsstandards in der Produktion von Werkzeugmaschinen beizubehalten. Ein Qualitätsverlust wäre katastrophal und würde in gleicher Weise den Verlust von Aufträgen zur Folge haben. Ein erster Schritt wäre also, freie Entwicklungskapazitäten des Unternehmens dem Kompetenznetz als Kompetenzzelle zur Verfügung zu stellen. Ein Know-how-Gewinn wäre somit gesichert und es könnten neue innovative Werkzeugmaschinen entwickelt werden. In der Praxis ist jedoch die Frage zu stellen, ob die Kompetenzzellen dann dem Netz immer zur Verfügung stehen oder ob sie in einen terminlichen Zwiespalt (Unternehmensaufträge versus Kompetenznetzaufträge) geraten und sich der Unternehmenshierarchie beugen müssen.

Weitere Risiken des Forschungsansatzes sind eine unter Umständen verlängerte Produktentwicklungszeit, die Redundanz der Datenhaltung, die Schnittstellenvielfalt im Datenaustausch, die zeitnahe Angebotserstellung und –aufbereitung für den Kunden, die Produkthaftung und das Controlling bzw. Störungsmanagement des hierarchielosen Netzes.

Einer Verlängerung der Produktentwicklungszeit, durch die erhöhte Anzahl der beteiligten Entwicklungspartner, wirkt die hierarchielose Auswahl der Kompetenzzellen aufgrund betriebswirtschaftlicher und technischer Kriterien entgegen. So kann beispielsweise die Einbeziehung einer Kompetenzzelle mit einem hohen Kompetenzpotenzial bewirken, dass diese die Produktentwicklung aufgrund ihrer Erfahrung in kürzester Zeit realisiert. Weiterhin positiv wirkt sich innerhalb der Kooperation die projektierende Vorgehensweise aus, d. h. die Nutzung von Entwürfen, Konstruktionsunterlagen aus einer Vielzahl von Projekten im Kompetenznetz.

Die Redundanz der Datenhaltung und die Minimierung der Anzahl der Schnittstellen muss durch die Implementierung bzw. Weiterentwicklung von bereits verfügbaren EDM/PDM-Systemen an die Bedürfnisse des Kompetenz- und Produktionsnetzes angepasst werden. Betrachtungen hierzu und die wissenschaftliche Untersuchung der Erstellung von technischen Angeboten in Kompetenznetzen, kann eine Zielsetzung künftiger Forschungsarbeiten sein. Diese sind an die Bedürfnisse der hierarchielosen Wertschöpfung anzupassen. Fragen der Produkthaftung, der Gewährleistungs- und Garantieansprüche sowie das Controlling und Störungsmanagement werden durch Forschergruppen der Chemnitzer Kompetenzforschung wissenschaftlich untersucht. Die Ergebnisse sind auf ihre Eignung und Anwendbarkeit in der kompetenzzellenbasierten Produktentwicklung zu prüfen.

7.2 Bewertung und Betrachtungen zur Zielsetzung der Arbeit

Die kompetenzzellenbasierte Produktentwicklung unterstützt durchgängig eine interdisziplinäre Produktbeschreibung und die Methodik erfüllt die definierten Anforderungen des Kapitels 1.2 dieser Arbeit. Eine vertiefte Beurteilung bzw. der Praktikabilitätsnachweis wäre in weiter gehenden wissenschaftlichen Untersuchungen zu erbringen, die über den Umfang der Zielsetzung dieser Arbeit hinausgehen. Abb. 66 zeigt eine Einschätzung der Erfüllung der Arbeit durch Kriterien der Kompetenz, der Struktur, des Prozesses, der Methoden und der softwaretechnischen Umsetzung. Kriterien, die nur als bedingt erfüllt eingeschätzt werden, müssen in künftigen Studien vertieft analysiert werden.

Die Verknüpfung von Strukturbäumen von Werkzeugmaschinen und Baugruppen mit Aktivitäten oder Methoden bietet die Möglichkeit Fach- und Methodenkompetenz in allen Phasen der Produktentwicklung komplexer mechatronischer Produkte gezielt und allgemeinverständlich zu beschreiben. Dem Anwender ist es somit möglich sein Kompetenzprofil ohne großen Einarbeitungsaufwand innerhalb des Kompetenz-Agenten zu erstellen. Die objektorientierte Modellierungsweise zeichnet sich durch eine hohe Transparenz aus. Datenbanken als Basis für die Abbildung des Entwicklungswissens ermöglichen einen verteilten Zugriff auf die Datenobjekte.

Kompetenzkriterien	
Kompetenzbeschreibung	+
Suche fehlender Kompetenzen	+
Einbindung weiterer Kompetenzen in den PE-Prozess	+
Kompetenzpotenzialbewertung (Fach- und Methodenkompetenz)	+
optimierte Auswahl der Kooperationspartner	+
Strukturkriterien	
Beachtung der Komplexität und Dynamik des Kompetenznetzes	+
Komplexitätsreduktion - Umsetzbarkeit des Modells	+
Lebensfähigkeit der Kompetenzzelle	o
Realisierung eines netzinternen Wettbewerbs	+
Kundenkontakt/-schnittstellen	+
Entwicklungs- und Adaptionstrategien der Kompetenzzellen	o
Prozesskriterien	
Berücksichtigung der Phase zur Produktentwicklung	+
generierendes und projektierendes Vorgehen PE-Prozess	+
parallele Planung und Umsetzung verschiedenster Prozesse	+
Entkopplung von Produktentwicklungsaktivitäten	+
Beherrschung dynamisch-iterativer Prozesse	+
Methodenkriterien	
Erstellung des technischen Angebotes	o
Kompetenznetzgenerierung	+
Transparenz der Kompetenzpotenzialentwicklung	+
Zielkostenkonstruktion	+
Kriterien der softwaretechnischen Umsetzung	
Installationsaufwand	+
Redundanzfreiheit	+
Browser- und Plattformunabhängigkeit	+
Verteilte Datenhaltung	o
Sichere Datenübertragung	+

Legende	
+	geeignet
o	bedingt geeignet
-	ungeeignet

Abb. 66: Einschätzung der Erfüllung der Zielsetzung der Arbeit

Die Akzeptanz des Kompetenz-Agenten hängt entscheidend vom Aufwand der Pflege der im System hinterlegten Kompetenzbeschreibung ab. Für jede Kompetenzzelle ist es innerhalb des Systems möglich, Kompetenzkomponenten flexibel zu erweitern, neu zu erstellen bzw. zu löschen. Die Abbildung des mechatronischen Produktes Werkzeugmaschine wird in allen Phasen der Netzbildung und des Netzbetriebes unterstützt. Dabei wird die Kommunikation und Koordination der einzelnen Fachgebiete durch die einheitliche Geschäftsobjektbeschreibung begünstigt und wirkt sich positiv auf die kompetenzzellenbasierte Produktentwicklung aus.

Die strukturierte Abbildung und Dokumentation der Projekte erleichtert die Erstellung künftiger Projektworkflows und den Austausch der Konzepte. Produktentwicklungsaufgaben können somit jederzeit in Teilprojekten oder in Kooperationen realisiert und die verteilte Produktentwicklung erfolgreich umgesetzt werden.

Eine Betrachtung der Wirtschaftlichkeit der Systeme durch eine Aufwand-/Nutzenabschätzung ist nicht allgemeingültig quantifizierbar. Der Kompetenz-Agent existiert als softwaretechnischer Prototyp und nicht als kommerzielle Software. Der mögliche Nutzen hängt stark von spezifischen Situationen, z. B. den veränderten Ablaufstrukturen und der Entwicklungsmethodik ab. Erschwerend für die Einschätzung ist das Fehlen realer Kompetenzzellen, da somit das Kompetenznetz nicht abgebildet und in Feldversuchen an Referenzprodukten getestet werden kann.

Aufwendungen entstehen durch die Betreiberkosten des Kompetenz-Agenten und durch die Schulung der Mitarbeiter der Kompetenzzellen sowie durch die Änderung der Aufbau- und Ablauforganisation. Dieser Aufwand ist als einmalig zu betrachten und für die Beteiligten eine überschaubare Größe.

Als wirtschaftlicher Nutzen für die einzelnen Kompetenzzellen können erwartet werden:

- ein verbesserter fachgebietsübergreifender Wissensaustausch,
- das Finden innovativer bzw. wirtschaftlicher interdisziplinärer Lösungen,
- die Konzentration auf die eigenen Kernkompetenzen sowie
- geringere Entwicklungskosten, da ein gemeinsamer virtueller Prototyp umgesetzt werden kann.

8 Zusammenfassung und Ausblick

8.1 Zusammenfassung

Die kompetenzzellenbasierte Vernetzung stellt für kooperative Zusammenschlüsse von elementaren Leistungseinheiten der Wertschöpfung einen neuartigen wissenschaftlichen Ansatz dar, um zukünftig die Wettbewerbsfähigkeit insbesondere kleiner und mittelständischer Unternehmen zu gewährleisten. Für Wertschöpfungsaktivitäten der Produktentwicklung birgt dieser Ansatz gleichzeitig Potenziale zur Entwicklung neuer, innovativer Produkte (Abb. 67). Deshalb war es notwendig, die Wertschöpfung innerhalb der Produktentwicklung wissenschaftlich zu durchdringen und den Nachweis des kompetenzzellenbasierten Produktentwicklungsprozesses zu führen.

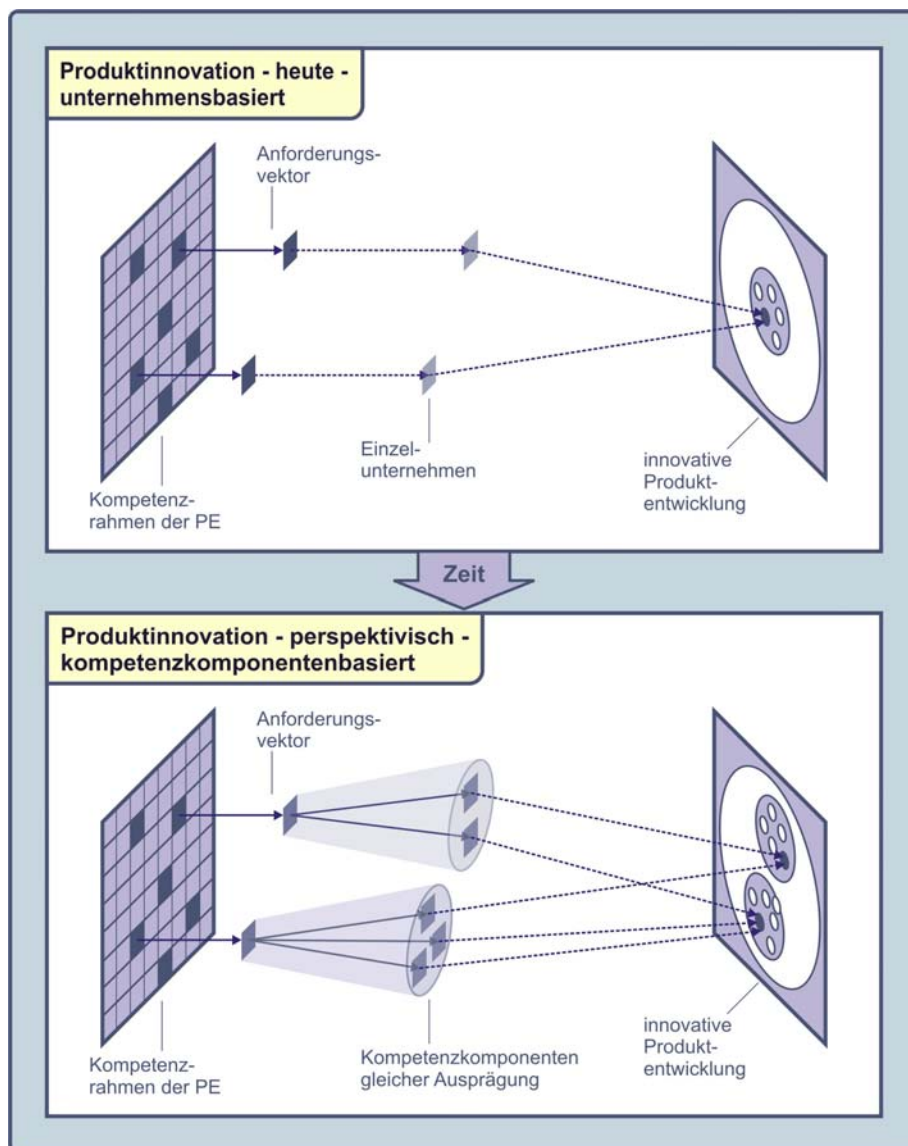


Abb. 67: Kompetenzzellenbasierte Produktinnovationen

Die verteilte Entwicklung von Produkten zeichnet sich schon seit längerer Zeit verstärkt ab. Deshalb wurden im Kapitel 2.2 die Ausgangssituation speziell für Hersteller von Werkzeugmaschinen näher betrachtet und in Kapitel 3.3 die wesentlichen Entwicklungsschritte, der Strategien und Methoden in der Produktentwicklung, auf dem Weg zur heutigen Situation dargestellt. Ausgehend vom Konzept der Arbeitsteilung und Spezialisierung haben sich die heute üblichen Organisationsformen herausgebildet. Diese Spezialisierung führt dabei zwangsläufig zur kooperativen Bearbeitung von Entwicklungsaufgaben. Unter diesen veränderten Randbedingungen wurde deshalb das Konzept der neuen Organisationsform des Kompetenznetzes, mit den Organisationseinheiten Kompetenzzelle, entwickelt.

Die vorliegende Arbeit hatte das Ziel, die Organisationseinheit der Kompetenzzelle der Produktentwicklung zu definieren und auf dieser Grundlage durch Modelle, Methoden, Systematiken und Instrumentarien näher zu beschreiben. Es wurde eine Methodik für die Gestaltung kompetenzzellenbasierter Produktentwicklungen mechatronischer Produkte des Werkzeugmaschinenbaus geschaffen. Im Ergebnis erweist sich die kompetenzzellenbasierte Vernetzungstheorie aus Sicht der Produktentwicklung als eine geeignete Vernetzungsform, um die in der Ausgangssituation und Problemstellung existierenden Defizite bestehender Organisationsformen zu minimieren. Speziell kleinere und mittlere Unternehmen haben bereits heute einen Bedarf für die Einbeziehung externer Engineering-Dienstleistungen, einerseits aufgrund fehlender Fach- und Methodenkompetenz und zum anderen um Produktentwicklungen komplexer Aufträge zu realisieren.

Durch den Neuheitsgrad des hierarchielosen Vernetzungsmodells wurden in der vorliegenden Arbeit speziell methodisch konzeptionelle Betrachtungen durchgeführt, um ein solides Fundament für weitergehende Forschungsaktivitäten zu schaffen.

Zur Umsetzung dieser Aufgaben wurden eine Reihe von Modellen, Methoden, Algorithmen und Instrumentarien entwickelt:

- die Methodik zur Entwicklung des Partialmodells der Produktentwicklung,
- das Partialmodell der Produktentwicklung,
- der Beschreibungsalgorithmus für Kompetenzzellen der Produktentwicklung,
- die Kompetenzpotenzialbewertung der Fach- und Methodenkompetenz,
- das Instrumentarium des Start-Up in der Phase zur Produktentwicklung,
- die Methodik der kompetenzzellenbasierten Produktentwicklung und
- der Kompetenz-Agent (KoAg) zur softwaretechnischen Umsetzung.

Auf Basis dieser theoretischen Vorarbeiten wird es möglich, in Organisationseinheiten des regionalen Netzes Produktentwicklungskompetenz zu identifizieren und im Kompetenznetz abzubilden. Somit können benötigte Produktentwicklungskompetenzen auftragspezifisch und automatisiert entsprechend ihrer Eignung im Kompetenz-Agenten, betriebswirtschaftlich und technisch bewertet, hierarchielos ausgewählt werden.

Den Abschluss der Arbeit bildet die Verifizierung der Ergebnisse, insbesondere des kompetenzzellenbasierten Produktentwicklungsprozesses, an praxisrelevanten Referenzprodukten. Anhand der Baugruppe Motorspindel und der Entwicklung einer Sondermaschine konnte die Wirksamkeit und die Richtigkeit des theoretischen Konzeptes gezeigt werden.

8.2 Ausblick

In der vorliegenden Arbeit war es möglich, die Organisationseinheit der Kompetenzzelle und den kompetenzzellenbasierten Produktentwicklungsprozess zu beschreiben. Dies stellt einen ersten Ansatz zur Überführung des Organisationskonzepts des hierarchielosen Produktionsnetzes in ein praxisnahes Umfeld dar. Aus den Ergebnissen der Arbeit können als künftige Forschungsziele abgeleitet werden:

- die Weiterentwicklung des Konzepts und daran anschließend die reale Umsetzung eines prototypischen Kompetenznetzes,
- die Bildung von Kompetenzclustern als Basis zur Generierung innovativer Produkte,
- die Übertragung des Forschungsansatzes auf andere mechatronische Produkte.

Es besteht weiterer Forschungsbedarf im Bereich der informationstechnischen Infrastruktur als Grundlage zur Erschließung von Synergien im Kooperationsverbund. Dies reicht von der Schnittstellengestaltung existierender EDM-/PDM-Systeme bis hin zur Gestaltung einheitlicher Standards zur Erstellung technischer Angebote und zur Repräsentation relevanter Konstruktions- und Auftragsdaten. Ein weiterer Schwerpunkt ist die Integration der Soft-Facts in den Kompetenzrahmen der Produktentwicklung. Dabei ist zu untersuchen, auf welcher Grundlage Veränderungen im Kompetenzprofil ermittelt bzw. vollzogen werden und welchen Einfluss die Soft-Facts auf das Kompetenzpotenzial der Kompetenzzelle haben.

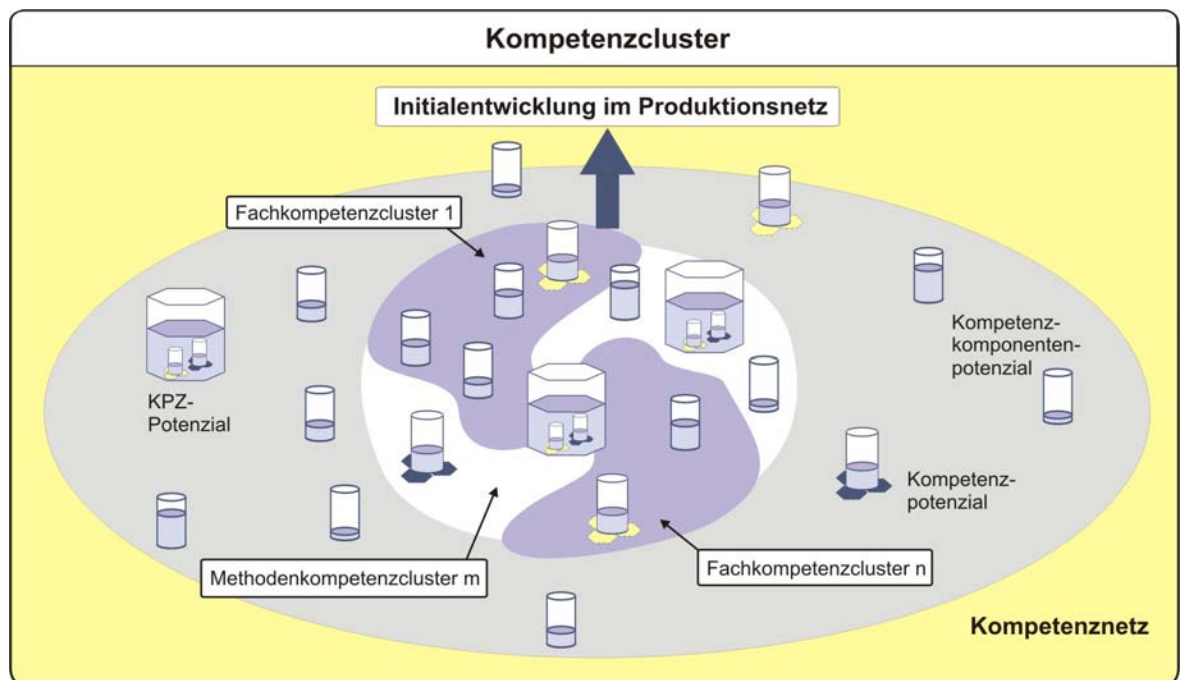


Abb. 68: Kompetenzcluster der Produktentwicklung

Kompetenzprofile und deren entsprechend bewertetes Kompetenzpotenzial bilden die Basis der wissenschaftlichen Untersuchungen von Kompetenzclustern (Abb. 68). In künftigen Arbeiten ist zu untersuchen, welche methodischen Vorgehensweisen der Bildung von regionalen Kompetenzclustern der Produktentwicklung dienen und zu deren Umsetzung beitragen. Hierbei müssen geeignete Netzbildungs- und Netzbetreibermodelle inklusive der benötigten Methoden und Werkzeuge zur Netzkomposition und der Planung von Kompetenzclustern bestimmt werden. Um Synergiepotenziale von Kompetenzzellen nutzen zu können, müssen diese in branchenübergreifende, fachspezifische und methodenspezifische Kompetenzcluster überführt werden. Diese Zielsetzung dient dazu, mit den vorhandenen Kompetenzen bzw. Clustern neue Produkte, d. h. Initialentwicklungen innerhalb des hierarchielosen Netzes realisieren zu können.

Der wissenschaftliche Anspruch sollte darin bestehen, auf den Charakter des hierarchielosen Netzes bezogene Suchstrategien zu entwickeln, um somit vorhandene Leistungen, Produktspektren und Kompetenzen zu erweitern und auf vorhandene Potenziale zu projizieren. Einem regionalen Kompetenzcluster steht somit eine Clustermenge des Marktpotenzials gegenüber.

Eine weitere Zielsetzung könnte die Übertragung des Lösungsansatzes der kompetenzzellenbasierten Produktentwicklung auf andere mechatronische Produkte, bspw. des Automobilbaus (Abb. 69), der Medizintechnik und der Luft- und Raumfahrttechnik sein. Hierzu ist es notwendig die im Partialmodell implementierten Modelle und Methoden entsprechend anzupassen und zu erweitern.

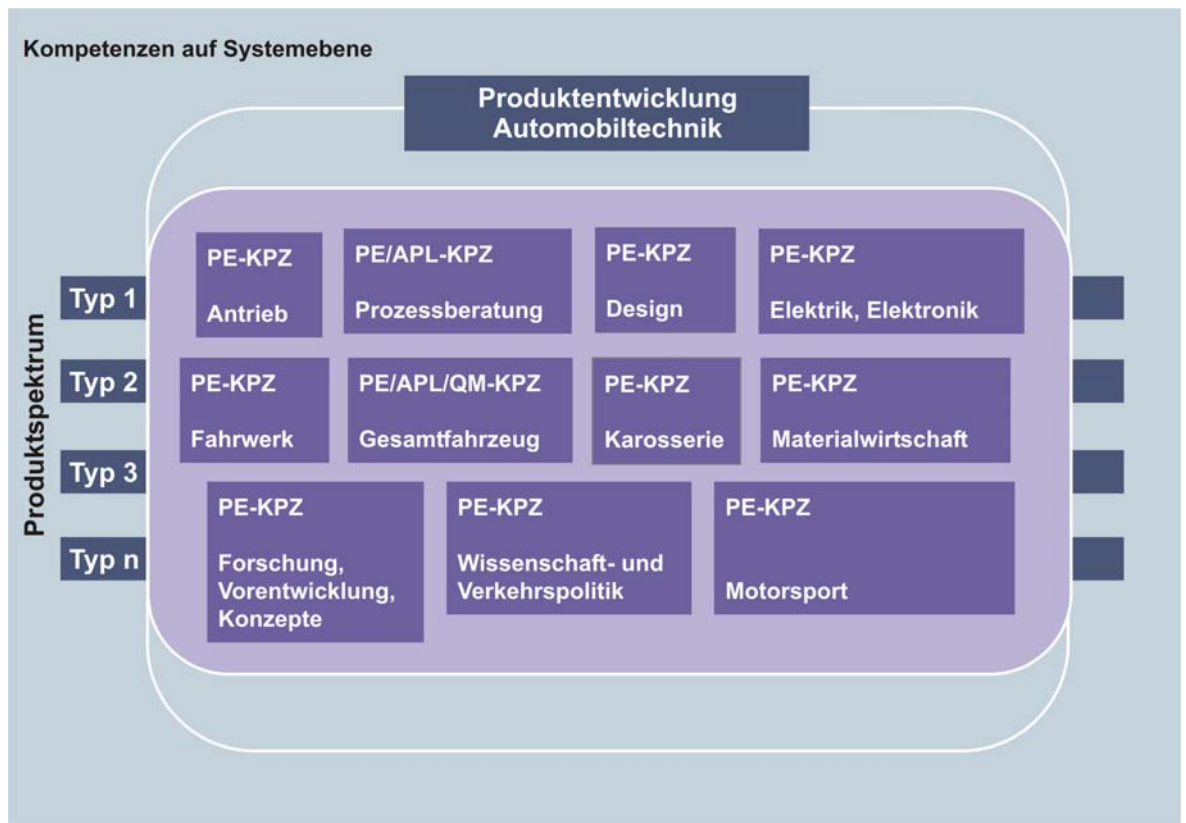


Abb. 69: Automobil - Ausblick auf Kompetenzbeschreibungen

9 Literaturverzeichnis

- /ACKE-01/ Ackermann, J.; Hildebrand, T.; Näser, P.: Innovative Ansätze zur Gestaltung der Logistik in kompetenzzellenbasierten Produktionsnetzen. In: Teich, T. (Hrsg.): Hierarchielose Regionale Produktionsnetzwerke. Chemnitz: Verlag der GUC, 2001.
- /ALLE-99/ Allen, T. J.; Nidamarthi, S.; Regalla, S. P.; Sriram, R. D.: Enhancing Collaboration using an Internet Integrated Workbench. ASME Proceedings of the 1999 ASME Design Engineering Technical Conference and Computers in Engineering Conference. DETC99/DAC-8573, New York: ASME, 1999.
- /BALB-99/ Balbontini, A.; Yazdani, B.: Global New Product Development Strategies and I.T. Applications. ASME Proceedings of the 1999 ASME Design Engineering Technical Conference and Computers in Engineering Conference. DETC99/EIM-9007, New York: ASME, 1999.
- /BART-90/ Bartlett, C.; Goshal, S.: Internationale Unternehmensführung: Innovation, globale Effizienz, differenziertes Marketing. Frankfurt am Main: Campus Verlag, 1990.
- /BIRM-99/ Birmingham, W. O.; D'Ambrosio, J. G.: Agency in Concurrent Engineering. ASME Proceedings of the 1999 ASME Design Engineering Technical Conference and Computers in Engineering Conference. DETC99/DTM-8749, New York: ASME, 1999.
- /BOOC-99/ Booch, G. et al.: Das UML-Benutzerhandbuch. München: Addison Wesley Verlag, 1999.
- /BORR-01/ Borrmann, A. et al.: Rational Rose und UML., Bonn: Galileo Press GmbH, 2001.
- /BORR-02/ Borrmann, A.; Rätzmann, M.; Sauer, J.; Materne, J.; Landgrebe, G.: Rational Rose und UML. Bonn: Galileo Press GmbH, 2002.
- /BRAN-05/ Brandes, D.: Einfach managen. Klarheit und Verzicht - der Weg zum wesentlichen. München: Piper Verlag, 2005.
- /BRAU-00/ Braumann, K.-H.: Produkt- und Prozess-Innovation durch Virtual-Reality-Technologie beschleunigt. München: Carl Hanser Verlag, 2000.
- /BROS-02/ Broser, W.: Methode zur Definition und Bewertung von Anwendungsfeldern für Kompetenznetzwerke. IWB Forschungsberichte – 176, München: Herbert Utz Verlag, 2002.

- /BUCH-87/ Buchholz, G.: Rechnerunterstützte Konstruktion von Varianten, Entwicklung eines Programmmoduls zur Speicherung konstruktiver Abhängigkeiten. Aachen: Shaker Verlag, 1987.
- /BULL-96a/ Bullinger, H. J.: Erfolgsfaktor Mitarbeiter: Motivation - Kreation – Innovation. Stuttgart: Teubner Verlag, 1998.
- /BULL-96b/ Bullinger, H. J.; Warschat, J.: Concurrent Simultaneous Engineering. London: Springer Verlag, 1996.
- /BULL-96c/ Bullinger, H. J.; Warschat, J.; Wißler, K. F.; Seitz, V.: Rapid Product Development - ein ganzheitliches Produktentwicklungskonzept. Konstruktion, Band 48, Heft 10, 1996.
- /BULL-01/ Bullinger, H. J.; Cebulla, T.; Hauß, I.; Potinecke, T.: Kooperative, virtuelle Produktentwicklung. Werkstattstechnik, Band 91, Heft 2, 2001.
- /BULL-02/ Bullinger, H. J.; Warschat, J.; Dangelmaier, M.; Leyh, J.: Vernetzte Planung in frühen Phasen der Produktentwicklung. In: Wirth, S. (Hrsg.): Vernetzt planen und produzieren. Stuttgart: Schäffer-Poeschel Verlag, 2002.
- /BUSE-97/ Buse, H. P.: Wandelbarkeit von Produktionsnetzen - Auswirkungen auf die Gestaltung des innerorganisatorischen Logistiksystems. In: Dangelmaier, W. (Hrsg.): VISION LOGISTIK - Logistik wandelbarer Produktionsnetze. Paderborn: Zeitschrift für Logistik, 1996.
- /CARM-99/ Carmel, E.: Global Software Teams. Collaborating Across Borders and Time Zones. Prentice Hall, New York: Upper Saddle River, 2005.
- /DIN-69651/ Fachnormenausschuss Werkzeugmaschinen: Klassifizierung der Werkzeugmaschinen für Metallbearbeitung. Berlin: Beuth Verlag, Oktober 1974, (zurückgezogen).
- /DIN-8580/ N. N.: Einteilung der Fertigungsverfahren. Deutsches Institut für Normung e. V. Berlin: Beuth Verlag, 1985.
- /DUER-01/ Dürr, H.; Mehnert, J.: Arbeitsplanung im hierarchielosen Produktionsnetz. In: Teich, T. (Hrsg.): Hierarchielose Regionale Produktionsnetzwerke. Chemnitz: Verlag der GUC, 2001.
- /DOHM-02/ Dohmen, W.: Interdisziplinäre Methoden für die integrierte Entwicklung komplexer mechatronischer Systeme. München: Herbert Utz Verlag, 2002.

- /ENCA-02/ Encarnaço, J. L.; Benlken, P.; Knpfle, Ch.; Rettig, A.: VR-Technologien und ihre Anwendungen im Produktentstehungsprozess. In: Automobiltechnische Zeitschrift (ATZ) u. a.: Virtual Product Creation. Proceedings 2002: iViP- Abschlusskonferenz. Berlin, 2002
- /ENDE-02/ Enderlein, H. et al.: Arbeits- und Ergebnisbericht 2000, 2001, 2002. TU Chemnitz, Hierarchielose regionale Produktionsnetze. Sonderforschungsbereich 457, Chemnitz: TU Chemnitz, 2002.
- /ENDE-03/ Enderlein, H.; Baum, H.; Ackermann, J.: Hierarchielose regionale Produktionsnetze. In: Baumgarten, H.; Wiendahl, H.-P.; Zentes, J. (Hrsg.): Logistik-Management: Strategien – Konzepte – Praxisbeispiele. Berlin: Springer Verlag, 2003.
- /EHRL-95/ Ehrlenspiel, K.: Integrierte Produktentwicklung: Methoden für Prozessorganisation, Produkterstellung und Konstruktion. München, Wien: Carl Hanser Verlag, 1995.
- /ERPE-98/ Erpenbeck, J.: Kompetenzentwicklung als Forschungsfrage. QUEM Bulletin 2/3, 1998.
- /ERPE-99/ Erpenbeck, J.; Heyse, V.: Die Kompetenzbiographie. Strategien der Kompetenzentwicklung durch selbstorganisiertes Lernen und multimediale Kommunikation. Münster, New York, München, Berlin: Waxmann Verlag, 1999.
- /EVER-95/ Eversheim, W.: Simultaneous Engineering. Erfahrungen aus der Industrie für die Industrie. Berlin: Springer Verlag, 1995.
- /EVER-02/ Eversheim, E. et al.: Mit e-Engineering zum i3-Engineering. Konferenzbericht Aachener Werkzeugmaschinenkolloquium (AWK) 2002: Wettbewerbsfaktor Produktionstechnik - Aachener Perspektiven. Aachen: Shaker Verlag, 2002.
- /FISC-00/ Fischer, T.: BMW Product Data Service Center - Strategy and Tasks of Supplier Integration. In: ProSTEP GmbH (Hrsg.): Der globale, virtuelle Produktentstehungsprozesses - Standards, Technologien und Anwendungsszenarien. Darmstadt: ProSTEP, 2000.
- /FRIE-97/ Friedemann, O.: Target costing in der Produktentwicklung. Frankfurt am Main: Lang, 1997.
- /GAUL-01/ Gaul, H. D.: Verteilte Produktentwicklung - Perspektive und Modell zur Optimierung. München: TU München, Dissertation, 2001.

- /GAUS-00/ Gausmeier, J.; Lindemann, U.; Reinhart, G.; Wiendahl, H.-P.: Kooperatives Produktengineering - ein neues Selbstverständnis des ingenieurmäßigen Wirkens. Paderborn: HNI-Verlagsschriftenreihe, 2000.
- /GERB-04/ Gerber, A.; Althaus, K.; Dietzsch, M.; Weidlich, D.; Steiner, R.: Risk-Management of Product Development in Non-Hierarchical Regional Production Networks. IFIP 18th World Computer Congress. Proceedings of the 5th Working Conference on Virtual Enterprise. Toulouse, France: 2004.
- /GOEB-00/ Göbel, M.; Barrass, S.; Eccles, J.; Eckel, G.; Hasenbrink, F.; Lechner, U.; Mostafawy, S.; Toth, S.; Tramberend, H.: On Creating Virtual Reality Stories And Interactive Experiences. In: GraphiCon '2000 : the 10th International Conference on Computer Graphics & Vision, Moscow: 2000.
- /GOLD-96/ Goldmann, S. L.; Nagel, R. N.; Preiss, K.; Warnecke, H. J.: Agil im Wettbewerb: Die Strategie der virtuellen Organisation zum Nutzen des Kunden. Berlin: Springer Verlag, 1996.
- /HABE-99/ Haberfellner, R.; Nagel, P.; Becker, M.; Büchel, A.; Massow, H. v.: Systems Engineering. Methodik und Praxis. Verlag Industrielle Organisation, 1999.
- /HAGE-03/ v. der Hagen, F.: Gestaltung kurzfristiger und unternehmensübergreifender Engineering-Kooperationen. München: Herbert Utz Verlag, 2003.
- /HALM-02/ Halmosi, H.: Ein Verfahren für die reaktive Auftragskoordination in Produktionsnetzen der Halbleiterindustrie. Heimsheim: Jost-Jetter Verlag, 2002.
- /HAMM-93/ Hammer, M.; Champy, J.: Reengineering the Cooperation. A Manifesto for Business Revolution. New York: Harper Business, 1993.
- /HANS-74/ Hansen, F.: Konstruktionswissenschaft - Grundlagen und Methoden. München, Wien: Carl Hanser Verlag, 1974.
- /HERT-00/ Hertzsch, B.; Richter, W.: Strategieentwicklung und Formen der Zusammenarbeit von KMU-Netzwerken im Hochtechnologiebereich am Beispiel der Netzwerke AMTEC GmbH und Lasertechnik Chemnitz GbR mbH. In: Gersten, K. (Hrsg.): Arbeit und Technik in den neuen Bundesländern. Bremerhaven: Wirtschaftsverlag, 2000.
- /HIRS-00/ Hirsch, A.: Werkzeugmaschinen - Grundlagen. Fachbücher der Technik, Berlin: Vieweg Verlag, 2000.
- /HUBK-96/ Hubka, V.; Eder, W. E.: Design Science: Introduction to the Needs, Scope and Organization of Engineering Design Knowledge. London: Springer Verlag, 1996.

- /ISER-99/ Isermann, R.: Mechatronische Systeme: Grundlagen.1. korrigierter Nachdruck, Berlin, Heidelberg, New York: Springer Verlag, 1999.
- /ISO-9000/ DIN Deutsches Institut für Normung e. V.: Qualitätsmanagementsysteme Grundlagen und Begriffe. EN ISO 9000:2000, Berlin: Beuth Verlag.
- /IVIP-02/ N. N.: Leitprojekt Integrierte Virtuelle Produktentstehung. 2002, <http://www.ivip.de>.
- /JARI-88/ Jarillo, J. C.: On Strategic Networks. Strategic Management Journal. 9, Heft 1, 1988.
- /JIN-99/ Jin, Y.; Zhao, L.; Raghunath, A.: Active PROCESS: A Process-Driven and Agent-Based Approach to Supporting Collaborative Engineering. ASME Proceedings of the 1999 ASME Design Engineering Technical Conference and Computers in Engineering Conference. New York: DETC99/CIE-9099, 1999.
- /JONE-91/ Jones, C.: Applied Software Measurement - Assuring Productivity and Quality. New York: Mc Graw – Hill, 1991.
- /JUNG-99/ Jung, V.: Kommunikation macht nicht satt. VDI-Nachrichten, Nr. 17, 1999.
- /JURC-05/ Jurczek, P.; Wirth, S.; Erfurth, R.: Vernetzung von produktionstechnischen Kompetenzclustern aus technologisch-organisatorisch und räumlich infrastruktureller Sicht. ZWF 100, Heft 5, 2005.
- /KERS-03/ Kersten, W.; Kern, E. M.: Integration von Lieferanten in den Produktentwicklungsprozess. Collaborative Engineering as an approach for supplier integration into the product development process. Industrie Management. Band 19, Heft 5, 2003.
- /KOLL-85/ Koller, R.: Konstruktionsmethoden für den Maschinen-, Geräte- und Apparatebau. Berlin, Heidelberg, New York: Springer Verlag, 1985.
- /KRAU-98/ Krause, F.-L.; Schultz, R.; Doblies, M.: Verteilte Produktentwicklung. Industrie Management, Band 14, Heft 1, 1998.
- /KRAU-99a/Krause, F.-L.; Tang, T.; Ahle, U.: Systementwicklungen für die integrierte virtuelle Produktentstehung. In: VDI-Berichte 1497 (Hrsg.): Beschleunigung der Produktentwicklung durch EDM/PDM- und Feature-Technologie. Düsseldorf: VDI, 1999.
- /KRAU-99b/Krause, F.-L.; Jansen, H.: New Supporting Tools for Designing Products. In: van Brussel, H. et al. (Hrsg.): Proceedings of the 32th CIRP International Seminar on Manufacturing Systems. Leuven: Katholische Universität Leuven, 1999.

- /KRUS-01/ Krusche, M.: InnoSachs - Innovative Netze in einer Region. Tagungsband zur IBF-Fachtagung: „Vernetzt planen und produzieren - VPP 2001“. Sonderheft 4, Chemnitz: TU Chemnitz, 2001.
- /KUHN-01/ Kuhn, A. et al.: Sonderforschungsbereich 559 : Modellierung großer Netze in der Logistik. Arbeits- und Ergebnisbericht 1998/2, 1999, 2000, 2001/1. Dortmund: Universität Dortmund, 2001.
- /KUHN-01/ Kuhn, A. et al.: Sonderforschungsbereich 559 : Modellierung großer Netze in der Logistik. Arbeits- und Ergebnisbericht 2001/2, 2002, 2003, 2004/1. Dortmund: Universität Dortmund, 2004.
- /LICH-04/ Licht, T.; Dohmen, L.; Schmitz, P. et al.: Person-Centered Simulation of Product Development Processes Using Timed Stochastic Coloured Petri Nets. Proceedings of the 2004 European Simulation and Modelling Conference. Paris, France: ESMc, 2004.
- /LIES-03/ Liese, H.; Anderl, R.: Knowledge-based and agent-supported modeling in the field of parametric 3D-CAD-systems. Proceedings of the 10th European Concurrent Engineering Conference (ECEC). Plymouth: 14.-16. April 2003.
- /LIN-04/ Lindemann, V.: Rückrufaktionen setzen Produktentwickler unter Druck. VDI-Nachrichten. Band 4, 2004.
- /LIPN-98/ Lipnack, J.; Stamps, J.: Virtuelle Teams. Projekte ohne Grenzen. Frankfurt: Ueberreuter Wirtschaftsverlag, 1998.
- /LUCZ-04/ Luczak, H.; Schmidt, L.; Koller, F.: Benutzerzentrierte Gestaltung von Augmented-Reality-Systemen. Düsseldorf: VDI Verlag, 2004.
- /MALI-00/ Malik, F.: Führen, Leisten, Leben. Wirksames Management für eine neue Zeit. München: Heyne Verlag, 2000.
- /MASI-99/ Masing, W.: Handbuch Qualitätsmanagement. 4. Auflage, München, Carl Hanser Verlag, München, Wien: 1999.
- /MECK-96/ Meckl, R.: Schnittstellenmanagement bei Unternehmenskooperationen. Management Zeitschrift io, Heft 65/10. Zürich: 1996.
- /MEER-94/ Meerkamm, H.: Design for X - A Core Area of Design Methodology. Journal of Engineering Design, Vol.5, Heft 2, 1994.
- /MEHN-04/ Mehnert, J.: Gestaltung und Integration von Arbeitsplanungskompetenzen für hierarchielose Produktionsnetze. Dissertation, Chemnitz: TU Chemnitz, 2004.

- /MEYE-04/ Meyer, M.; Aderhold, J.: Das Netz Grid - Ein methodisches Konzept zur Messung beziehungsrelevanter Parameter in Unternehmensnetzwerken. In: Weissengerber-Eibel, M. A. (Hrsg.): Unternehmen im Umbruch. Rosenheim: Cactus, 2004.
- /MILB-97/ Milberg, J.: Produktion - eine treibende Kraft für die Volkswirtschaft. In: Reinhart, G.; Milberg, J. (Hrsg.): Mit Schwung zum Aufschwung: Information - Innovation - Inspiration. Münchener Kolloquium '97. Landsberg/Lech: Moderne Industrie, 1997.
- /MILB-02/ Milberg, J.: Erfolg in Netzwerken. In: Milberg, J.; Schuh, G. (Hrsg.): Erfolg in Netzwerken. Berlin: Springer Verlag, 2002.
- /MUEL-04/ Müller, E.: Intelligente Produktionsnetzwerke - neue Organisationsformen der Produktion. In: „Vernetzt planen und produzieren - VPP 2004“. Tagungsband, Wissenschaftliche Schriftenreihe des IBF, Sonderheft 8, Chemnitz: TU Chemnitz, 2004.
- /MURR-99/ Murr, O.: Adaptive Planung und Steuerung von integrierten Entwicklungs- und Planungsprozessen. München: Herbert Utz Verlag, 1999.
- /NEUG-01/ Neugebauer, R.; Wieland, P.; Hochmuth, C.: Fertigungskompetenzzellen. In: Teich, T. (Hrsg.): Hierarchielose Regionale Produktionsnetzwerke. Chemnitz: Verlag der GUC, 2001.
- /NEUG-03/ Neugebauer, R.; Weidlich, D.; Kolbig, S.; Polzin, T.: Development Process Support for Machine Tools with Parallel Kinematics Using Virtual Reality Technologies. 36th CIRP International Seminar on Manufacturing Systems. Saarbrücken: Tagungsband, 2003.
- /NEUG-04a/ Neugebauer, R.; Weidlich, D.; Kolbig, S.; Polzin, T.: Perspektiven von Virtual-Reality-Technologien in der Produktionstechnik - VRAX. In: Neugebauer, R. (Hrsg.): "Technologische Innovationen für die Antriebs- und Bewegungstechnik". Chemnitz: Tagungsband 4. Chemnitzer Produktionstechnisches Kolloquium, 21.-22. September 2004.
- /NEUG-04b/ Neugebauer, R.; Weidlich, D.; Steiner, R.: Product Development in Non-Hierarchical Production Networks - a Competence-Cell-Based Approach to Solution. In: Dimitrov, D. (Hrsg.): Proceedings of the International Conference on Competitive Manufacturing COMA'04, Progress in Innovative Manufacturing. Stellenbosch, South Africa: Global Competitiveness Centre in Engineering, Stellenbosch, 2004.

- /NEUG-05a/Neugebauer, R.; Weidlich, D.; Steiner, R.: Lösungsansätze zur Produktentwicklung in hierarchielosen Netzen. In: Müller, E. (Hrsg.): Zukunftsweisende Konzepte für Produktions- und Logistiksysteme. Begleitband zu den Kolloquien des SFB 457 mit dem SFB 559 und SFB 582 am 20.04.2004 und 15.06.2004. Chemnitz: IBF, TU Chemnitz, 2005.
- /NEUG-05b/Neugebauer, R.; Weidlich, D.; Steiner, R.; Riegel, J.: Kompetenzzellenbasierte Produktentwicklung - Theorie und Praxis in der Entwicklung von Werkzeugmaschinen. Konstruktion, Heft 11/12, 2005.
- /NEUG-05c/Neugebauer, R.; Weidlich, D.; Steiner, R.: Description and Search of Product Development Competence Cells in Non-Hierarchical Production Networks. German Academic Society for Production Engineering: Production Engineering, Volume XII/2, Research and Development. Hannover: WGP e. V., 2005.
- /NEUG-05d/Neugebauer, R.; Steiner, R.; Weidlich, D.: Kompetenzzellenbasierte Produktentwicklung mechatronischer Produkte. ZWF 100, Sonderheft 8, Ausgabe 6, 2005.
- /PAHL-03/ Pahl, G.; Beitz, W.; Feldhusen, J.; Grote, K.-H.: Konstruktionslehre, Grundlagen erfolgreicher Produktentwicklung, Methoden und Anwendung. 5. Auflage, Berlin: Springer Verlag, 2003.
- /PAHL-05/ Pahl, G.: VADEMECUM - Ein kurzer Leitfaden beim Entwickeln und Anwenden von Konstruktionsmethoden. Konstruktion Heft 5, 2005.
- /PICO-96/ Picot, A.; Reichwald, R.; Wigand, R. T.: Die grenzenlose Unternehmung. Wiesbaden: Gabler Verlag, 1996.
- /REDE-00/ Redeker, G.; Sauer, R.: Continuous Engineering - Kontinuierliche Produktentwicklung nach dem Schichtprinzip. Industrie Management, Band 16, Heft 5, 2000.
- /REHA-98/ Rehak, K.: Erstellung eines Konzeptes für Gründung und Aufbau des Kompetenzzentrums Thüringer Mikrosensoren und Systeme Erfurt. Berlin: Fraunhofer Management Gesellschaft, 1998.
- /REIN-97/ Reinhart, G.: Innovative Prozesse und Systeme - Der Weg zur Flexibilität und Wandlungsfähigkeit. In: Reinhart, G.; Milberg, J. (Hrsg.): Mit Schwung zum Aufschwung: Information - Innovation - Inspiration. Landsberg/Lech: Moderne Industrie, 1997.

- /REIN-00/ Reinhart, G.; Hirschberg, A.; Effert, C.: Wandlungsfähigkeit - Antwort auf Turbulenz. In: Reinhart, G. (Hrsg.): Neue Wege für kleine und mittelständische Unternehmen. München: TCW Transfer-Centrum, 2000.
- /REIN-01/ Reinhart, G. et al.: Die Virtuelle Werkzeugmaschine - Neue Perspektiven im Werkzeugmaschinenbau. Internationales Produktionstechnisches Kolloquium. Berlin: Tagungsband X, 2001.
- /RENG-06/ Renger, N.: Kompetenzzellenbasierte Produktentwicklung am Beispiel einer Werkzeugmaschine. Diplomarbeit, Chemnitz: TU Chemnitz, 2006.
- /RIX-00/ Rix, J.; Schroeder, K.: Virtual Reality als integraler Bestandteil des Virtual Engineering Konzeptes. Industrie Management, Heft 16, 2000.
- /RODE-91/ Rodenacker, G.: Methodisches Konstruieren. 4. Auflage, 1991, Berlin, Heidelberg, New York: Springer Verlag, 1984.
- /ROTH-82/ Roth, K.-H.: Konstruieren mit Konstruktionskatalogen. Berlin, Heidelberg, New York: Springer Verlag, 1982.
- /RTCA-92/ RTCA/DO-178B: Software considerations in airborne systems and equipment certification. 20036-4001, Washington D.C., USA: RTCA, Inc., 1992.
- /RUDO-01/ Rudorfer, W.: Eine Methode zur Qualifizierung von produzierenden Unternehmen für Kompetenznetzwerke. München, Herbert Utz Verlag, 2001.
- /SANF-95/ Sanft, C.: Entwicklung von Werkzeugmaschinen auf der Basis eines integrierten Produktmodells. München, Wien: Carl Hanser Verlag, 1995.
- /SAUE-96/ Sauer, A.: Das Globale Engineering Netz (GEN) als Basis elektronischer Märkte und virtueller Unternehmen in der Entwicklung neuer Produkte. Band 4, , Konferenz-Einzelbericht ONLINE 96, Congress IV, EDI/EDIFACT Velbert Verlag, 1996.
- /SAUE-02/ Sauer, R.: Anwendung des Schichtprinzips in der Produktentwicklung. Band 9, Aachen: Shaker Verlag, 2002.
- /SCHE-98/ Schelle, H.: Projekte und Projektmanagement. RKW Projektmanagement Fachmann, Band 1, Eschborn: Eigenverlag, 1998.
- /SCHE-01/ Schernikau, J.: Gestaltung von mechatronikgerechten Organisationen in der Produktentwicklung. Aachen: Shaker Verlag, 2001.
- /SCHE-02/ Schellberg, O.: Effiziente Gestaltung von globalen Produktionsnetzwerken. Aachen: Shaker Verlag, 2002.

- /SCHE-04/ Schenk, M.; Wirth, S.: Fabrikplanung und Fabrikbetrieb. Methoden für die wandlungsfähige vernetzte Fabrik. Berlin: Springer Verlag, 2004.
- /SCHL-00/ Schliffenbacher, K.: Konfiguration virtueller Wertschöpfungsketten in dynamischen, heterarchischen Kompetenznetzwerken. München: Herbert Utz Verlag, 2000.
- /SCHN-98/ Schnauber, H.: Erarbeitung und Erprobung eines Modells für ein "Virtuelles Entwicklungszentrum". Verbundprojekt im Rahmenkonzept "Produktion 2000". Karlsruhe: Forschungszentrum Karlsruhe, Technik und Umwelt, 2/1998.
- /SCHO-00/ Schön, A.: Konzept und Architektur eines Assistenzsystems für die mechatronischen Produktentwicklung. Erlangen: Universität Erlangen-Nürnberg, 2000.
- /SCHO-03/ Schöne, R.; Freitag, M.: "Netzwerk Lernende Region Chemnitz" - Gestaltung eines ganzheitlichen Entwicklungskonzeptes. In: Matthiesen, U.; Reutter, G. (Hrsg.): Lernende Regionen. Mythos oder lebendige Praxis. Bielefeld: Bertelsmann Verlag, 2003.
- /SFB374-02/SFB 374: Entwicklung und Erprobung innovativer Produkte. Stuttgart: 2003, <http://www.sfb374.uni-stuttgart.de>.
- /SFB457-02/N. N.: Sonderforschungsbereich SFB 457: Hierarchielose regionale Produktionsnetze. Finanzierungsantrag 2003, 2004, 2005, Chemnitz: TU Chemnitz, 2002.
- /SFB457-05/Müller, E.: Forschungsprogramm. In: SFB 457, Hierarchielose regionale Produktionsnetze. Finanzierungsantrag 2006-2009. Chemnitz: TU Chemnitz, 2005.
- /SFB467-02/N. N.: SFB 467: Wandlungsfähige Unternehmensstrukturen - Forschungskolloquium 16.4.2002, Stuttgart: 2002.
- /SMIT-98/ Smith, P. G.; Reinertsen, D. G.: Developing Products in Half the Time. Second Edition. New York: John Wiley & Sons, 1998.
- /SPAT-01/ Spath, D.; Baumeister, M.; Dill, C.: Ist Flexibilität genug? Zum Management von Turbulenzen sind neue Fähigkeiten gefragt. ZWF 96, Heft 5, 2001.
- /STOC-03/ Stock, R.: Steuerung von Dienstleistungsnetzen durch interorganisationale Teams. In: Bruhn, M.; Stauss, B. (Hrsg.): Dienstleistungsmanagement Jahrbuch 2003. Wiesbaden: Gabler Verlag, 2003.
- /SYDO-95/ Sydow, J.: Organisation von Netzwerken. Wiesbaden: Westdeutscher Verlag, 1995.
- /SYDO-01/ Sydow, J.: Management von Netzwerkorganisationen. Wiesbaden: Gabler Verlag, 2001.

- /STOF-01/ Stoffels, A.: Wissensorientiertes Management der Produkt- und Prozessentwicklung. Aachen: Shaker Verlag, 2001.
- /TASS-05/ Tassi, E. J.: Knowledge-Features für die Produkt- und Technologieentwicklung in umformtechnischen Prozessketten. In: Neugebauer, R. (Hrsg.): Berichte aus dem IWU 27, Zwickau: Verlag und Vertriebsgesellschaft, 2005.
- /TEIC-03/ Teich, T.: Extended Value Chain Management - ein Konzept zur Koordination von Wertschöpfungsnetzen. Chemnitz: GUC, 2003.
- /TEUB-99/ Teubner, R. A.: Organisations- und Informationssystemgestaltung. Theoretische Grundlagen und integrierte Methoden. Wiesbaden: Gabler Verlag, 1999.
- /UHLM-01/ Uhlmann, E.; Dorn, L.: Maschinen und vernetzte Produktion von Morgen. Internationales Produktionstechnisches Kolloquium. Berlin: Tagungsband X., 2001.
- /VANJ-98/ Vanja, S.; Burchardt, C.: Integrierte Produktentwicklung. Konstruktion, Band 50, Heft 4, 1998.
- /VDI-2206/ N. N.: VDI-Gesellschaft Entwicklung Konstruktion Vertrieb: Entwicklungsmethodik für mechatronische Systeme. Verein Deutscher Ingenieure, VDI-Richtlinien, VDI-Handbuch, Düsseldorf: Beuth Verlag, 2003.
- /VDI-2210/ N. N.: VDI-Gesellschaft Entwicklung Konstruktion Vertrieb: Analyse des Konstruktionsprozesses im Hinblick auf den EDV-Einsatz. Düsseldorf: VDI Verlag, 1975.
- /VDI-2221/, /VDI-2222/ VDI-Gesellschaft Entwicklung Konstruktion Vertrieb: Methodik zum Entwickeln und Konstruieren technischer Systeme und Produkte. Verein Deutscher Ingenieure, VDI-Richtlinien, VDI Handbuch, Berlin: Beuth Verlag, 1993.
- /VIVE-05/ N. N.: ViVERA Virtuelles Kompetenznetz zur virtuellen und erweiterten Realität. BMBF, 2005, <http://www.vivera.org>.
- /WACH-01/ Wachsmuth, I.; Voss, I.; Sowa, T.; Latoschik, M. E.; Jung, B.: Multimodale Interaktion mit einem System zur Virtuellen Konstruktion. In: Krause, J.; Oppermann, R.; Oberquelle, H. (Hrsg.): Mensch und Computer 2001: 1. Fachübergreifende Konferenz, Stuttgart: Teubner Verlag, 2001.
- /WAHL-00/ Wahl, M.: Methode zur Entwicklung kostengünstiger Werkzeugmaschinen. Darmstadt: Shaker Verlag, 2000.
- /WARN-92/ Warnecke, H.-J.: Die fraktale Fabrik. Berlin: Springer Verlag, 1992.

- /WARS-97/ Warschat, J.; Wörner, K.; Wißler, K. F.: Mit Rapid Product Development Produkte ganzheitlich entwickeln. Konferenz Einzelbericht 5. Internationaler Anwender-Kongress: Produkt- und Prozessinnovationen mit neuen Technologien. Dresden: 25.-26. Sep. 1997.
- /WARS-99/ Warschat, J.; Bullinger H. J.; Baur, B.: Einsatz moderner Verfahren in der Prototyp-Herstellung - Das "Engineering Solution Center" als Plattform. VDI-Zeitschrift, Band VII, Special 1999.
- /WARS-00a/ Warschat, J.: Produktentwicklungsumgebungen. Konferenz Einzelbericht: Stuttgarter Impulse, 26.-27. Sep. 2000, Tagungsband: Technologien für die Zukunft. Berlin: Springer Verlag, 2000.
- /WARS-00b/ Warschat, J. et al.: Teamorientiertes Kommunikationssystem für vernetztes Arbeiten. Wissenschaftliche Schriftenreihe des IBF: "Vernetzt planen und produzieren - VPP 2000". Chemnitz: TU Chemnitz, 2000.
- /WARS-00c/ Warschat, J.; Prieto, J.; Wagner, F.: Ein integriertes Konzept für die evolutionär-iterative Produktentwicklung. In: Bürgel, H. D. (Hrsg.): Forschungs- und Entwicklungsmanagement 2000plus. Konzepte und Herausforderungen für die Zukunft. Berlin, Heidelberg: Springer Verlag, 2000.
- /WARS-01/ Warschat, J.; Bullinger, H. J. et al.: 3D-Produktmodellierung und digitale Fabrik. Konferenz Einzelbericht Tagung Stuttgart, 19.-20. Juni 2001: Informationsverarbeitung in der Produktentwicklung. Effiziente 3D-Produktmodellierung - Fortschritte und Fallstricke, VDI Berichte, Band 1614, Düsseldorf: VDI, 2001.
- /WEID-03/ Weidlich, D.; Steiner, R.: Lösungsansätze zur Angebotsgenerierung für die Produktentwicklung in hierarchielosen Netzen. Wissenschaftliche Schriftenreihe des IBF: "Vernetzt planen und produzieren - VPP 2003". Chemnitz: TU Chemnitz, 2003.
- /WEID-04a/ Weidlich, D.; Riegel, J.; Steiner, R.: Beitrag von Virtual Reality-Technologien im Produktentwicklungsprozess. Wissenschaftliche Schriftenreihe des IBF: "Vernetzt planen und produzieren VPP 2004". Tagungsband, Sonderheft 7, Chemnitz: TU Chemnitz, 2004.
- /WEID-04b/ Weidlich, D.; Kolbig, S.; Steiner, R.: Potentials of Virtual Reality Technology for Product Development in Non-Hierarchical Production Networks. In: International Research/ Expert Conference: "Trends in the Development of Machinery and Associated Technology". Neum, Bosnia and Herzegovina: Proceedings of the TMT, 2004.

- /WEST-00a/ Westkämper, E.; Zahn, E.; Balve, P.; Tilebein, M.: Ansätze zur Wandlungsfähigkeit von Produktionsunternehmen. *wt Werkstattstechnik* 90, Heft 1/2, 2000.
- /WEST-00b/ Westkämper, E.: Auf dem Weg zum Virtuellen Unternehmen. In: Kaluza, B.; Blecker, T. (Hrsg.): *Produktions- und Logistikmanagement in Virtuellen Unternehmen und Unternehmensnetzwerken*. Berlin: Springer Verlag, 2000.
- /WEST-02a/ Westkämper, E.: Wandlungsfähigkeit und Fabrikstrukturen. In: Westkämper, E. (Hrsg.): *Wandlungsfähige Unternehmensstrukturen für die variantenreiche Serienproduktion: Forschungsstrategien, Ergebnisse, Anwendungen*. Stuttgart: Fraunhofer IRB Verlag, 2002.
- /WEST-02b/ Westkämper, E.; Schraft, R. D.; Sihm, W.: Zukunftssicherung und Risikooptimierung in der Produktentwicklung. Stuttgart: Fraunhofer IPA-Tagung F81, 14. November 2002.
- /WILD-94/ Wildemann, H.: *Die modulare Fabrik*. München: TCW GmbH, 1995
- /WILD-96/ Wildemann, H.: Netzwerkstrukturen als neue Form der Unternehmensorganisation. *ZWF* 91, Heft 1/2, 1996.
- /WILD-97/ Wildemann, H.: Organisationsgestaltung Unternehmen mit Zukunft. In: Reinhard, G.; Milberg, J. (Hrsg.): *Mit Schwung zum Aufschwung: Information - Innovation – Inspiration*. Münchner Kolloquium '97, Landsberg/Lech: Moderne Industrie, 1997.
- /WILD-00/ Wildemann, H.: Vernetzte Produktionsunternehmen. *ZWF* 95, Heft 4, 2000.
- /WILD-02/ Wildemann, H.: Entwicklungsnetzwerke als Wettbewerbsvorteil. In: Wirth, S. (Hrsg.): *Vernetzt planen und produzieren*. Stuttgart: Schäffer-Poeschel Verlag, 2002.
- /WIND-01/ Windeler, A.: Unternehmensnetzwerke. Konstitution und Strukturierung. *QUEM-Bulletin*, Wiesbaden: Westdeutscher Verlag, 2001.
- /WIRT-98/ Wirth, S.; Baumann, A.: *Innovative Unternehmens- und Produktionsnetze*. Heft 8, Chemnitz: TU Chemnitz, 1998.
- /WIRT-99/ Wirth, S.: Sonderforschungsbereich 457 Hierarchielose regionale Produktionsnetze. Finanzierungsantrag 2000,2001, 2002. Chemnitz: TU Chemnitz, 1999.
- /WIRT-00a/ Wirth, S.: Von hierarchischen Unternehmensnetzen zu hierarchielosen (-armen) Produktionsnetzen. In: Wojda, F. (Hrsg.): *Innovative Organisationsformen - neue Entwicklungen in der Unternehmensorganisation*. Stuttgart: Schäffer-Poeschel Verlag, 2000.

- /WIRT-00b/ Wirth, S.; Enderlein, H.; Petermann, J.: Kompetenznetze der Produktion. Vortragsband "Vernetzt planen und produzieren". Chemnitz: TU Chemnitz, 2000.
- /WIRT-01/ Wirth, S.: Kompetenzzellenbasierte Produktionsnetze – Thesen. In: Wirth, S. (Hrsg.): Vernetzt planen und produzieren - VPP 2001. Chemnitz: Eigenverlag, 2001.
- /WIRT-03/ Wirth, S.; Näser, P.; Ackermann, J.; Wieland, P.: Vom Fertigungsplatz zur Kompetenzzelle - Voraussetzung für den Aufbau kompetenzzellenbasierter Netze. ZWF 98, Heft 3, 2003.

10 Anhang

10.1 Abbildungsverzeichnis

Abb. 1: Zielsetzung und Gliederung der vorliegenden Arbeit.....	5
Abb. 2: Chancen und Risiken von Kooperationen/Unternehmen.....	6
Abb. 3: Entwicklungsprozess im Unternehmen.....	8
Abb. 4: Vergleich unternehmensinterne und kooperative Produktentwicklung (i. A. a. /HAGE-03/)	9
Abb. 5: Produktspektrum der befragten Unternehmen.....	10
Abb. 6: Auftragscharakteristik.....	11
Abb. 7: Kooperationsgründe (Mehrfachnennungen möglich).....	12
Abb. 8: Kooperationshemmnisse (Mehrfachnennungen möglich).....	12
Abb. 9: Produktentwicklungsstrategien (Mehrfachnennungen möglich).....	13
Abb. 10: Verwendete Produktentwicklungsmethoden (Mehrfachnennungen möglich).....	14
Abb. 11: Simulationsmethoden versus Produktentwicklungsphase (Mehrfachnennungen möglich)	15
Abb. 12: Verwendete Softwaresysteme (Mehrfachnennungen möglich).....	15
Abb. 13: Charakteristik: Zentralisation versus Dezentralisation.....	17
Abb. 14: Entwicklung von Unternehmens- zu Kompetenznetzen (i. A. a. /SCHE-04/, /WIRT-00b/)	19
Abb. 15: Typologie interorganisationaler Netzwerke (i. A. a. /SYDO-01/.....	20
Abb. 16: Einordnung des Forschungsansatzes in die Netzwerk-/Kooperationsforschung (i. A. a. /BUSE-97/, /WILD-96/, /MECK-96/.....	21
Abb. 17: Hierarchieloses Produktionsnetz (i. A. a. /WIRT-00b/.....	23
Abb. 18: Einzelunternehmen – Hierarchieloses Netz.....	24
Abb. 19: Tätigkeiten und Ergebnisse in Bezug auf die Dienstleistungssicht.....	25
Abb. 20: Qualitative Bewertung von Produktentwicklungsstrategien.....	32
Abb. 21: Konstruktionsarten/Konstruktionsphasen nach VDI 2210 /VDI-2210/.....	33
Abb. 22: Gegenüberstellung von Konstruktionsmethodiken.....	34

Abb. 23: Phasen der Produktentwicklung.....	36
Abb. 24: Kompetenzrahmen der Produktentwicklung.....	40
Abb. 25: Aktivitäten der Produktentwicklungskompetenzzellen.....	42
Abb. 26: Entwicklungsprozess am Beispiel des mechatronischen Produktes WZM.....	43
Abb. 27: Generisches Kompetenzzellenmodell	44
Abb. 28: Geschäftsobjektmodell.....	46
Abb. 29: Methodenmodell	48
Abb. 30: Nichtpersonelles Ressourcenmodell	50
Abb. 31: Beispielhafte Produktentwicklungskompetenzzellen.....	51
Abb. 32: Erstellung des Beschreibungsvektors (UML)	52
Abb. 33: Beschreibungsalgorithmus Produktentwicklungskompetenzzellen	53
Abb. 34: Serienentwicklung mechatronischer Produkte.....	55
Abb. 35: Kompetenzprofile	56
Abb. 36: Beispiel Kompetenzprofil HSC-Fräsmaschinen einer Kompetenzzelle	57
Abb. 37: Kompetenzpotenzialbewertung.....	58
Abb. 38: Einfluss des Basis- und Zeitgewichts in Abhängigkeit der Projektanzahl.....	60
Abb. 39: Wurzelexponent K_{exp} in Abhängigkeit der Anzahl und des Alters der Bewertungen.....	62
Abb. 40: Potenzialwert in Abhängigkeit vom Basis- und Wurzelwert.....	63
Abb. 41: Beispielhafter Kompetenzpotenzialverlauf.....	65
Abb. 42: Phasen des Produktentwicklungsprozesses in hierarchielosen Netzen	70
Abb. 43: Angebots-Start-Up/Start-Up-Varianten	71
Abb. 44: Auftrags-Start-Up	72
Abb. 45: Strategien im kompetenzzellenbasierten Produktentwicklungsprozess.....	73
Abb. 46: Anfragezyklus Kompetenznetz.....	75
Abb. 47: Angebotsgenerierung	76
Abb. 48: Abhängigkeit zwischen Konstruktionsarten und Produktentwicklungsphasen.....	78
Abb. 49: Generierende/Projektierende Vorgehensweise	79

Abb. 50: Produktentwicklungsprozess am Beispiel mechatronischer Produkte	80
Abb. 51: Prozess der kompetenzzellenbasierten Produktentwicklung.....	82
Abb. 52: Produktentwicklungs-Workflow	83
Abb. 53: Verifizierung/Validierung	84
Abb. 54: Beschreibungsstruktur.....	87
Abb. 55: Substrukturen	88
Abb. 56: Datenstruktur KoAg.....	91
Abb. 57: Ablauf der Beschreibung von Kompetenzkomponenten	93
Abb. 58: Struktur des Ablaufs von Projekten im KoAg	95
Abb. 59: Kompetenzzellenbasierte Produktentwicklung am Beispiel der Motorspindel	100
Abb. 60: Sonderschleifmaschine.....	101
Abb. 61: Baugruppenstruktur Sonderschleifmaschine.....	103
Abb. 62: Baugruppen Werkstückträgergruppe	104
Abb. 63: Kompetenzzellenbasierte Produktentwicklung – Sonderschleifmaschine (Teil 1).....	105
Abb. 64: Kompetenzzellenbasierte Produktentwicklung – Sonderschleifmaschine (Teil 2).....	107
Abb. 65: Einordnung der Ergebnisse	110
Abb. 66: Einschätzung der Erfüllung der Zielsetzung der Arbeit.....	113
Abb. 67: Kompetenzzellenbasierte Produktinnovationen.....	115
Abb. 68: Kompetenzcluster der Produktentwicklung	118
Abb. 69: Automobil - Ausblick auf Kompetenzbeschreibungen	119

10.2 Tabellenverzeichnis

Tab. 1: Produkt und Geschäftsobjekt.....	45
Tab. 2: Vergleich Produktentwicklungsphasen/-aktivitäten	49
Tab. 3: Klassifikation von Komponenten der Produktentwicklungskompetenzzellen	51
Tab. 4: Anforderungsvektor Produktentwicklungskompetenzzelle	54
Tab. 5: Zufallsbeispiel Kompetenzpotenzialentwicklung.....	64
Tab. 6: Selektion einer Kompetenzzelle (Beispiel).....	66
Tab. 7: KoAg-Funktionalitäten für Kompetenzzellen	85
Tab. 8: KoAg-Funktionalitäten des Administrators.....	86
Tab. 9: Objekttypen	88
Tab. 10: Kompetenzzellen-Datensatz <i>kpz_kpzlist</i> (Datentyp).....	89
Tab. 11: Verwaltung und Beschreibung von Kompetenzkomponenten	92
Tab. 12: Anforderungsvektoren (Ausschnitt) für Kompetenzzellen im PE-Prozess	99

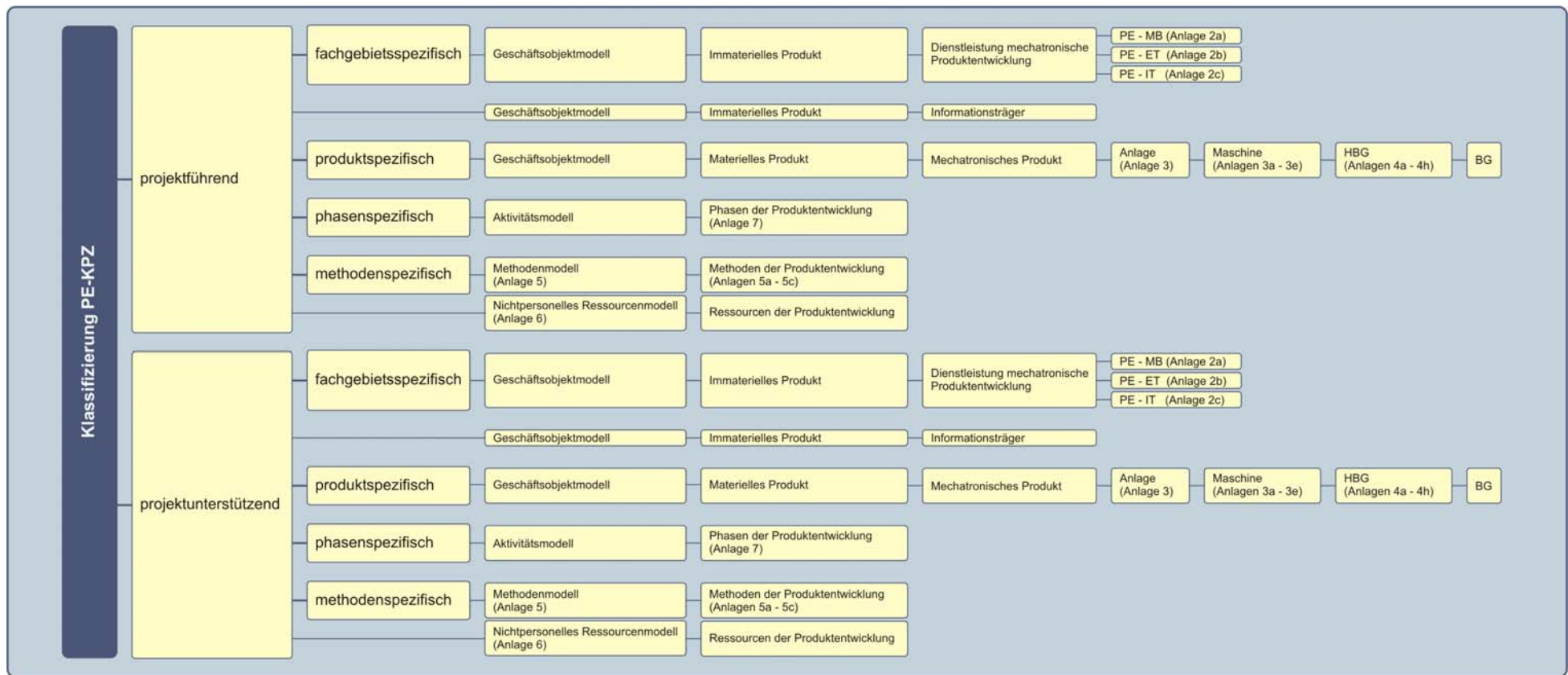
10.3 Anlagenverzeichnis

Anlage 1:	Klassifizierung Produktentwicklungskompetenzzellen - Dienstleistung der mechatronischen Produktentwicklung (WZM).....	141
Anlage 2a:	Immaterielles Produkt – Produktentwicklung Maschinenbau	142
Anlage 2b:	Immaterielles Produkt – Produktentwicklung Elektrotechnik	144
Anlage 2c:	Immaterielles Produkt – Produktentwicklung Informationstechnik	146
Anlage 3:	Materielles Produkt – Anlagen/Werkzeugmaschinen.....	148
Anlage 3a:	Materielles Produkt – Spanende Werkzeugmaschinen	149
Anlage 3b:	Materielles Produkt – Umformende Werkzeugmaschinen	152
Anlage 3c:	Materielles Produkt – Abtragende Werkzeugmaschinen	154
Anlage 3d:	Materielles Produkt – Zerteilende Werkzeugmaschinen	155
Anlage 3e:	Materielles Produkt – Sondermaschinen	155
Anlage 4a:	Materielles Produkt – Hauptbaugruppe Gestell	156
Anlage 4b:	Materielles Produkt – Hauptbaugruppe Antriebe	158
Anlage 4c:	Materielles Produkt – Hauptbaugruppe Werkzeugmaschinenaufstellung	164
Anlage 4d:	Materielles Produkt – Hauptbaugruppe Führungen/Lager	165
Anlage 4e:	Materielles Produkt – Hauptbaugruppe Ver-/Entsorgungssysteme	166
Anlage 4f:	Materielles Produkt – Hauptbaugruppe Werkzeuge	167
Anlage 4g:	Materielles Produkt – Hauptbaugruppe Handhabe-/Verkettungseinrichtungen	169
Anlage 4h:	Materielles Produkt – Hauptbaugruppe Versorgungssystem Wz/Wst	170
Anlage 5:	Methodenmodell – Produktentwicklung	173
Anlage 5a:	Allgemeine Produktentwicklungsmethoden	173
Anlage 5b:	Problemorientierte Produktentwicklungsmethoden	174

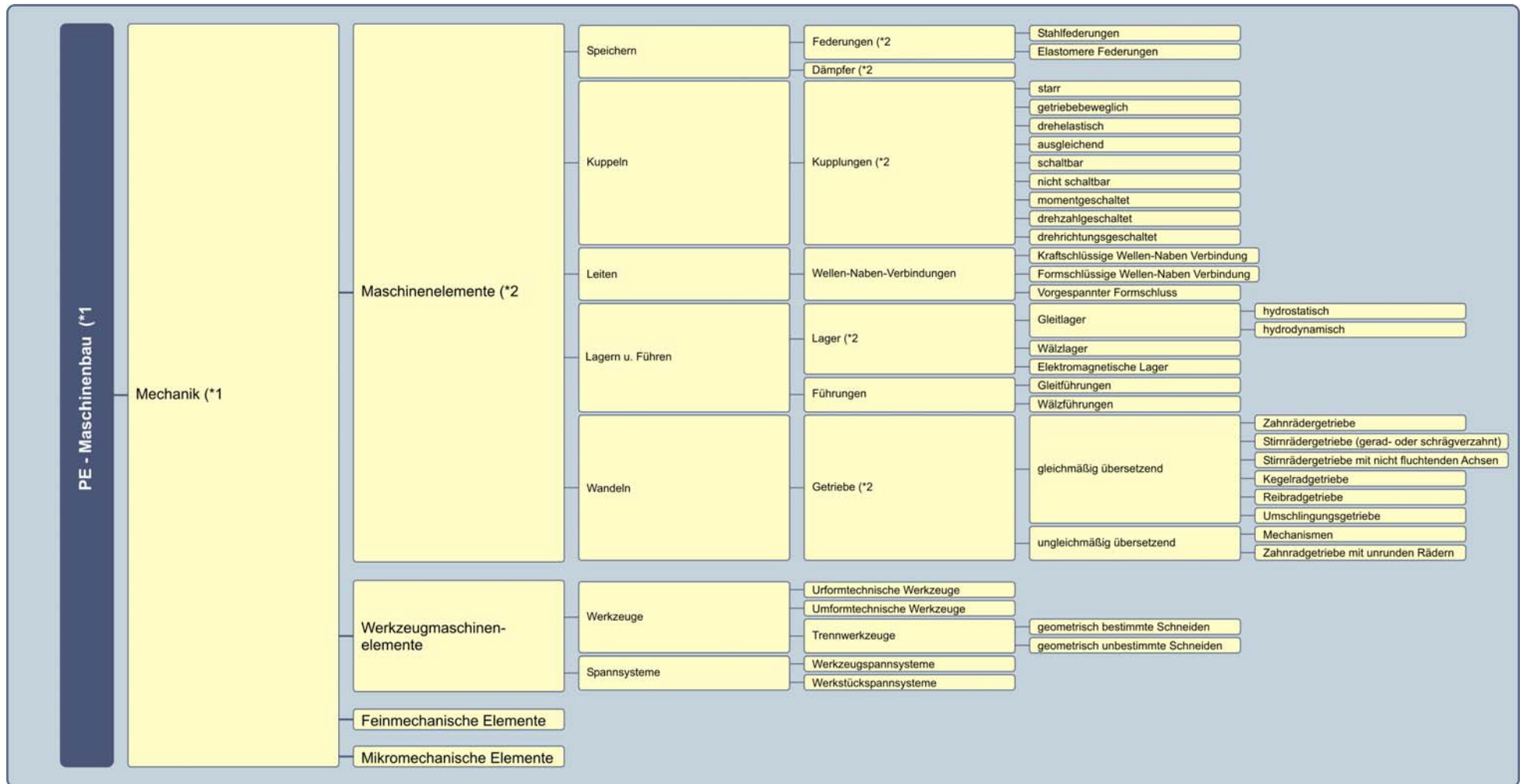
Anlage 5c:	Spezifische Produktentwicklungsmethoden	175
Anlage 6:	Nichtpersonelles Ressourcenmodell	177
Anlage 7:	Ablauf der Aktivitäten kompetenzzellenbasierter Produktentwicklungen.....	180
Anlage 8:	Wertetabelle: Betrachtung der Parameterausprägungen (Verteilung, Altersschnitt, Häufigkeit, Ausprägung) auf das Kompetenzpotenzial	182
Anlage 8a:	Verteilung der Bewertungen und deren Auswirkung auf das Potenzial	184
Anlage 8b:	Altersschnitt der Bewertungen und dessen Auswirkung auf das Potenzial	184
Anlage 8c:	Häufigkeit der Bewertungen und deren Auswirkung auf das Potenzial	185
Anlage 8d:	Ausprägung der Bewertungen und deren Auswirkung auf das Potenzial	185
Anlage 9:	Kompetenzzellenstruktur der Sonderschleifmaschine	186
Anlage 10:	Anforderungsvektoren der Produktentwicklungskompetenzzellen Sonderschleifmaschine	189
Anlage 11:	Werkzeugträgerbaugruppe der Sonderschleifmaschine	192

Quellenangaben (Anlagen)

- *1 VDI - Richtlinie 2206: VDI-Gesellschaft Entwicklung Konstruktion Vertrieb: Entwicklungsmethodik für mechatronische Systeme. Verein Deutscher Ingenieure, VDI-Richtlinien, VDI-Handbuch, Düsseldorf: Beuth Verlag, 2003.
- *2 Isermann, R.: Mechatronische Systeme – Grundlagen. Studienausgabe Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag, 1999.
- *3 Töpfer, H.; Schwarz, A.: Wissensspeicher Fluidtechnik. Hydraulische und Pneumatische Antriebs- und Steuerungstechnik. Leipzig: VEB Fachbuchverlag, 1988
- *4 Isermann, R.; Breuer, B.; Hartnagel, L.: In: DFG (Hrsg.): Mechatronische Systeme für den Maschinenbau. Ergebnisse aus dem Sonderforschungsbereich 241, Integrierte mechanisch-elektronische Systeme für den Maschinenbau (IMES), Weinheim: Wiley-vch Verlag, 2002.
- *5 Grote, K.-H.; Feldhusen, J.: DUBBEL – Taschenbuch für den Maschinenbau. 21. Auflage, Berlin: Springer Verlag, 2005.
- *6 Weck, M.: Werkzeugmaschinen, mechatronische Systeme, Vorschubantriebe, Prozessdiagnose, 6. Auflage (VDI-Buch), Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag, 2006.
- *7 Springer, G.: Lexikon Elektrotechnik. Haan-Gruiten: Verlag Europa Lehrmittel, 1990.
- *8 Pahl, G.; Beitz, W.; Feldhusen, J.; Grote, K.-H.: Konstruktionslehre. Grundlagen erfolgreicher Produktentwicklung, Methoden und Anwendung. 5. Auflage, Berlin: Springer Verlag, 2003.



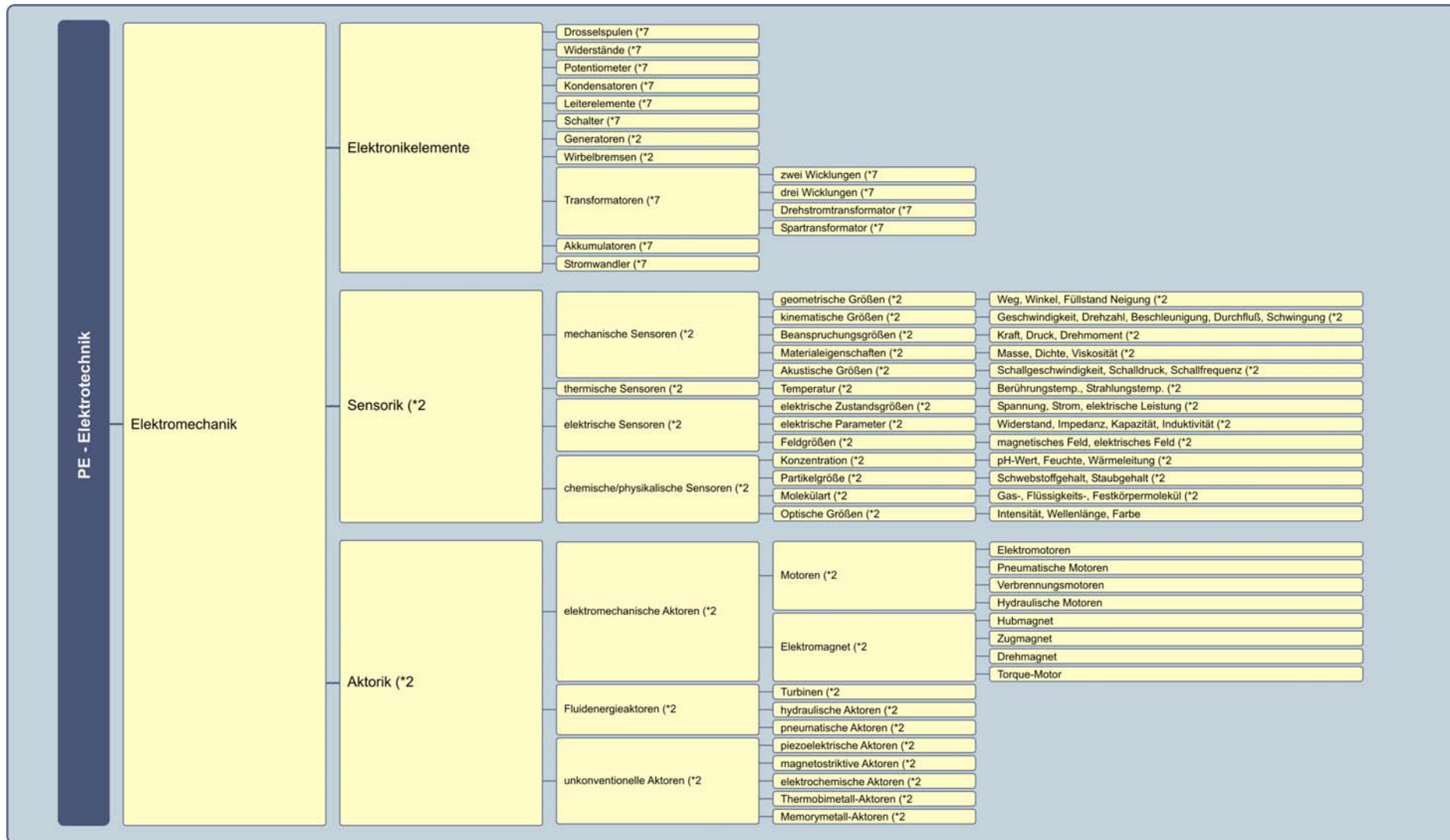
Anl. 1: Klassifizierung Produktentwicklungskompetenzzellen - Dienstleistung der mechatronischen Produktentwicklung (WZM)



Anl. 2a: Immaterielles Produkt – Produktentwicklung Maschinenbau (Teil 1)



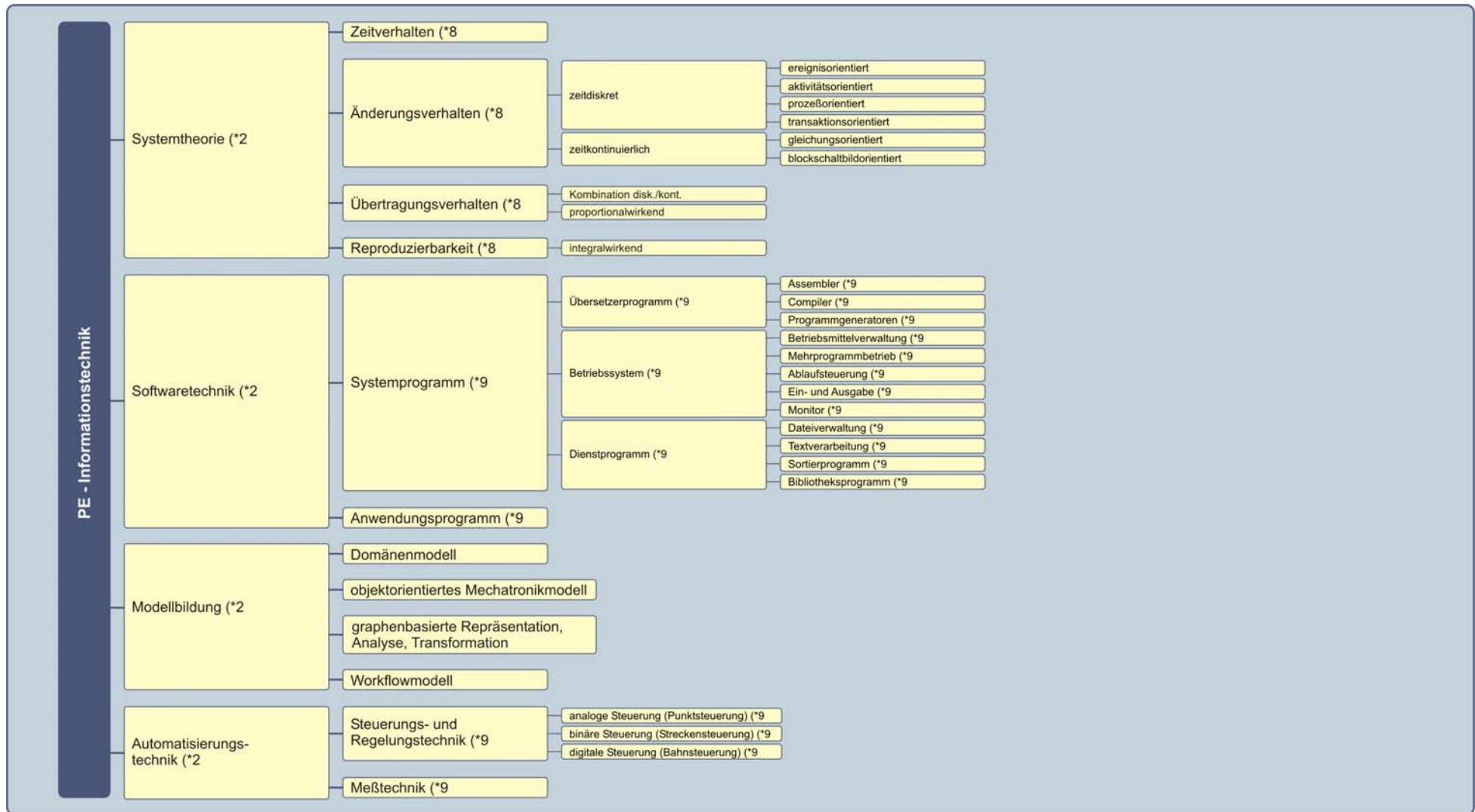
Anl. 2a: Immaterielles Produkt – Produktentwicklung Maschinenbau (Teil 2)



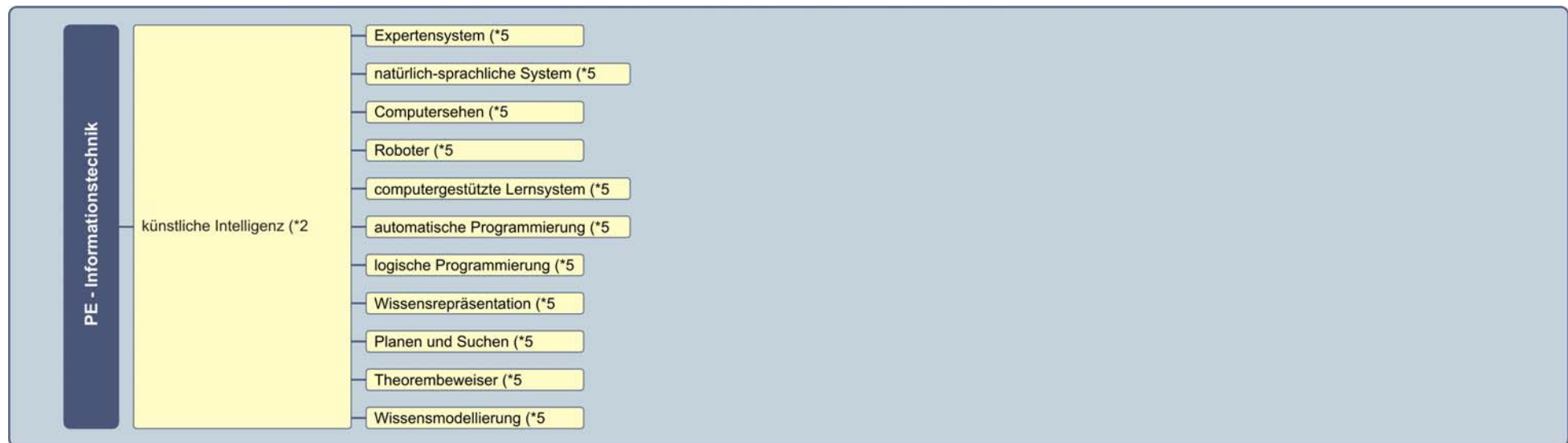
Anl. 2b: Immaterielles Produkt – Produktentwicklung Elektrotechnik (Teil 1)



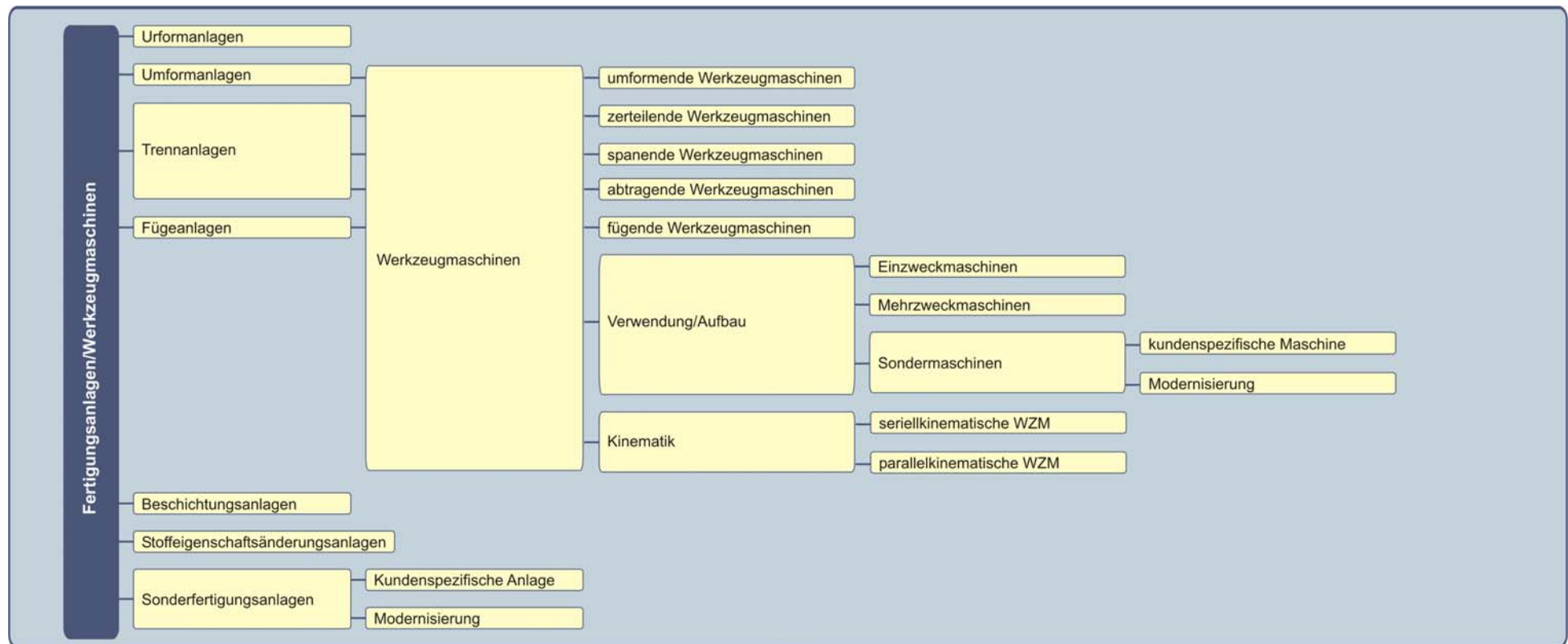
Anl. 2b: Immaterielles Produkt – Produktentwicklung Elektrotechnik (Teil 2)



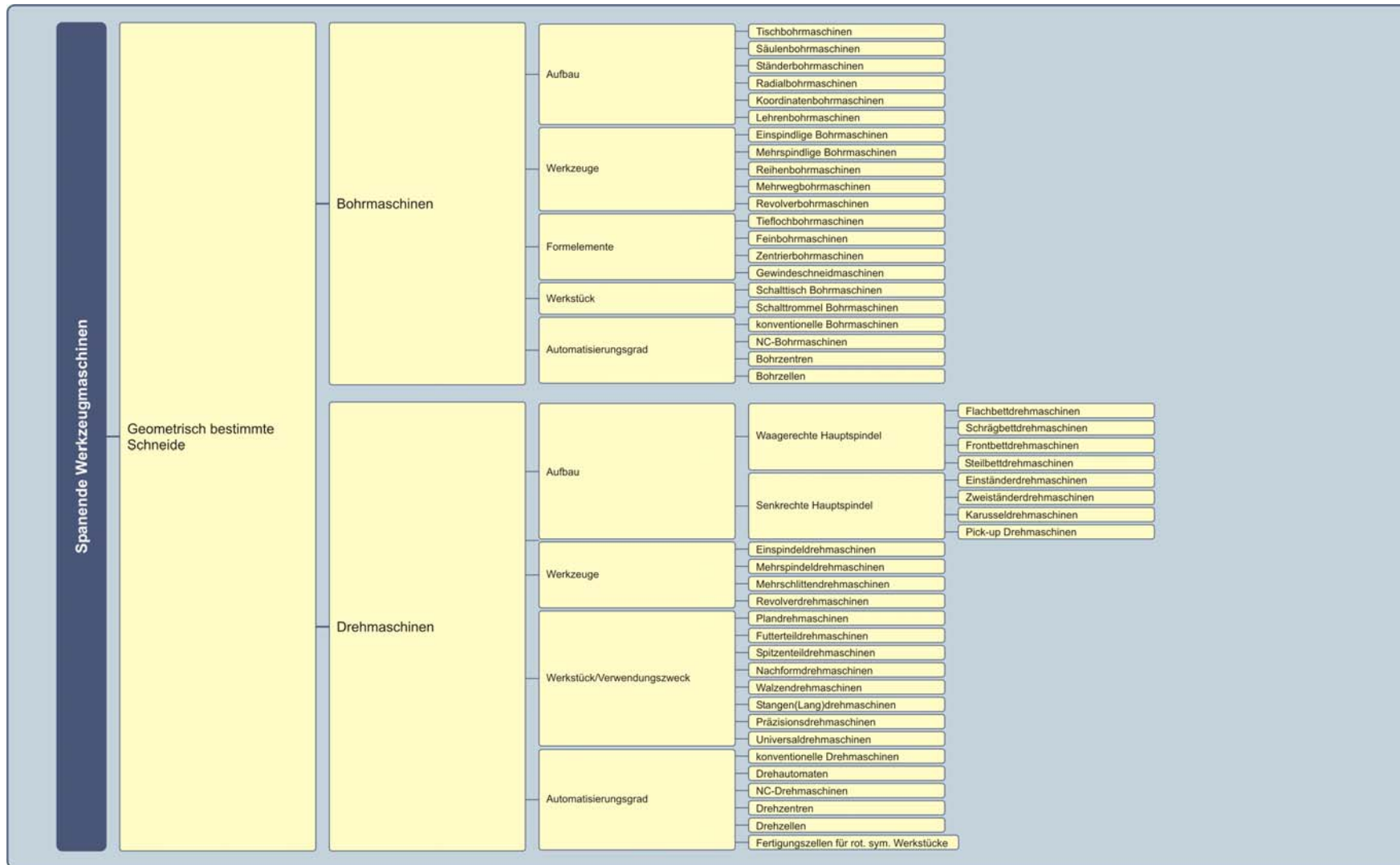
Anl. 2c: Immaterielles Produkt – Produktentwicklung Informationstechnik (Teil 1)



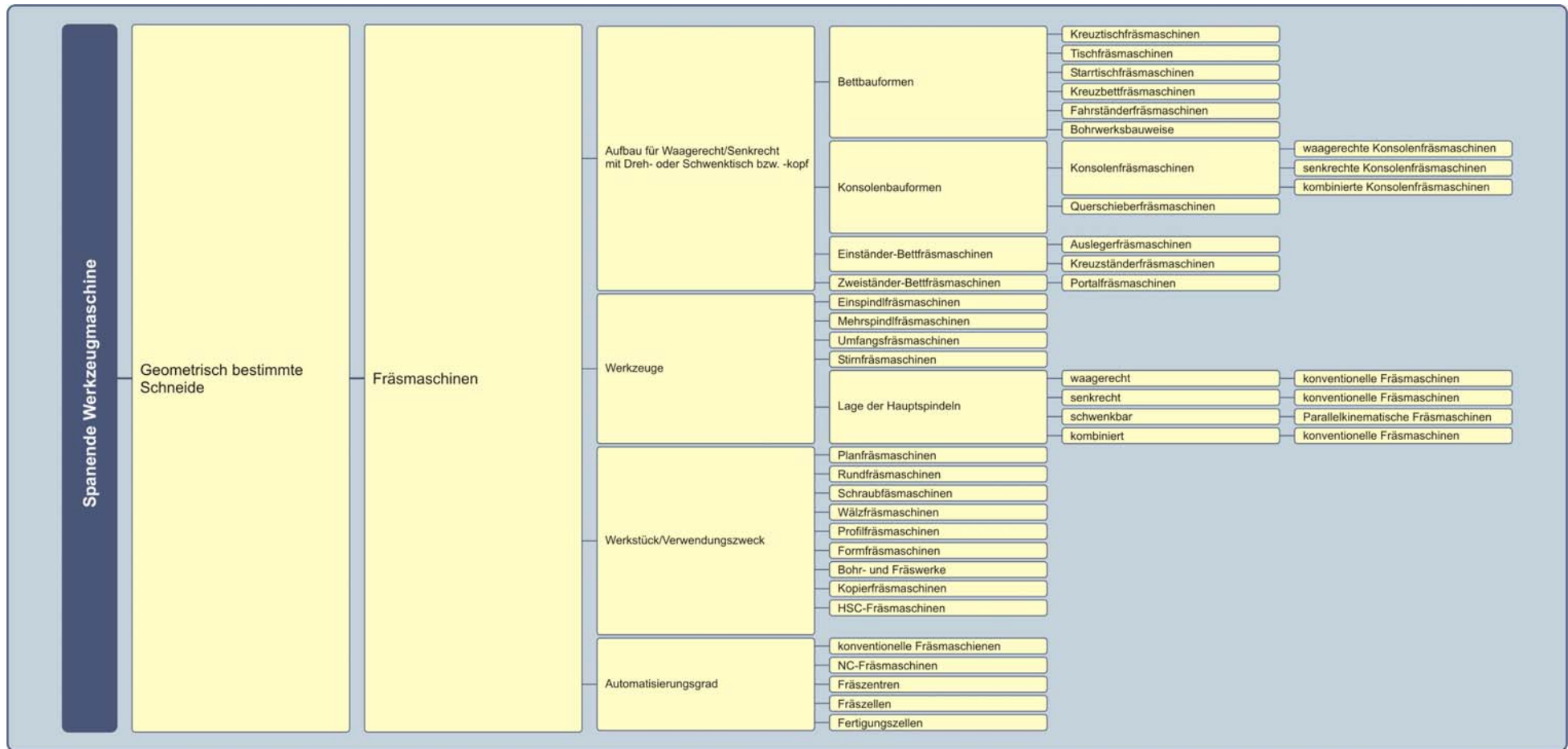
Anl. 2c: Immaterielles Produkt – Produktentwicklung Informationstechnik (Teil 2)



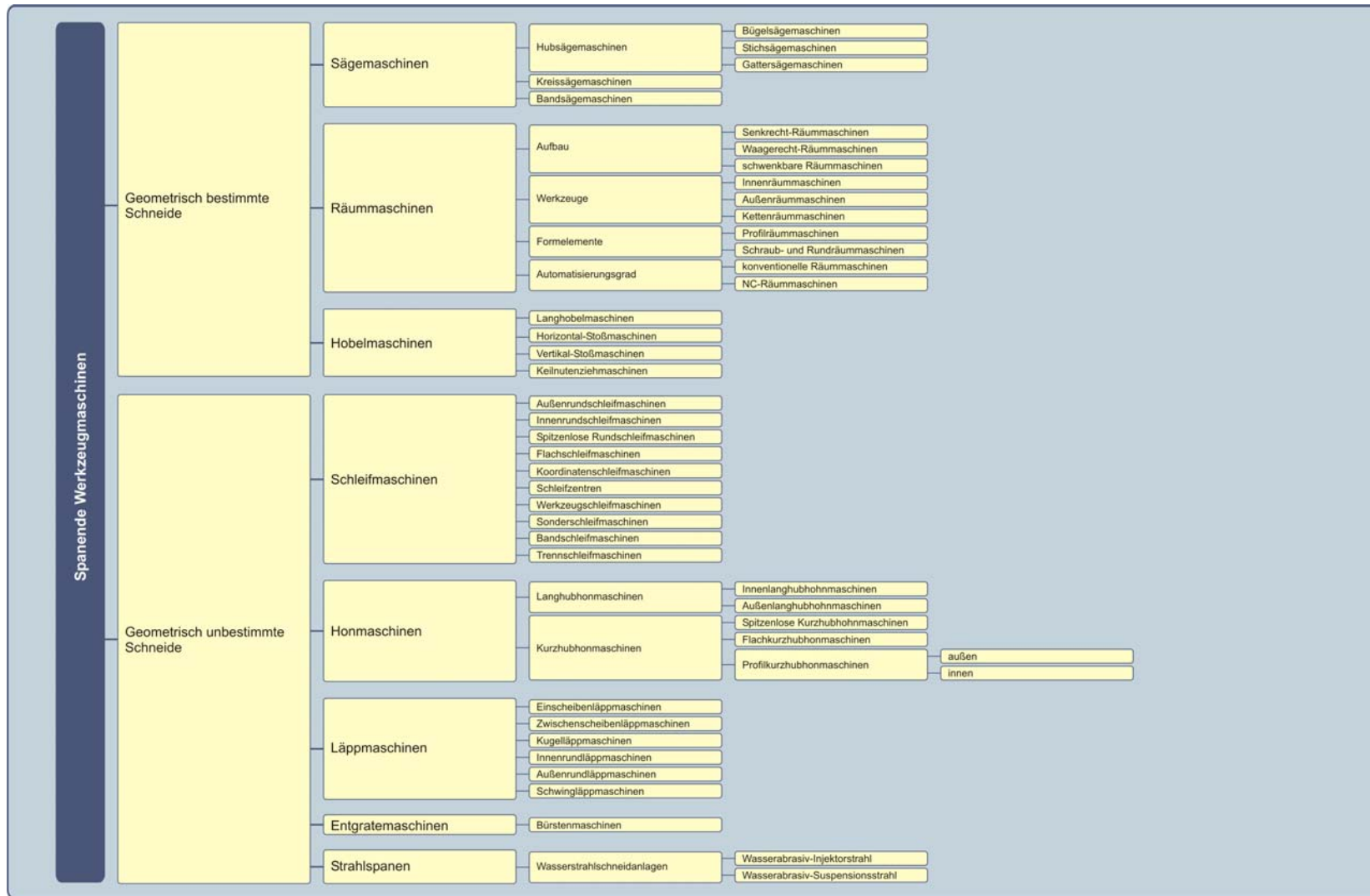
Anl. 3: Materielles Produkt – Anlagen/Werkzeugmaschinen



Anl. 3a: Materielles Produkt – Spanende Werkzeugmaschinen (Teil 1)



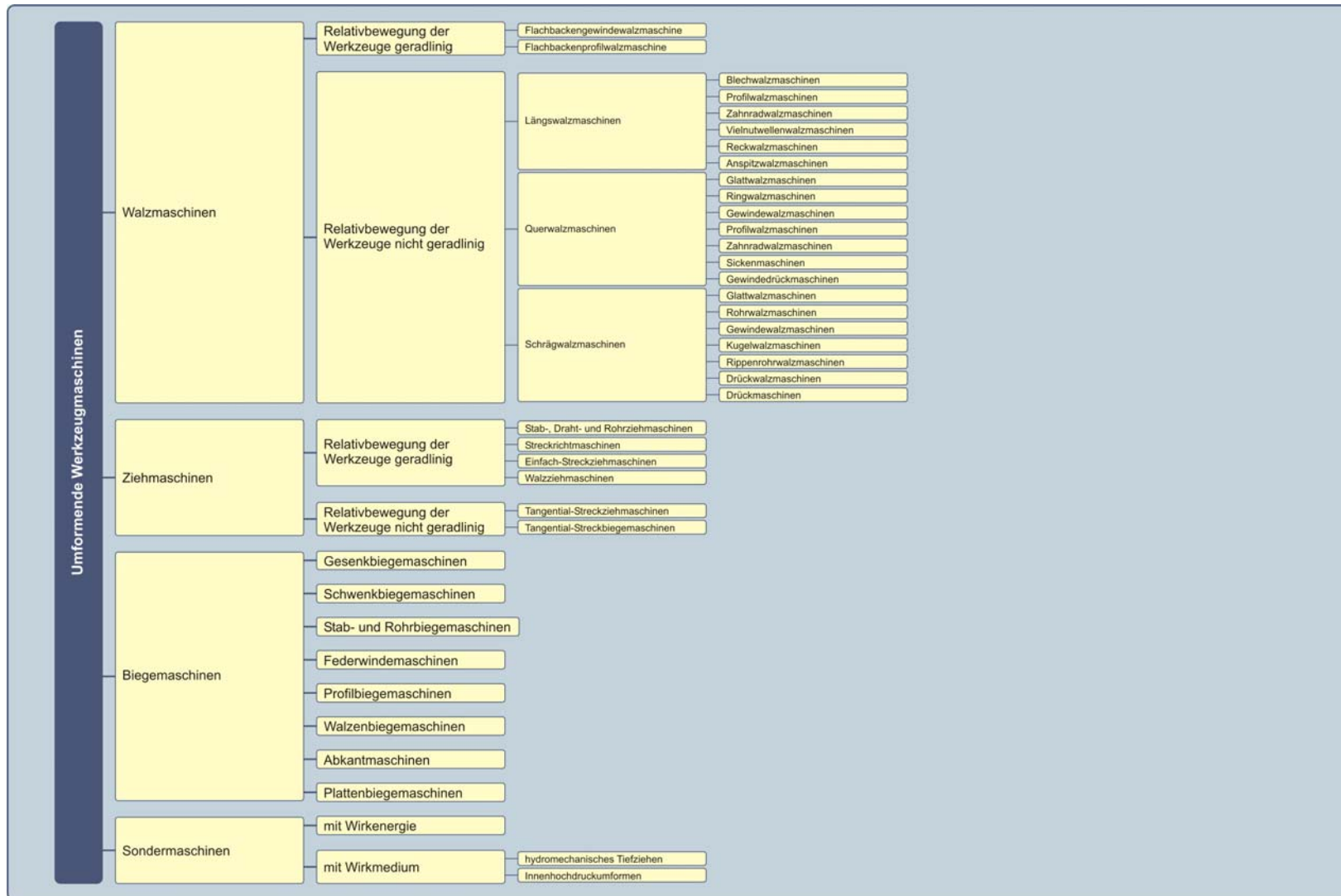
Anl. 3a: Materielles Produkt – Spanende Werkzeugmaschinen (Teil 2)



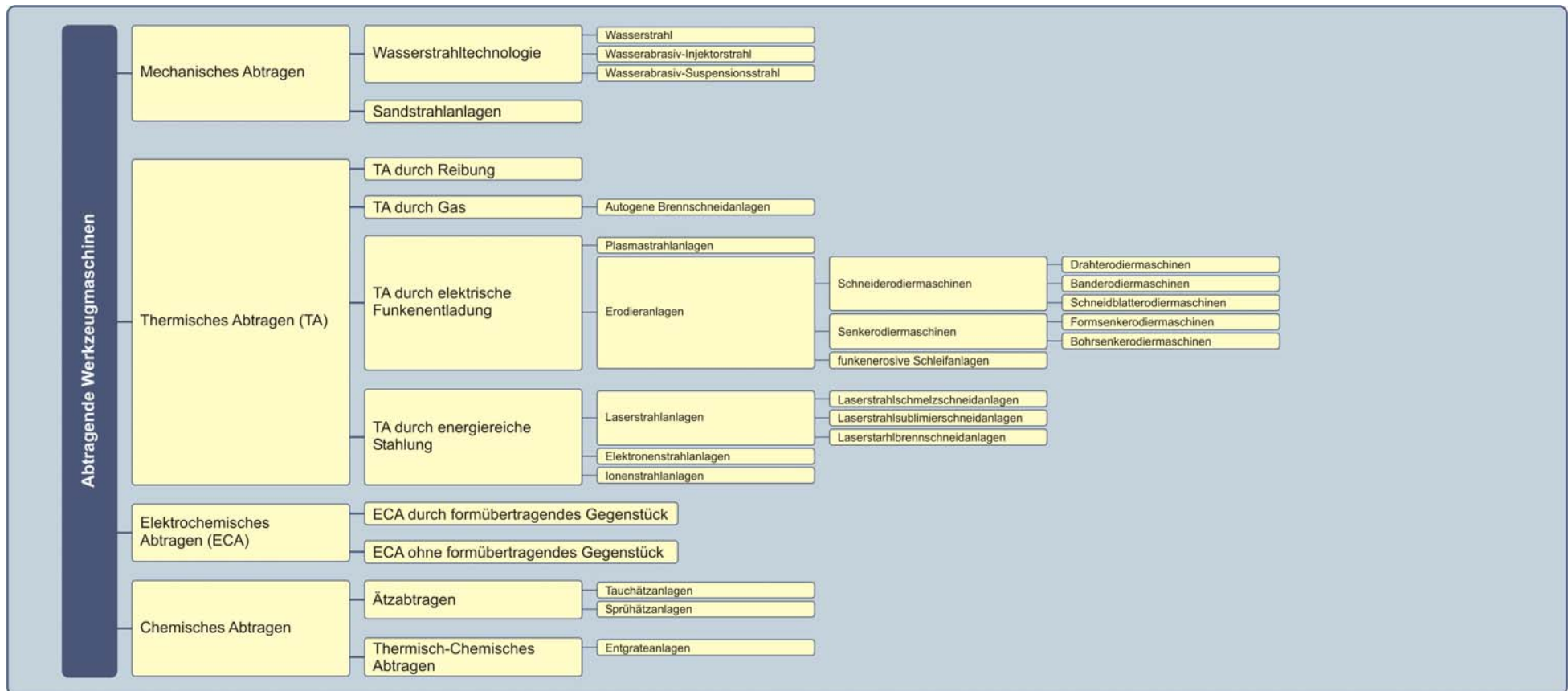
Anl. 3a: Materielles Produkt – Spanende Werkzeugmaschinen (Teil 3)



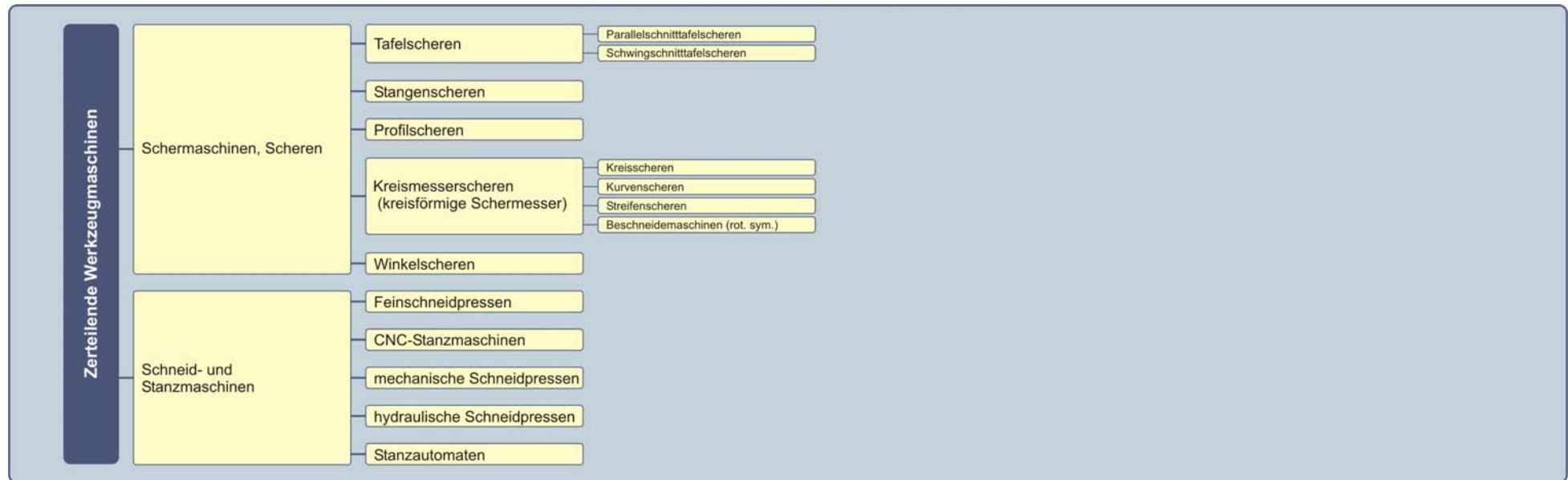
Anl. 3b: Materielles Produkt – Umformende Werkzeugmaschinen (Teil 1)



Anl. 3b: Materielles Produkt – Umformende Werkzeugmaschinen (Teil 2)



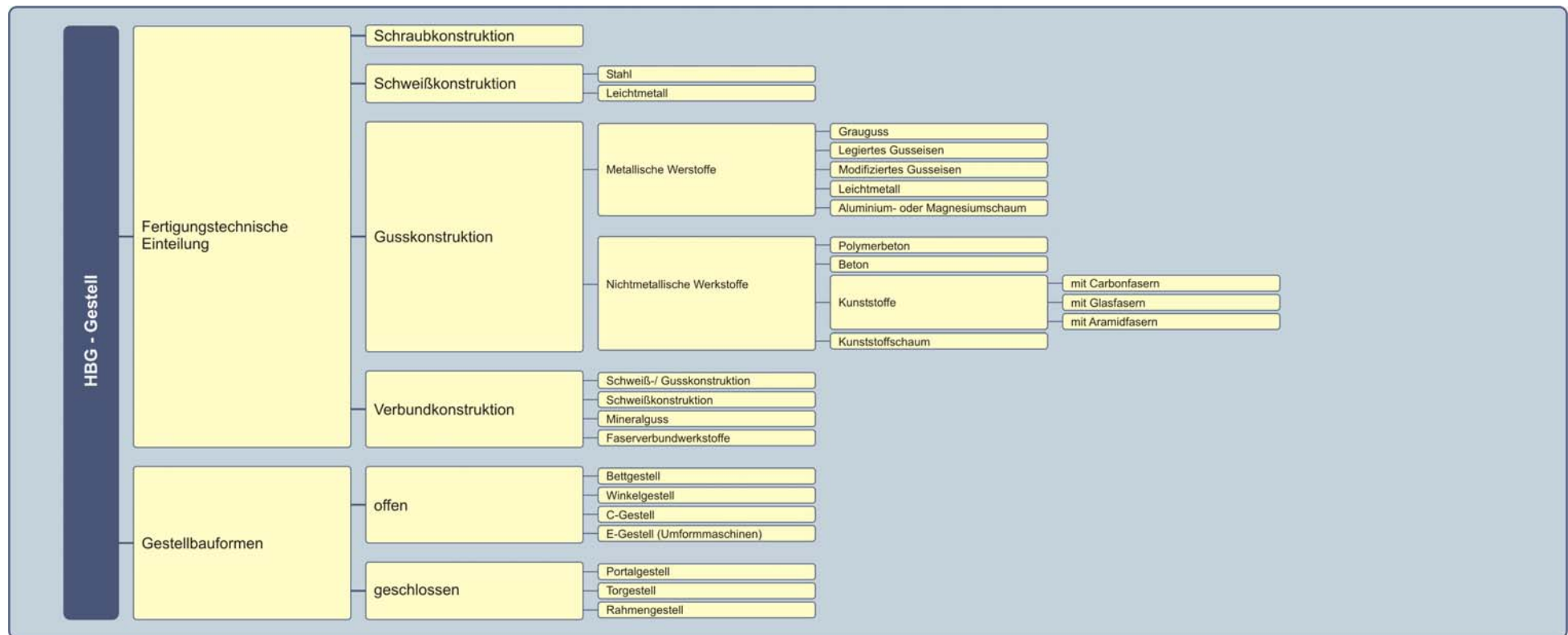
Anl. 3c: Materielles Produkt – Abtragende Werkzeugmaschinen



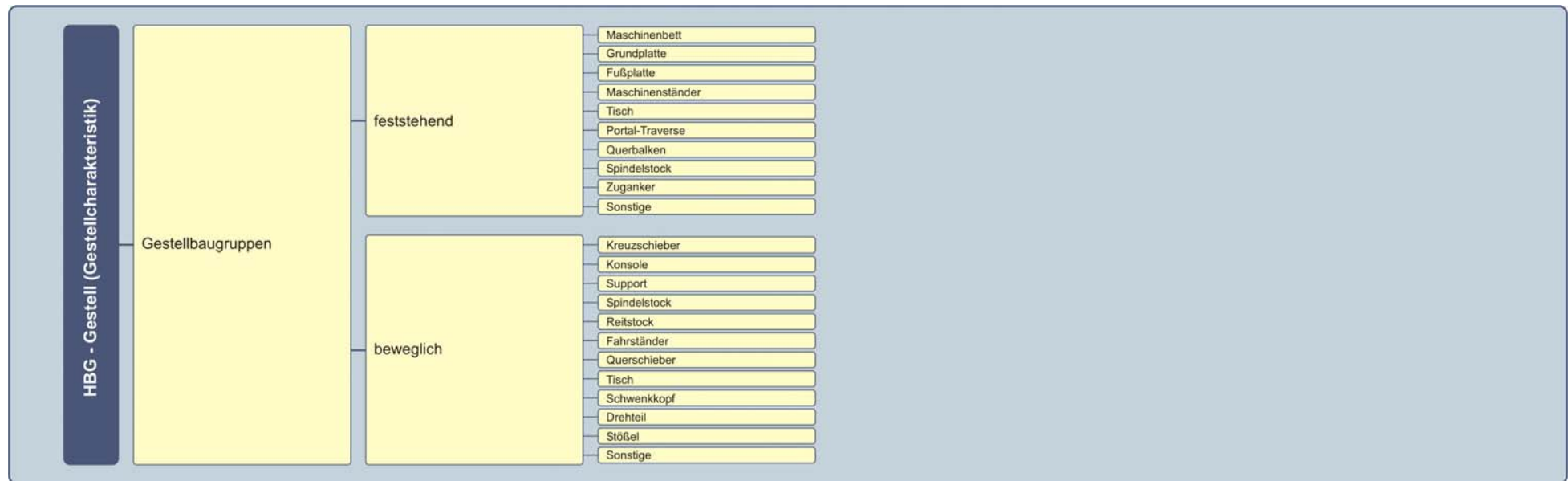
Anl. 3d: Materielles Produkt – Zerteilende Werkzeugmaschinen



Anl. 3e: Materielles Produkt – Sondermaschinen



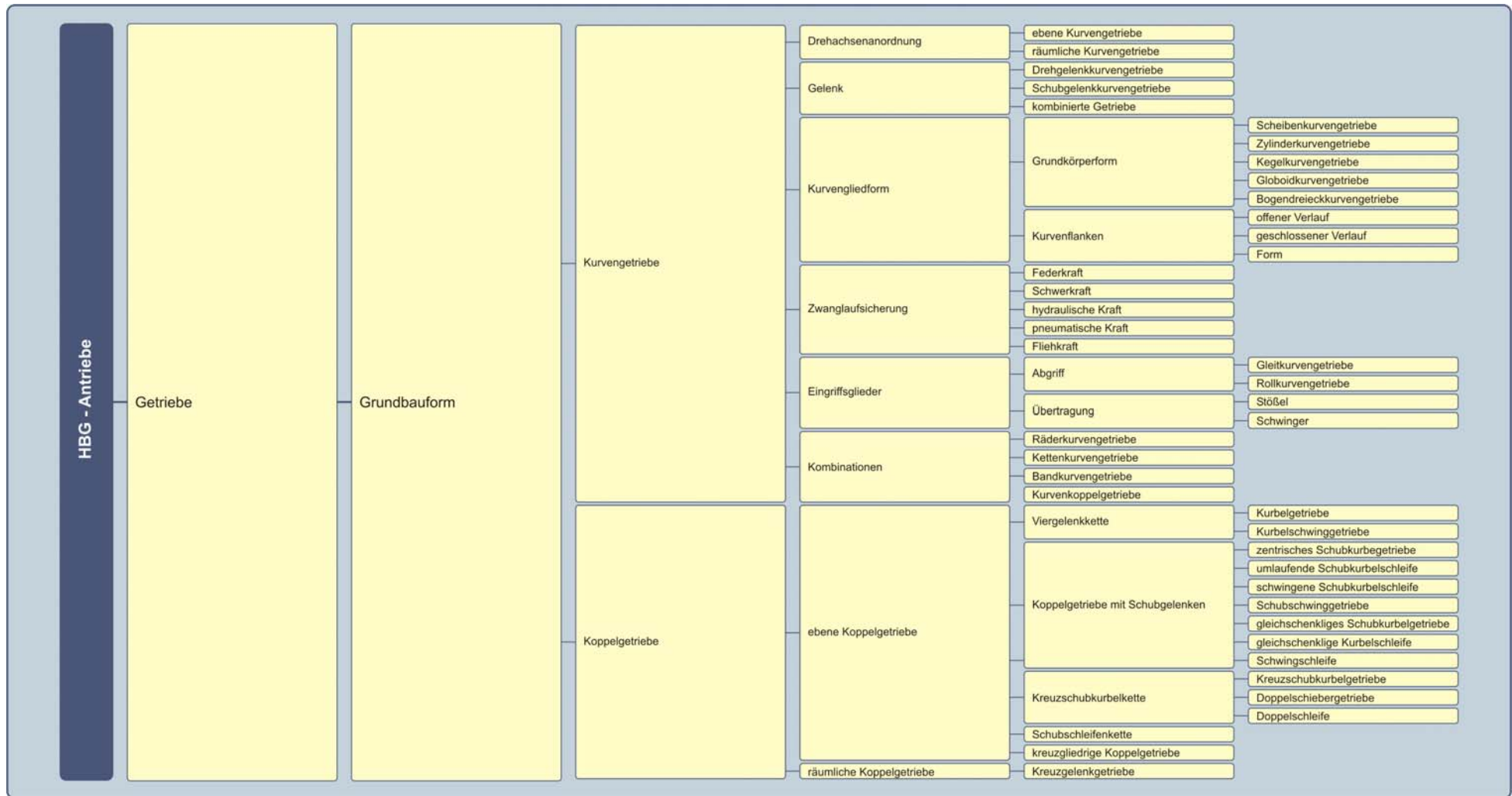
Anl. 4a: Materielles Produkt – Hauptbaugruppe Gestell (Teil 1)



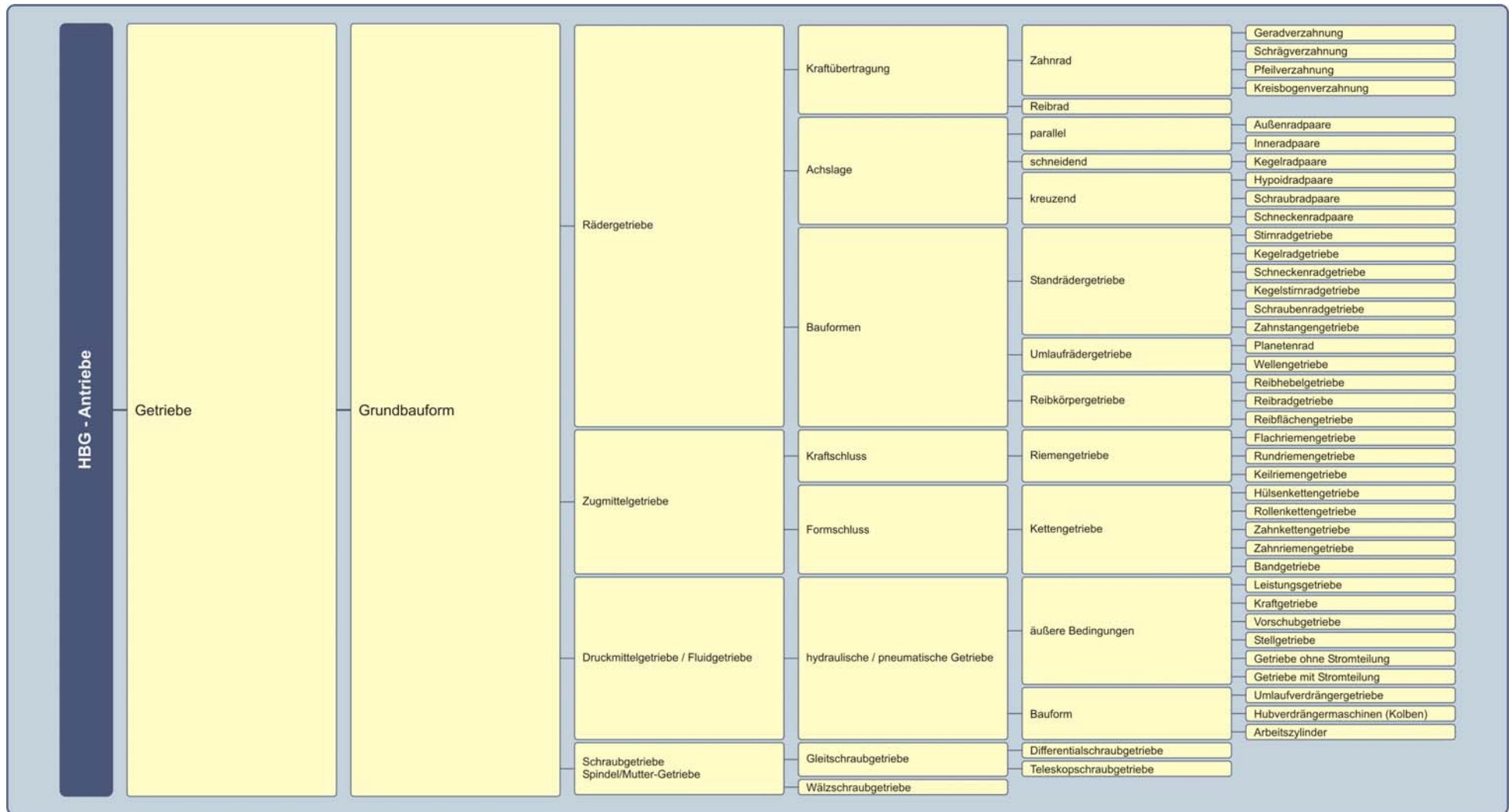
Anl. 4a: Materielles Produkt – Hauptbaugruppe Gestell (Teil 2)



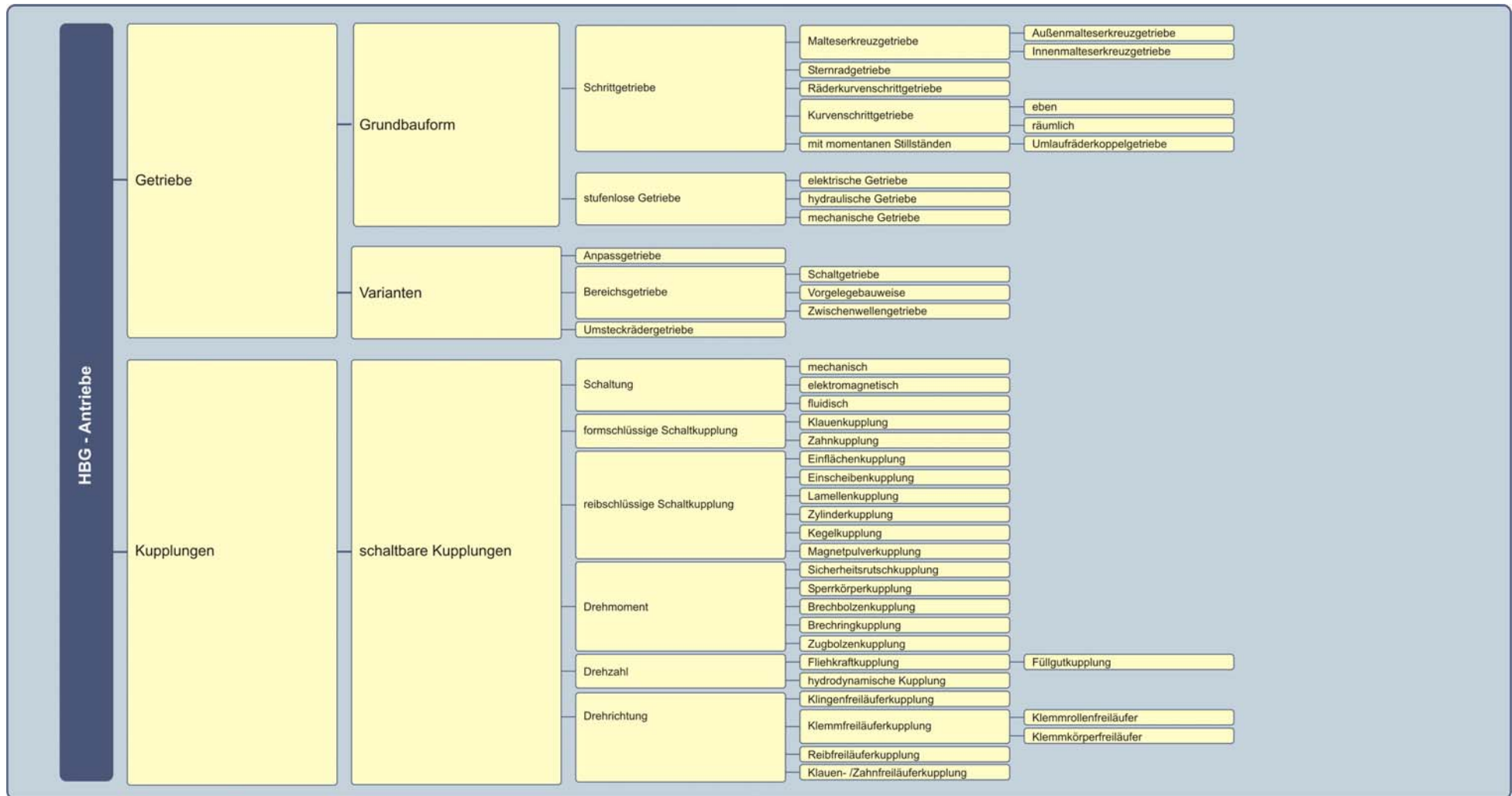
Anl. 4b: Materielles Produkt – Hauptbaugruppe Antriebe (Teil 1)



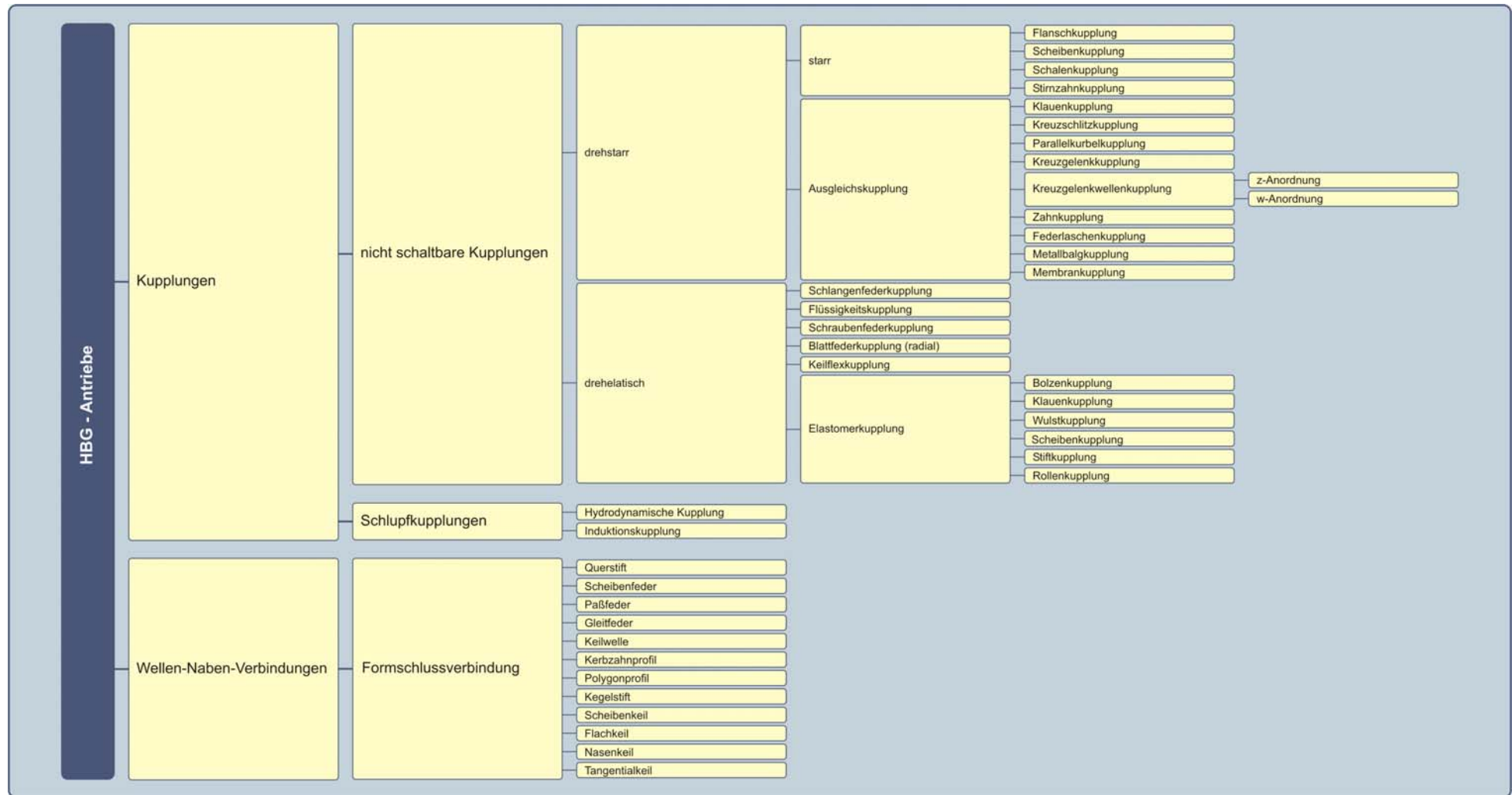
Anl. 4b: Materielles Produkt – Hauptbaugruppe Antriebe (Teil 2)



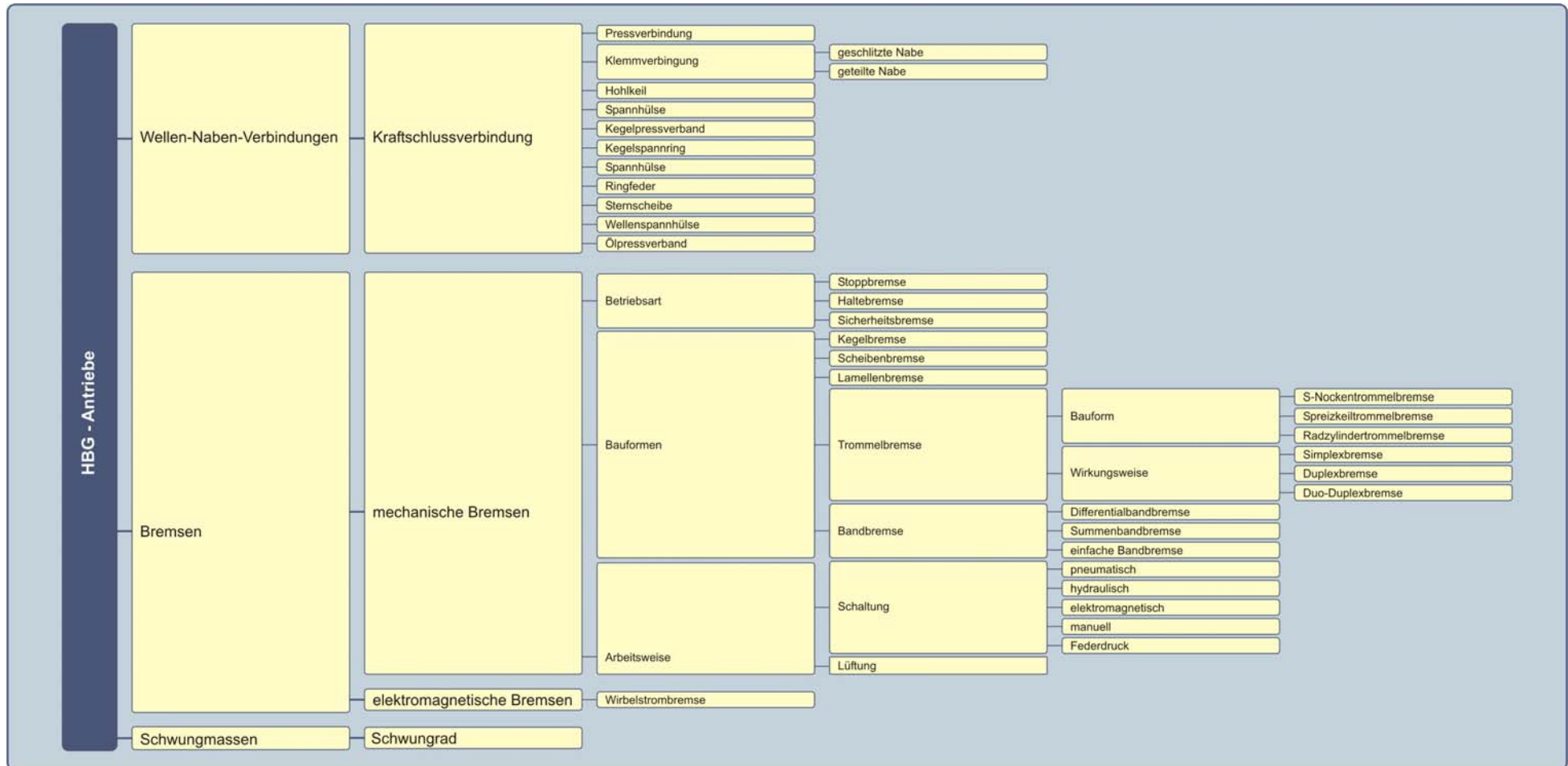
Anl. 4b: Materielles Produkt – Hauptbaugruppe Antriebe (Teil 3)



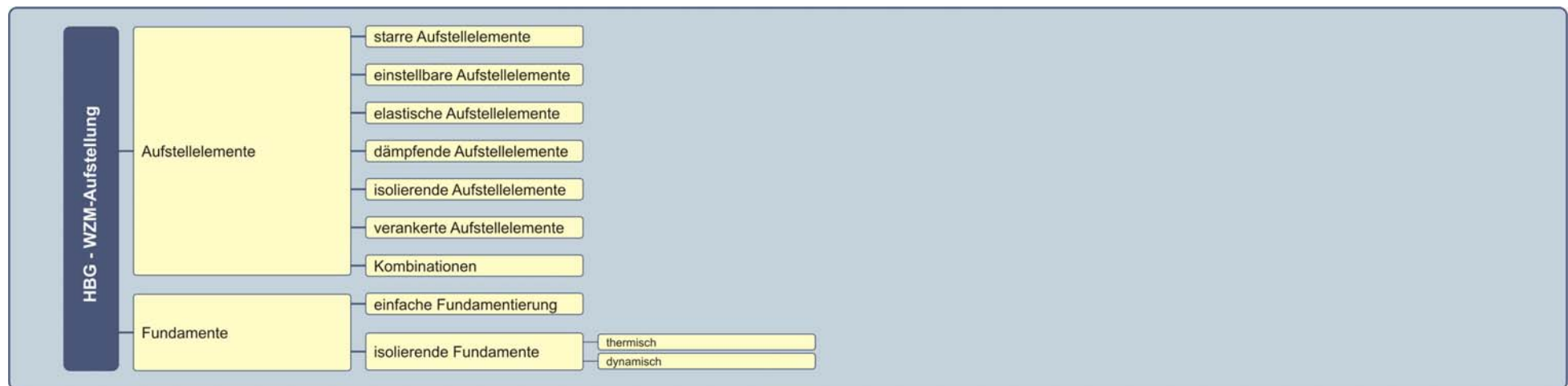
Anl. 4b: Materielles Produkt – Hauptbaugruppe Antriebe (Teil 4)



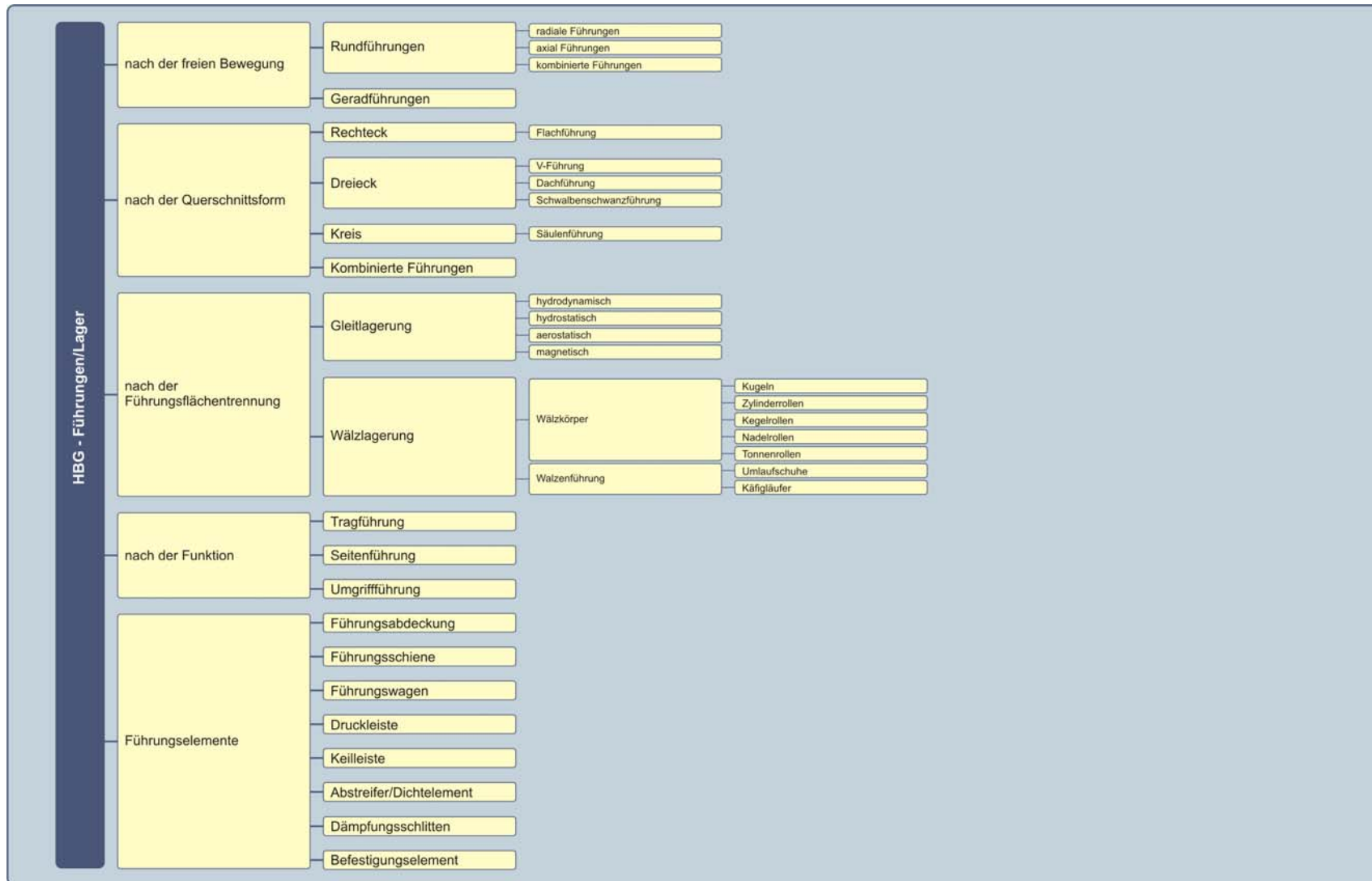
Anl. 4b: Materielles Produkt – Hauptbaugruppe Antriebe (Teil 5)



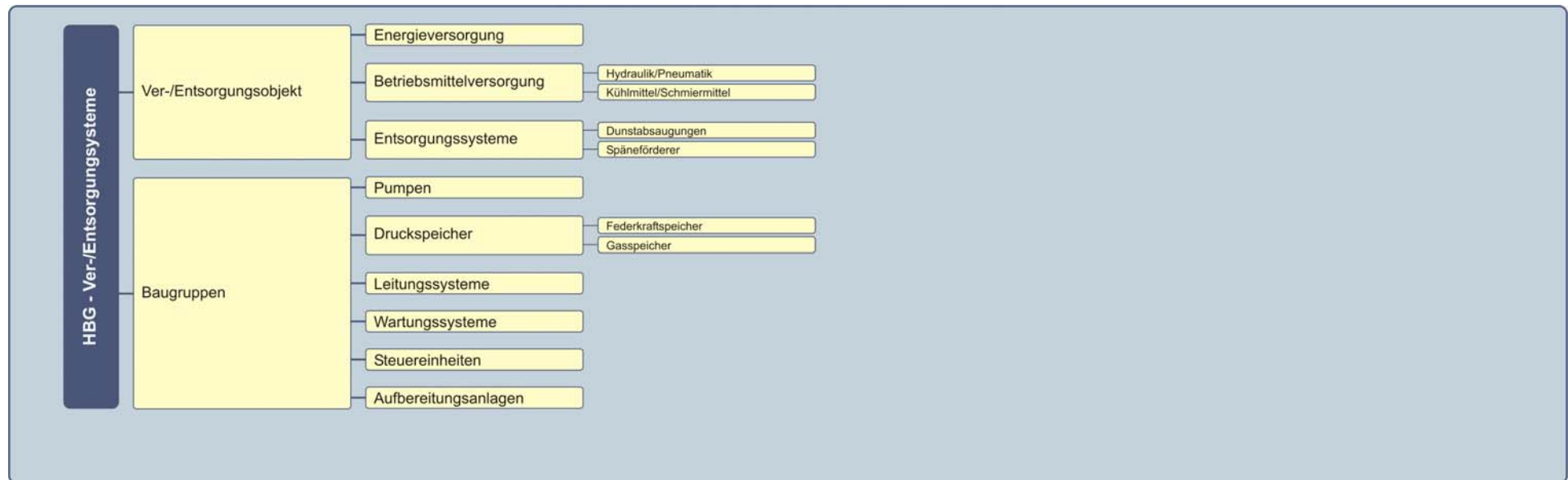
Anl. 4b: Materielles Produkt – Hauptbaugruppe Antriebe (Teil 6)



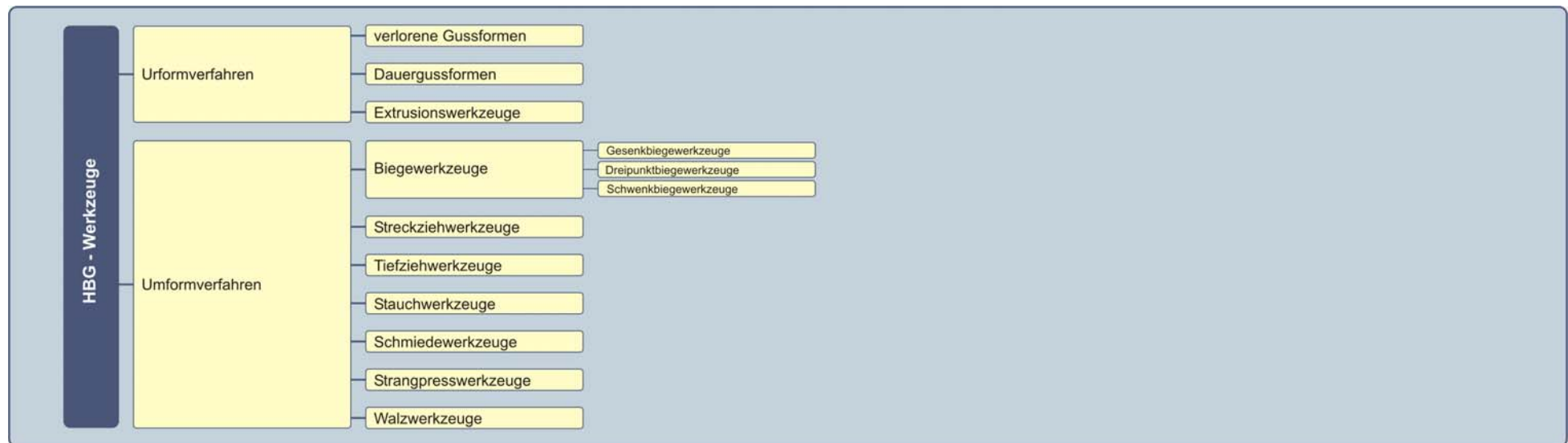
Anl. 4c: Materielles Produkt – Hauptbaugruppe Werkzeugmaschinenaufstellung



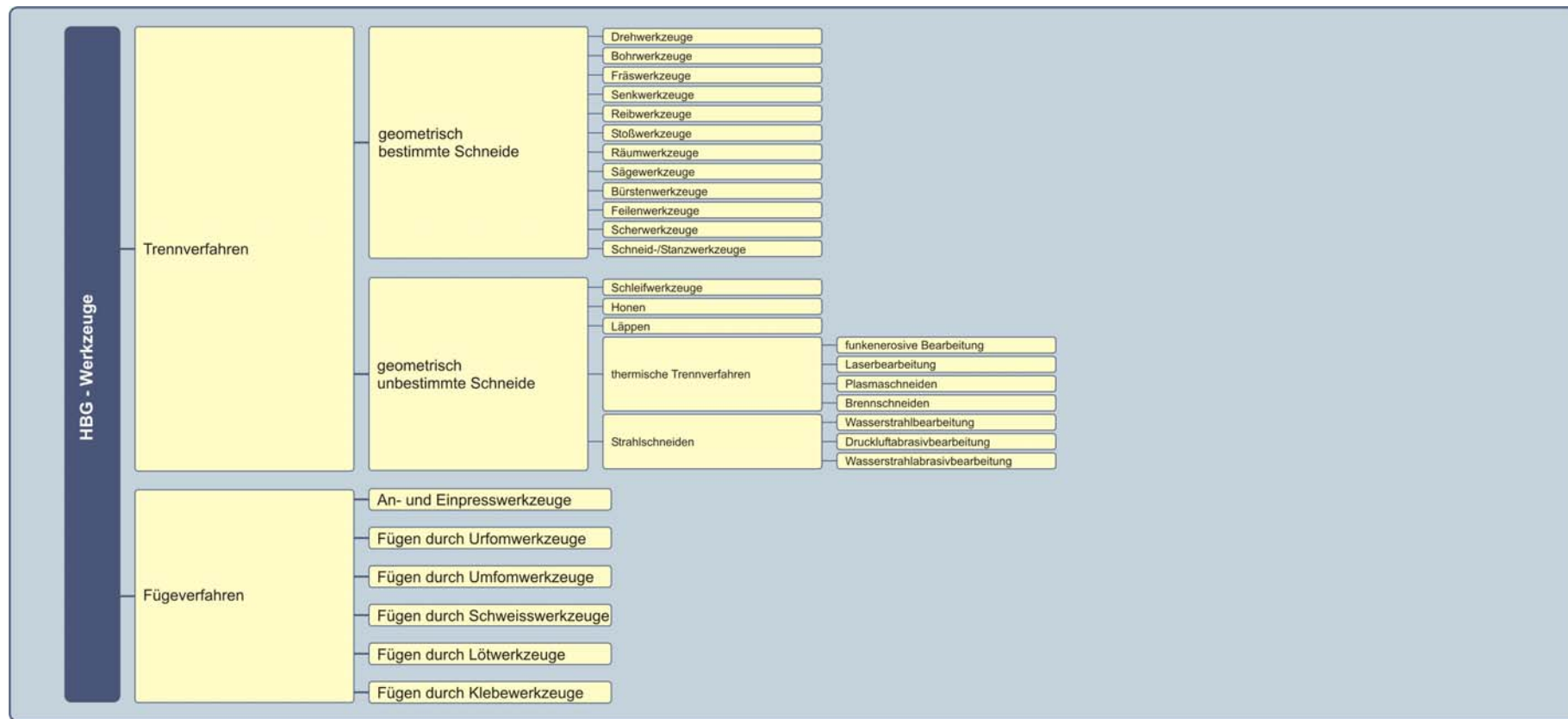
Anl. 4d: Materielles Produkt – Hauptbaugruppe Führungen/Lager



Anl. 4e: Materielles Produkt – Hauptbaugruppe Ver-/Entsorgungssysteme



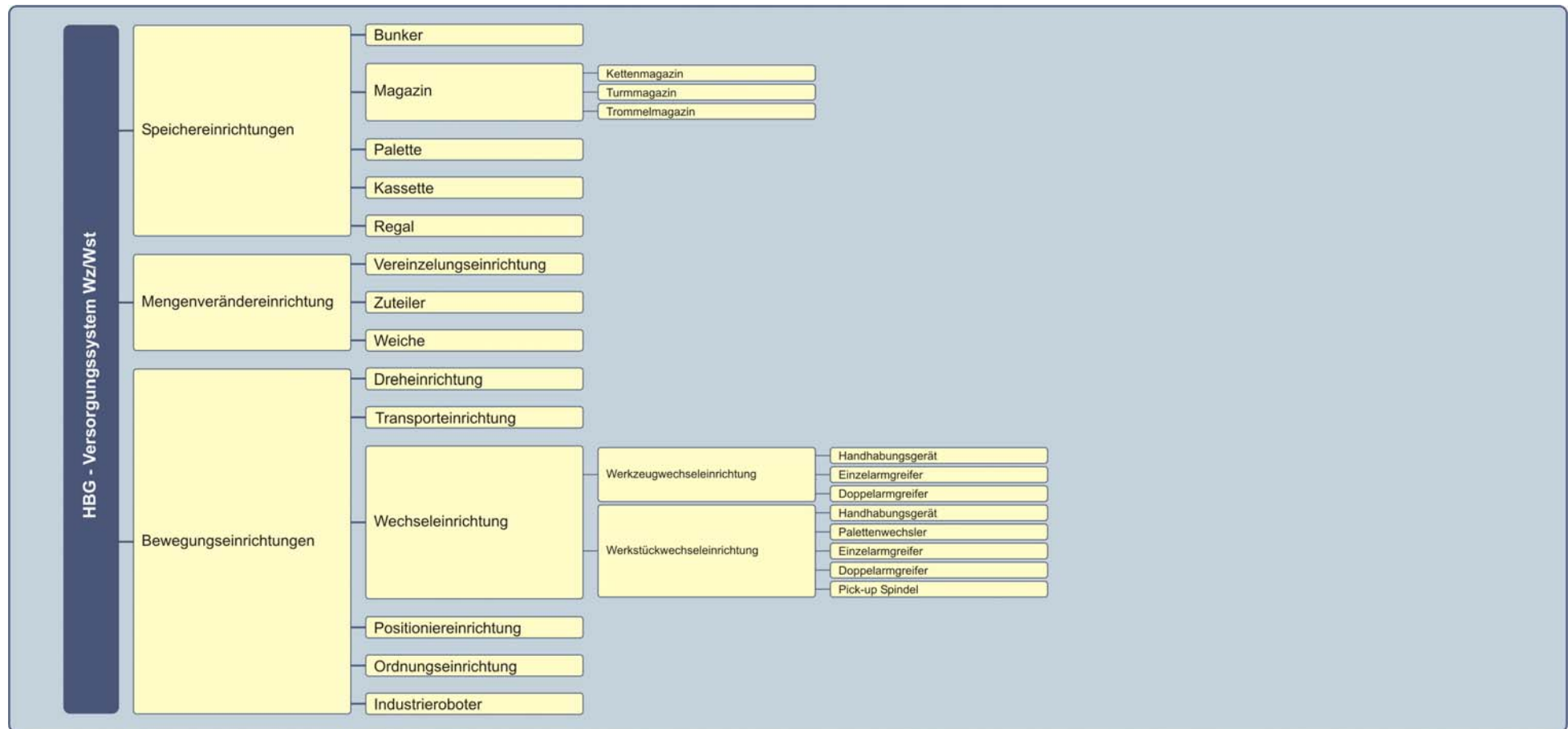
Anl. 4f: Materielles Produkt – Hauptbaugruppe Werkzeuge (Teil 1)



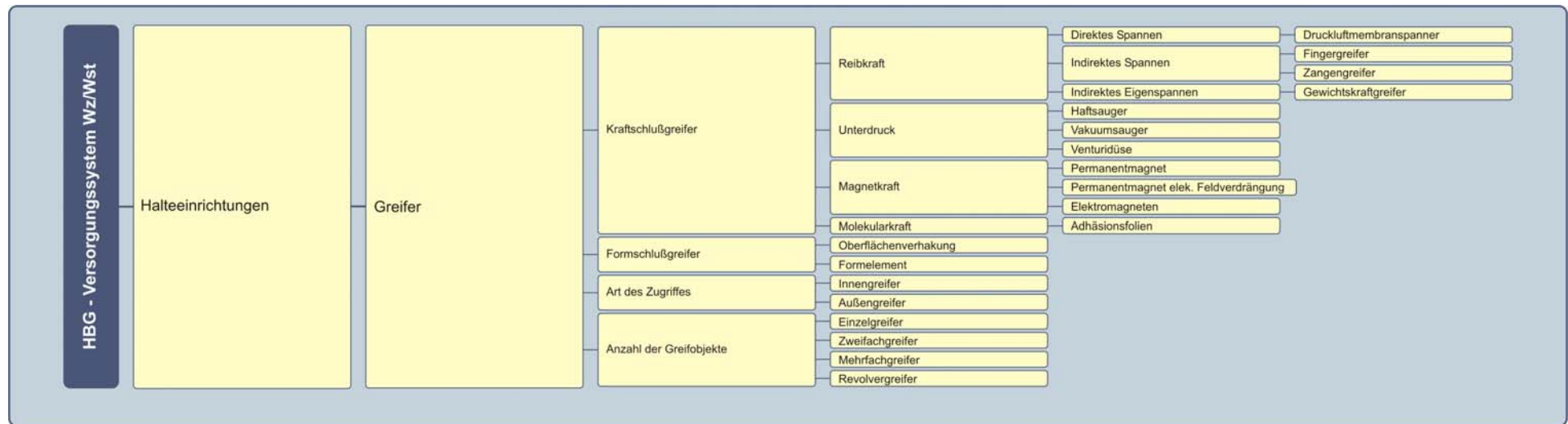
Anl. 4f: Materielles Produkt – Hauptbaugruppe Werkzeuge (Teil 2)



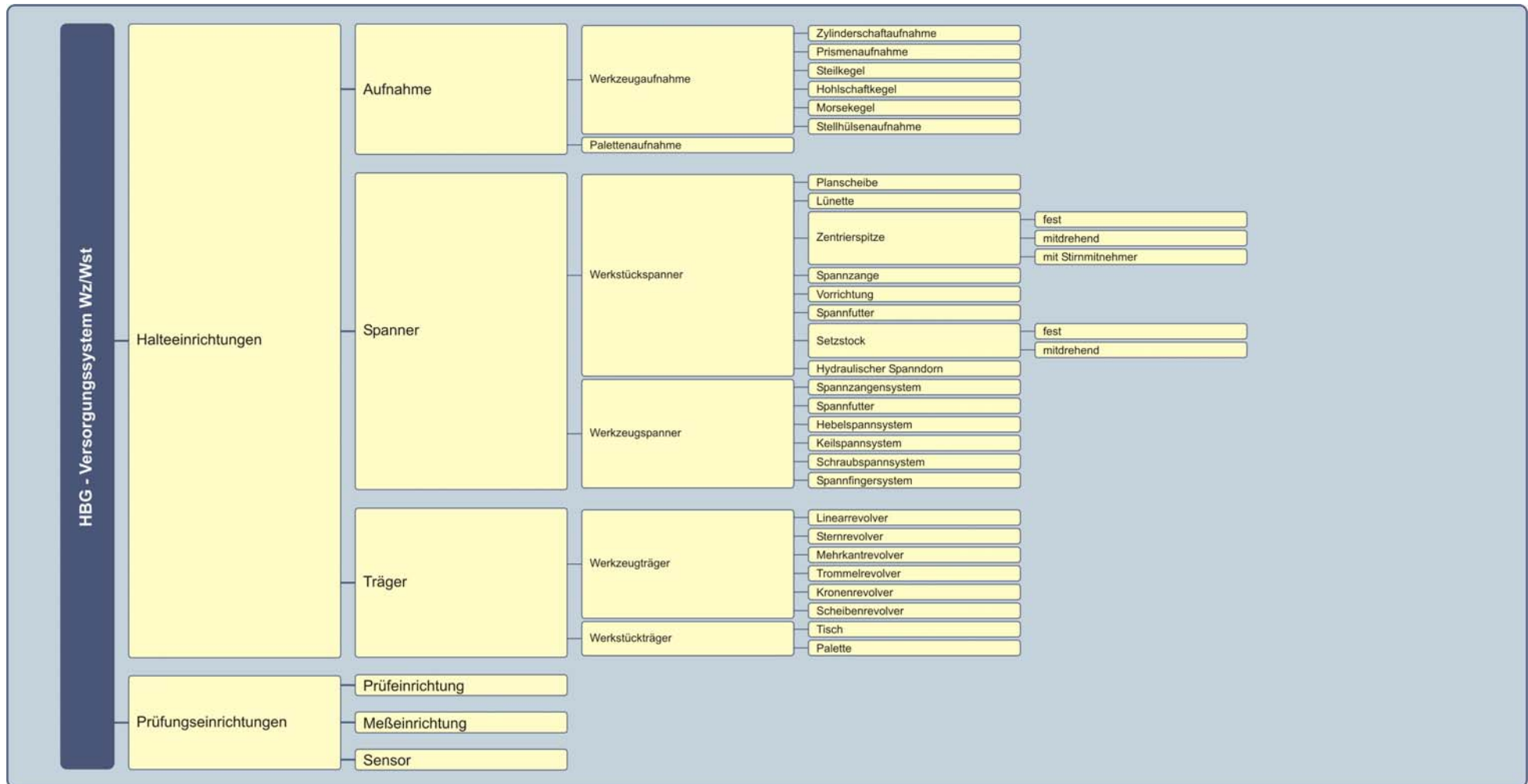
Anl. 4g: Materielles Produkt – Hauptbaugruppe Handhabe-/Verkettungseinrichtungen



Anl. 4h: Materielles Produkt – Hauptbaugruppe Versorgungssystem Wz/Wst (Teil 1)



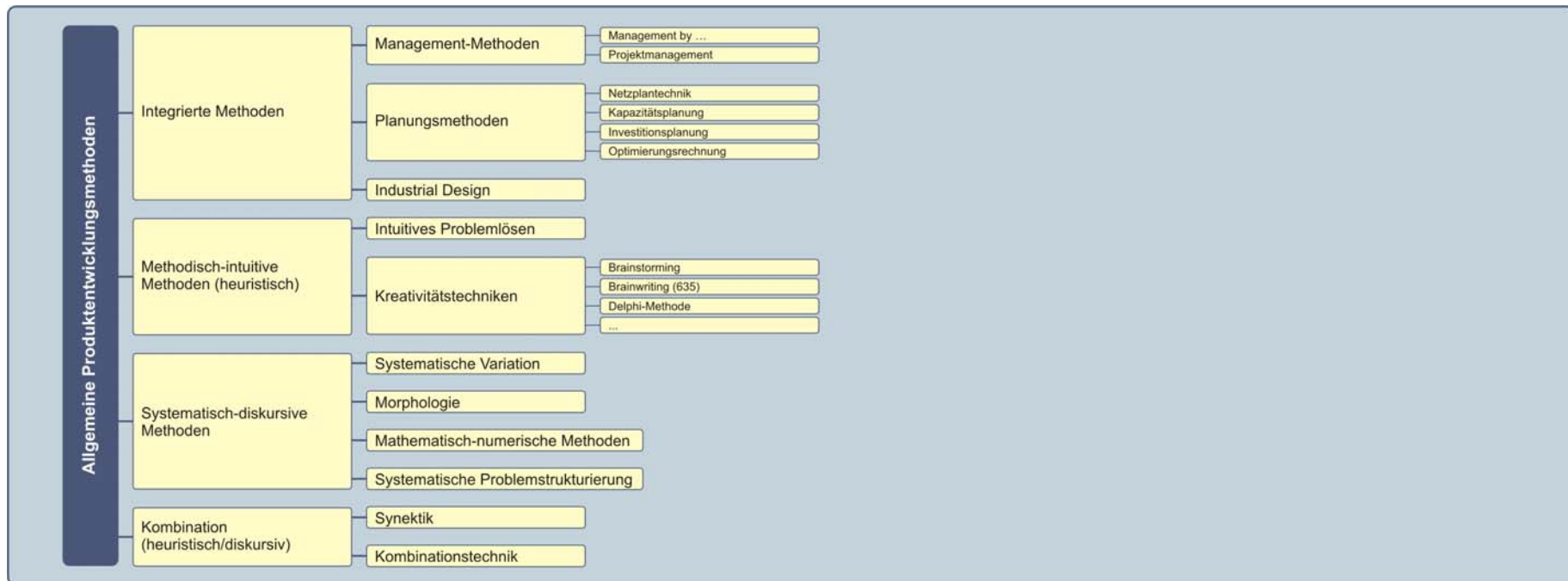
Anl. 4h: Materielles Produkt – Hauptbaugruppe Versorgungssystem Wz/Wst (Teil 2)



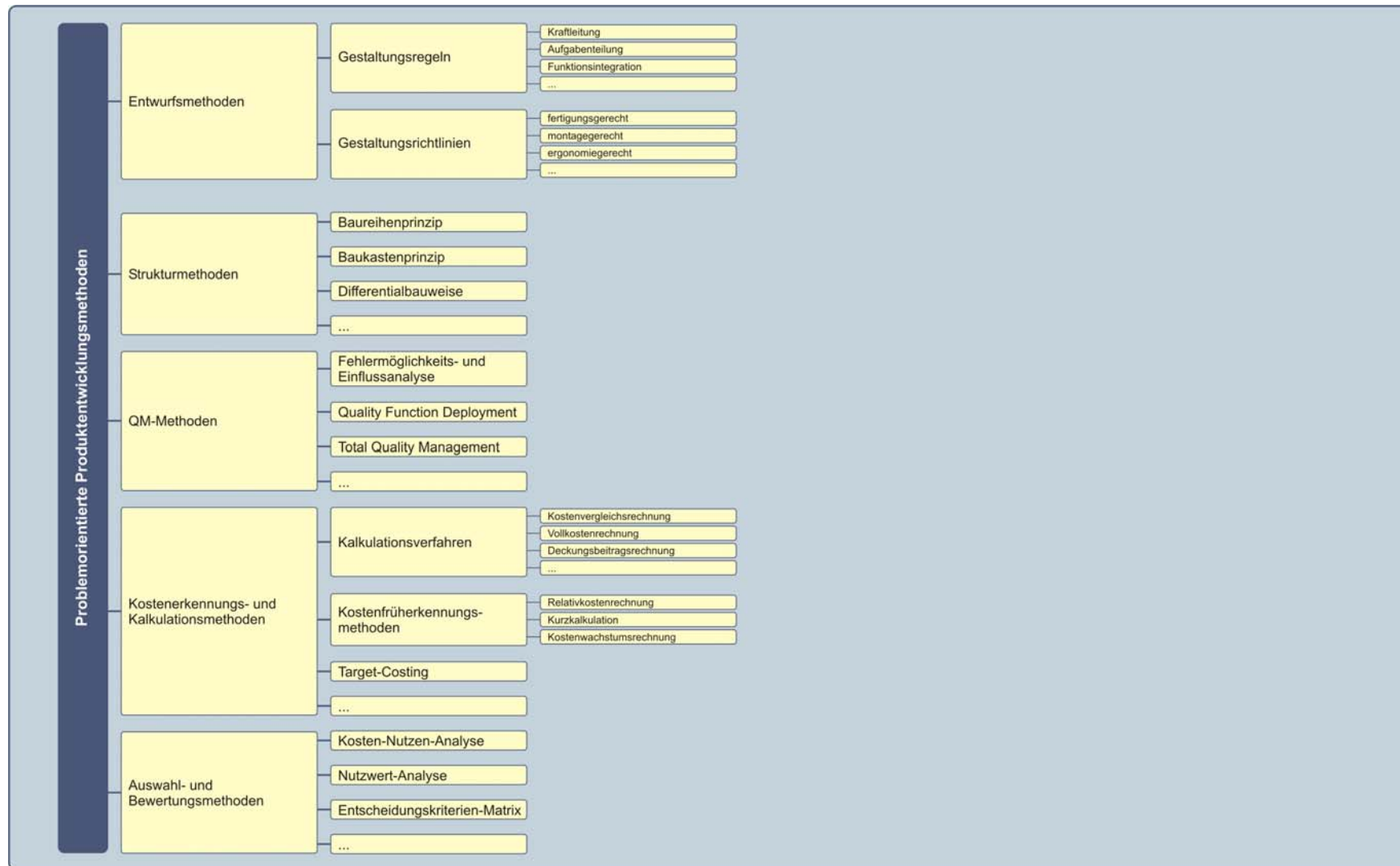
Anl. 4h: Materielles Produkt – Hauptbaugruppe Versorgungssystem Wz/Wst (Teil 3)



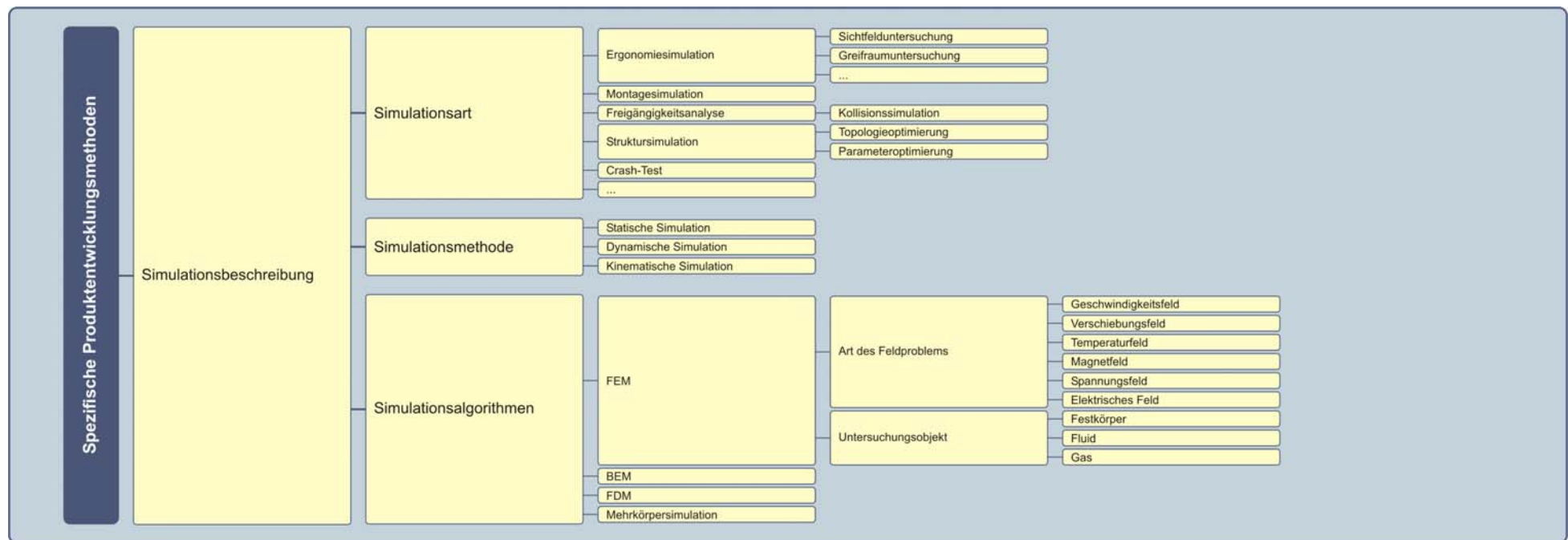
Anl. 5: Methodenmodell – Produktentwicklung



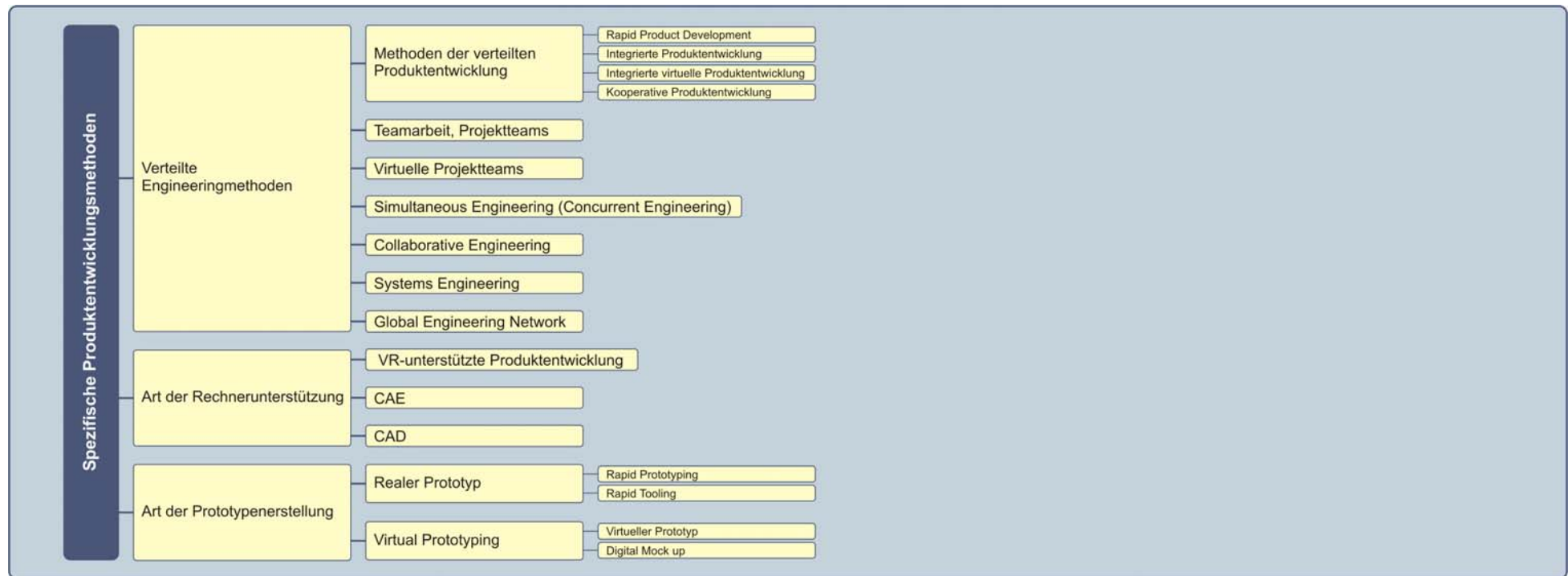
Anl. 5a: Allgemeine Produktentwicklungsmethoden



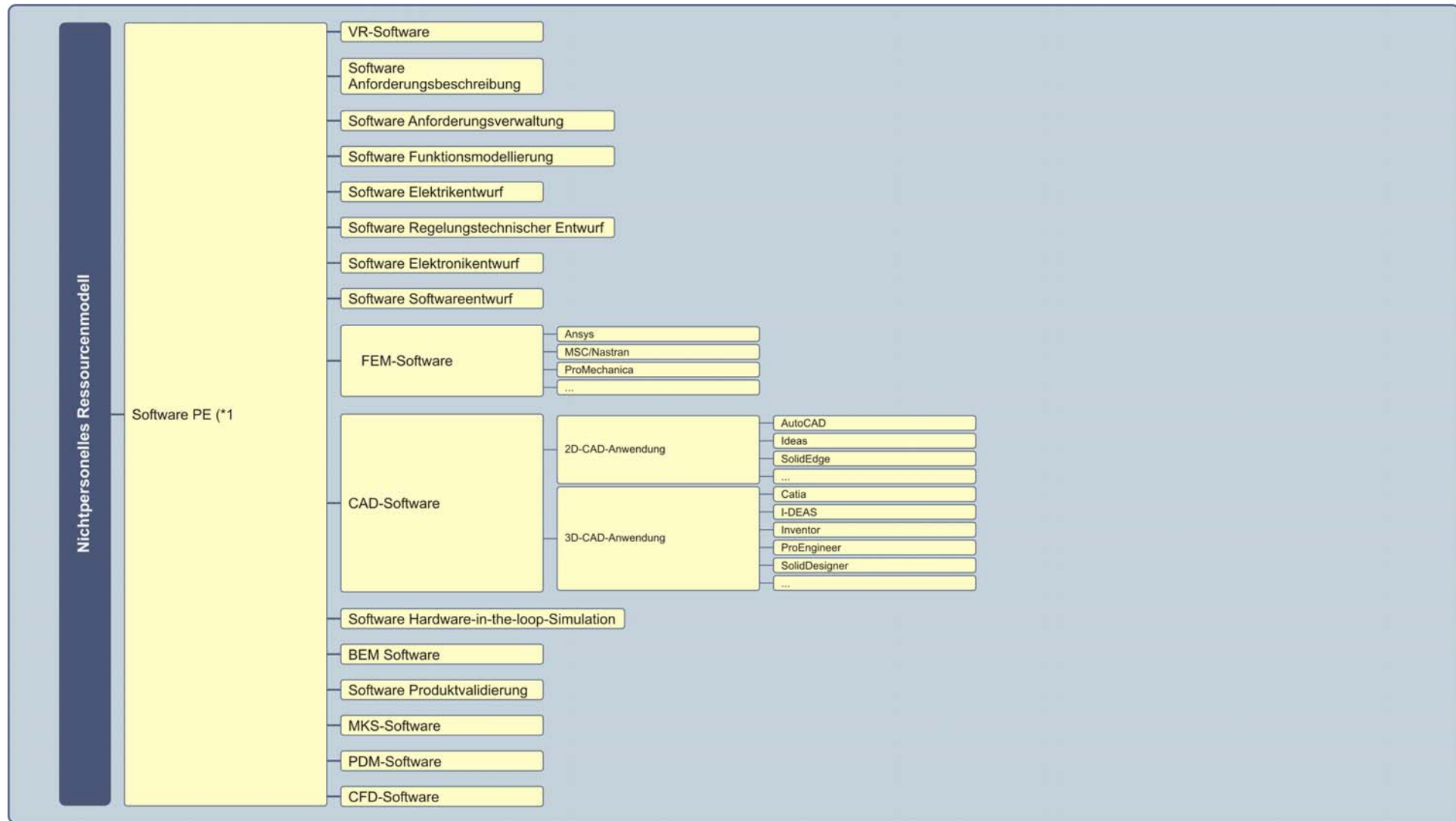
Anl. 5b: Problemorientierte Produktentwicklungsmethoden



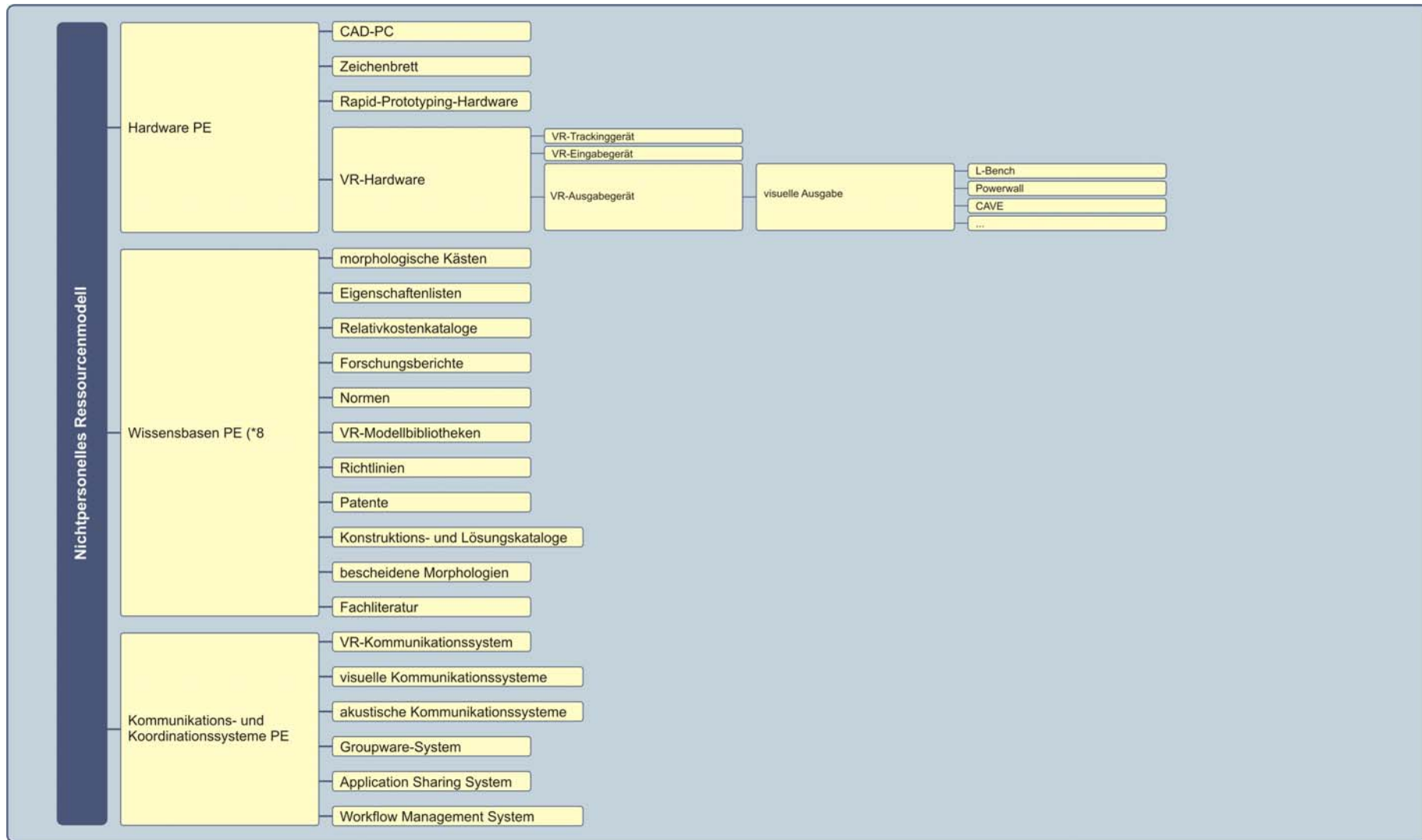
Anl. 5c: Spezifische Produktentwicklungsmethoden (Teil 1)



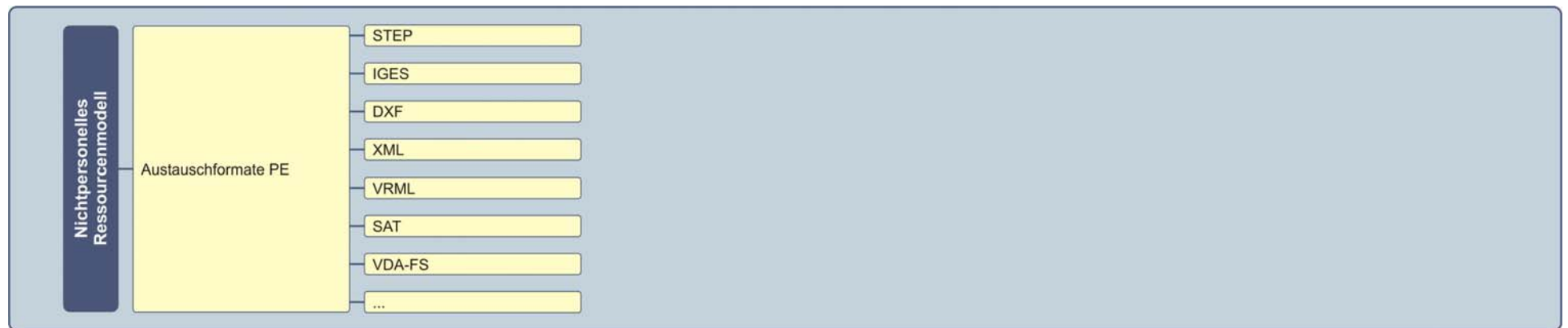
Anl. 5c: Spezifische Produktentwicklungsmethoden (Teil 2)



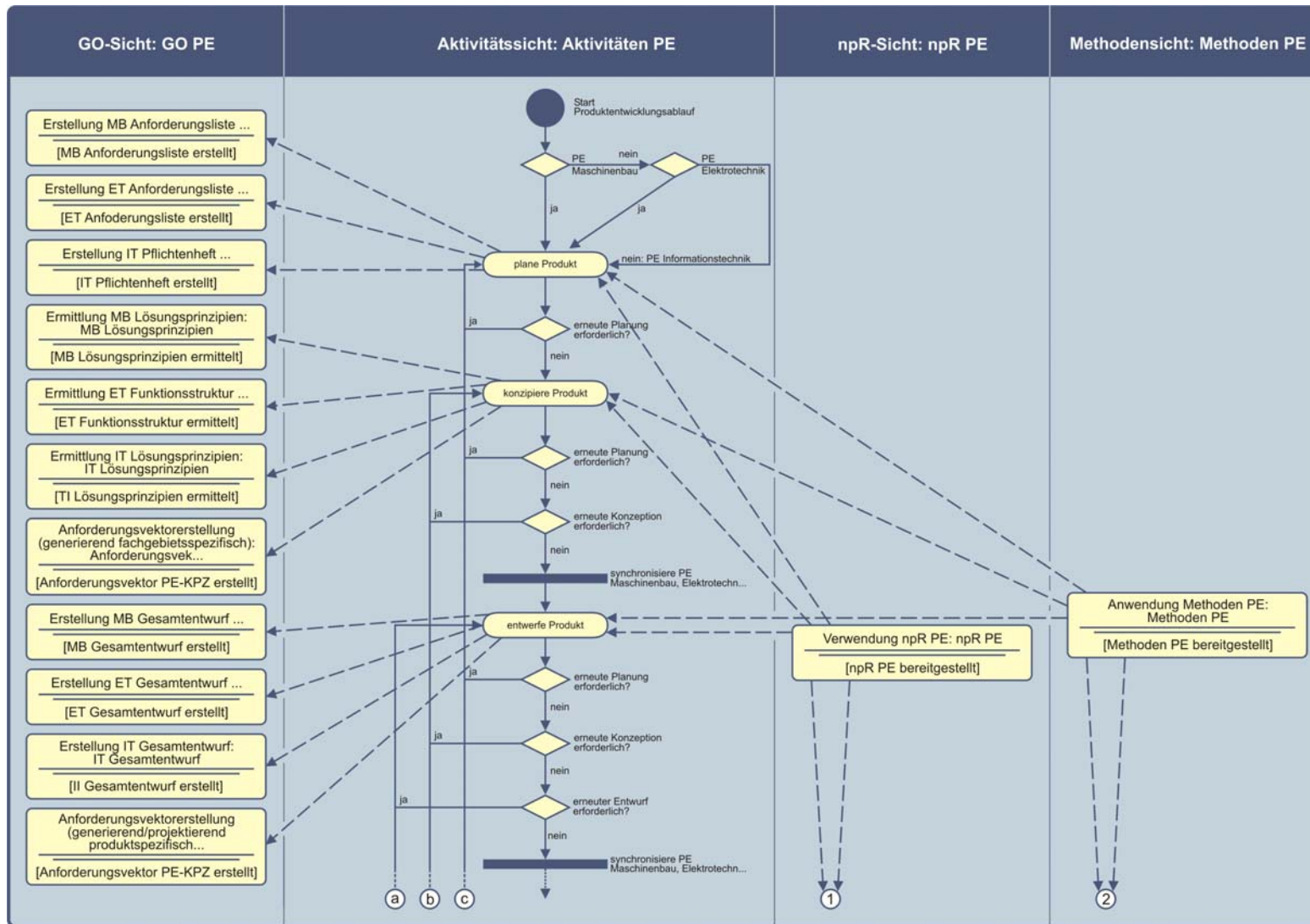
Anl. 6: Nichtpersonelles Ressourcenmodell (Teil 1)



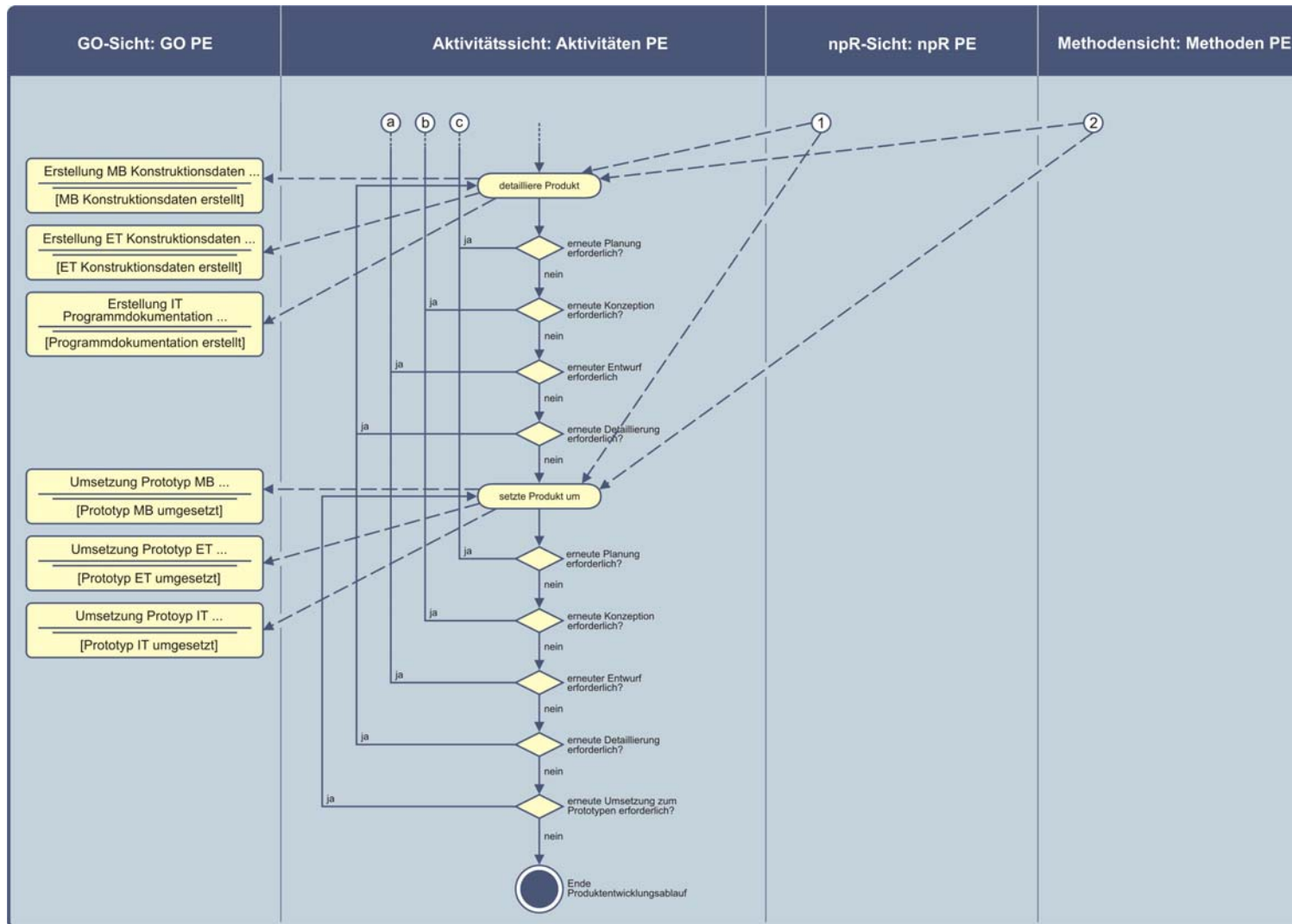
Anl. 6: Nichtpersonelles Ressourcenmodell (Teil 2)



Anl. 6: Nichtpersonelles Ressourcenmodell (Teil 3)



Anl. 7: Ablauf der Aktivitäten kompetenzzellenbasierter Produktentwicklungen (Teil 1)



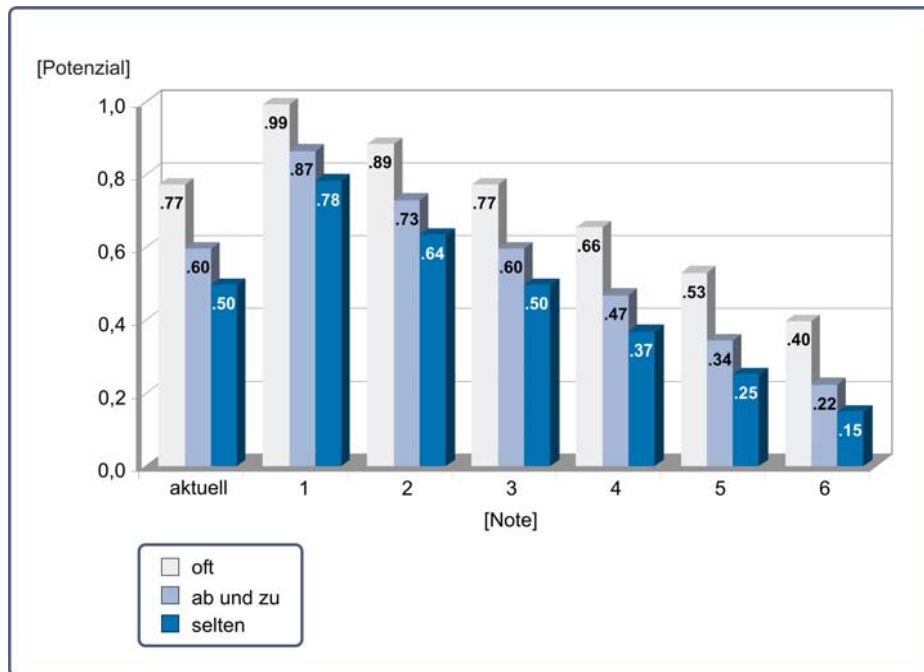
Anl. 7: Ablauf der Aktivitäten kompetenzzellenbasierter Produktentwicklungen (Teil 2)

$t_0=01.01.2005$ $t=31.12.2005$ $N^j=8$							
$K=ok=>0,15:$ 0,15		$S=ok=>0,15:$ 0,15		$Note=(1..6):$ 3			
Verteilung:		<i>Randschwerpunkt</i>		<i>Gleichverteilung</i>		<i>Mittelschwerpunkt</i>	
n	$KPZ^iKB_n^j$	t_n^{ij}	$KPZ^iKB_n^j(t)$	t_n^{ij}	$KPZ^iKB_n^j(t)$	t_n^{ij}	$KPZ^iKB_n^j(t)$
0	0,50	01.01.2005	0,007	01.01.2005	0,007	01.01.2005	0,007
1	0,42	02.02.2005	0,006	02.02.2005	0,006	02.02.2005	0,006
2	0,42	03.02.2005	0,006	14.03.2005	0,019	12.04.2005	0,028
3	0,42	04.02.2005	0,006	23.04.2005	0,032	20.06.2005	0,051
4	0,57	05.02.2005	0,009	02.06.2005	0,061	21.06.2005	0,070
5	0,57	06.11.2005	0,131	12.07.2005	0,079	23.06.2005	0,071
6	0,72	07.11.2005	0,166	21.08.2005	0,123	24.06.2005	0,090
7	0,72	08.11.2005	0,167	30.09.2005	0,145	01.09.2005	0,129
8	0,72	09.11.2005	0,168	09.11.2005	0,168	09.11.2005	0,168
		$KPZ^iKP_t^j$	31.12.2005	0,74	31.12.2005	0,72	31.12.2005
Altersschnitt:		<i>alt</i>		<i>mittel</i>		<i>neu</i>	
n	$KPZ^iKB_n^j$	t_n^{ij}	$KPZ^iKB_n^j(t)$	t_n^{ij}	$KPZ^iKB_n^j(t)$	t_n^{ij}	$KPZ^iKB_n^j(t)$
0	0,50	01.01.2005	0,007	01.01.2005	0,007	01.01.2005	0,007
1	0,72	02.02.2005	0,010	02.02.2005	0,010	02.02.2005	0,010
2	0,72	04.02.2005	0,033	18.02.2005	0,033	06.03.2005	0,033
3	0,72	06.02.2005	0,055	06.03.2005	0,055	07.04.2005	0,055
4	0,72	08.02.2005	0,078	22.03.2005	0,078	09.05.2005	0,078
5	0,72	10.02.2005	0,100	07.04.2005	0,100	10.06.2005	0,100
6	0,72	12.02.2005	0,123	23.04.2005	0,123	12.07.2005	0,123
7	0,72	14.02.2005	0,145	09.05.2005	0,145	13.08.2005	0,145
8	0,72	16.02.2005	0,168	25.05.2005	0,168	14.09.2005	0,168
		$KPZ^iKP_t^j$	31.12.2005	0,72	31.12.2005	0,75	31.12.2005

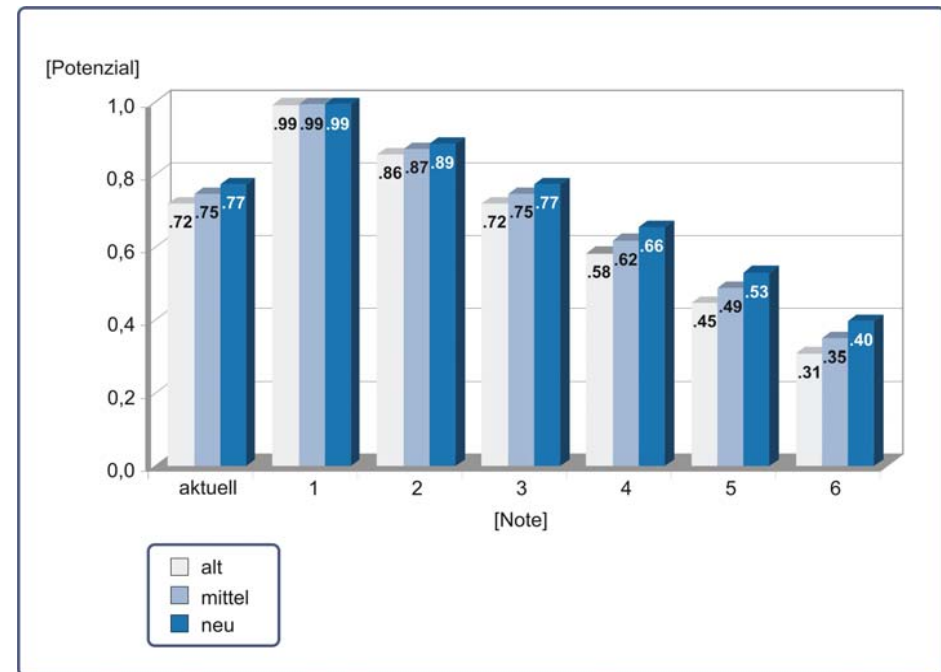
Anl. 8: Wertetabelle zur Betrachtung der Parameterausprägungen (Verteilung, Altersschnitt) auf das Kompetenzpotenzial (Teil 1)

$t_0=01.01.2005$ $t=31.12.2005$ $N^j=8$ $K=ok=>0,15:$ 0,15 $S=ok=>0,15:$ 0,15 $Note=(1..6):$ 3							
Häufigkeit:		oft		ab und zu		selten	
$KPZ^iKB_n^j$	t_n^{ij}	n	$KPZ^iKB_n^j(t)$	n	$KPZ^iKB_n^j(t)$	n	$KPZ^iKB_n^j(t)$
0,50	01.01.2005	0	0,007	0	0,007	0	0,007
0,72	02.02.2005	1	0,010				
0,72	06.03.2005	2	0,033	1	0,036		
0,72	07.04.2005	3	0,055			1	0,120
0,72	09.05.2005	4	0,078	2	0,144		
0,72	10.06.2005	5	0,100	3	0,198		
0,72	12.07.2005	6	0,123			2	0,480
0,72	13.08.2005	7	0,145	4	0,252		
0,72	14.09.2005	8	0,168				
	31.12.2005	$KPZ^iKP_t^j$	0,77		0,60		0,50
Ausprägung:		besser		neutral		schlechter	
n	t_n^{ij}	$KPZ^iKB_n^j$	$KPZ^iKB_n^j(t)$	$KPZ^iKB_n^j$	$KPZ^iKB_n^j(t)$	$KPZ^iKB_n^j$	$KPZ^iKB_n^j(t)$
0	01.01.2005	0,50	0,007	0,50	0,007	0,50	0,007
1	02.02.2005	0,72	0,010	0,57	0,008	0,42	0,006
2	06.03.2005	0,72	0,033	0,57	0,026	0,42	0,019
3	07.04.2005	0,72	0,055	0,57	0,044	0,42	0,032
4	09.05.2005	0,72	0,078	0,57	0,061	0,42	0,045
5	10.06.2005	0,72	0,100	0,57	0,079	0,42	0,058
6	12.07.2005	0,72	0,123	0,57	0,097	0,42	0,071
7	13.08.2005	0,72	0,145	0,57	0,115	0,42	0,085
8	14.09.2005	0,72	0,168	0,57	0,133	0,42	0,098
	31.12.2005	$KPZ^iKP_t^j$	0,77		0,65		0,51

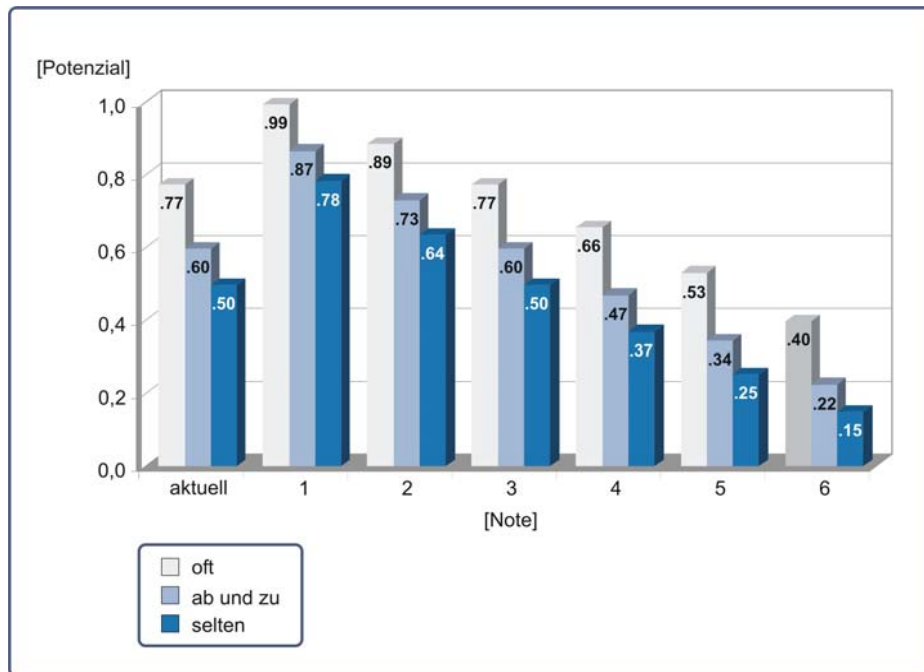
Anl. 8: Wertetabelle zur Betrachtung der Parameterausprägungen (Häufigkeit, Ausprägung) auf das Kompetenzpotenzial (Teil 2)



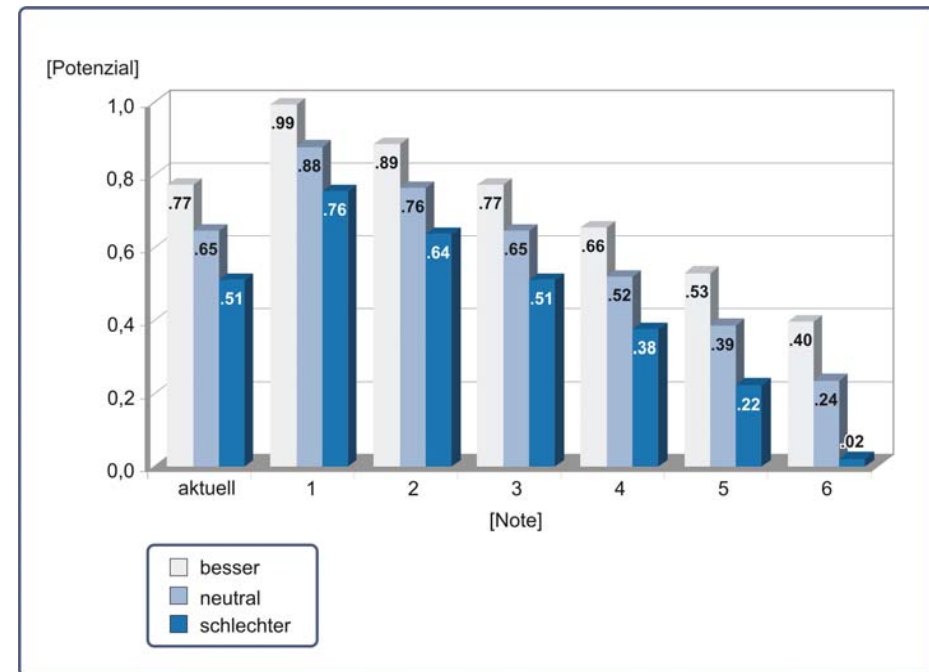
Anl. 8a: Verteilung der Bewertungen und deren Auswirkung auf das Potenzial



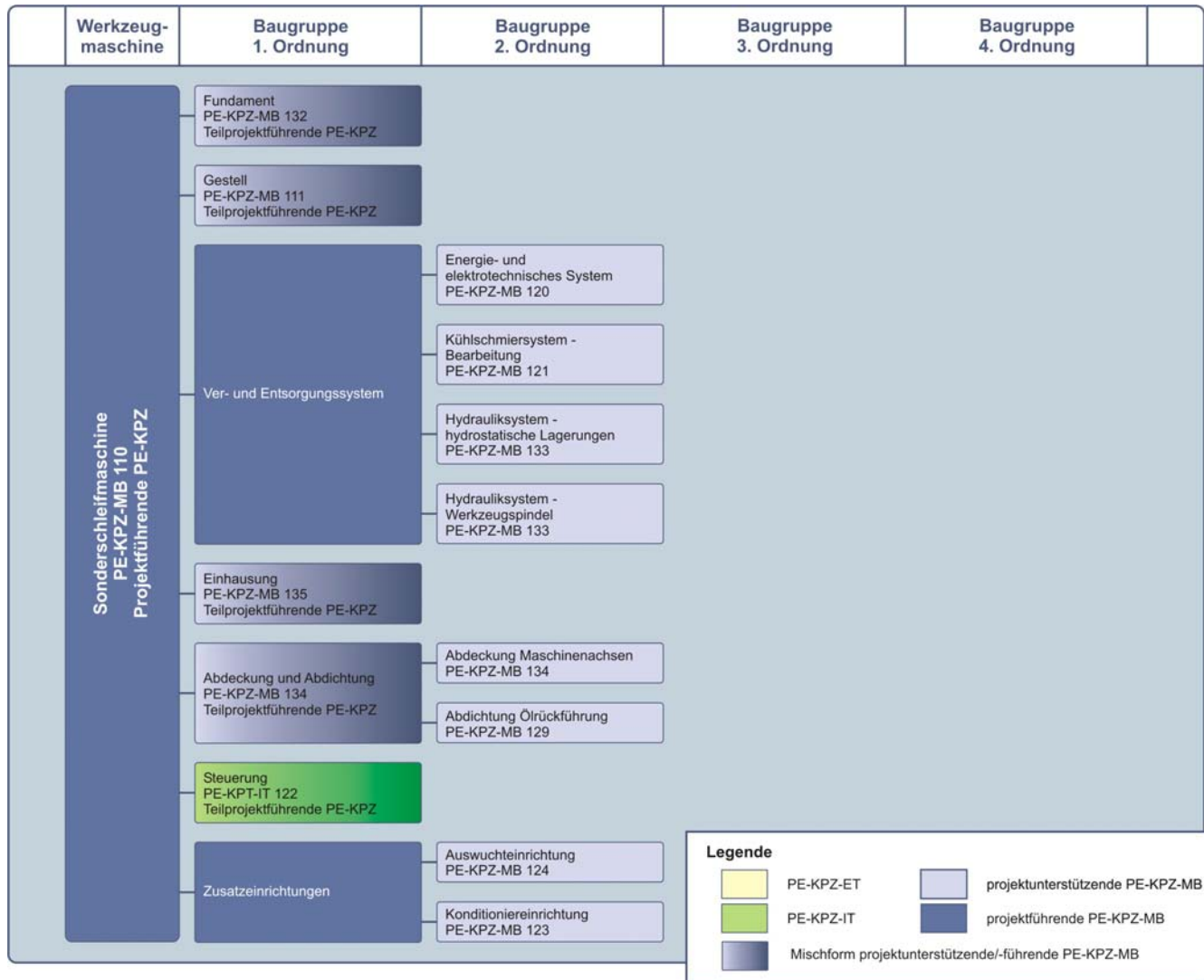
Anl. 8b: Altersschnitt der Bewertungen und dessen Auswirkung auf das Potenzial



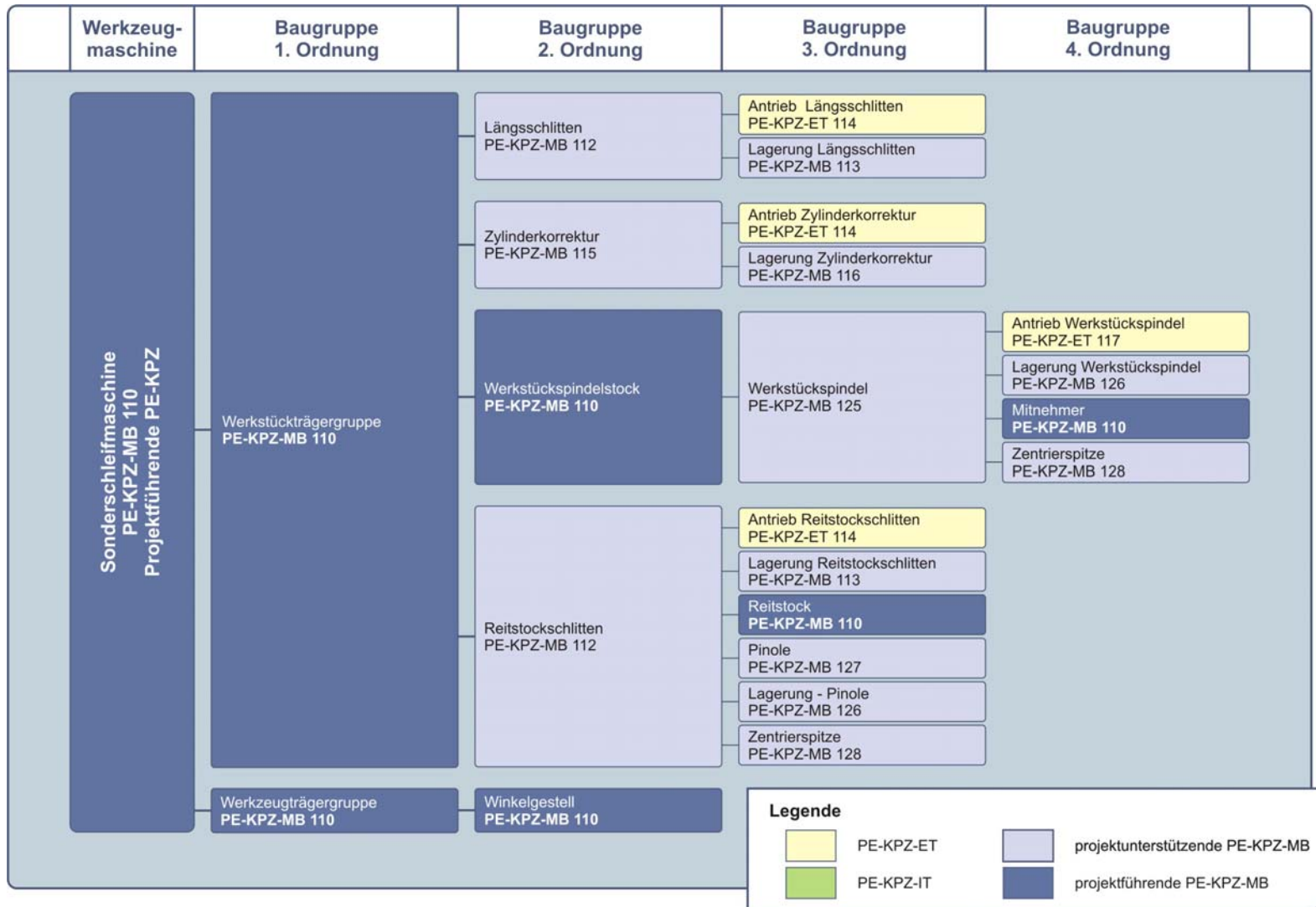
Anl. 8c: Häufigkeit der Bewertungen und deren Auswirkung auf das Potenzial



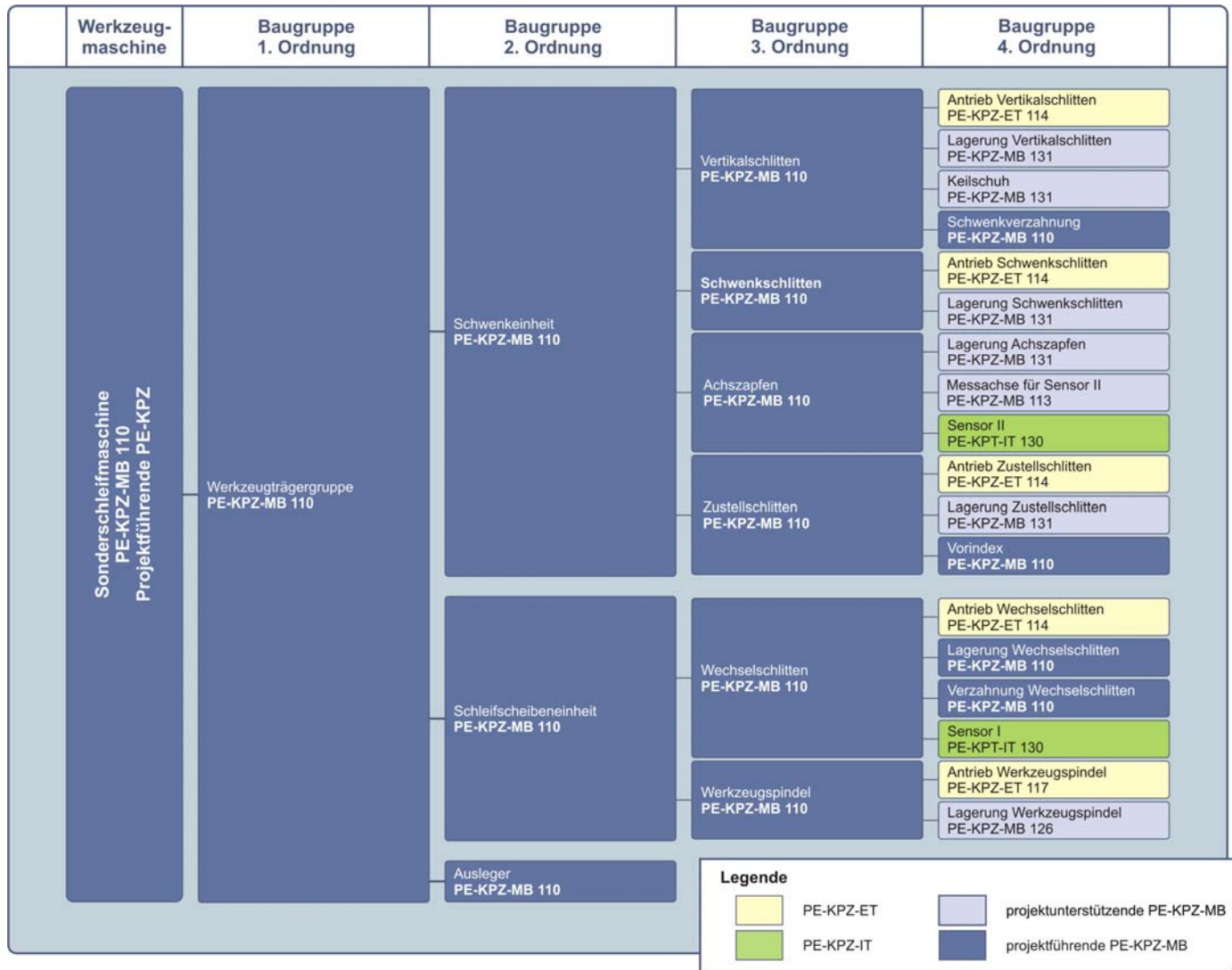
Anl. 8d: Ausprägung der Bewertungen und dessen Auswirkung auf das Potenzial



Anl. 9: Kompetenzzellenstruktur der Sonderschleifmaschine (Teil 1)



Anl. 9: Kompetenzzellenstruktur der Sonderschleifmaschine (Teil 2)



Anl. 9: Kompetenzzellenstruktur der Sonderschleifmaschine (Teil 3)

110	PE-KPZ-MB	Sonderschleifmaschine
produktspezifisch	generierend	
<p>Komponente: Werkzeugmaschine » Typ » Spanende Werkzeugmaschinen » geometrisch unbestimmte Schneide 1</p> <p>Werkzeugmaschine</p> <p>Typ</p> <p>Spanende Werkzeugmaschinen</p> <p>geometrisch unbestimmte Schneide » Außenrundscheifmaschinen » seriellkinematische WZM</p> <p>Kinematik » Kundenspezifische WZM</p> <p>allgemeiner Verwendungstyp » Kundenspezifische WZM</p> <p>Fachgebiet</p> <p>Mechatronische PE » Maschinenbau</p> <p>Zusatzinformationen</p> <p>PE Phase/Aktivität » Phase 1 - Planung » Phase 2 - Konzeption » Phase 3 - Entwurf</p> <p>Projektbezug » projektführend</p> <p>Technisches Angebot » Erstellung Angebot</p>		
<p>Komponente: PE-Methode 1</p> <p>PE-Methode » Simultaneous Engineering</p> <p>nicht-personelle Ressource » Produktdatenmanagementsoftware</p> <p>Komponente: nicht-personelle Ressource 1</p> <p>nicht-personelle Ressource » Inventor</p> <p>Komponente: nicht-personelle Ressource 2</p> <p>nicht-personelle Ressource » STEP</p> <p>Komponente: PE-Methode 2</p> <p>PE-Methode » Systems Engineering</p> <p>nicht-personelle Ressource » Produktdatenmanagementsoftware</p> <p>Komponente: nicht-personelle Ressource 3</p> <p>nicht-personelle Ressource » SAT</p>		
alternative Beschreibung: • fachgebietspezifisch		genauere Beschreibung:

111	PE-KPZ-MB	Gestell
fachgebietspezifisch	generierend	
<p>Komponente: Fachgebiet » Mechatronische PE » Maschinenbau 1</p> <p>Fachgebiet</p> <p>Mechatronische PE</p> <p>Maschinenbau » PE Mechanik</p> <p>Baugruppe</p> <p>Gestell</p> <p>Gestellbauform » Bettgestell</p> <p>Fertigungstechnische Einseilung » nichtmetallische Werkstoffe</p> <p>Werkzeugmaschine</p> <p>Typ</p> <p>Spanende Werkzeugmaschinen</p> <p>geometrisch unbestimmte Schneide » Schleifmaschinen</p> <p>allgemeiner Verwendungstyp » Sondermaschine</p> <p>Zusatzinformationen</p> <p>PE Phase/Aktivität » Phase 2 - Konzeption » Phase 3 - Entwurf » Phase 4 - Detaillierung » Phase 5 - Umsetzung zum Prototyp</p> <p>Projektbezug » projektunterstützend » projektführend</p> <p>Technisches Angebot » Erstellung Angebot</p>		
<p>Komponente: PE-Methode 1</p> <p>PE-Methode » Simultaneous Engineering</p> <p>nicht-personelle Ressource » Produktdatenmanagementsoftware</p> <p>Komponente: nicht-personelle Ressource 1</p> <p>nicht-personelle Ressource » Inventor</p> <p>Komponente: nicht-personelle Ressource 2</p> <p>nicht-personelle Ressource » STEP</p> <p>Komponente: PE-Methode 2</p> <p>PE-Methode » Systems Engineering</p> <p>nicht-personelle Ressource » Produktdatenmanagementsoftware</p> <p>Komponente: nicht-personelle Ressource 3</p> <p>nicht-personelle Ressource » SAT</p>		
alternative Beschreibung: • produktspezifisch		genauere Beschreibung:

Anl. 10: Anforderungsvektoren der Produktentwicklungskompetenzzellen Sonderschleifmaschine (Teil 1)

122	PE-KPZ-IT	Steuerung
fachgebietsspezifisch	generierend	
<p>Komponente: Fachgebiet » Mechatronische PE » Informationstechnik 1</p> <p>Fachgebiet Mechatronische PE Informationstechnik » PE CNC/NC-Steuerungen Werkzeugmaschine Typ Spanende Werkzeugmaschinen geometrisch unbestimmte Schneide » Schleifmaschinen Kinematik » seriellkinematische WZM allgemeiner Verwendungstyp » Kundenspezifische WZM Zusatzinformationen PE Phase/Aktivität » Phase 2 - Konzeption » Phase 3 - Entwurf » Phase 4 - Detaillierung Projektbezug » projektunterstützend</p> <p>Komponente: PE-Methode 1 PE-Methode » Simultaneous Engineering nicht-personelle Ressource » Produktdatenmanagementsoftware</p> <p>Komponente: PE-Methode 2 PE-Methode » Systems Engineering nicht-personelle Ressource » Produktdatenmanagementsoftware</p> <p>Komponente: nicht-personelle Ressource 1 nicht-personelle Ressource » Funktionsmodellierungssoftware</p> <p>Komponente: nicht-personelle Ressource 2 nicht-personelle Ressource » regelungstechnische Entwurfssoftware</p> <p>Komponente: nicht-personelle Ressource 3 nicht-personelle Ressource » Elektronikentwurfssoftware</p>		
alternative Beschreibung:		genauere Beschreibung:

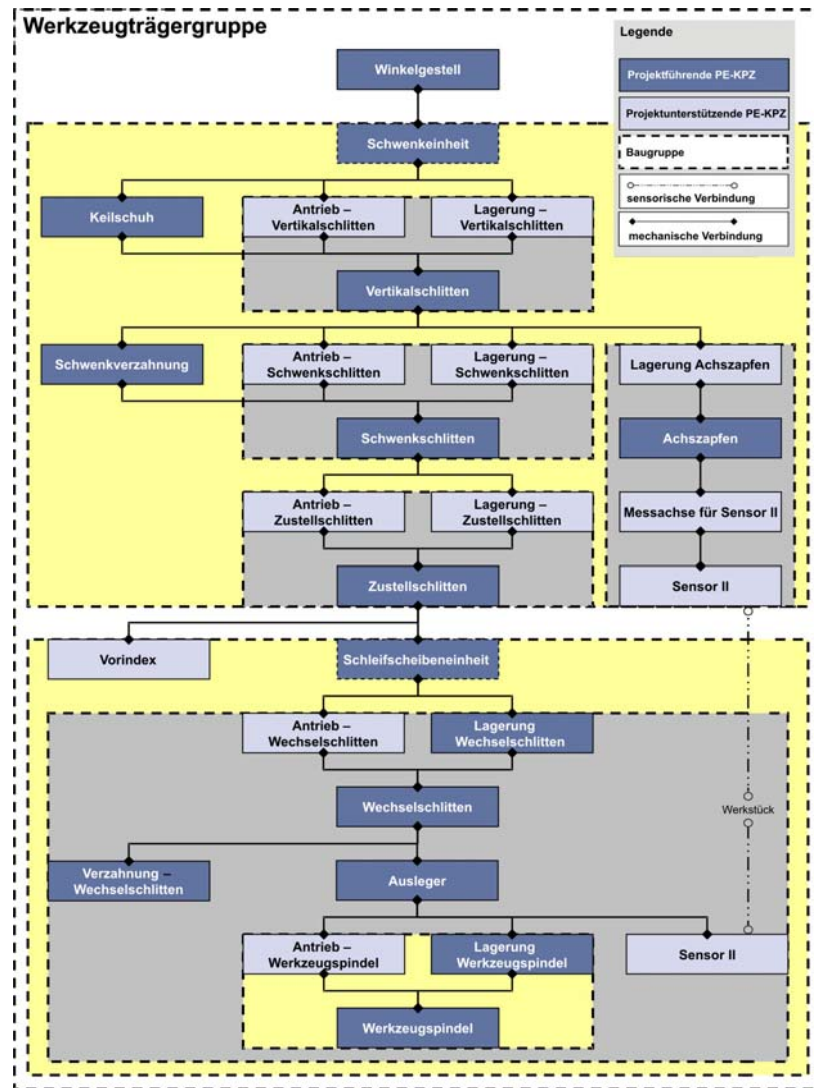
125	PE-KPZ-MB	Werkstückspindel
fachgebietsspezifisch	generierend	
<p>Komponente: Fachgebiet » Mechatronische PE » Maschinenbau 1</p> <p>Fachgebiet Mechatronische PE » Maschinenbau Baugruppe Antriebe » Antriebsart Art der Hauptspindel Lage » horizontal » Schleifen Fertigungsaufgabe » Gleitlagerung Lagerung » Flanschbefestigung Einbauart » Hauptantriebe Typ Werkzeugmaschine Typ Spanende Werkzeugmaschinen geometrisch unbestimmte Schneide » Schleifmaschinen Kinematik » seriellkinematische WZM allgemeiner Verwendungstyp » Kundenspezifische WZM Zusatzinformationen PE Phase/Aktivität » Phase 2 - Konzeption » Phase 3 - Entwurf » Phase 4 - Detaillierung » Phase 5 - Umsetzung zum Prototyp » projektunterstützend » projektführend Projektbezug</p> <p>Komponente: nicht-personelle Ressource 1 nicht-personelle Ressource » Inventor</p> <p>Komponente: nicht-personelle Ressource 2 nicht-personelle Ressource » STEP</p> <p>Komponente: nicht-personelle Ressource 3 nicht-personelle Ressource » SAT</p>		
alternative Beschreibung: • produktspezifisch		genauere Beschreibung: • Werkstückaufnahme

Anl. 10: Anforderungsvektoren Produktentwicklungskompetenzzellen Sonderschleifmaschine (Teil 2)

120	PE-KPZ-ET	Energie- und elektronisches System
fachgebietsspezifisch	generierend	
<p>Komponente: Fachgebiet » Mechatronische PE » Elektrotechnik 1</p> <p>Fachgebiet Mechatronische PE » Elektrotechnik Baugruppe Ver- & Entsorgungssysteme » Energieversorgung Werkzeugmaschine Typ » Spanende Werkzeugmaschinen Zusatzinformationen PE Phase/Aktivität » Phase 1 - Planung » Phase 2 - Konzeption » Phase 3 - Entwurf » Phase 4 - Detaillierung » Phase 5 - Umsetzung zum Prototyp Projektbezug » projektunterstützend</p> <p>Komponente: PE-Methode 1 PE-Methode » Simultaneous Engineering nicht-personelle Ressource » Produktdatenmanagementsoftware</p> <p>Komponente: PE-Methode 2 PE-Methode » Systems Engineering nicht-personelle Ressource » Produktdatenmanagementsoftware</p> <p>Komponente: nicht-personelle Ressource 1 nicht-personelle Ressource » Elektronikentwurfsoftware</p> <p>Komponente: nicht-personelle Ressource 2 nicht-personelle Ressource » CAD-Software</p> <p>Komponente: nicht-personelle Ressource 3 nicht-personelle Ressource » STEP</p> <p>Komponente: nicht-personelle Ressource 4 nicht-personelle Ressource » SAT</p>		
alternative Beschreibung: • produktspezifisch		genauere Beschreibung:

118	PE-KPZ-MB	Topologieoptimierung - Gestell
methodenspezifisch		
<p>Komponente: PE-Methode 1</p> <p>PE-Methode » Topologieoptimierung nicht-personelle Ressource » FEM-Software Baugruppe Gestell Gestellbauform » Bettgestell Fertigungstechnische Einteilung » nichtmetallische Werkstoffe</p> <p>Komponente: nicht-personelle Ressource 1 nicht-personelle Ressource » STEP</p> <p>Komponente: nicht-personelle Ressource 2 nicht-personelle Ressource » SAT</p>		
alternative Beschreibung:		genauere Beschreibung:

Anl. 10: Anforderungsvektoren der Produktentwicklungskompetenzzellen Sonderschleifmaschine (Teil 3)



Anl. 11: Werkzeugträgerbaugruppe der Sonderschleifmaschine