

Schlussbericht

zu dem IGF-Vorhaben

Entwicklung einer Systematik zur Strategiewahl durch multivariate Analyseverfahren in der Nachserienversorgung (NSV) von Elektronikbaugruppen

der Forschungsstelle(n)

TU Dortmund, Professur für Arbeits- und Produktionssysteme

Das IGF-Vorhaben 17531 N/1 der Forschungsvereinigung Gesellschaft für Verkehrsbetriebswirtschaft und Logistik (GVB) e. V. wurde über die



im Rahmen des Programms zur Förderung der Industriellen Gemeinschaftsforschung (IGF) vom



Bundesministerium
für Wirtschaft
und Energie

aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages gefördert.

Dortmund, 15.01.2015

Ort, Datum

Yvonne Finke

Name und Unterschrift des/der Projektleiter(s)
an der/den Forschungsstelle(n)

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Yvonne Finke', written over a horizontal line.

IGF-Forschungsvorhaben 17531 N/1

Forschungsthema

Entwicklung einer Systematik zur Strategiewahl durch multivariate Analyseverfahren in der Nachserienversorgung (NSV) von Elektronikbaugruppen (variANa)

Durchführende Forschungsstelle

Forschungsstelle

Technische Universität Dortmund

Institut für Produktionssysteme

Professur für Arbeits- und Produktionssysteme

Leonhard-Euler-Straße 5

44227 Dortmund

Leiter der Forschungsstelle

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Jochen Deuse

Projektleiter/-bearbeiter

Dipl.-Wirt.-Ing. Yvonne Finke

Förderhinweis

Das IGF-Vorhaben (17531 N / 1) der Forschungsvereinigung Gesellschaft für Verkehrsbetriebswirtschaft und Logistik e.V. - GVB, Wiesenweg 2, 93352 Rohr ist über die AiF im Rahmen des Programms zur Förderung der Industriellen Gemeinschaftsforschung und -entwicklung (IGF) vom Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages gefördert worden.

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis	III
Tabellenverzeichnis	V
Abkürzungsverzeichnis	VI
1 Einleitung	1
1.1 Ausgangssituation und Problemstellung	2
1.2 Zielsetzung	3
1.3 Vorgehensweise	3
2 Grundlagen der Nachserien- bzw. Ersatzteilversorgung	5
2.1 Begriffsbestimmungen	5
2.2 Phasen der Ersatzteilversorgung	11
2.3 Herausforderungen in der Nachserienphase	12
2.3.1 Variantenreichtum	14
2.3.2 Produktlebens- und Innovationszyklen	15
2.3.3 Ressourcenverfügbarkeit	15
2.3.4 Bedarfsverlauf und Prognose	16
2.3.5 Produkteigenschaften elektronischer Komponenten	19
2.3.6 Interessenkonflikte	19
3 Planung der Nachserienversorgung	20
3.1 Versorgungsstrategien und -szenarien	23
3.1.1 Nachfertigung (intern/ extern)	25
3.1.2 (End-)Bevorratung	27
3.1.3 Nutzung kompatibler Teile	28
3.1.4 Wiederinstandsetzung	30
3.1.5 Wiederverwendung	32
3.2 Forschungsansätze zur Strategiewahl in der Nachserie	34
3.3 Zwischenfazit und Handlungsbedarf	47
4 Konzeptionierung der Methodik und Ableitung von Anforderungen	49
4.1 Allgemeine Anforderungen	52

4.2 Anforderungen Merkmalkatalog	53
4.3 Anforderungen Klassifikationsmethodik	55
5 Entwicklung eines Merkmalkatalogs	58
5.1 Ersatzteilmerkmale in der Literatur	59
5.2 Identifikation relevanter Ersatzteilmerkmale (manuell)	61
6 Methodik zur Klassifikation von Ersatzteilen	69
6.1 Data-Mining und Multivariate Analysemethoden	69
6.2 Vorgehensweise zur Datenanalyse	70
6.3 Definition der Projektziele und Data Mining Aufgabenstellung	73
6.4 KDID-Schritte 2 - 4	75
6.5 Datenvorverarbeitung	77
6.5.1 Skalenniveau der Merkmale	78
6.5.2 Umgang mit Fehlwerten	79
6.5.3 Identifikation irrelevanter Merkmale und Umgang mit Ausreißern	80
6.6 Erstellung und Anwendung des Data Mining Modells	81
6.6.1 Vorauswahl einer Verfahrensgruppe zur Ersatzteilklassenbildung	81
6.6.2 Auswahl geeigneter Klassifikationsverfahren	84
6.7 Interpretation	88
6.8 IT-technische Umsetzung	90
7 Umsetzung der Methodik in einen Softwaredemonstrator	94
7.1 Datensammlung	94
7.2 Datenvorverarbeitung und Durchführung	97
7.3 Interpretation	102
8 Zusammenfassung und Ausblick	104
9 Formale Ergebnisdokumentation	106
9.1 Wissenschaftlich-technischer und wirtschaftlicher Nutzen für Unternehmen	106
9.2 Innovativer Beitrag und industrielle Anwendungsmöglichkeiten	107
9.3 Verwendung der zugewendeten Mittel	108
9.4 Ergebnistransfer in die Wirtschaft	109
Literaturverzeichnis	113
Anhang	128

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1.1	Allgemeine Trends in der industriellen Produktion	1
Abbildung 1.2	Vorgehensweise zur Erreichung der Forschungsergebnisse	4
Abbildung 2.1	Zusammenhang zwischen Primärprodukt, Ersatzteil und Bauelement	6
Abbildung 2.2	Ganzheitliches Ersatzteilmanagement	10
Abbildung 2.3	Phasen der Ersatzteilversorgung	11
Abbildung 2.4	Einflussgrößen in der NSV	14
Abbildung 2.5	Gründe steigender Komplexität in der NSV	14
Abbildung 2.6	Bedarfsverlauf gemäß Ersatzteiltyp	17
Abbildung 2.7	Zur Prognose von Ersatzteilbedarfen zu berücksichtigende Aspekte	18
Abbildung 3.1	Versorgungsstrategien zur Sicherstellung der NSV	23
Abbildung 3.2	Versorgungsszenario	24
Abbildung 3.3	Versorgungsstrategie Nachfertigung	26
Abbildung 3.4	Versorgungsstrategie (End-)Bevorratung	28
Abbildung 3.5	Versorgungsstrategie Nutzung kompatibler Teile	29
Abbildung 3.6	Kombinationsmatrix	30
Abbildung 3.7	Versorgungsstrategie Wiederinstandsetzung	32
Abbildung 3.8	Versorgungsstrategie Wiederverwendung	33
Abbildung 3.9	Planungsprozess für die NSV	38
Abbildung 3.10	Typologisierung von Ersatzteilen	39
Abbildung 3.11	Ansatz zur Auswahl und Anpassung von Strategien zur Deckung von Ersatzteilbedarfen	41
Abbildung 3.12	Morphologischer Kasten relevanter Ersatzteilmerkmale	42
Abbildung 3.13	Relevanz von Ersatzteilmerkmalen auf VS am Beispiel technologischer Merkmale	44
Abbildung 3.14	Bildung von Planungsclustern	46
Abbildung 3.15	Handlungsbedarf bei der Eingruppierung von Ersatzteilen	48
Abbildung 4.1	Zielsetzung bei der Konzeptionierung der Methodik	49
Abbildung 4.2	Konzeptionierung der Methodik zur Bildung von ET-Klassen	51
Abbildung 5.1	Zweistufiges Vorgehen zur Aufstellung des ET-Merkmalkatalogs	58
Abbildung 5.2	Ausschnitt Merkmalkatalog, unbereinigt	60
Abbildung 5.3	ET-Merkmale mit Fokus Anlageninstandhaltung (Auszug)	62
Abbildung 5.4	ET-Merkmale mit indirektem Einfluss auf die Wahl der VS (Auszug)	63
Abbildung 5.5	ET-Merkmale zur Bewertung der Strategieeignung (Auszug)	63
Abbildung 5.6	Komponenten-/ Ressourcen- und Kundenorientierung	64

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 5.7	ET-Merkmale zur Strategiefineplanung (Auszug)	65
Abbildung 5.8	Relevante Gruppierungskriterien, vorverdichtet (Auszug)	68
Abbildung 6.1	Data Mining Verfahren	70
Abbildung 6.2	KDID-Prozess	72
Abbildung 6.3	Übersicht verbreiteter Klassifikationsverfahren	74
Abbildung 6.4	Aufbau einer Rohdatenmatrix	75
Abbildung 6.5	Skalenniveau	78
Abbildung 6.6	Exemplarischer Entscheidungsbaum	84
Abbildung 6.7	Vorgehen zur Auswahl der Entwicklungsumgebung	90
Abbildung 7.1	Rohdatenmatrix für die Trainingsdaten	95
Abbildung 7.2	Rohdatenmatrix für den gesamten Datensatz	96
Abbildung 7.3	Importieren des Gesamtprozesses	97
Abbildung 7.4	Hauptprozess zur Ersatzteilklassenbildung	97
Abbildung 7.5	Importieren des Trainings- und Testdatensatzes	98
Abbildung 7.6	Subprozesse innerhalb der Datenvorverarbeitung	99
Abbildung 7.7	Parametereinstellungen des Operators „Fehlwerte Ersetzen“	99
Abbildung 7.8	Subprozesse des Operators „Parameteroptimierung“	100
Abbildung 7.9	Verfahrensparameter des „Entscheidungsbaum“-Operators	100
Abbildung 7.10	Einstellungen des Operators „Parameteroptimierung“	101
Abbildung 7.11	Auswahl des Ablageorts der Klassifikationsergebnisse	102
Abbildung 7.12	Auswahl des Ablageorts der Klassifikationsergebnisse	102
Abbildung 7.13	Klassifikationsergebnisse - Entscheidungsbaum	103
Abbildung 7.14	Klassifikationsergebnisse - Genauigkeit des Modells	103

Tabellenverzeichnis

Tabelle 3.1	Planung von Produkt, Prozess und Ressourcen	22
Tabelle 4.1	Modell- und anwenderbezogene Anforderungen zur Aufstellung des Merkmalkatalogs	53
Tabelle 4.2	Modell- und anwenderbezogene Anforderungen für die Entwicklung der Klassifikationsmethodik	57
Tabelle 5.1	Möglicher Einfluss des Merkmals auf die Strategiewahl	62
Tabelle 6.1	Verwendungspotenzial der Verfahrensgruppen zur Ersatzteilklassifikation	83
Tabelle 6.2	Eignung der Entwicklungsumgebungen für ET-Klassifikation	93
Tabelle 9.1	Übersicht der während/ nach Projektlaufzeit geplanten Transfermaßnahmen	111

Abkürzungsverzeichnis

Abk.	Abkürzung
B	(End-)Bevorratung
bspw.	beispielsweise
bzgl.	bezüglich
bzw.	beziehungsweise
d. h.	das heißt
ebd.	ebenda
EDO	End of Delivery Obligation
EOL	End of Life
EOP	End of Production
EOS	End of Service
ET	Ersatzteil
etc.	et cetera
ETM	Ersatzteilmanagement
ETV	Ersatzteilversorgung
ETW	Ersatzteilwesen
f.	folgend
ff.	fortfolgend
ggf.	gegebenenfalls
i. A.	im Allgemeinen
i. A. a.	in Anlehnung an
i. d. R.	in der Regel
i. e. S.	im engeren Sinn
i. S.	im Sinne
i. w. S.	im weiteren Sinn
insb.	insbesondere
KDD	Knowledge Discovery in Databases
KMU	kleine und mittlere Unternehmen
N	Nachfertigung
NSV	Nachserienversorgung
OE	Original Equipment
OEM	Original Equipment Manufacturer
o. g.	oben genannte(n)
PP	Primärprodukt
s.	siehe
S.	Seite
sog.	sogenannte
SOP	Start of Production

Abkürzungsverzeichnis

u. a.	unter anderem
u. U.	unter Umständen
v. a.	vor allem
VS	Versorgungsstrategie
VSz	Versorgungsszenario
WI	Wiederinstandsetzung
WV	Wiederverwendung
z. B.	zum Beispiel
z. T.	zum Teil
Zugl.	Zugleich

1 Einleitung

Zunehmender Konkurrenzdruck und Globalisierung veranlassen Unternehmen zur Wahrung der Wettbewerbsfähigkeit, ihre Produktivität und Flexibilität weiter zu erhöhen, um entsprechend schnell und effektiv Kundenwünschen zu begegnen (s. Abbildung 1.1). Dies erfordert produktivitätsoptimierte Prozesse entlang des gesamten Wertstroms und eine konsequente Kundenorientierung (Dombrowski und Quantschnig 2007; Deuse et al. 2007; Wiendahl 2008). Aufgrund der Vielzahl hieraus resultierender Anforderungen, wie erhöhtem Innovationsdruck, verkürzten Produktlebenszyklen, verstärkter Flexibilitätserfordernis und v. a. wachsender Variantenzahl sehen sich Unternehmen heutzutage einem stetigen Wandel ausgesetzt, der neben der Serienproduktion zunehmend das bereits vielen Unwägbarkeiten unterworfenen Ersatzteilgeschäft beeinflusst (Voss 2006, S. 8; Graf 2005, S. 25; Stark 2004). In diesem Kontext kommt der Sicherung der Nachserienversorgung (NSV) eine zentrale Bedeutung zu. Aus der Pflicht zur Versorgung von Primärprodukten mit Ersatzteilen (ET) resultiert für produzierende Unternehmen die Notwendigkeit zur Sicherstellung der Ersatzteilverfügbarkeit (Graf 2005, S. 25; Stark 2004; Hoth 1990; Dombrowski und Bothe 2001, S. 792). Zudem trägt der Verkauf von Ersatzteilen nach dem Auslaufen der umsatzstarken Serienproduktion (EOP: End of Production) zum Unternehmensergebnis bei und hat einen signifikanten Einfluss auf die Kundenbindung (vgl. Reindl 2007, S. 4 ff.).

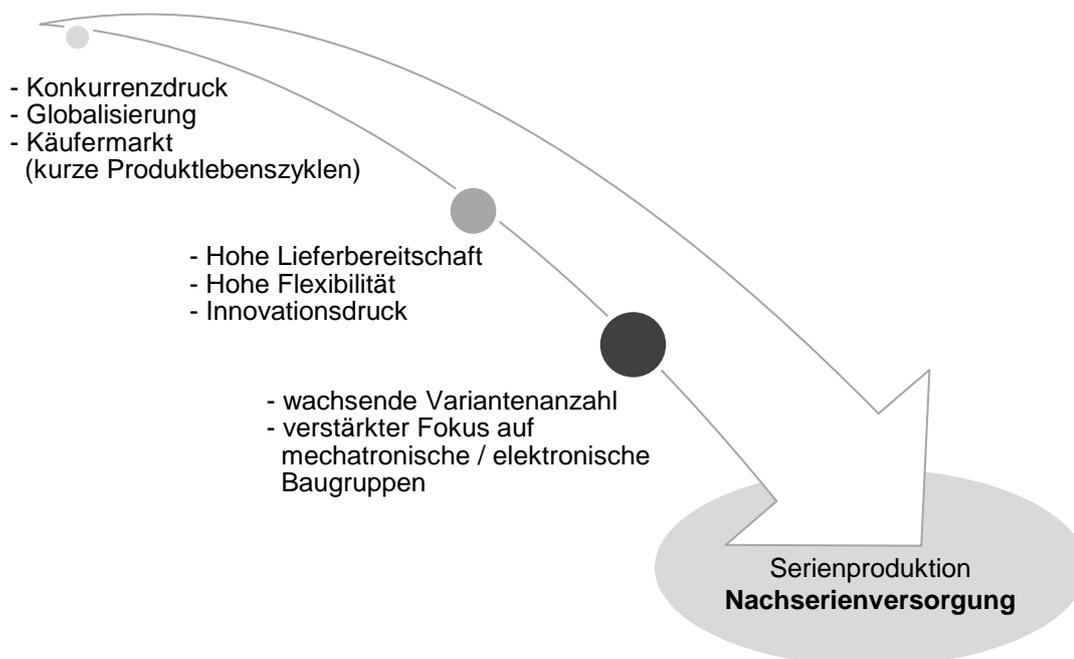


Abbildung 1.1 Allgemeine Trends in der industriellen Produktion (Wrehde 2011)

1.1 Ausgangssituation und Problemstellung

Die Verpflichtung zur Sicherstellung der Nachserienversorgung und damit einhergehende Möglichkeiten zur Steigerung der Kundenbindung sowie des Unternehmensergebnisses implizieren, das bedeutende Potenzial einer adäquat gestalteten NSV auf die Wettbewerbsfähigkeit zu nutzen. Voraussetzung hierfür bildet eine effiziente und zielgerichtete Planung und Gestaltung der Ersatzteilversorgung (ETV), als Ersatzteilmanagement (ETM) bezeichnet, in der Nachserienphase unter Berücksichtigung zahlreicher sich wandelnder Einflüsse. In nahezu allen Wirtschaftszweigen kommt es aus oben genannten Gründen in der Produktentwicklung zu einer immer stärkeren Fokussierung auf mechatronische Baugruppen (Bothe 2003, S. 1; Wrehde 2011, S. 1). Im Kontext der NSV erfordert dies, die spezifischen Anforderungen elektronischer Komponenten und Bauteile in der Planung der NSV zu berücksichtigen. Zu nennen sind bspw. sehr geringe und schwer prognostizierbare Stückzahlen, Bauteilabkündigungen und eingeschränkte Lagerfähigkeiten bei langen Versorgungszeiträumen (Bothe 2003, S. 73, 76, Dombrowski et al. 2005a, S. 125, 129, 2005b, S. 197, 201). Das gegebene Produktionsvolumen erlaubt zumeist keine wirtschaftliche Realisierung der NSV (Dombrowski et al. 2009, S. 955). Problematisch ist zudem die Ressourcenverfügbarkeit. Die Funktionsfähigkeit von Betriebsmitteln, insb. spezifischer Prüftechnik, sowie das zur Bedienung erforderliche Know-How sind über die Nachserienphase sicherzustellen. Die kurzen Produktlebenszyklen der Elektronikbranche und damit einhergehende Abkündigungen von Bauelementen stellen ein weiteres Risiko während der langen Versorgungszeiträume dar. Fehlende oder technisch abgelöste Komponenten führen darüber hinaus unweigerlich zu einem vermehrten Redesign von Baugruppen. Die Einplanung schwer prognostizierbarer Ersatzteilbedarfe der Nachserie in die laufende Serienproduktion stört dort u. U. eine nivellierte Produktion (Hagen 2003, S. 38 ff.; Bothe 2003, S. 10 ff.; Finke und Deuse 2010, S. 7, 10). Diese Anforderungen stellen Unternehmen vor vielschichtige Probleme hinsichtlich einer wirtschaftlichen Planung und späteren Gestaltung der NSV (s. Abschnitt 2.3). (Graf 2005, S. 25; Baumann et al. 2008, S. 62; Ihde et al. 1980; Meidlinger 1994, S. 101)

Die grundlegende Auswahl von NSV-Strategien unter Berücksichtigung der genannten Anforderungen und Vielzahl von Abhängigkeiten ist eine sehr komplexe Planungsaufgabe und erfolgt bisher lediglich auf Basis qualitativer Ansätze (Finke und Deuse 2010, 2011). Der in Abschnitt 3.2 dargelegte Stand der Forschung unterstreicht dieses Erkenntnis. Es existiert kein Vorgehen, mit dessen Hilfe die Wirkzusammenhänge von Ersatzteilmerkmalen und NSV-Strategien quantitativ untersucht werden können und

das es erlaubt, beliebige Ersatzteilspektren auf quantitativer Basis bspw. mittels strukturabbildender Verfahren den vorgegebenen NSV-Strategien zuzuordnen.

1.2 Zielsetzung

Zur Komplexitätsreduktion bei der Planung der NSV ist es das Ziel, mittels strukturabbildender Verfahren ET-Klassen zu bilden, die die Strategieauswahl in der NSV von Elektronikbaugruppen vereinfachen. Durch diese Gruppierung können Unternehmen solche Teile leicht identifizieren, deren Merkmalsausprägungen eine vergleichbare NSV-Strategie zulassen. Die Eingruppierung von (Elektronik-)Ersatzteilen soll trotz eines großen Produkt- und/ oder Variantenspektrums effizient und aufwandsarm vorzunehmen sein.

1.3 Vorgehensweise

Zur Erreichung der im vorangegangenen Abschnitt dargestellten Forschungsziele sind verschiedene Themenbereiche systematisch aufzubereiten und zielführend miteinander zu verknüpfen. Aufbauend auf einer Darstellung der Grundlagen der Nachserienversorgung inkl. zentraler Begriffsdefinitionen (s. Kapitel 2) wird das Themengebiet der Planung der Nachserienversorgung, als zentraler Betrachtungsgegenstand der gewünschten Optimierung, näher betrachtet (s. Kapitel 3).

Diese Aspekte/ Themenbereiche stellen die grundsätzlichen Rahmenbedingungen für die weiteren Untersuchungen und Entwicklungen dar und haben folglich hohe Relevanz für die Konzeptionierung einer Methodik zur Bildung von ET-Klassen und die Ableitung zentraler zu berücksichtigender Anforderungen (s. Kapitel 4).

Zentrale Vorarbeit für die Entwicklung der Methodik zur Klassifikation von Ersatzteilen (Kapitel 6) ist die Aufstellung eines strukturierten Merkmalkatalogs (s. Kapitel 5). Um eine hohe Anwendertauglichkeit insb. für kleine und mittlere Unternehmen (KMU) zu gewährleisten, wird diese Methodik abschließend in einen Leitfaden überführt (s. Kapitel 7). Die Ausführungen schließen mit einer Zusammenfassung der Forschungsergebnisse und einem Ausblick auf weitere mögliche Entwicklungspotenziale und tiefergehende Forschungsfragen (s. Kapitel 8).

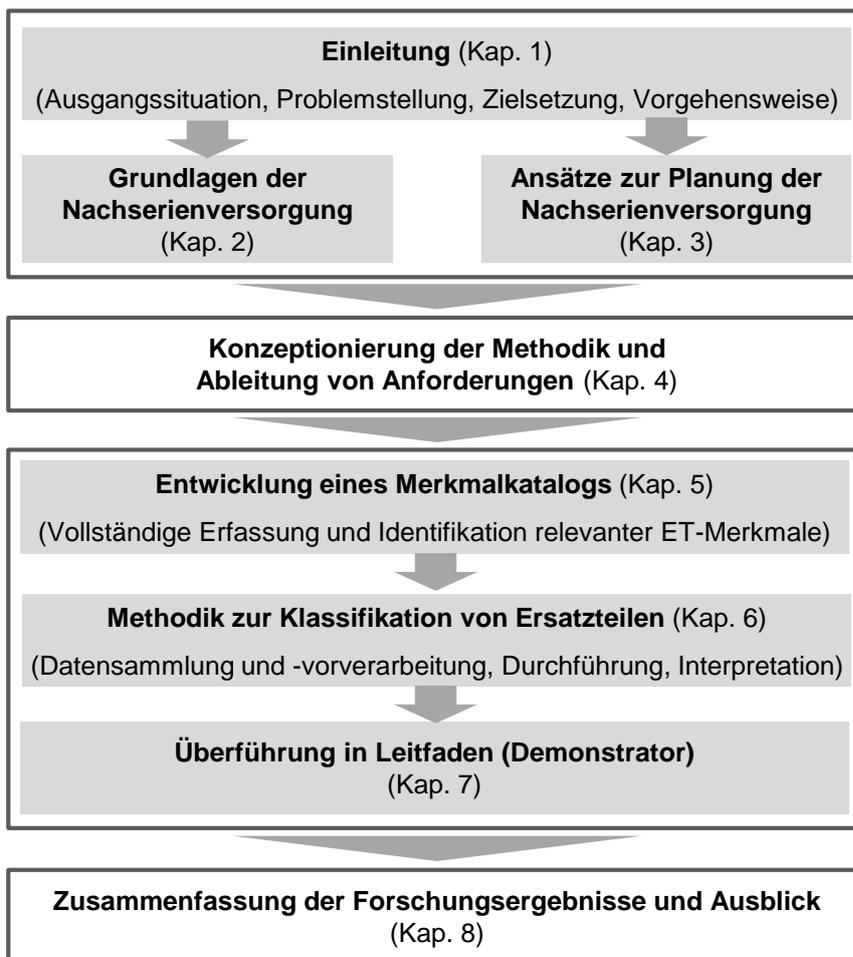


Abbildung 1.2 Vorgehensweise zur Erreichung der Forschungsergebnisse

2 Grundlagen der Nachserien- bzw. Ersatzteilversorgung

I. A. a. die Arbeiten im Kontext der Ersatzteilversorgung, wie bspw. von Dombrowski (Dombrowski und Bothe 2001, 2002, 2003, Dombrowski et al. 2005a, 2005b), Bothe (Bothe 2003), Hagen (Hagen 2003), Biedermann (Biedermann 2008) etc. und DIN Normen (DIN 24420 Teil 1) werden maßgebliche Zusammenhänge erläutert und entsprechende Begriffe für diesen Schlussbericht festgelegt und in den weiteren Ausführungen durchgängig verwendet.

2.1 Begriffsbestimmungen

DIN EN ISO 9000 beschreibt ein Produkt allgemein als „Ergebnis eines Prozesses“ und definiert Prozess als einen „Satz von in Wechselbeziehung oder Wechselwirkung stehenden Tätigkeiten, der Eingaben in Ergebnisse umwandelt“ (DIN EN ISO 9000, S. 18). Ein Produkt kann generell in eine von vier Produktkategorien eingeordnet werden: Dienstleistungen, Software, Hardware und verfahrenstechnische Produkte (DIN EN ISO 9000, S. 24). Für den gegebenen Kontext werden nur Produkte betrachtet, für die ein Ersatzteilbedarf entstehen kann. Diese sog. „Primärprodukte“ sind nach Koch (2004, S. 14) „technische, aus mindestens zwei Baugruppen, Komponenten, Einzelteilen oder Modulen wirtschaftlich reversibel gefügte Ergebnisse der industriellen Tätigkeit eines Betriebes.“ In der Literatur wird der Begriff des Primärprodukts oft branchenspezifisch ausgelegt und abhängig von der jeweiligen Problemstellung hinsichtlich der zu betrachtenden Produkte eingeschränkt (Wrehde 2011; Wienholdt 2011; Rosentritt und Knigge 2010).

Wienholdt bspw. definiert ein Primärprodukt im Kontext des Maschinen- und Anlagenbaus als „die eigentliche, zum Zweck der Wertschöpfung vom Hersteller an den Kunden gelieferte Anlage oder Maschine“ (Wienholdt 2011, S. 12). Gemäß dem Forschungsprojekt „Geregelte Ersatzteil-Bedarfsdeckungs-Strategien (GET)“ wird unter einem Primärprodukt ein Produkt verstanden, „welches von Herstellern mit einem definierten Funktionsumfang dem Anwender auf dem Markt angeboten wird und dabei mit Produkten ähnlicher Funktionalität anderer Hersteller in Konkurrenz tritt“ (Rosentritt und Knigge 2010, S. 10). Diese Definitionen sind weit gefasst und bedingen eine große Verschiedenartigkeit möglicher Primärprodukte. Aus diesem Grund wird in der Literatur zumeist der Betrachtungsgegenstand weiter eingegrenzt. Problematisch im Kontext der Nachserien- und Ersatzteilversorgung zeigen sich insb. Produkte mit einer

langen Lebens- und Nutzungsdauer, die aus diesem Grund einer langen NSV bedürfen. Zumeist werden Primärprodukte fokussiert, die nicht nur langlebig sondern auch hochwertig und komplex sind (z. B. Flugzeuge, Röntgengeräte und Druckmaschinen) (Wrehde 2011). Diese werden als langlebige hochwertige Wirtschafts- bzw. Konsumgüter bezeichnet. Produkte, die für einen „kürzeren“ Lebenszeitraum ausgelegt und „kostengünstiger“ sind, werden vermehrt durch Ersatzinvestitionen (Primärproduktaus-tausch) ersetzt und eine ETV i. e. S. wird nicht erforderlich. Wie bereits beschrieben, fokussiert speziell die Produktentwicklung insb. hochwertiger Primärprodukte zuneh-mend mechatronische Baugruppen (Bothe 2003, S. 1; Wrehde 2011, S. 1). Dieser Entwicklung ist auch im Rahmen der Nachserienversorgung Rechnung zu tragen, in-dem die spezifischen Anforderungen elektronischer Bauteile Berücksichtigung finden.

Deshalb sind langlebige hochwertige Primärprodukte Ausgangspunkt für alle weiteren Darstellungen; diese technischen Systeme umfassen eine Anzahl unterschiedlicher (elektronischer) Komponenten, wiederum bestehend aus Bauelementen, die über die Nutzungsdauer des Primärprodukts hinweg als Ersatzteile verfügbar sein müssen (s. Abbildung 2.1). Durch den vermehrten Einsatz von Elektronik ist die Funktionalität zu-nehmend von den Hard- und Softwarekomponenten abhängig, was folglich den Aus-tausch von defekten Hard- und Softwarekomponenten voraussetzt. (Wrehde 2011, S. 44, 47)

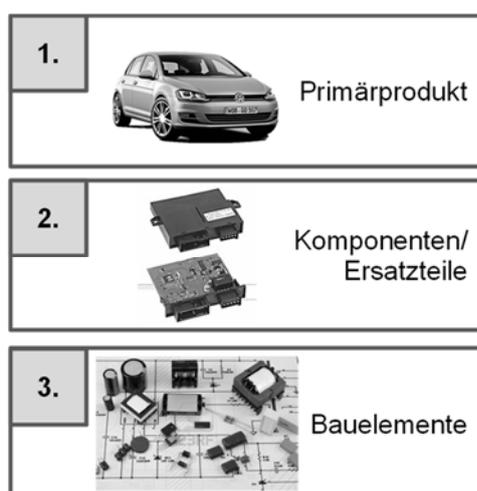


Abbildung 2.1 Zusammenhang zwischen Primärprodukt, Ersatzteil und Bauelement (Wrehde 2011, S. 45)

Ersatzteile sind i. A. definiert als „Teile (z. B. auch Einzelteile genannt), Gruppen (z. B. auch Baugruppen und Teilegruppen genannt) oder vollständige Erzeugnisse, die dazu bestimmt sind, beschädigte, verschlissene oder fehlende Teile, Gruppen oder Erzeug-nisse zu ersetzen.“ (DIN 24420 Teil 1, S. 1). Das Ersatzteil dient dementsprechend „zum Ersatz einer entsprechenden Einheit, um die ursprünglich geforderte Funktion

der Einheit zu erhalten.“ (DIN 31051, S. 11) Gemäß dieser Definitionen sind Ersatzteile austauschbare Komponenten eines aus mehreren Komponenten bestehenden Primärprodukts, mit dem Ziel die Funktionstüchtigkeit und den ursprüngliche Funktionsumfang des Primärprodukts durch den Austausch zu wahren. (Ihde et al. 1999, S. 1). Speziell die spezifischen Eigenschaften elektronischer Komponenten bzw. Ersatzteile, bestehend aus aktiven und passiven Bauelementen, bedingen hohe Anforderungen im Kontext der NSV, welche in den weiteren Ausführungen noch näher beschrieben werden. (Wrehde 2011, S. 47 f.)

Die DIN 31051 unterteilt das Ersatzteil nach der Betrachtungseinheit in Reserveteil, zeitbegrenzt Teil, Verschleißteil und Sollbruchteil (DIN 31051, S. 11). Die (Betrachtungs-)Einheit wiederum ist definiert als „Teil, Bauelement, Gerät, Teilsystem, Funktionseinheit, Betriebsmittel oder System, das/ die für sich allein beschrieben und betrachtet werden kann“ (DIN 31051, S. 7). Ein *Reserveteil* ist für eine bestimmte Ausrüstung bestimmt und/ oder austauschbar. Ein *zeitbegrenzt Teil* zeichnet sich durch eine verkürzte Lebensdauer in Bezug zu der Lebensdauer der übergeordneten Einheit aus. Die Lebensdauer kann technisch oder wirtschaftlich nicht vertretbar verlängert werden. Ein *Verschleißteil* ist eine Einheit, die aus wirtschaftlichen Gründen an Stellen eingesetzt wird, an denen betriebsbedingte Abnutzung entsteht und konzeptionell für den Austausch vorgesehen ist. Dadurch werden andere Einheiten vor der Abnutzung geschützt. *Sollbruchteile* schützen bei betriebsbedingter Überbeanspruchung andere Einheiten durch den Eigenverzehr (z. B. Bruch) vor Schaden und sind konzeptionell ebenfalls für den Austausch vorgesehen. (DIN 31051, S. 11). Diese Differenzierung basiert maßgeblich auf dem Grad zur Eignung für eine wirtschaftliche Instandsetzung, ausgedrückt in der Eindeutigkeit der Zuordnung zu der instand zu setzenden Anlage (Biedermann 2008). Verbrauchsteile sind in mehreren Instandhaltungsobjekten einsetzbar und genormt (z. B. Schrauben, Muttern und Dichtungen). Verbrauchs- und Reserveteile werden durch ihr Ausfallverhalten voneinander abgegrenzt. Aufgrund von fortschreitendem Verschleiß und daraus resultierenden Abnutzungserscheinungen ist der Austausch von Verbrauchsteilen notwendig. Reserveteile erfordern während der Lebensdauer eines Primärprodukts hingegen keinen Austausch infolge von Verschleiß- und Abnutzungserscheinungen (Bothe 2003, S. 7). Die Lebenserwartung eines Reserveteils entspricht der des Primärprodukts oder übertrifft diese (Hagen 2003, S. 6). Synonym zu den Begrifflichkeiten Verbrauchs- und Reserveteil werden die Begriffe Verschleiß- und Ausfallteil genutzt (Dombrowski und Bothe 2001, S. 792). Diese Typisierung bildet Grundlage für die weiteren Ausführungen.

In der Literatur finden sich weitere Faktoren, die für eine grundlegende Beschreibung von Ersatzteiltypen herangezogen werden, u. a. die Herkunft und Einsetzbarkeit sowie der Zustand von Ersatzteilen.

Der Faktor „Herkunft“ bezieht sich auf den Anbieter der Ersatzteile und gibt Auskunft über deren Qualität. Ersatzteilanbieter sind Primärprodukthersteller, Teilelieferanten/-zulieferer, Nachbauer, Instandhaltungsorganisationen oder Altanlagenverwerter. Die von Primärproduktherstellern angebotenen Originalersatz- und Recyclingteile weisen verglichen mit den von externen Wettbewerbern angebotenen Fremdersatz-, Recycling- und Gebrauchtteilen i. A. eine höhere Qualität auf. Primärprodukthersteller verfügen über die erforderlichen Spezifikationen, Werkstoffe und Herstellungsverfahren und haben einen Qualitätsvorsprung, der sich in den Ersatzteilkosten widerspiegelt. (Schuppert 1994, S. 53 f.; Baumbach 1998, S. 128; Hug 1986, S. 25; Klug 2010, S. 450)

Hinsichtlich ihrer Verwendung bzw. ihrer Einsetzbarkeit werden in VDI-Norm 2892 Einort-, Mehrort- und Mehrfachteile unterschieden (VDI 2892, S. 4). Ein Einortteil wird nur an einer definierten Einsatzstelle einer Maschine oder Anlage eingesetzt, wohingegen das Mehrortteil an mehreren Einsatzstellen eingesetzt werden kann. Bei dem Mehrfachteil handelt es sich um ein identisches Ersatzteil, das an mehreren Lagerorten oder in mehreren Lagern innerhalb eines Unternehmens verfügbar ist.

Die Kennzeichnung von Ersatzteilen kann ansonsten über den Zustand der Teile erfolgen. Entsprechend ihrem Zustand können Ersatzteile in ein neues Teil, gebrauchtes Teil, instand gesetztes Teil, Halbfertigteil und Teil mit eingeschränkter Lagerfähigkeit unterschieden werden (VDI 2892, S. 5). Auf weitere über die grundsätzliche Definition hinausgehenden Beschreibungen bzw. Eingrenzungen wird an dieser Stelle verzichtet, da diese in Kapitel 5 noch ausführlich beschrieben werden.

Der Umgang mit Ersatzteilen im Unternehmen wird allgemein als Ersatzteilmanagement bezeichnet. Der Begriff Ersatzteilmanagement wird jedoch selten und zumeist äquivalent zu den Begriffen Ersatzteilwesen bzw. Ersatzteilwirtschaft verwendet (Hagen 2003). Laut Bothe und Hagen (Bothe 2003; Hagen 2003) ist das Ersatzteilwesen das übergeordnete Handlungssystem innerhalb eines Unternehmens und umfasst Abwicklungs- und Strukturprozesse. Durch Abwicklungsprozesse wird eine Leistung für externe Kunden erbracht, sie erfolgen regelmäßig. Strukturprozesse hingegen fallen einmalig oder sporadisch an und fokussieren Aufbau und Pflege von Wissen und Fähigkeiten im Unternehmen. Das Ersatzteilmanagement kontrolliert und gestaltet die

ETV und wird als umfassendes Management, d. h. Planung, Steuerung und Überwachung sämtlicher an der ETV beteiligter Abwicklungsprozesse verstanden und ist als strukturbildender Prozess im Ersatzteilwesen zu verstehen (Hagen 2003, S. 7). Es werden alle Prozesse im Bereich der *Ersatzteillogistik* und der *Ersatzteilversorgung* (Abwicklungsprozesse) systematisch geplant.

Die Ersatzteillogistik wird zumeist als Kernelement des Ersatzteilmanagements bezeichnet; Aufgabe ist die erforderliche Koordination und Umsetzung zur Klärung, Durchführung und Kontrolle aller ersatzteilwirtschaftlichen Teilfunktionen (Bereitstellung, Bevorratung, Einsatz und Ausmusterung von Ersatzteilen) (Haaß 2009, S. 15; Wienholdt 2011, S. 15). Im Vordergrund steht die physische Versorgung mit Ersatzteilen gemäß Anforderungsprofil von Instandhaltung und Produktion (Ihde et al. 1999, S. 1; Bothe 2003, S. 27; Biedermann 2008, S. 7; Schuppert 1994, S. 2), wobei hier oftmals die wirtschaftliche Bevorratung der richtigen Ersatzteile zur richtigen Zeit, am richtigen Ort maßgebend ist (Pawellek 2013, S. 224).

Die Planungs- und Steuerungsprozesse des Ersatzteilmanagements finden unternehmensintern statt, wohingegen die ETV, geplant durch das Ersatzteilmanagement, unternehmensübergreifend durch mehrere Versorgungspartner realisiert wird (Hagen 2003, S. 9). Aus diesem Grund existiert eine hersteller- und eine abnehmerseitige Sichtweise des Ersatzteilmanagements und seiner Aufgaben (Biedermann 2008, S. 6; Pfohl 2010; Ester 1997).

Fokus des herstellerseitigen Ersatzteilmanagements ist die Disposition und Distribution der vom Kunden bzw. Anwender benötigten Ersatzteile und zugehörigen Dienstleistungen. Ziel ist die Gewährleistung und Wiederherstellung der Funktionalität der Primärprodukte. Aus Anwendersicht steht die Sicherung der Funktionsfähigkeit der gekauften Produkte und folglich die Bereitstellung der für Instandhaltungsmaßnahmen erforderlichen Ersatzteile im Vordergrund (Koch 2004, S. 35, 69; Ester 1997, S. 118 ff.; Wienholdt 2011, S. 15). In beiden Fällen ist Wissen über den Ersatzteilbedarf vorausgesetzt, den es im Ersatzteilmanagement sowohl langfristig als auch kurzfristig möglichst exakt zu bestimmen gilt (Koch 2004, S. 35; Dombrowski et al. 2002, S. 56).

Zielsetzung des Projekts ist die Bildung von ET-Klassen im Sinne einer Komplexitätsreduktion bei der Planung der ETV für produzierende Unternehmen, weshalb sich alle weiteren Ausführungen auf das herstellerseitige ETM beziehen. Zu diesen zählen Primärprodukthersteller, gebundene und ungebundene Lieferanten sowie Nachbauer von Ersatzteilen (Finkenwirth 1993)

Neben der physischen Versorgung mit Ersatzteilen beinhaltet das Ersatzteilmanagement auch übergreifende Aufgabenstellungen, wie z. B. das Durchsetzen von Anforderungen in der Produktentwicklung (Bothe 2003, S. 27). Für die Ersatzteilproduktion sind bspw. Bauteile zu beschaffen und u. U. sind konstruktive Veränderungen oder Neukonstruktionen (Redesign) erforderlich. Da folglich verschiedene Funktionsbereiche eines Unternehmens inbegriffen sind, wird in diesem Kontext von ganzheitlichem Ersatzteilmanagement gesprochen (vgl. (Hesselbach et al. 2002a, S. 225 ff.)

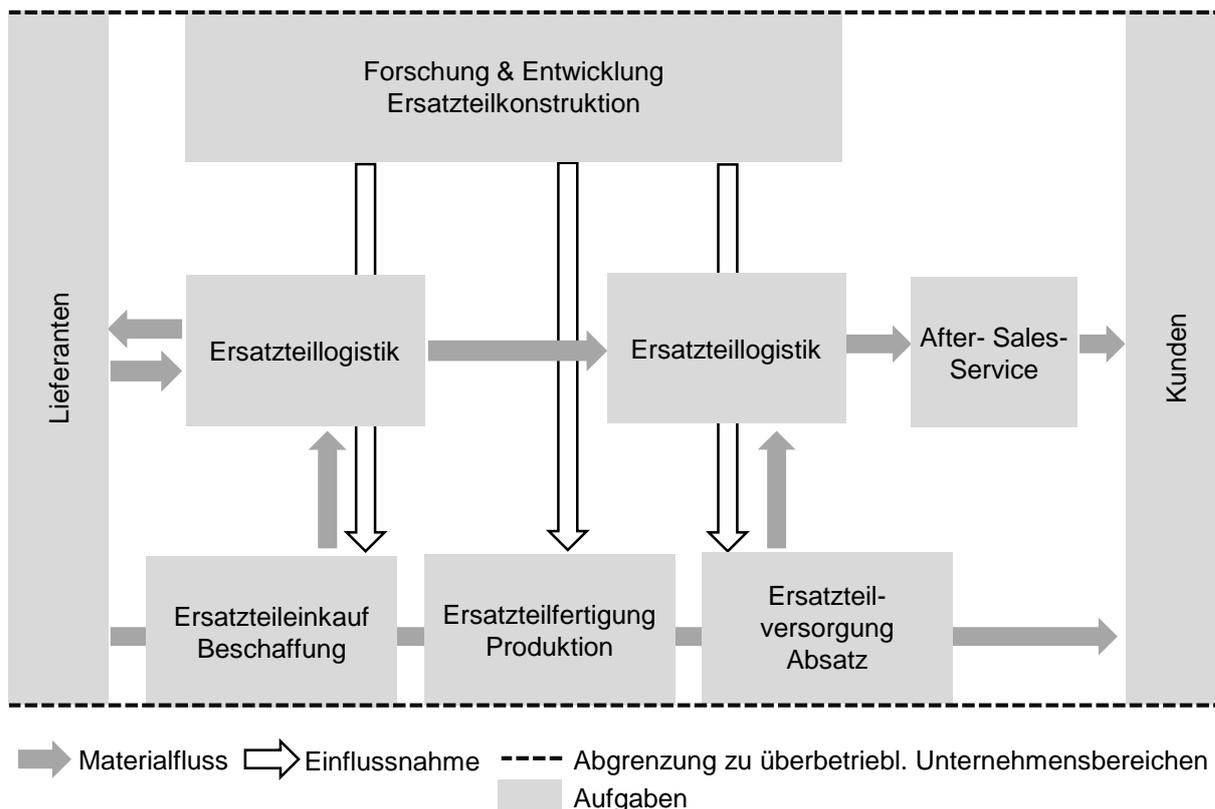


Abbildung 2.2 Ganzheitliches Ersatzteilmanagement (vgl. Hesselbach et al. 2002a, S. 225)

Das ganzheitliche Ersatzteilmanagement (s. Abbildung 2.2) berücksichtigt zudem ehemals abnehmerseitig organisierte Aufgaben, da Hersteller bzw. Produkthanbieter ihr Dienstleistungsangebot in Form von Serviceverträgen, wie Wartungs- und Instandhaltungsleistungen, oder Betreiberverträgen stetig erweitern. Durch dieses Vorgehen versuchen die Produkthanbieter bereits in der Entwicklungsphase der Primärprodukte Anforderungen der ETV zu adressieren und potentiell auftretende Problemfelder gezielt und prospektiv zu beeinflussen, bspw. durch service-, standzeitgerechte und wiederverwendungsfähige Produktkomponenten sowie rechtzeitige Lieferanteneinbindung (Graf 2005, S. 24 f.).

2.2 Phasen der Ersatzteilversorgung

Die Ersatzteilversorgung aus Herstellersicht weist zwei zentrale Phasen auf (vgl. Abbildung 2.3). Als Serienphase wird der Zeitraum zwischen Beginn (SOP: Start of Production) und Ende der Serienfertigung verstanden. In dieser Phase werden bestehende Ersatzteilbedarfe in das gegebene Produktionsprogramm eingeplant und der Serienfertigung entnommen (Dombrowski und Bothe 2001; Finke und Deuse 2010; Hagen 2003). Nach EOP beginnt die Nachserie(-nphase), welche bis zum Ende der Lieferverpflichtung (EDO: End of Delivery Obligation) bzw. der unternehmensspezifisch festgelegten Einstellung der ETV, dem sog. End of Service (EOS) reicht. Lieferverpflichtungen bestehen aufgrund von rechtlichen Anforderungen oder Versorgungsgarantien, die Unternehmen gegenüber Kunden eingehen. Durch den steigenden Anteil mechatronischer Komponenten ist eine vergleichbare Situation (lange Versorgungszeiträume) im Maschinenbau eingetreten. Bestehen keine derartigen Lieferverpflichtungen, basiert das Ende der ETV auf einem vom Unternehmen festgelegten Zeitpunkt.

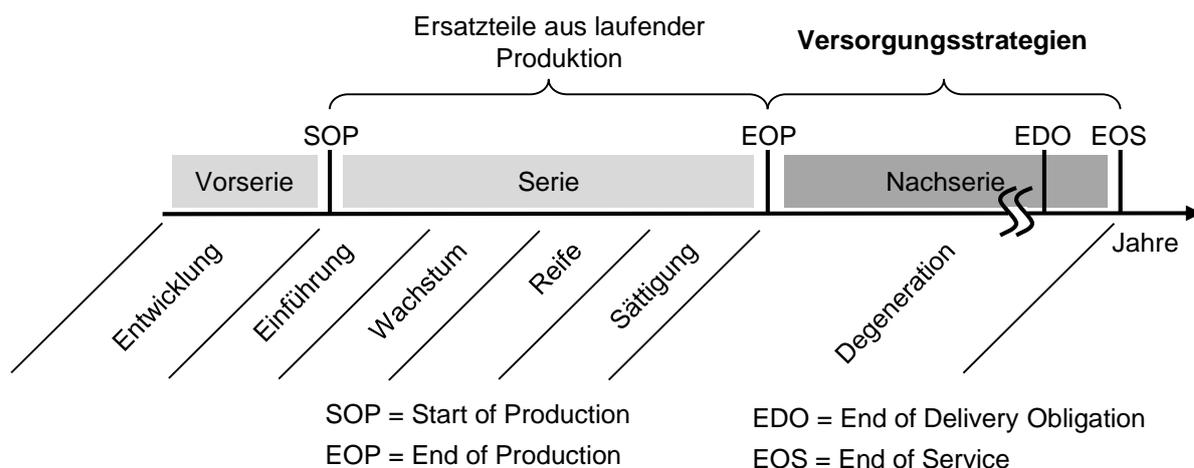


Abbildung 2.3 Phasen der Ersatzteilversorgung (Bothe 2003, S. 27 f.; Finke und Deuse 2011, 2010, S. 5)

Die kontinuierliche und effiziente Versorgung mit Ersatzteilen ist Voraussetzung für die langfristige Nutzung der Primärprodukte und zugleich ein wesentlicher Wettbewerbsvorteil für eine nachhaltige Kundenzufriedenheit; sowohl in der Serien- als auch Nachserienphase.

In der Nachserienphase wird die Versorgung mit Ersatzteilen (entspricht der NSV) mittels Versorgungsstrategien (VS) sichergestellt (Graf 2005, S. 21; 91; Inderfurth und Kleber 2008, S. 4; Schröter 2006, S. 107ff.). Diese beschreiben Wege zur ETV, d. h.

„geplante wiederholbare Vorgehensweisen für eine optimale Versorgung mit Ersatzteilen, die unter Berücksichtigung von Zielen, Gegebenheiten und Trends exemplarisch entwickelt werden und für einzelne oder viele Ersatzteile festgelegt und angepasst werden können“ (Hagen 2003, S. 8). Die Festlegung von Versorgungsstrategien für Ersatzteile ist zentrale Aufgabe der Planung der Nachserienversorgung, welche in Abschnitt 3 detailliert dargestellt wird (inkl. Versorgungsstrategien, -szenarien sowie Zielgrößen). Speziell die Nachserienphase ist durch eine Vielzahl zu berücksichtigender Rahmenbedingungen und damit Herausforderungen gekennzeichnet (Dombrowski et al. 2009, S. 955), insb. bei mechatronischen und folglich elektronischen Baugruppen (Bothe 2003, S. 1; Wrehde 2011, S. 1). Daher wird in Abschnitt 2.3 zunächst auf diese eingegangen.

2.3 Herausforderungen in der Nachserienphase

Zentrale Herausforderungen in der Nachserienphase langlebiger komplexer Wirtschaftsgüter liegen in geringen und schwer prognostizierbaren Stückzahlen, Bauteilabkündigungen und der eingeschränkten Lagerfähigkeit bei langen Versorgungszeiträumen (Bothe 2003, S. 1, 73, 76, Dombrowski et al. 2005a, S. 125, 129, 2005b, S. 197, 201; Wrehde 2011, S. 1). Ein ausreichend großes Bedarfsvolumen zur Realisierung einer wirtschaftlichen NSV wird zumeist nicht erreicht (Dombrowski et al. 2009, S. 955). Verschärfte Bedingungen ergeben sich zudem im Kontext der Ressourcenverfügbarkeit (Funktionsfähigkeit von Betriebsmitteln/ Prüftechnik, Know-How). Die kurzen Produktlebenszyklen der Elektronikbranche und damit einhergehende Abkündigungen von Bauelementen (Aufkündigung von Lieferverträgen) stellen ein weiteres Risiko während der langen Versorgungszeiträume dar. Fehlende oder technisch abgelöste Komponenten führen darüber hinaus unweigerlich zu einem vermehrten Redesign von Baugruppen. Auch die Einplanung von Fertigungsaufträgen für Ersatzteile der Nachserie in die laufende Serienproduktion ist problembehaftet, da eine nivellierte Produktion in der Serie durch Ersatzteilbedarfe gestört wird (Finke und Deuse 2010, S. 7, 10; Hagen 2003, S. 38ff.; Bothe 2003, S. 10ff.). Weitere Faktoren, wie die Kompatibilität von Teilen (Wrehde 2011, S. 60 ff.; Finkenwirth 1993, S. 4 f.), die Prognose (-fähigkeit) zukünftiger Ersatzteilbedarfe erschweren die Planung der NSV zudem (Wrehde 2011, S. 70 ff.). Da das Ersatzteilmanagement viele Bereiche der internen Organisationsstruktur und Supply Chain umfasst, ergeben sich weitere Konflikte z. B. über Verantwortlichkeiten oder Abläufe innerhalb des Ersatzteil- und Informationsmanagements (Dombrowski und Bothe 2001, S. 792).

Mit Fokus auf langlebige komplexe Wirtschaftsgüter ist speziell der steigende Anteil innovationsstarker, schnell weiterentwickelter Komponenten und Bauteile zu nennen, überwiegend aus dem Bereich der Elektronik (Hard- und Software). In der Automobilbranche bspw. stammen durchschnittlich 80%-90% der Innovationen aus dem Bereich der Elektronik, wobei gleichzeitig der Elektronik-Wertanteil wächst. Im Durchschnitt wird über die gesamte Produktpalette eines Automobilherstellers ein Wertanteil von 30% prognostiziert. (vgl. Hertel 2007, S. 26 f.) Der wachsende Elektronikanteil in hochwertigen Primärprodukten wird daher künftig zu einer Verschärfung der zuvor genannten Herausforderungen führen. Verschiedene Ansätze wie bspw. Modularisierung, Erhöhung der Integrationsdichte oder Entkopplung von Hard- und Software sollen diese Problematiken entschärfen (vgl. Best 2007, S. 12; Mason 2007, S. 50 f.). Diese Ansätze gilt es in zukünftigen Produktgenerationen vermehrt umzusetzen; kurz- bis mittelfristig bleiben die beschriebenen Probleme jedoch bestehen (vgl. Stumpp 2007, S. 82). Zudem ist die Länge der Serviceperiode einzelner Komponenten zentrale Eingangsgröße (Inderfurth und Kleber 2008, S. 1f.). Der (geplante) Versorgungszeitraum von Ersatzteilen langlebiger Produkte resultiert aus rechtlichen Vorschriften, Verbandsempfehlungen oder strategischen Unternehmenszielen (Dombrowski und Bothe 2001, S. 792). Rechtlich betrachtet hängt die Länge der Serviceperiode durch Forderungen des Verbraucherschutzes vorrangig von den üblichen Nutzungszeiträumen der Primärprodukte ab. Es gelten gesetzlich bzw. vertragsrechtlich bindende Fristen (Hesselbach et al. 2004, S. 88; Finkenwirth 1993, S. 7; Schröter 2006, S. 17ff.). Die tatsächliche Länge des Versorgungszeitraums ist branchenspezifisch. Unternehmen, bspw. Fahrzeughersteller sind zur Ersatzteillieferungen über den üblichen Nutzungszeitraum eines Fahrzeugs (ca. 10-15 Jahre) verpflichtet (Hagen 2003, S. 13f.). Ersatzteile für höherwertigere oder sicherheitsrelevante Primärprodukte sind deutlich länger vorzuhalten. Vertragsrechtlich werden diese Regelungen u. U. an gebundene Lieferanten weitergegeben. Wird einer Lieferung von Ersatzteilen in bestehendem Vertrags- oder Rechtsverhältnis nicht nachgekommen, resultieren Strafen, die den eigentlichen Ersatzteilwert deutlich übersteigen (Biedermann 2008, S. 6). Aber auch strategische Überlegungen veranlassen Unternehmen, die ETV langfristig sicherzustellen (Graf 2005, S. 25; Dombrowski und Bothe 2001, S. 792), bspw. die Steigerung der Kundenbindung sowie die Generierung von Umsatz. Die Marktmacht in vielen Branchen ermöglicht Unternehmen im Ersatzteilgeschäft hohe Margen (Barkawi et al. 2006).

Die zuvor kurz dargestellten Aspekte bilden grundsätzliche Rahmenbedingungen für den Aufbau der Methodik. Abbildung 2.4 zeigt eine Übersicht der maßgeblichen Einflussgrößen, die in Abschnitt 2.3.1 bis Abschnitt 2.3.6 kurz erläutert werden (vgl. hier

und ff. Wrehde 2011, S. 60 ff.; Dombrowski und Bothe 2001, S. 792; Dombrowski 2004, S. 18).

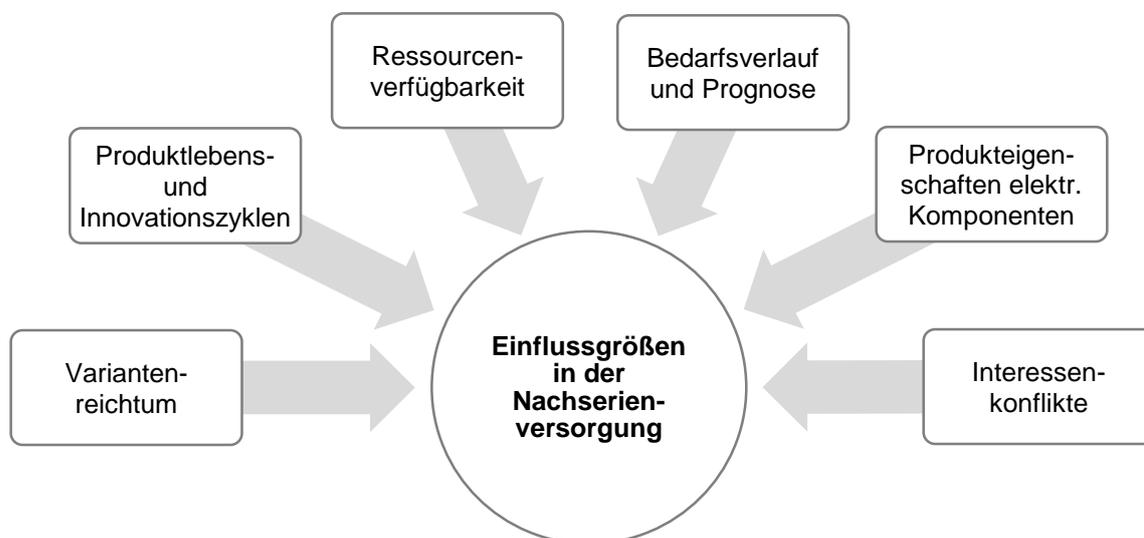


Abbildung 2.4 Einflussgrößen in der NSV (i. A. a. Wrehde 2011, S. 60 ff.; Dombrowski 2004, S. 18; Dombrowski und Bothe 2001, S. 792)

2.3.1 Variantenreichtum

Eine stringente Orientierung an Kundenwünschen infolge steigender Wettbewerbsintensität sowie kurze Marktzyklen der Primärprodukte u. a. infolge rasanter technologischer Entwicklungen haben eine steigende Individualisierung der Produkte zur Folge. Dies führt zu einem starken Anstieg der Variantenanzahl von (elektronischen) Komponenten, Bauteilen sowie resultierend von Ersatzteilen (in Hard- und Software) und bedingt ein komplexes und breites Produktspektrum in Serien- und Nachserienphase (Stark 2004; Voss 2006, S. 8). Neben der für hochwertige Primärprodukte bestehenden langen Versorgungszeiträume und resultierend ausgedehnten Nachserienphasen führen maßgeblich die zuvor dargestellten Einflüsse zu einer steigenden Komplexität (s. Abbildung 2.5); auch für die Planung und Steuerung der NSV.

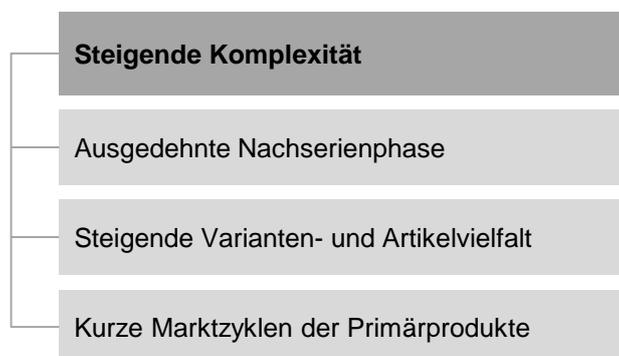


Abbildung 2.5 Gründe steigender Komplexität in der NSV (vgl. Voss 2006, S. 8)

2.3.2 Produktlebens- und Innovationszyklen

Die unterschiedlichen Lebens- und Innovationszyklen von Primärprodukten, Komponenten und Bauelementen führen zu weiteren Problemen. Die langlebigen Primärprodukte beinhalten Komponenten, die verschiedenen Generationen einer Produktreihe entstammen. Dies verstärkt die zuvor beschriebenen Effekte (erhöhte Anzahl vorzuhaltender Komponenten) (Graf 2005, S. 25; Ihde et al. 1980) und führt zudem speziell bei älteren Produktgenerationen zu Unsicherheiten der langfristigen Verfügbarkeit dieser Komponenten (Baumann et al. 2008, S. 62). Es kommt vermehrt zu Bauteilabkündigungen. Diese stellen ein zentrales Risiko im Rahmen der Sicherstellung der Nachserienversorgung dar. Insb. in den anteils- und wertmäßig stark wachsenden Bereichen der Elektronik, Elektrik und ähnlichen Technologien genügt die Marktkraft der Automobil- und Maschinenbaubranche nicht, um die Verfügbarkeit zugekaufter Komponenten bzw. Bauteile langfristig zu beeinflussen und damit sicherzustellen (s. Abschnitt 2.3.3). (Dombrowski und Schulze 2008b). Speziell zur Herstellung elektronischer Komponenten sind Bauteile notwendig, die vom Bauelementlieferanten produziert werden. Jedoch bieten nur wenige dieser Lieferanten verlängerte Verfügbarkeit der Bauelemente an, sodass es teils bereits in der Serie und Nachserie zu Bauteilabkündigungen kommt. (vgl. Dombrowski et al. 2003, S. 73 ff.; Wrehde 2011, S. 69)

2.3.3 Ressourcenverfügbarkeit

Neben den Ressourcen **Bauelemente**, **Betriebsmittel** (z. B. Fertigungstechnologien und -mittel sowie (Fertigungs-)Unterlagen) ist **Know-How** der Mitarbeiter eine weitere essentielle Ressource (vgl. Wiendahl 2005, S. 8 ff.). Die Verfügbarkeit dieser Ressourcen unterscheidet sich stark. Durch die bereits im vorherigen Abschnitt angesprochenen unterschiedlich langen Lebenszyklen elektronischer Komponenten und Bauelemente ergeben sich voneinander abweichende Verfügbarkeiten. Die Serienphase einer elektronischen Komponente in der Automobilbranche beträgt bspw. ca. zwei Jahre (Hagen 2003, S. 26). Elektronische Bauelemente dagegen haben mit einer Dauer von ca. zwölf Monaten deutlich kürzere Lebenszyklen und damit Verfügbarkeiten (Wrehde 2011, S. 67). Fertigungsanlagen haben eine geplant länger ausgelegte Nutzungsphase und amortisieren sich erst über einen längeren Zeitraum. Ziel ist es, die Fertigungsanlagen idealerweise für mehrere Produkte zu nutzen. (vgl. Hennecke 2007, S. 58 f.) Je spezifischer und automatisierter Fertigungstechnologien und -mittel jedoch sind, desto schwieriger gestalten sich Kompatibilität zu anderen Produkten und das langfristige Vorhalten der gesamten Einrichtungen. Die Ressource „Know-How“ liegt

im Kontext der NSV in den meisten Unternehmen zumeist dezentral vor und wird selten strukturiert dokumentiert und verwaltet. Die Mitarbeiter fungieren als Wissensträger und stehen den Unternehmen bestenfalls über einen längeren Zeitraum zur Verfügung. Die Verweildauer eines Mitarbeiters im Unternehmen ist jedoch meist geringer als ein Lebenszyklus eines Ersatzteils (Hagen 2003, S. 131). Mitarbeiter werden mit neuen Produktgenerationen betraut, in neue Projekte eingebunden oder wechseln bestenfalls unternehmensintern die Stelle. Die Verfügbarkeit ist sehr schwer zu antizipieren und Wissensverlusten aufgrund von Mitarbeiterfluktuation ist durch ein funktionierendes Wissensmanagement zu entgegen (vgl. Bosch 2001, S. 36). Eine Berücksichtigung dieser eingeschränkten Verfügbarkeiten und bestehender Interdependenzen ist für die Sicherstellung einer effizienten NSV essentiell. (Wrehde 2011, S. 68)

2.3.4 Bedarfsverlauf und Prognose

Die Kenntnis über zukünftige Ersatzteilbedarfe nach EOP ist eine weitere grundlegende Herausforderung im ETM, da diese einen starken Einfluss auf die Auswahl und Gestaltung zur Verfügung stehender Versorgungsstrategien hat. Fehlprognosen können zu einem kostspieligen Risiko werden, bspw. in Form von Fehlinvestitionen für Nachfertigungs- und Logistiksysteme, die Herstellung und Lagerung zu großer bzw. geringer Mengen und etwaig resultierender Verschrottungs- oder Redesignkosten. Nachfolgend werden einige Einflussfaktoren auf den Ersatzteilbedarf dargestellt, welche für die Ermittlung der nachgefragten Stückzahl wichtig sind.

Der Ersatzteiltyp (vgl. Abschnitt 2.1) bestimmt das Nachfrageverhalten, das sich einerseits in der insgesamt nachgefragten Stückzahl und andererseits in der Prognostizierbarkeit der Nachfrage in Form von Bedarfsverläufen ausdrückt (vgl. Abbildung 2.6). Aus diesem Grund sind mechanische und elektronische Komponenten differenziert zu betrachten. Mechanische Teile weisen Verschleiß auf, sodass sie grundsätzlich instandgehalten werden können. Die Vorhersage des Verschleißverhaltens ist bei bekannten Umweltbedingungen und Belastungen relativ genau zu prognostizieren. Elektronische Komponenten hingegen sind meist Ausfallteile. (Wrehde 2011, S. 70 f.)

Der Bedarf an Verschleißteilen ist meist kontinuierlich und verläuft proportional zu der in den Markt eingebrachten Menge an Primärprodukten, lediglich zeitlich versetzt. Ausfallteile hingegen weisen in Bezug auf Nachfragehöhe und -zeitpunkt einen sporadischen, Ausreißer behafteten Bedarf mit Spitzen sowie Nullbedarfen auf (Inderfurth und Kleber 2008; Wollenweber 2006, S. 10).

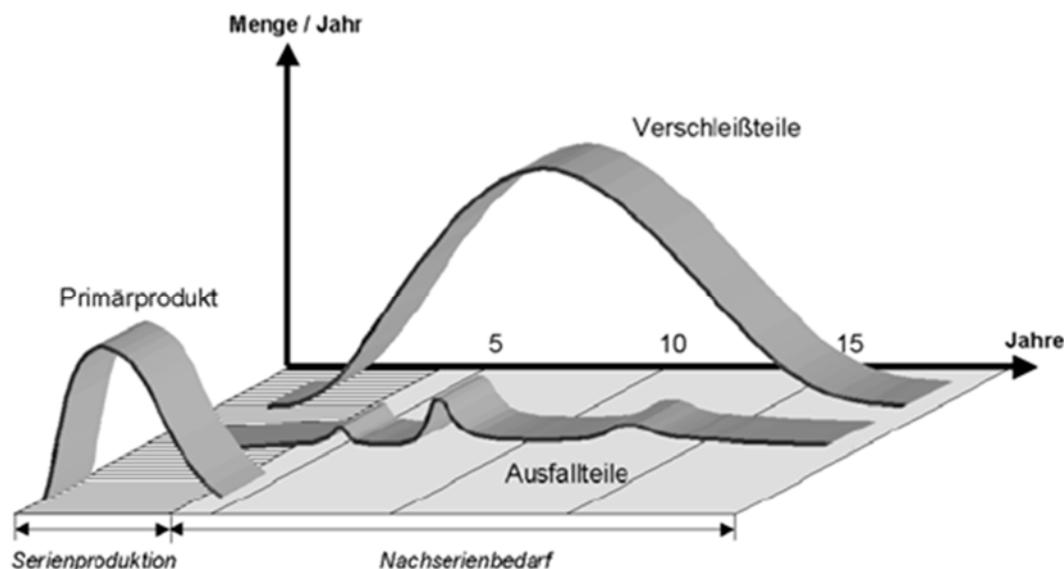


Abbildung 2.6 Bedarfsverlauf gemäß Ersatzteiltyp (vgl. Dombrowski und Bothe 2001, S. 793)

Diese Charakteristika beeinflussen die Prognose des Nachserienbedarfs stark. Bedarfshöhe und -verlauf hängen ab von Primärprodukt, Ersatzteilspezifikationen, Markt sowie weiteren exogenen Einflussgrößen (Loukmdis und Meyer 2006, S. 19; Meidlinger 1994, S. 100ff.; Gesellschaft Fördertechnik, Materialfluss und Logistik 2000, S. 74) (s. Abbildung 2.7). Die dargestellten Einflussgrößen bestimmen Volumen sowie zeitliche und örtliche Verteilung des Ersatzteilbedarfs.

Für die Primärprodukte sind Bestand und Bestandsentwicklung zu beachten, d. h. die (abhängig von der jeweiligen Lebenszyklusphase) Anzahl in Umlauf befindlicher sowie der zukünftige Planverkauf dieser Produkte. U. a. hieraus können Rückschlüsse auf erwartete Ersatzteilbedarfe gezogen werden. Nutzungsintensität und Einsatzbedingungen der Primärprodukte (Ort, Dauer) beeinflussen Verschleißerscheinungen einzelner Komponenten, deren individuelles Verschleißverhalten ebenfalls zu betrachten ist. Neben dem Verschleiß- liefert das Ausfallverhalten Informationen, die den Bedarf direkt oder indirekt beeinflussen. Ausfall- und Überlebenswahrscheinlichkeit sowie Ausfall- und Verschleißrate sind zentrale Faktoren zur Ermittlung des Ersatzteilbedarfs. Zudem beeinflusst die Instandhaltungsstrategie (präventiv, reaktiv) den Bedarfsverlauf (deterministisch oder stochastisch Nachfrage) (Meidlinger 1994, S. 101).

Die Ersatzteil-Bedarfsprognose für Ersatzteile nach EOP erfolgt für lange Zeiträume, in denen viele der über die Zeit auftretenden Störgrößen nicht vorhersehbar sind. Geringe Ungenauigkeiten können sich daher zu erheblichen Abweichungen aufsummieren, die eine entsprechend hohe Unter- oder Überdeckungen an Ersatzteilen bedin-

gen. Die Prognose von Zeitpunkt und Höhe der Ersatzteilnachfrage sollte zur Vermeidung dieser Risiken möglichst genau sein. Dies wird durch das stochastische Ausfallverhalten, die hohe zeitliche Dynamik der Nachfrageentwicklung sowie unvorhersehbare technische Veralterung weiter erschwert. Die Dynamik entsteht durch die Abhängigkeit des Bedarfs von der variierenden Anzahl der sich in Gebrauch befindlichen Primärprodukte, welche an sich keinen zeitlich gleichmäßigen Nachfrageverlauf erwarten lässt (Inderfurth und Kleber 2008, S. 2; Hesselbach et al. 2002b; Meidlinger 1994, S. 1ff.; Bothe 2003, S. 93ff.).

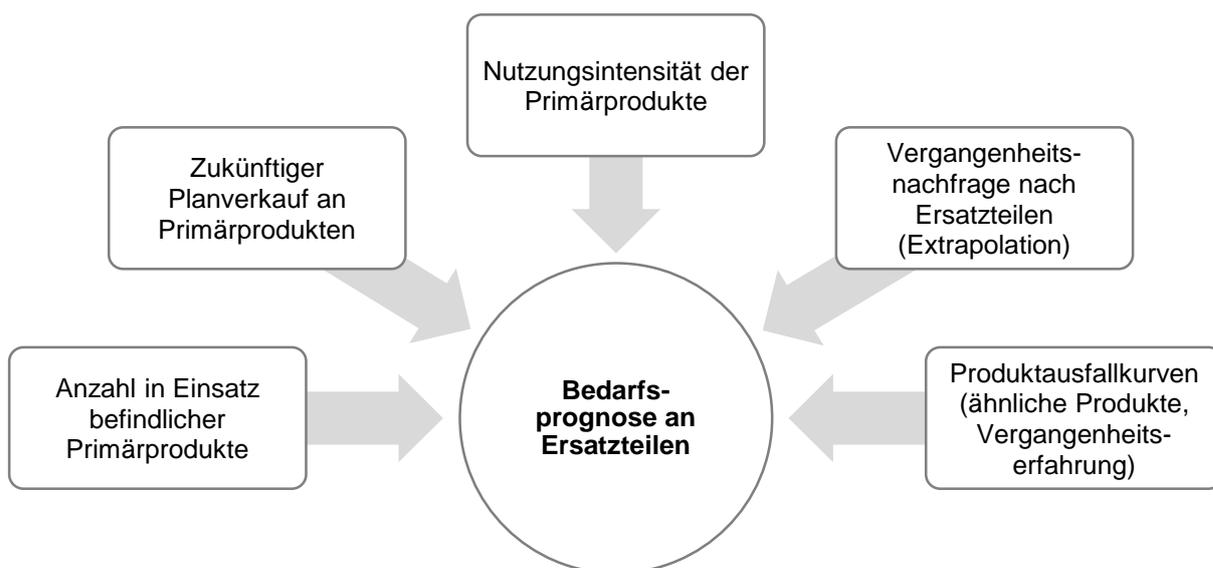


Abbildung 2.7 Zur Prognose von Ersatzteilbedarfen zu berücksichtigende Aspekte (s. Pfohl 2010, S. 216)

Prognosen sind Vorher- oder Voraussagen, d. h. Aussagen über Ereignisse, Zustände oder Entwicklungen in der Zukunft (Mertens und Rässler 2005, S. 1 ff.). Vorhersagemethoden existieren in zahlreichen Disziplinen; grundsätzlich werden qualitative und quantitative Verfahren unterschieden. Zuvor genannte Herausforderungen erfordern die Prognose von Ersatzteilbedarfen auf historischen Bedarfsdaten (statistische Zeitreihenverfahren), Erfahrungs- bzw. Analogiedaten (Analogieverfahren) oder kausalen Zusammenhängen wie Ausfallraten, Nutzungsbedingungen o. ä. aufzubauen (Bothe 2003, S. 93ff.) sowie die fallspezifische Auswahl eines Prognoseverfahren (Meidlinger 1994, S. 101; Loukmdis und Meyer 2006, S. 19). Ersichtlich wird, dass insb. die immer kürzer werdenden Innovationszyklen und kaum vorhandenen Vergangenheitsdaten die Prognose zusätzlich erschweren (vgl. Dombrowski und Bothe 2001, S. 793). Zusammenfassend ist herauszustellen, dass es unabhängig von dem gewählten Prognoseverfahren nicht zu einer exakten Vorhersage von Ersatzteilbedarfen kommen wird. (Bothe 2003, S. 110)

2.3.5 Produkteigenschaften elektronischer Komponenten

Es sind weitere produktspezifische Charakteristika in die Planung zu integrieren, die wie das Ausfallverhalten mögliche Prognoseverfahren und die Prognosegüte beeinflussen. Zu berücksichtigen ist bspw. die produktspezifische Alterungsbeständigkeit von Komponenten und Bauelementen (Lagerfähigkeit) (VDA-Ausschuss Aftermarket 2006; Biedermann 2008, S. 16). Eine eingeschränkte Lagerfähigkeit begrenzt maximal mögliche Bevorratungszeiträume (Inderfurth und Kleber 2008). Durch spezifische Lagerbedingungen kann eine Lagerfähigkeit teils hergestellt bzw. verlängert werden, dies erfordert oftmals jedoch spezifische Prüfverfahren, um Qualitätsprobleme nach einer Einlagerung auszuschließen (Mente et al. 2008). Hierzu werden oft kostenintensive Verfahren eingesetzt (Hagen 2003, S. 67), die es bei der Planung der NSV speziell unter wirtschaftlichen Aspekten zu berücksichtigen gilt. Analog verhält es sich mit hochwertigen Produkten, die hohe Kapitalbindung verursachen.

2.3.6 Interessenkonflikte

Aufgrund der Wettbewerbssituation der Elektronikzulieferer bei der Vergabe neuer Aufträge können viele Original Equipment Manufacturer (OEM), speziell in der Automobilindustrie, die Risiken einer langfristigen ETV an die Zulieferindustrie weitergeben (vgl. Kalmbach und Keinhans 2004, S. 4 ff.). Neben derartig entstehenden Interessenkonflikten innerhalb der Supply Chain ergeben sich oft Konflikte innerhalb der Unternehmensstruktur. Der wirtschaftliche Erfolg eines Unternehmens wird zumeist ausschließlich mit der Serienproduktion verknüpft und das hierzu ebenso zuträgliche Nachseriengeschäft vernachlässigt. Dies spiegelt sich z. B. in den Organisationsstruktur wider; der After Sales Bereich ist bspw. dem Ressort Vertrieb und Marketing untergliedert. (vgl. Wrehde 2011, S. 70)

Die dargestellten Anforderungen stellen Unternehmen vor vielschichtige Probleme hinsichtlich einer wirtschaftlichen Planung und Gestaltung der NSV. (Graf 2005, S. 25; Baumann et al. 2008, S. 62; Ihde et al. 1980; Meidlinger 1994, S. 101) Daher sollten gegebene Ansätze zur Planung der NSV diese Anforderungen bestmöglich einbeziehen. Um diesen Bereich darzustellen, wird zunächst die Planungsaufgabe an sich (Gegenstand der Planung) näher beschrieben (vgl. Abschnitt 3), bevor ein Überblick über bestehende Forschungsansätze gegeben wird (vgl. Abschnitt 3.2).

3 Planung der Nachserienversorgung

Die Planung, Steuerung und Überwachung der Nachserienversorgung erfolgt durch Festlegung von Versorgungsstrategien für Ersatzteile bzw. Gruppen von Ersatzteilen und erfordert eine konsequente Zielorientierung und Berücksichtigung der spezifischen Rahmenbedingungen (s. Definition zur Versorgungsstrategie i. A. a. Hagen (2003, S. 8) in Abschnitt 2.2). Die spezifischen Rahmenbedingungen sind im vorherigen Abschnitt kurz dargestellt worden. Als mögliche Zielgrößen, auf deren Grundlage die NSV geplant, gesteuert und überwacht werden sollte, werden in der Literatur „Minimierung von Kosten“, „Erhöhung der Kundenbindung“, „Wahrung von Flexibilität“ sowie „Minimierung von Risiko“ aufgeführt (Dombrowski und Schulze 2008a, S. 440). Abhängig von den priorisierten Zielgrößen sind unterschiedliche Versorgungsstrategien zu präferieren. Das Risiko einer Versorgungsstrategie kann u. a. durch die Fehlmengewahrscheinlichkeit ausgedrückt werden (vgl. hierzu auch Graf 2005, S. 2). Eine Versorgungsstrategie mit geringer Wahrscheinlichkeit zur Unterdeckung der Nachfrage kann demnach das Ziel der Risikominimierung unterstützen. Die Kundenbindung wird bspw. durch die Lieferfähigkeit beeinflusst. Um einen entsprechenden Servicegrad zu ermöglichen, bedarf es in der Nachserie flexibler Versorgungsstrategien. Die einzelnen Versorgungsstrategien und deren Vor- und Nachteile hinsichtlich verschiedener Zielgrößen werden in Abschnitt 3.1 detailliert vorgestellt.

Um die ETV strukturiert zu planen, können Zielsysteme genutzt werden. Hagen (2003) differenziert in seinem Zielsystem für die NSV Kontext-, Performance- und Designvariablen. Kontextvariablen sind externe Randbedingungen sowie Risiken, die das ETM beeinflussen und in die Planung, Steuerung und Überwachung der ETV einzubeziehen sind. Performancevariablen sind Leistungsvorgaben und folglich gleichbedeutend mit den oben genannten Zielgrößen. Das Zielsystem ergibt sich aus Kontext- und Performancevariablen (Hagen 2003, S. 9). Designvariablen sind Stellgrößen, die durch das Ersatzteilmanagement direkt beeinflusst werden können. Dieser Grad an Einflussmöglichkeit/ Befugnis im Ersatzteilmanagement wird durch die Systemumwelt vorgegeben. Hierarchisch betrachtet bilden die Designvariablen der Systemumwelt Kontextvariablen für das Ersatzteilmanagement. Mit Bezug zur Produktverantwortung in der Nachserie ergeben sich exemplarisch folgende Befugnisse bzw. Reichweiten der Designvariablen. Ist diese gegeben, können bei der Planung der ETV Produkte verändert werden. Liegt die Produktverantwortung ausschließlich bei der Konstruktion, können Versorgungsstrategien auf Basis der Zielgrößen gewählt und ausgestaltet werden, ohne Änderungen am Produkt vornehmen zu können. Handlungsspielräume in Form

der Designvariablen sind durch die unternehmensintern gegebenen intra- oder interorganisationalen Einflussmöglichkeiten vordefiniert.

Zusammenfassend ist das Ziel des Ersatzteilmanagements die nachhaltige, d. h. langfristige und kostenoptimale ETV unter Berücksichtigung von Versorgungszielen und -risiken. Es sollte nicht nur ein Planungsziel fokussiert werden, da Faktoren wie bspw. die Kundenbindung und das Risiko einer Versorgungslücke nicht systematisch berücksichtigt werden (Bothe 2003, S. 5). Durch das Ersatzteilmanagement werden Versorgungsstrategien für ET oder ET-Gruppen festgelegt und im Rahmen der vorgegebenen Designvariablen gestaltet. Die einmalige Planung und Umsetzung genügt jedoch nicht, Steuerung und Überwachung bilden weitere zentrale Aufgaben des Ersatzteilmanagements. Dynamische Änderungen der Rahmenbedingungen (Kontextvariablen) erfordern die Versorgungsszenarien fortlaufend zu prüfen und anzupassen. Dies geschieht durch Abgleich der Planungsgrundlagen mit aktuellen Daten, insbes. den Performancevariablen. Gesteuert wird durch Anpassen der Designvariablen oder den Versuch, Performance- oder Kontextvariablen zu beeinflussen. (Dombrowski et al. 2005b, S. 199)

Die NSV einer Komponente sollte bis zu deren Übergang in die Nachserie geplant sein. Eine frühzeitige und weitreichende Planung, auch als Zukunftsgestaltung bezeichnet, ermöglicht die Erreichung divergierender Zielgrößen, da z. B. eine nachseriengerechte Produktgestaltung stattfinden kann. Eine Gestaltung und Planung der NSV unter gegebenen Randbedingungen (Kontextvariablen) und Handlungsspielräumen ohne Berücksichtigung derart zukunftsgestaltender Maßnahmen wird hingegen i. S. der Vergangenheitsbewältigung verstanden (Dombrowski et al. 2005b, S. 197).

Kernbetrachtung liegt im Folgenden nicht auf der Zukunftsgestaltung, sondern der Vergangenheitsbewältigung, d. h. die in Abschnitt 2.3 dargestellten Aspekte beeinflussen in ihrer jeweiligen Ausprägung maßgeblich die Wahl möglicher Versorgungsstrategien und die Erreichung fokussierter Zielgrößen (Kosten, Risiko). Das Marktverhalten, Produkteigenschaften, Prozessbedingungen, unternehmensspezifische und weitere Herausforderungen sind für den spezifischen Anwendungsfall vorgegeben und bilden Kontextvariablen des ETM und daher der Planung der ETV.

Eine umfassende Berücksichtigung ebendieser Herausforderungen ist Kerngedanke und ausschlaggebendes Qualitätsmerkmal einer belastbaren Planung der NSV. Nachstehend wird der eigentliche Planungsgegenstand, d. h. die zur Sicherstellung der NSV eingesetzten Versorgungsstrategien, strukturiert dargestellt. Dies geschieht analog zur Modellierung von Produktionssystemen, in denen für Analyse-, Planung- und

Verbesserungszwecke alle relevanten Eigenschaften und Wirkungszusammenhänge durch drei Modellierungsklassen (Produkt, Prozess und Ressource) systematisch beschrieben werden. Mögliche Ausprägungen der drei Modellierungsklassen sind in Tabelle 3.1 aufgelistet.

Tabelle 3.1 Planung von Produkt, Prozess und Ressourcen (Feldmann et al. 2008, S. 157)

	Mögliche Ausprägungen
Produkt	Rohstoffe, Hilfsstoffe, Komponenten, Halbzeuge, Baugruppen, Hauptbaugruppen, Fertigerzeugnisse
Prozess	Fertigungs-, Montage-, Logistiktätigkeiten, jeweils wertschöpfend oder unterstützend, Abfolge der genutzten Ressourcen (Routing), Produktionsplanung und -steuerung
Ressource	Mensch, Betriebsmittel, Betriebshilfsmittel (Werkzeuge etc.), Betriebsstoffe, Arbeitsplatz, Fördertechnik, Transportmittel, Puffer, Lager

Inputs ((elektronische) Komponenten, Bauteile etc.) werden durch die Ausführung von Prozessen (Versorgungsstrategien) in Outputs transformiert. Die Ergebnisse solcher Transformationsprozesse sind in diesem Kontext die Ersatzteile. Die für die Ausführung der je Versorgungsstrategie spezifischen Prozesse und dafür benötigten Funktionen werden durch Ressourcen zur Verfügung gestellt.

Die spezifischen Eigenschaften der Ersatzteile bzw. der (elektronischen) Komponenten sind gesetzte Eingangsgrößen (Kontextvariable) und somit für alle Prozesse/ Ressourcen gleich; diese werden in Kapitel 5.1 näher erörtert. Daher werden die Versorgungsstrategien in den nachfolgenden Abschnitten anhand des stattfindenden Prozesses und den bereit bzw. sicher zu stellenden Ressourcen näher dargestellt.

3.1 Versorgungsstrategien und -szenarien

Bei der Versorgung mit Ersatzteilen durch Versorgungsstrategien (Definition s. Abschnitt 2.2) wird allgemein zwischen dem Austausch eines Teils durch Neu- und Altteile differenziert (vgl. Abbildung 3.1). Qualitäts- und Kundenanforderungen, speziell in der Automobilindustrie oder bei sicherheitsrelevanten Bauteilen, erlauben die Verwendung von Altteilen nicht oder nur begrenzt (Dombrowski und Schulze 2008a, S. 446). Strategien, die den Ersatz durch Neuteile vorsehen, sind die interne bzw. die externe Nachfertigung und die Nutzung abwärts kompatibler Teile der Serienfertigung. Der Ersatz ausgefallener bzw. verschlissener Teile durch Altteile wird durch Wiederinstandsetzung (Reparatur) und Wiederverwendung der eingesetzten Teile realisiert (Dombrowski und Bothe 2001, S. 49 f.). (Bothe 2003, S. 792; Dombrowski et al. 2005b)

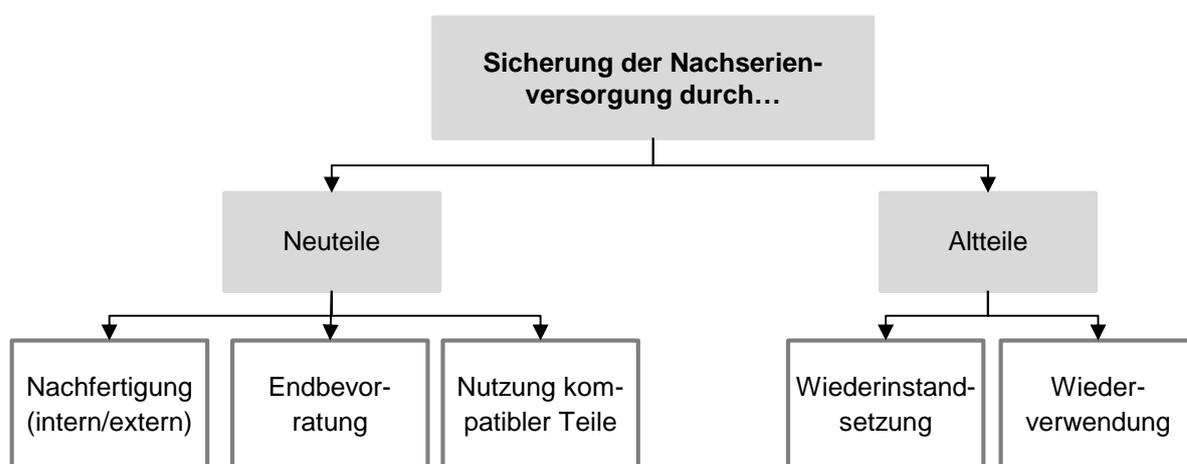


Abbildung 3.1 Versorgungsstrategien zur Sicherstellung der NSV (Bothe 2003, S. 49; Dombrowski et al. 2005b, S. 198)

Hinsichtlich der zentralen, in der Ausgestaltung der NSV meist verfolgten Zielgrößen (Kostenminimierung, Kundenbindung, Flexibilität, Risikominimierung) (Dombrowski und Schulze 2008a) weisen die aufgeführten Strategien unterschiedliche Eignungen auf. Die ausschließliche Anwendung einer einzelnen Versorgungsstrategie erweist sich daher zumeist als nicht zielführend. Um einen optimalen Zielerreichungsgrad zu ermöglichen, werden idealtypische Strategien zu Versorgungsszenarien kombiniert (s. Abbildung 3.2). Hierunter werden die Auswahl von Versorgungsstrategien sowie die Festlegung ihrer Abfolge verstanden (Hagen 2003, S. 8).

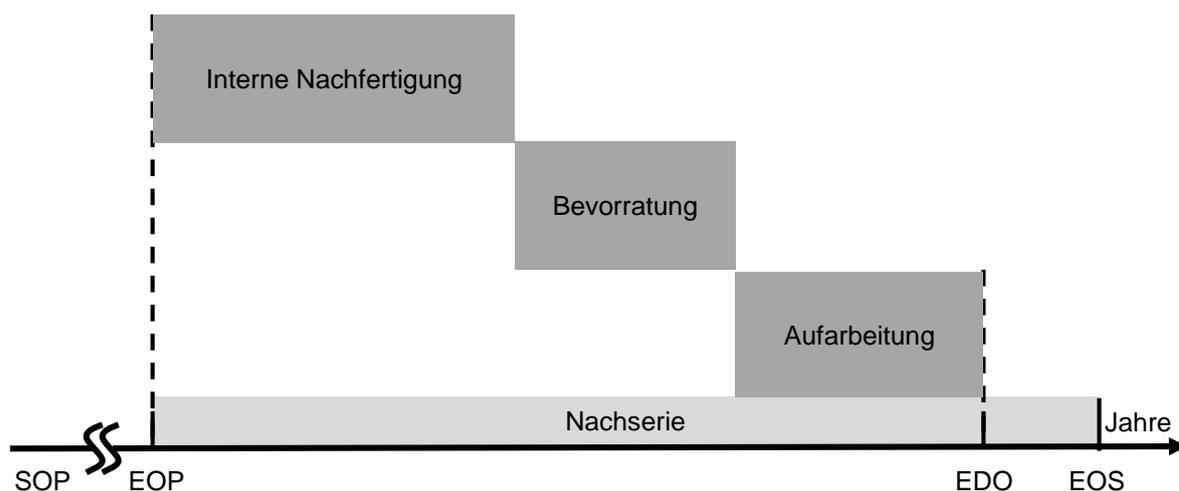


Abbildung 3.2 Versorgungsszenario (Bothe 2003, S. 66; Finke und Deuse 2010, S. 39)

In diesem Zusammenhang existieren unterschiedliche Kombinationstypologien. Es werden mindestens zwei der in Abschnitt 3.1.1 bis 3.1.5 dargestellten Strategien miteinander kombiniert, um Nachteile der einen Strategie gezielt durch Vorteile einer weiteren auszugleichen (vgl. Wrehde 2011, S. 67). Die resultierenden Kombinationen bestehen aus zwei oder mehreren Strategien, die entweder in zeitlicher Abfolge, zeitgleich oder für verschiedene Ersatzteile und Ersatzteilgruppen kombiniert sind. Bei Kombinationen von VS entlang der Zeitachse werden zu bestimmten Zeitpunkten innerhalb des Versorgungszeitraums Strategiewechsel vorgenommen. Diese können bspw. aufgrund der nicht mehr vorhandenen Einsetzbarkeit der bisher verwendeten Strategie zwingend erforderlich sein. Gründe hierfür sind v. a. äußere Einflüsse wie Bauelementabkündigungen, unternehmensstrategische Entscheidungen oder Ausmusterungen von Fertigungsanlagen. Die Kombination von zwei oder mehreren VS für ein definiertes Ersatzteil und deren zeitgleicher Einsatz (Kombination i. e. S.) dienen der effizienten Bedarfsbefriedigung der Kunden mit Ersatzteilen z. B. bei Engpässen. Diese Kombinationsform kann zudem über die Zeitachse in ein weiteres Versorgungsszenario integriert sein. Des Weiteren kann durch den unternehmensweiten Einsatz von zwei oder mehr VS für definierte Ersatzteile oder Ersatzteilgruppen aus dem gesamten Ersatzteilspektrum kombiniert werden. (Rosentritt und Knigge 2010; Finke und Deuse 2010; Wrehde 2011)

Die Realisierung von Versorgungsstrategien bzw. -szenarien ist an spezifische Charakteristika geknüpft (z. B. Ressourcen, Prozesse), die nachstehend für die aufgezeigten Strategien jeweils kurz beschrieben werden (vgl. hier und fortfolgend Finke und Deuse 2010; Bothe 2003; Dombrowski und Bothe 2001; Graf 2005; Dombrowski et al. 2009; Schröter 2006).

3.1.1 Nachfertigung (intern/ extern)

Die Nachfertigung von ET kann grundsätzlich intern oder extern erfolgen. Bei interner Nachfertigung werden die Ersatzteile unternehmensintern produziert während bei externer Nachfertigung ein drittes Unternehmen mit der Produktion beauftragt wird (Dombrowski und Bothe 2001, S. 794 f.). Intern kann die Nachfertigung organisatorisch integriert oder getrennt zur Serienfertigung erfolgen. Bei externer Nachfertigung werden Fertigung und zumeist die Fertigungseinrichtung der Serie an ein drittes Unternehmen übergeben, das die ET nach Vorgabe der Serienproduzenten herstellt. Sog. Ersatzteilmfertiger sind speziell an die Bedingungen der Nachserie (z. B. Flexibilität bei kleiner Stückzahl) angepasst (Dombrowski et al. 2009, S. 955). Eine Fremdvergabe wird von Unternehmen oftmals präferiert, um die Serienfertigung als Kernkompetenz zu fokussieren und das technologisch und organisatorisch stark abweichende Ersatzteilgeschäft zu separieren (Dombrowski et al. 2009, S. 955). Dies kann analog durch eine aufbauorganisatorisch abgegrenzte Ersatzteilmfertigung realisiert werden. Wird die Nachfertigung extern vergeben, können viele intern prozessbedingt erforderliche Umstrukturierungen vermieden werden. Die Auslastung der in der Serienfertigung eingesetzten Betriebsmittel ist oft nicht gegeben, Automatisierungslösungen aufgrund der entstehenden Kosten (Investition, Betrieb, etc.) nicht zweckmäßig und folglich die Anpassung bzw. Umstrukturierung von Fertigungseinrichtungen empfehlenswert oder gar erforderlich (Bothe 2003, S. 57). Außerdem ist der Fertigungsprozess an die Bedingungen einer Kleinserienfertigung anzupassen (Bothe 2003, S. 58; Dombrowski et al. 2009, S. 954 f.). Eine kontinuierliche Fertigung ist aufgrund der geringen Stückzahlen wirtschaftlich nicht möglich. Die Produktion erfolgt entsprechend diskontinuierlich. Eine Änderung der Prozessabläufe und eingesetzten Betriebsmittel erfordert jedoch in vielen Fällen die Zertifizierung der umstrukturierten Prozesse und Fertigungseinrichtungen durch den Endkunden (Bothe 2003; Friedrichs 2008). Entstehende Fixkosten sind auf eine entsprechend geringe Ausbringungsmenge umzulegen, weshalb die pro Stück resultierenden Produktionskosten aufgrund mangelnder Skaleneffekte stark ansteigen (Hagen 2003, S. 109). Zudem ist die Verfügbarkeit von Bauteilen vorauszusetzen und etwaige Bauteilabkündigungen zu berücksichtigen.

Unabhängig von einer internen oder externen Nachfertigungsstrategie können sich Probleme hinsichtlich der Sicherstellung der zentralen Ressourcen „Betriebsmittel“, „Bauelemente“ und „Know-How“ (s. Abschnitt 2.3.3) ergeben. Bei interner Nachfertigung sind Prüf- und Fertigungseinrichtungen vorzuhalten. Insb. spezielle Fertigungseinrichtungen für die Herstellung elektronischer Komponenten sind jedoch oft schwie-

rig zu reaktivieren. Durch das teilweise hohe Betriebsalter der Anlagen stellt sich zudem die ETV für die Maschinen und Anlagen selbst schwierig dar. Durch Einsatz einer externen Nachfertigung können diese Effekte minimiert werden. (Dombrowski et al. 2009; Bothe 2003). Bezogen auf die Ressource der Bauelemente können sich nur für einen begrenzten Zeitraum am Markt verfügbare Bauteile bzw. -elemente wie z. B. Prozessoren u. U. sehr kritisch auswirken; speziell der Fall bei mechatronischen Komponenten, welche für die gesamte Nachserienphase vorzuhalten sind. Besondere Herausforderungen an das Know-How ergeben sich durch die Vielzahl an unterschiedlichen, eingesetzten Prozesstechnologien, die wiederum eine hohe Anforderung an die Mitarbeiterqualifikation stellen. Zudem erschweren Technologiesprünge die Sicherung von Know-How, welches zur Bedienung der Anlagen erforderlich ist. Bei externer Fertigung kommt u. U. erschwerend ein Wissensabfluss durch Herausgabe von Fertigungs-Know-How hinzu.

Die Nachfertigung erfordert nicht zwangsläufig eine langfristige Bedarfsprognose; je nach Fertigungsstrategie kann flexibel auf veränderte Bedarfsverläufe reagiert und sich an dem tatsächlichen Bedarfsverlauf von ET orientiert werden. Geringe Lagerkosten machen eine positive Gesamtkostensituation möglich, sofern die Fertigungskosten von ET jene der Serienfertigung nicht wesentlich überschreiten (Bothe 2003, S. 57 f.; Dombrowski und Bothe 2001, S. 794 f.). Trotz der Gefahr von Bauteilabkündigungen oder fehlender Fertigungseinrichtungen umgeht eine bedarfsgerechte Nachfertigung die Probleme der Bedarfsprognose und der langfristigen Lagerfähigkeit. Voraussetzungen, Vor- und Nachteile der Strategie „Nachfertigung“ zeigt Abbildung 3.3.

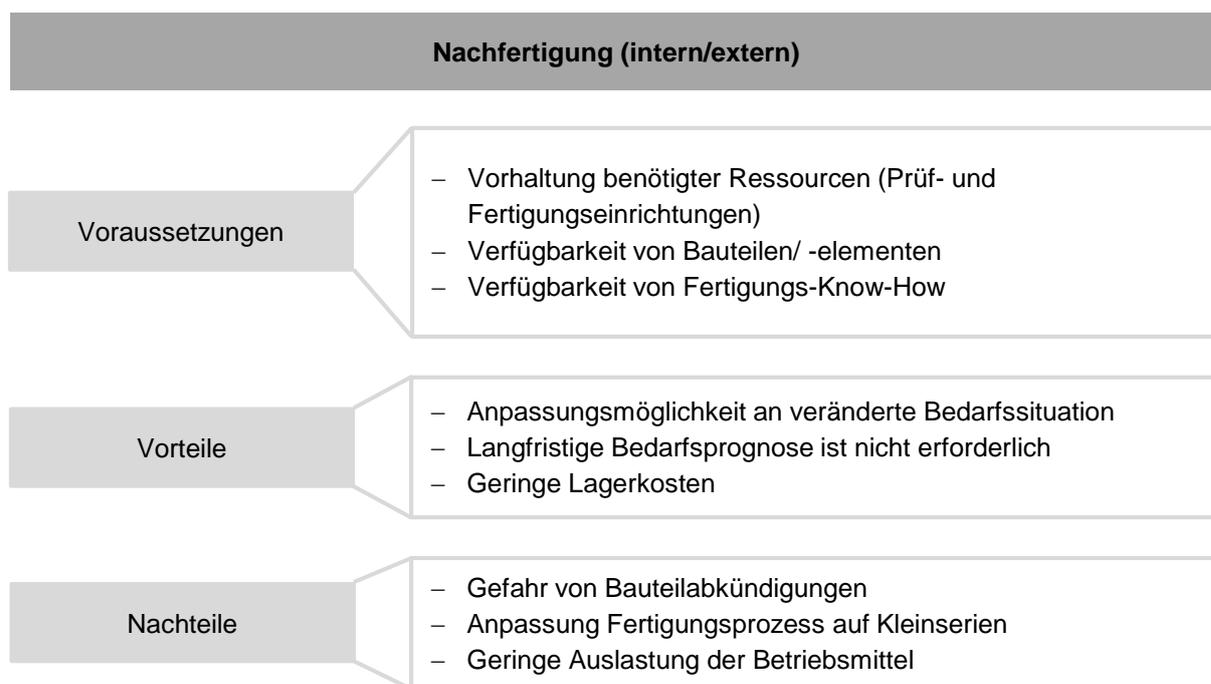


Abbildung 3.3 Versorgungsstrategie Nachfertigung (i. A. a. Bothe 2003, S. 58)

3.1.2 (End-)Bevorratung

Die Endbevorratung sieht die Fertigung eines Serienabschlussloses (Allzeitbedarf) vor. Die Einlagerung der zu End of Production gefertigten ET zielt auf die Sicherstellung der ETV durch eine bis zum Ende des Versorgungszeitraums (EDO/ EOS) ausreichend dimensionierte Teilemenge. Die Einlagerung kann auf verschiedenen Fertigungsstufen (Produkt – Komponente – Bauteil) erfolgen. Die Langzeitlagerung kann Schäden an Bauelementen und resultierend unbrauchbare Teile zur Folge haben. Die Einlagerung der ET über den Versorgungszeitraum setzt die Lagerfähigkeit der Komponenten voraus. Diese ist jedoch insb. bei elektronischen Bauteilen begrenzt oder teilweise unbekannt. Zudem können spezifische Lagerbedingungen erforderlich sein (z. B. Stickstoffumgebung, Drypack). Eine Abschätzung des für den Versorgungszeitraum erforderlichen Bedarfs ist zwingend erforderlich, aber oftmals problematisch. Eine Prognose der Produktionsmenge über lange Zeiträume, insb. bei Ausfallteilen, ist kritisch und birgt die Gefahr der Unter- oder Überdeckung durch Fehlprognosen und/oder Bedarfsabweichungen. Daraus resultieren finanzielle Risiken. Unterschreitet die nachgefragte Menge an Ersatzteilen das Serienabschlusslos, entstehen Kosten in Folge der Lieferunfähigkeit bzw. durch ein entsprechendes Redesign. Kann hingegen die eingelagerte Stückzahl nicht im Rahmen der NSV abgesetzt werden, führt dies unmittelbar zu Verschrottungs- und Opportunitätskosten für die Herstellung und Lagerung der schlussendlich verschrotteten ET. Eine Anpassung an sich ändernde Rahmenbedingungen und einem daraus resultierenden geänderten Nachfrageverhalten ist nicht möglich. (Bothe 2003; Dombrowski et al. 2009, S. 954; Wrehde 2011, S. 54)

Die Endbevorratung erfordert das Vorhalten von Fertigungseinrichtungen und Know-how für die Prüfung der Funktionsfähigkeit und Langzeitlagerfähigkeit von Ersatzteilen (Bothe 2003, S. 54; Wrehde 2011, S. 54). Größere Teile der Serienfertigungseinrichtung können folglich ausgemustert und steigendem Instandhaltungsaufwand entgegengewirkt werden (Schröter 2006, S. 108f.). Hinsichtlich der Ressource „Bauelemente“ ist die Unabhängigkeit von Bauteilabkündigungen hervorzuheben; der direkte Verbau der Bauelemente zu EOP macht keine weiteren Bauelementlieferungen erforderlich. Aus diesem Grund ist diese Versorgungsstrategie insb. in den elektronischen Bereichen weit verbreitet (Wrehde 2011, S. 54). Zu berücksichtigen bleibt jedoch, dass sowohl auf Komponenten- wie auch ET-Ebene begrenzte Lagerfähigkeit bestehen kann. Abbildung 3.4 veranschaulicht alle diese Aspekte der Strategie „Endbevorratung“.

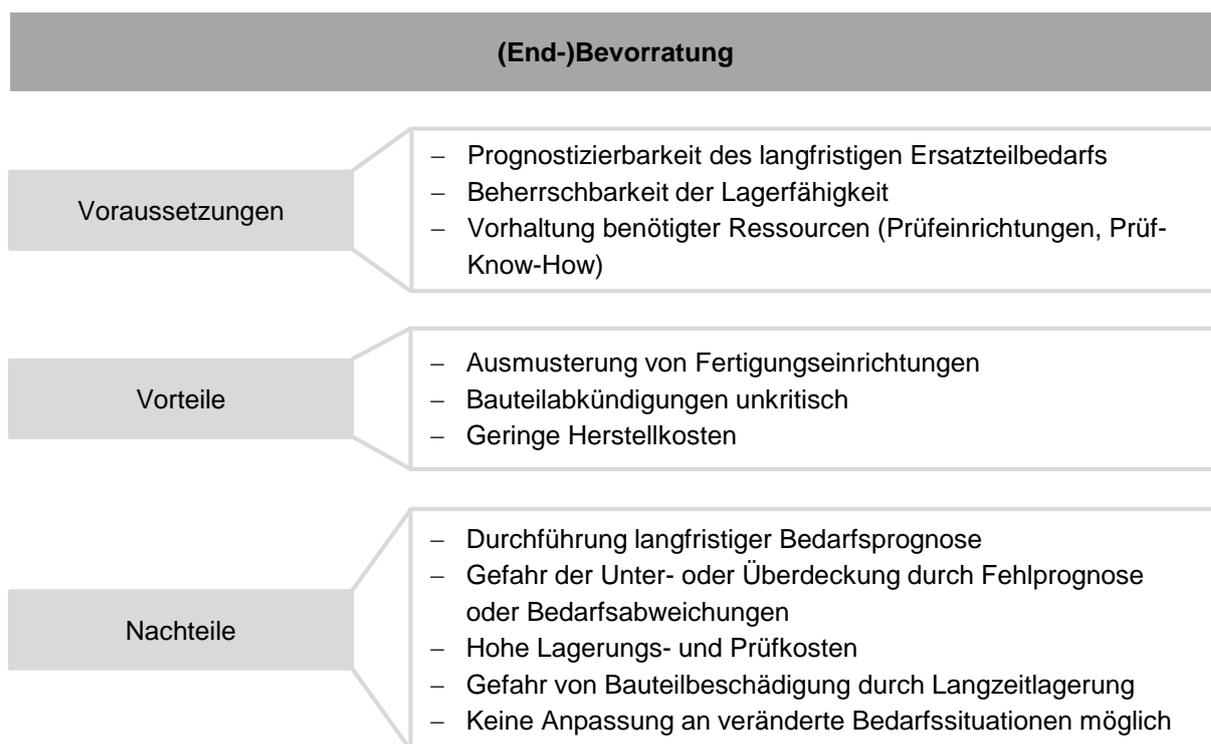


Abbildung 3.4 Versorgungsstrategie (End-)Bevorratung (i. A. a. Bothe 2003, S. 56)

Charakteristisch sind geringe Herstellkosten, da ET bzw. Komponenten unter Bedingungen der Serienfertigung produziert werden können (Bothe 2003, S. 54 f.). Es ergeben sich aber hohe Kosten in Folge von gebundenem Kapital und Lagerkosten. Nachteilig sind zudem die geringe Flexibilität bei veränderten Bedarfssituationen, die Ermittlung der Bedarfsmenge und das resultierende Risiko einer Unter- oder Überdeckung, die wiederum mit hohen Kosten verbunden ist. (Dombrowski et al. 2009, S. 954). Für vergleichsweise aufwendig oder nicht (wirtschaftlich) nachzufertigende Komponenten stellt die Endbevorratung eine wichtige Versorgungsstrategie dar und wird trotz häufig auftretender technischer Probleme bei der Einlagerung eingesetzt.

3.1.3 Nutzung kompatibler Teile

Bei der Nutzung kompatibler Komponenten werden Komponenten nachfolgender Produktgenerationen derartig konstruiert und ausgelegt, dass sie auch für die zu ersetzenden Vorgängergenerationen einsetzbar sind, d. h. abwärts kompatibel sind. Kompatible Teile werden in der aktuellen Serienfertigung produziert und zur Deckung des ET-Bedarfs in der Nachserie verwendet (Dombrowski et al. 2009, S. 954; Bothe 2003, S. 49). Die Abwärtskompatibilität der Nachfolgenerationen muss hinsichtlich Funktionalität, Einbauspezifikationen und Schnittstellen bestehen (Dombrowski et al. 2009, S. 954); die technische Machbarkeit bleibt kritisch zu prüfen (s. Abbildung 3.5). Können Komponenten nicht abwärts kompatibel gestaltet werden, so besteht die Möglichkeit

des Redesigns der betrachteten Komponente. Allein für die Ersatzteilversorgung wird ein neues kompatibles Teil entwickelt, das auf Fertigungseinrichtungen der Serie produziert werden kann. Hierbei entstehen signifikante Kosten für die Entwicklung und Fertigung. Interessant ist ein Redesign jedoch aufgrund der Unabhängigkeit von Bauteilabkündigungen und der besseren Auslastung der Fertigungseinrichtungen (Bothe 2003, S. 50 f.).

Bei Einsatz kompatibler Teile können die Serienfertigungseinrichtungen aus dem ursprünglichen Prozess ausgemustert werden, da die kompatiblen Teile in der laufenden Serie gefertigt werden. Zudem sind andere Bauelemente erforderlich, sodass sich das Risiko von Bauteilabkündigungen reduziert (Bothe 2003, S. 51). Erforderlich bleibt das Entwicklungs-Know-How sowie das Erfahrungswissen bzgl. der älteren Teilegeneration (Wrehde 2011, S. 53). Um weitreichende Kompatibilität über mehrere Produktgenerationen zu erreichen, sollte i. d. R. die Verwendung von Normteilen angestrebt werden.

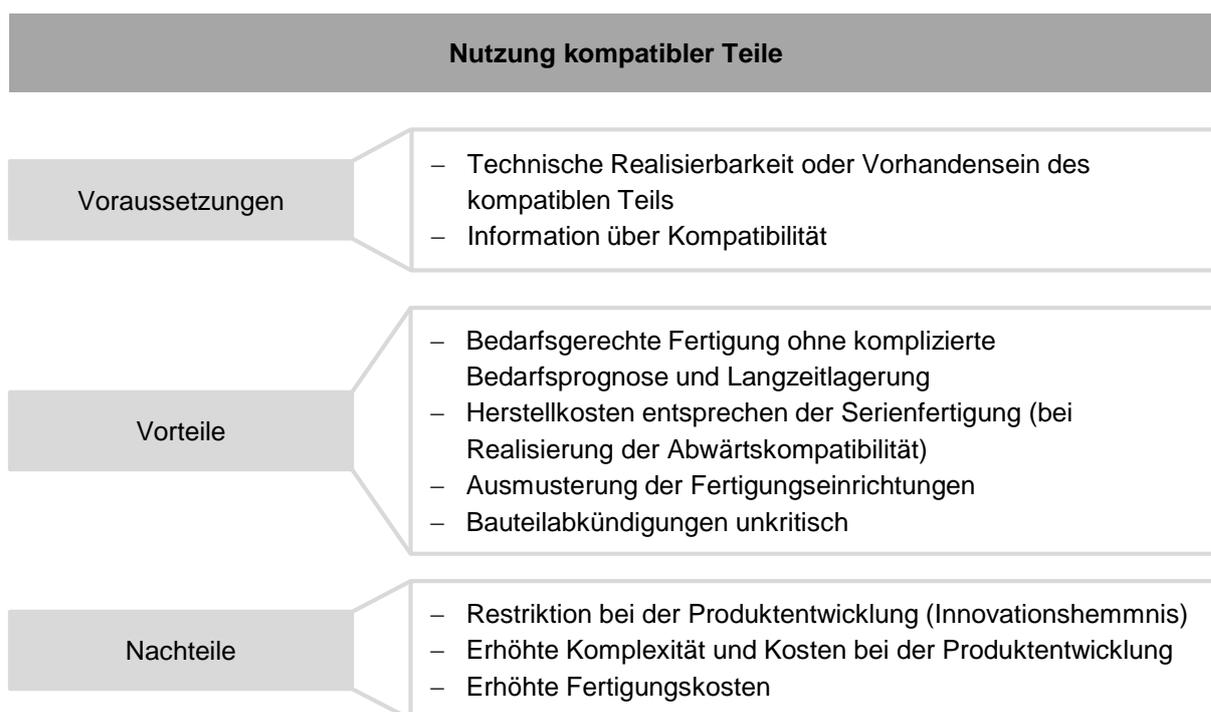


Abbildung 3.5 Versorgungsstrategie Nutzung kompatibler Teile (i. A. a. Bothe 2003, S. 52)

Generell ist die Herstellung kompatibler Ersatzteile aufwendig und kostenintensiv (vgl. Bothe 2003, S. 52). Die Akzeptanz der Strategie ist teilweise gering, da die Anforderung einer (Abwärts-)Kompatibilität als Innovationshemmnis angesehen wird. Dies wiegt besonders in innovationsstarken Bereichen wie der Elektronik neben Aufwand und Kosten besonders schwer. Ist eine abwärtskompatible Entwicklung gewährleistet, liegt der bedeutende Vorteil in der unproblematischen und kostengünstigen Deckung

von Ersatzteilbedarfen aus der Serienproduktion des Nachfolgeprodukts. Ein Risiko von Unter- und Überdeckung aufgrund unsicherer Bedarfsprognosen ist nicht gegeben. Bauteilabkündigungen stellen kein Problem dar.

3.1.4 Wiederinstandsetzung

Bei der Wiederinstandsetzung wird die Ersatzteilversorgung mithilfe von Altteilen sichergestellt. Die Wiederinstandsetzung umfasst die Reparatur und Überholung sowie anschließende Prüfung defekter Komponenten, um die entsprechenden Komponenten in einen dem Kundenwunsch entsprechenden Verkaufszustand zu versetzen. Hierzu werden bereits eingesetzte, d. h. gebrauchte Komponenten oder Primärprodukte systematisch zurück gekauft, instandgesetzt und vorgehalten. Je nach Umfang der Instandsetzung werden Reparatur, Aufarbeitung, Wiederverwendung und Aufwertung (s. Abbildung 3.6) sowie Serieninstandsetzung und Individualreparatur unterschieden. Bei der Reparatur, Aufarbeitung, Wiederverwendung und Aufwertung fallen Be- und Verarbeitungsprozesse unterschiedlichen Umfangs an, abhängig von dem Zustand der in den Prozess eingehenden Produktkomponente (defekt/ funktionsfähig) und dem zu erzielenden Verkaufszustand (gebraucht/ neuwertig).

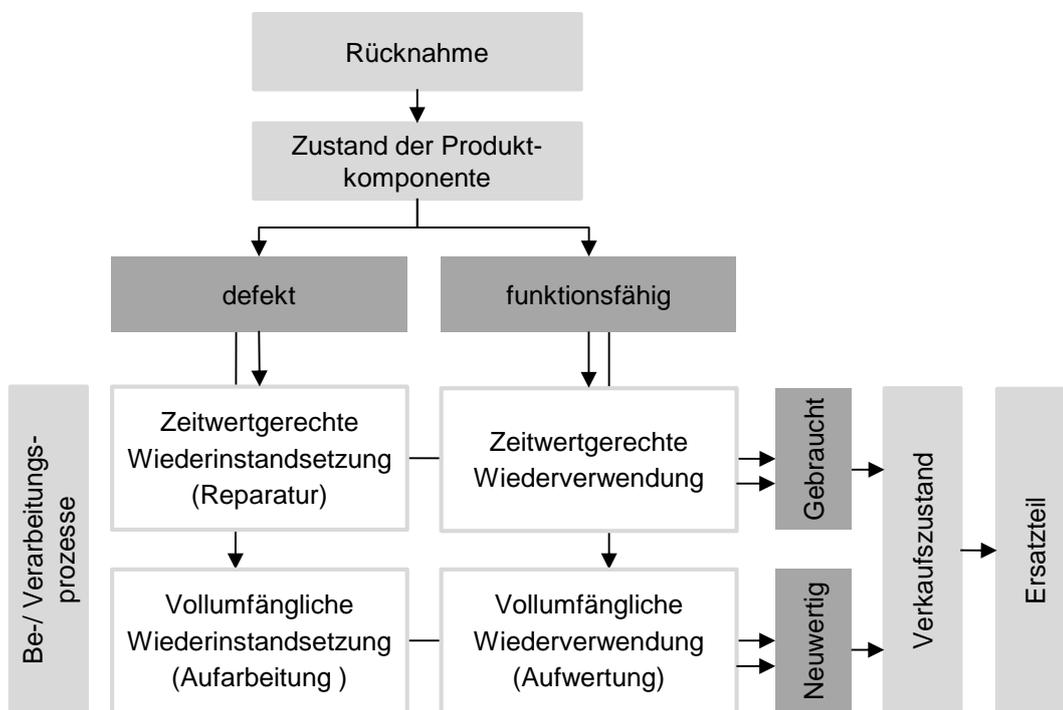


Abbildung 3.6 Kombinationsmatrix (i. A. a. Graf 2005, S. 97; Hesselbach und Graf 2003)

Bei der Reparatur von Altteilen wird ein defektes Bauteil in den Zustand eines Gebrauchtteils überführt. Durch die Aufarbeitung von defekten Produktkomponenten können diese als neuwertig deklariert werden. Erhalten funktionsfähige Teile eine Aufwertung können diese ebenfalls als neuwertig angeboten werden. Die direkte Wiederverwendung führt zu gebrauchten Teilen und ist in Abschnitt 3.1.5 detaillierter dargestellt. Die Serieninstandsetzung ist ein einheitlicher Prozess und damit fehlerunabhängig; bei jedem Altteil werden die gleichen Prozessschritte (Demontage, Befundung, Tausch von Bauteilen, Montage und Prüfung) durchgeführt (vgl. Dombrowski und Quantschnig 2009, S. 380), wohingegen bei der Individualreparatur individuell für jedes Altteil lediglich die erkannten Mängel behoben werden. Berücksichtigt werden muss die rechtliche Situation. Bei sicherheitsrelevanten Teilen ist meist unklar, wer diese reparieren darf und wer daraufhin die Produkthaftung trägt. Ein weiterer wesentlicher Aspekt bei einer durchzuführenden Reparatur ist die Einhaltung der Baumuster. (vgl. Rinn 2002, S. 66 ff.) Insb. zu Beginn des Versorgungszeitraums sind Rückflüsse an defekten Komponenten nicht ausreichend (Quantität) (Dombrowski et al. 2009, S. 955; Bothe 2003, S. 61). Zudem setzt der Einsatz dieser Strategie die technische Machbarkeit, z. B. in Form der Reparatur- und Prüffähigkeit der Komponenten, voraus.

Die Wiederinstandsetzung von Komponenten erfordert ein kontrolliertes und organisiertes Rückführsystem zum Rückkauf gebrauchter Komponenten sowie die Verfügbarkeit der Fertigungseinrichtungen und des Know-Hows für die Prüfung und Reparatur (Dombrowski und Bothe 2001, S. 795). Die eigentlichen Fertigungseinrichtungen der Serie können verschrottet werden. Bauteilabkündigungen können den Reparaturprozess beeinträchtigen, wenn entsprechende Bauteile auch für eine Reparatur benötigt werden.

Im Hinblick auf die rechtliche Situation und Produkthaftung ist diese Strategie nur begrenzt einsetzbar. Die Wiederinstandsetzung zeichnet sich aber durch eine hohe Flexibilität aus, da Altteile bedarfsgerecht zurückgeführt und aufbereitet werden können. Das Bestandsvolumen der vorzuhaltenden Ersatzteile kann reduziert werden, insb. wenn anstelle von gesamten Baugruppen lediglich Komponenten vorgehalten werden. Zudem wird die laufende Serienfertigung nicht beeinträchtigt und Fertigungseinrichtungen können verschrottet werden, wodurch eine Konzentration auf das Kerngeschäft des Herstellers möglich ist (Bothe 2003, S. 60). Neben einer zu geringen Anzahl rückgeführter Gebrauchtteile können fehlende Ressourcen restriktiv wirken (s. o.). Dies liegt, u. a. daran, dass das systematische Zurückkaufen der gebrauchten Artikel nicht mehr ausschließlich durch den Hersteller, sondern immer häufiger von etablierten Drittanbietern im sog. Graumarkt durchgeführt wird (vgl. Dombrowski und Bothe 2002,

S. 133). Kritisch bleibt zudem die technische Machbarkeit in Bezug auf Reparaturfähigkeit und Prüfbarkeit. Auch die Wirtschaftlichkeit ist nicht immer gegeben, insb. bei individuellen Reparaturen. (vgl. Wrehde 2011, S. 56)

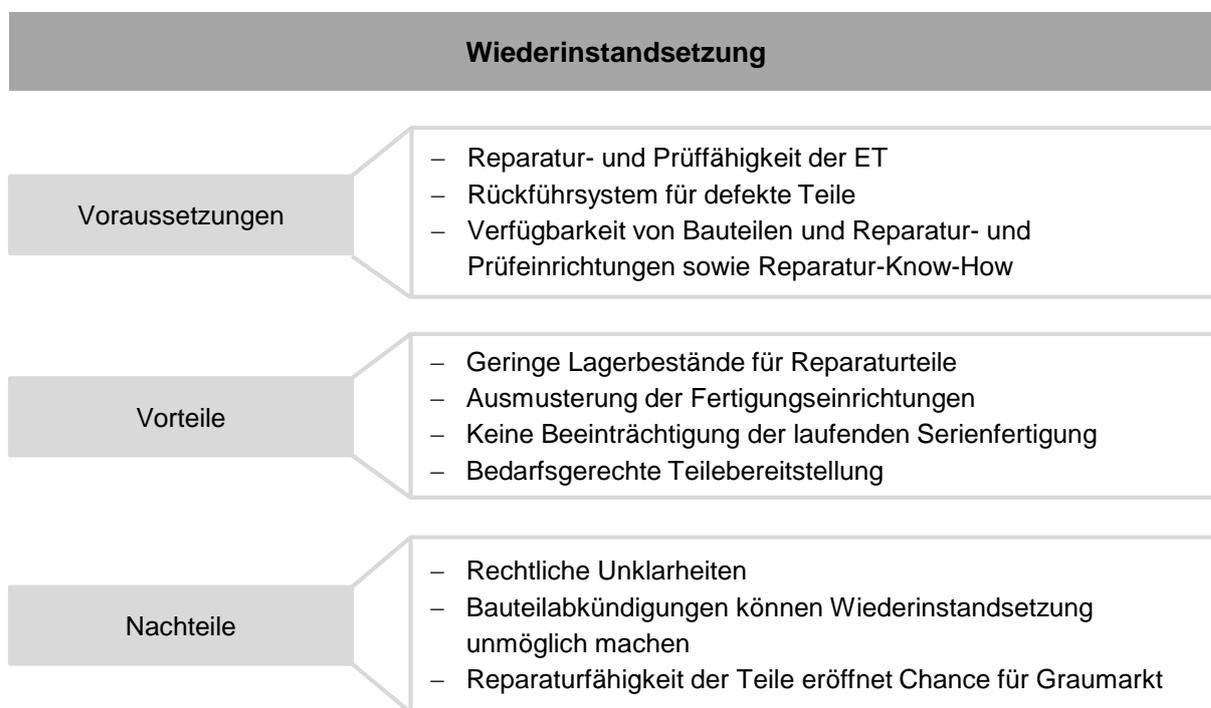


Abbildung 3.7 Versorgungsstrategie Wiederinstandsetzung (i. A. a. Bothe 2003, S. 62)

3.1.5 Wiederverwendung

Die Wiederverwendung sichert die Ersatzteilversorgung nach EOP ebenfalls mit Altteilen. Analog zur Wiederinstandsetzung wird der Bedarf an Ersatzteilen durch zurückgeführte Teile gedeckt oder verringert. Verglichen mit der Wiederinstandsetzung werden jedoch funktionsfähige Teile zurückgeführt. Eine Behandlung (Reparatur, Überholung) des Teils findet nicht statt; es sind lediglich Funktionstests und u. U. zusätzliche Qualitätsprüfungen vorzunehmen. Die Komponenten können jedoch eine Aufwertung erhalten, sodass die gleiche Funktionalität wie bei neuwertigen Teilen erreicht wird (vgl. Graf 2005, S. 97). Rechtlich ist bei der Wiederverwendung von Gebrauchtteilen ihre Restlebensdauer zu bestimmen. Darüber hinaus erfordert diese Strategie eine Teileidentifizierung und Prüfung für die Einsetzbarkeit des Gebrauchtteiles sowie Informationen über die Kompatibilität der Teile (Bothe 2003, S. 63 f.).

Die Umsetzung dieser Strategie erfordert ebenfalls ein Rückführsystem. Weiterhin sind Fertigungseinrichtungen und Know-How für die Prüfung der Teile notwendig (Dombrowski und Bothe 2001, S. 795; Bothe 2003, S. 63) (vgl. Abschnitt 3.1.4).

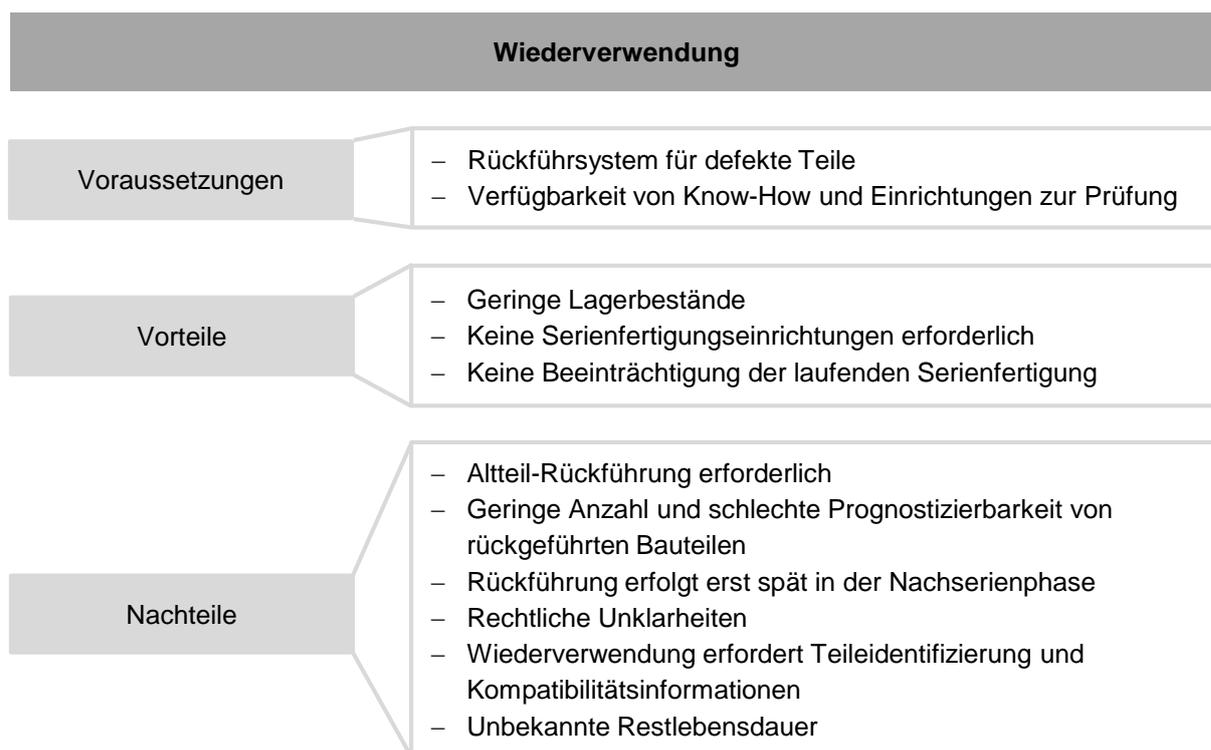


Abbildung 3.8 Versorgungsstrategie Wiederverwendung (i. A. a. Bothe 2003, S. 64)

Die Vorteile der Altteil-Wiederverwendung liegen in geringen Lagerbeständen (bei simultaner Bedarfsdeckung ohne Langzeitlagerung) und Unabhängigkeit von der Serienfertigung. Nachteilig ist, dass Anzahl und Restlebensdauer der rückzuführenden Altteile schwer prognostizierbar sind (Bothe 2003, S. 64). Aufgrund von Bauteilabkündigungen und fehlenden Informationen zum Alterungszustand der Teile ist die Restlebensdauer schwierig zu bestimmen. Neben der ggf. unzureichenden Anzahl rückgeführter Komponenten insb. zu Anfang des Versorgungszeitraums ergeben sich zudem Probleme bzgl. der Qualität. Eine Wiederverwendung ist bei sicherheitsrelevanten Bauteilen i. d. R. nicht möglich, da Bauteilprüfungen mit Blick auf die Produkthaftung zu komplexe Anforderungen stellen (Dombrowski und Bothe 2001, S. 794 f.).

Wie bereits zu Beginn dieses Abschnitts erläutert, ist die Generierung von VSz aus den zuvor dargestellten VS hinsichtlich des betrachteten Zielsystems Schwerpunkt der Planung der ETV. Die Vielzahl an Kombinationsmöglichkeiten sowie zu berücksichtigender Einflüsse in Bezug auf die gestellte Zielsetzung macht die Komplexität dieses Planungsproblems deutlich. Um diese Komplexität beherrschbar zu machen, werden strukturierte Vorgehensweisen und Planungsansätze vorgeschlagen, auf die im nachstehenden Abschnitt näher eingegangen wird.

3.2 Forschungsansätze zur Strategiewahl in der Nachserie

In der Fachliteratur existieren zahlreiche Ansätze zur Optimierung, Planung und Gestaltung der ETV (Finke und Deuse 2010; Wrehde 2011), für die der Stand der Forschung nachstehend dargelegt wird. Diese fokussieren drei unterschiedliche Schwerpunkte:

- (1) logistische Aspekte
- (2) Supply Chain in der ETV
- (3) (allgemeine) Planung der NSV

Ansätze zur Ausgestaltung **logistischer Aspekte** umfassen zumeist quantitative Modellierungen abgrenzbarer Problemfelder, wie die Bedarfsprognose, das Distributions- bzw. Servicelevel etc. (vgl. hier und fortfolgend auch Finke und Deuse 2010; Dombrowski et al. 2005b).

Das IGF-Forschungsvorhaben „Kostenoptimale Bevorratung nach EOP“ umfasst die Analyse und Optimierung von Strategien zur Nachserienproduktion und Bevorratung von Ersatzteilen oder deren Komponenten (Finke und Deuse 2010, 2011). Diese Optimierung erfolgt hinsichtlich der entstehenden Produktions- und Logistikkosten und kann aufgrund dieser Problemfokussierung den logistischen Ansätzen zugeordnet werden. Zusätzlich werden verschiedene Optionen der Integration in die laufende Fertigung und die Planung für verschiedene Produktionsstufen berücksichtigt. Das für den Anwendungskontext der NSV theoretisch formulierte Optimierungsmodell ermöglicht es für jede Planungsperiode und jede Produktionsstufe, die zu produzierende Losgröße, die Anzahl einzulagernder (Zwischen-) Produkte, die auf jeder Produktionsstufe resultierenden Kosten und die Gesamtkosten des geplanten Produktionsprogrammes bis zum EOS zu bestimmen. Die Formulierung des Optimierungsmodells basiert auf einem an die Anforderungen der NSV angepassten kapazitierten mehrstufigen Mehrprodukt-Losgrößenproblem (Multi Level Capacitated Lot Sizing Problem MLCLSP, ganzzahliges lineares Optimierungsproblem). Die einbezogenen Kostensätze sind Ausdruck für die spezifischen Bedingungen auf den einzelnen Produktionsstufen. Korrelationen zwischen einzelnen Produktionsstufen bzw. (Zwischen-) Produkten werden durch die zugrunde gelegte mehrstufige Produkt- und Prozessstruktur berücksichtigt. Die Integration in die laufende Produktion ist durch alternative Realisierungsmöglichkeiten berücksichtigt. Hier können zum einen durch die im Modell abgebildeten Kapazitätsrestriktionen die jeweils verfügbaren Kapazitäten der verwendeten Betriebsmittel

angenommen werden. Zum anderen werden der sich aus den alternativen Realisierungsmöglichkeiten ergebende Ressourceneinsatz und die divergierenden Rüst- und Bearbeitungsvorgänge durch unterschiedliche Ausprägungen der entscheidungsrelevanten Kostenfaktoren bei der Optimierung berücksichtigt (Maschinenstundensätze, ressourcenspezifische Rüstkostensätze, Rüstzeiten, Bearbeitungszeiten und unterschiedliche variable Produktionskosten). Des Weiteren entstehen je nach Alternative der Integration verschiedene einmalige Kosten, z. B. durch die Zertifizierung von Prozessen, die als entscheidungsrelevante, einer Alternative zurechenbare Fixkosten in die Optimierung einfließen. Produktseitig sind zudem die eingeschränkte Lagerfähigkeit von (Zwischen-) Produkten und mögliche Bauteilabkündigungen durch Restriktionen in das Modell integriert worden. Grundlage der Anwendung des entwickelten Optimierungsmodells bildete die Definition von strategiebeeinflussenden Ersatzteileigenschaften, die in einer Typologie definiert und in der aufgestellten Zielfunktion berücksichtigt wurden. (Finke und Deuse 2010, S. 41, 2011)

Die Thematik der Bestimmung einer optimalen finalen Bevorratungsmenge wurde erstmals durch Fortuin mittels eines mathematischen Modells realisiert (Fortuin 1980). Dies erfolgte unter der Annahme eines für einen definierten Planungszeitraum exponentiell fallenden Kundenbedarfes. Darüber hinaus entwickelten Teunter und Fortuin ein dynamisches Modell zur Identifizierung eines kostenoptimalen Abschlussloses unter Berücksichtigung eines konstanten jährlichen Kundenbedarfes. Dieser Ansatz bietet zudem die Möglichkeit, eine definierte Menge an Ersatzteilen, die durch Wiederinstandsetzung und -verwendung bereitgestellt werden, in das Modell einzubeziehen. In diesem Zusammenhang werden die Gesamtkosten der Versorgungsstrategien als deterministische Parameter in das Modell implementiert. Nach Anwendung in der Praxis werden zudem Prognoseverfahren zur Bestimmung der Parameter der Nachfrageverteilung entwickelt (Teunter und Fortuin 1998, 1999). Hierauf aufbauend entwickeln Inderfurth und Mukherjee bzw. Kleber mathematische Planungsmodelle, die es ermöglichen, die Kosten und Flexibilität für die Versorgungsstrategien Endbevorratung, Nachfertigung und Reparatur einzeln und kombiniert zu modellieren und zu optimieren (Inderfurth und Mukherjee 2008; Inderfurth und Kleber 2010).

Auch Pourakbar beschreibt einen mathematischen Ansatz zur Sicherstellung der Ersatzteilbedarfe nach dem Auslaufen der Serienproduktion für Elektronikprodukte, der auf der Bestimmung eines Trade-off-Punktes zwischen den entstehenden Kosten für die Instandsetzung eines Ersatzteiles und den Kosten für die Nutzung kompatibler Teile sowie den Kosten für den Ersatz durch ein Neuprodukt der Serie beruht. Die

Bestimmung der optimalen Menge sowie des Zeitpunkts für einen Wechsel der Versorgungsstrategie basiert auf der zunehmenden Preiserosion elektronischer Produkte im Zeitverlauf sowie der Annahme konstanter Reparaturkosten. (Pourakbar 2011; Pourakbar et al. 2010; Pourakbar et al. 2011; Pourakbar und Dekker 2011)

Neben den zuvor dargestellten Ansätzen können aufgrund der jeweils fokussierten Problemgrößen auch die IGF-Forschungsvorhaben HEUREGA, ET-LDL und LeAn-Serv diesem Bereich zugeordnet werden (IPRI 2014). Das Forschungsvorhaben HEUREGA zielt auf die Entwicklung von Heuristiken zur aufwandsarmen, aber hinreichend genauen Erstellung von Ersatzteil-Bedarfsprognosen für typische Ersatzteile durch Nutzung organisationalen Wissens und anreizbasierte Abnehmerintegration. Die Bedarfsprognose fokussieren u. a. auch Meidlinger (Meidlinger 1994), Ihde, Henning und Merkel (1999) sowie Loukmidis und Luczak (2006). Im Rahmen von ET-LDL (Ersatzteilmanagement als Zukunftsmarkt für Logistikdienstleister) wird die Ermittlung des optimalen Wertschöpfungsgrads von Logistikdienstleistern fokussiert, hierzu soll ein Instrument zur Entscheidungsunterstützung der individuellen Transformation von Logistikdienstleistern im Ersatzteilmanagement entwickelt werden. Ziel des Forschungsvorhabens LeAnServ ist die Entwicklung einer Methodik zur lebenszyklusorientierten Festlegung und Anpassung des logistischen Servicelevels in der Ersatzteilversorgung für Maschinenkomponentenhersteller.

Ansätze zur Planung der NSV mit Fokus auf die **Supply Chain** geben u. a. Schröter (Schröter 2006; Schröter und Spengler 2003), Graf (2005), Voss (2006), Koch (2004) und Hesselbach (Hesselbach et al. 2002b). Schröter und Graf fokussieren in ihren Ansätzen eine Gestaltung der Supply Chain, die es ermöglicht, die Versorgungsstrategie der Altteil-Wiederverwendung bestmöglich umzusetzen. In beiden Ansätzen werden vorrangig die Gestaltung der Rückfuhrlogistik sowie die Prozesse in den beteiligten Unternehmen betrachtet. Schröters Ansatz zur Entwicklung eines strategischen Planungsinstrumentes basiert auf der Simulation und betriebswirtschaftlichen Bewertung von Closed Loop Supply Chains als Entscheidungsunterstützung bei der Strategiewahl im Komponentenrecycling (Schröter 2006; Schröter und Spengler 2003). Resultierend aus der Analyse von Rahmenbedingungen sowie Planungsaufgaben des Ersatzteilmanagements werden detaillierte Anforderungen an das zu entwickelnde Planungsinstrument identifiziert. Das erarbeitete Entscheidungsunterstützungssystem dient als methodisches Hilfsmittel, um abgestimmte Entscheidungen bzgl. der betriebswirtschaftlich effizienten Ausgestaltung der Material-, Informations- und Finanzflüsse in der Supply Chain zu treffen. Graf thematisiert die Nutzung gebrauchter Geräte als Alternative zur Endbevorratung (Graf 2005). Hierzu entwickelt er ein „Erweitertes Supply

Chain Management zur Ersatzteilversorgung“, welches die Gestaltungsdimensionen Struktur, Führung und Prozess mit Hilfe von Transaktionskostentheorie, Balanced Scorecard und erweiterten ereignisgesteuerten Prozessketten analysiert. Hier werden sowohl unternehmensinterne als auch -externe Prozesse untersucht, um die Rückfuhrlogistik vollständig zu beschreiben.

Voss und Koch untersuchen Aufbau- und Ablauforganisation und Formen der Zusammenarbeit in der Supply Chain der NSV. Voss konzentriert sich hierbei auf die Ersatzteillogistik deutscher OEMs des Fahrzeug- und Maschinenbaus und gibt Gestaltungsempfehlungen zur lebenszyklusorientierten Ersatzteillogistik (Voss 2006). Koch hingegen berücksichtigt die besonderen Anforderungen einer solchen Ersatzteillogistik hinsichtlich der Kooperation von Herstellern und Anwendern in der Supply Chain (Koch 2004).

Hesselbach entwickelt einen qualitativen Ansatz zum Life Cycle Management als Ansatz für eine flexible Gestaltung der ETV. In diesem Zusammenhang werden Lösungen zur nachserienkonformen Beeinflussung der Produktgestaltung zur Realisierung verschiedener Versorgungsansätze erarbeitet. Weiterhin stellt die Gestaltung von Prozessen für eine effiziente Kooperation zwischen den verschiedenen Akteuren (z. B. Hersteller, Ersatzteilvertrieb, Service und Recycler) den zweiten wichtigen Ansatzpunkt zur Sicherstellung der Versorgung dar. Es werden Lösungen zur effizienten Abschätzung der Auswirkungen dieser Maßnahmen in verschiedenen Produktlebensphasen bereitgestellt.

Weitere Ansätze mit Fokus auf die Supply Chain bzw. rein logistischen Aspekten, insb. in der internationalen Forschung, beschäftigen sich mit Optimierungsproblemen, die, wie bereits zuvor exemplarisch dargestellt, der Bestimmung der zu bevorratenden Ersatzteilmenge zum EOP oder auf den verschiedenen Ebenen der Supply Chain dienen. In diesem Zusammenhang werden mathematische Modelle oder multidimensionale Klassifizierungsverfahren zur Bestimmung der erforderlichen Bestandsmenge genutzt (Huiskonen 2001; Braglia et al. 2004). Eine detaillierte Übersicht über bestehende Ansätze und Lösungsverfahren geben zudem Kennedy, Patterson und Frendall (Kennedy et al. 2002).

Zusammengefasst ermöglichen es die zuvor dargestellten Ansätze nicht, Ersatzteile auf Basis ihrer Eigenschaften Strategien zuzuordnen, was jedoch ein zentrales Ziel dieses Vorhabens ist. Im Rahmen der dargestellten analytischen Ansätze wird eine Strategiewahl lediglich durch das Bestimmen der Zeitpunkte und Mengen für einzelne

Strategien ermöglicht (z. B. bei Inderfurth (Inderfurth und Kleber 2010)). Eingangsparameter sind deterministische Variablen, wie Kosten für die Strategien Reparatur, Endbevorraten etc., die über die Menge optimiert werden. Der Bezug der Eingangsparameter zu den Ersatzteileigenschaften ist jedoch nicht bzw. nur unzureichend dargestellt, sodass die Zuordnung zu den Strategien nicht unter Berücksichtigung der Gesamtheit der Ersatzteileigenschaften und deren Zusammenhänge erfolgt.

Ausschlaggebend für diese Ausarbeitungen ist der dritte der oben genannten Schwerpunkte, d. h. die (allgemeine) **Planung der NSV** durch Identifikation von Versorgungsstrategien und -szenarien für Ersatzteile oder Gruppen von Ersatzteilen in der Nachserienphase unter Berücksichtigung der spezifischen Ersatzteileigenschaften und zahlreicher sich wandelnder Einflüsse. In diesem Zusammenhang werden zum einen unternehmensinterne bzw. -spezifische Lösungen zur Realisierung der ETV vorgestellt, die aus diesem Grund hier nicht weiter fokussiert werden (Stark 2004; Meifarth et al. 2004). Zum anderen gibt es zahlreiche Ansätze, Konzepte und Vorgehensweisen zur Identifikation bzw. Bildung geeigneter/ optimaler Versorgungsszenarien, aus denen zentrale Ansätze nachstehend beschrieben werden.

Von Dombrowski wird eine ganzheitliche qualitative Planungssystematik vorgeschlagen, die sowohl Aspekte der Zukunftsgestaltung (Dombrowski et al. 2005a) als auch der Vergangenheitsbewältigung (Dombrowski et al. 2005b; Dombrowski und Quantschnig 2007) umfasst (vgl. Abbildung 3.9).

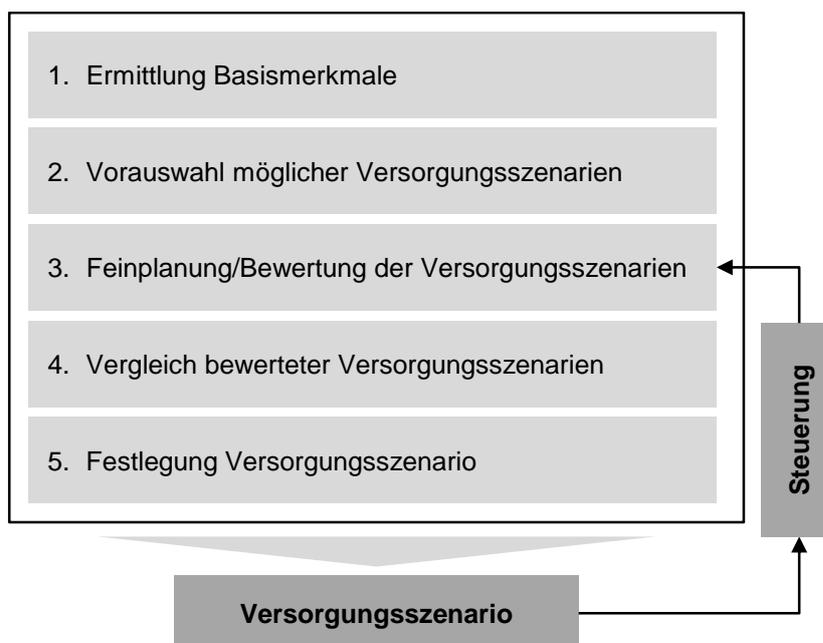


Abbildung 3.9 Planungsprozess für die NSV (Dombrowski et al. 2005b, S. 199)

Dombrowski bezeichnet Planung und Steuerung der ETV, die unter festen Prämissen erfolgen, als Vergangenheitsbewältigung und schlägt eine fünfstufige Vorgehensweise vor (Dombrowski et al. 2005b). Für die Planung der NSV werden zunächst Basismerkmale ermittelt. Diese beziehen sich vorrangig auf produktbezogene Merkmale wie z. B. die Lagerfähigkeit (Dombrowski et al. 2005b, S. 198 ff.). Zudem sind u. a. Marktdaten, der Versorgungszeitraum sowie eine Prognose zukünftiger Bedarfe auszuprägen. Diese, als Basismerkmale definierten, Daten bestimmen die generelle Eignung einzelner Versorgungsstrategien zur Sicherstellung der ETV in der Nachserie und sind in Abbildung 3.10 auszugsweise dargestellt.

Kompatibilität	Normteil	Kompatibilität möglich	Kompatibilität nicht möglich	...
Ausfallverhalten	bekannt	Vorhersage gut möglich	Vorhersage schlecht möglich	...
Nachfertigung	möglich	unmöglich	Redesign Bauteil oder Fertigung erf.	...
Lagerdauer	unbegrenzt	begrenzt	abh. von Lager	...
Lageranforderungen	keine	klimatisiert	Schutzmedium	...
Mögliche Bevorratungsstufe	Bauteilebene	Modulebene	Komplettgerät	...
Innovationspotential Bauteil & Fertigung	schnelle Weiterentwicklung	langsame Weiterentwicklung	...	
Sourcing	single	multiple	...	
Marktdurchdringung	einzigster Kunde	mehrere Kunden	...	
...				

Abbildung 3.10 Typologisierung von Ersatzteilen (Dombrowski und Bothe 2001, S. 794)

Der zweite Schritt der Planungssystematik umfasst eine Vorauswahl möglicher Versorgungsszenarien für das betrachtete Ersatzteil bzw. eine Gruppe von Ersatzteilen mit ähnlichen Basismerkmalen. Hierzu wird auf eine Auswahl vordefinierter „Standard-Versorgungsszenarien“ zurückgegriffen (Dombrowski und Bothe 2001; Bothe 2003, S. 6). Eine Vorauswahl der Szenarien für einzelne Ersatzteile bzw. Ersatzteil-Gruppen wird angestrebt, um die Komplexität der Planung durch die Eingrenzung möglicher Alternativen bzw. Kombinationsmöglichkeiten zu reduzieren. Im Rahmen der anschließenden Feinplanung werden die vorausgewählten Versorgungsszenarien unter Berücksichtigung der Zielgrößen (Kosten, Flexibilität, Risiko, Kundenbindung) detailliert

analysiert, bewertet und verglichen, um abschließend ein Versorgungsszenario festzulegen. In der Planungssystematik ist eine stetige Steuerung der NSV vorgesehen, die das iterative Durchlaufen der zuletzt genannten Planungsschritte erforderlich macht. Durch Abgleich der ursprünglichen Planungsgrundlage (Sollwerte) mit den Istwerten resultieren steuernde Maßnahmen, z. B. eine Anpassung der Bedarfsprognose bei zu hoher Abweichung von den Prognosedaten.

Konzepte zur oben bereits angesprochenen Zukunftsgestaltung umfassen Überlegungen zu einem funktionsfähigen Wissensmanagement und nachserienversorgungsgerechten Produktgestaltung, sodass die im Rahmen der Planung und Steuerung der Nachserie gewonnenen Erfahrungen und Erkenntnisse frühzeitig in die Planung nachfolgender Produktgenerationen einbezogen werden können (Dombrowski et al. 2005a; Bothe 2003; Sünemann 2004; Blum 2004).

Das Forschungsvorhaben „Geregelte Ersatzteile-Bedarfsdeckungs-Strategien (GET)“ verfolgt zur Planung und Steuerung der NSV einen sechsstufigen Ansatz zur systematischen Auswahl und Anpassung von Strategien zur Deckung von Ersatzteilbedarfen. Dieser fokussiert eine aufwandsarme, regelkreisbasierte Überprüfungsmethode für kleine und mittelständige Unternehmen zur Auswahl und kontinuierlichen Anpassung von Versorgungsstrategien (vgl. Abbildung 3.11) (Knigge und Rosentritt 2009; Rosentritt und Knigge 2010).

Der erste Schritt der Systematik ist die Ermittlung von Anforderungsprofilen für Ersatzteile bzw. Ersatzteilgruppen. Ausgangspunkt ist die Identifizierung von Ersatzteilmerkmalen, welche Einfluss auf die Auswahl einer Ersatzteil-Bedarfsdeckungs-Strategie haben. Ausgehend von den Produkteigenschaften und weiterer Charakteristika werden die Ersatzteile zunächst spezifiziert und in zwei grundlegende Merkmalsgruppen differenziert. Die erste Merkmalsgruppe enthält Ausschlusskriterien für einzelne Strategien und ermöglicht eine Prüfung der Voraussetzungen und Vorauswahl möglicher Strategien. Die zweite Merkmalsgruppe umfasst Charakteristika, die verschiedene Versorgungsstrategien begünstigen oder benachteiligen. Zudem wird zwischen statischen Merkmalen, wie bspw. dem Standardisierungsgrad, und zeitlich veränderlichen, wie der Bedarfsprognose, unterschieden. Aufgrund der vielfältigen Merkmale und Merkmalsausprägungen wird eine Fokussierung auf die wichtigsten Merkmale vorgenommen, die in einem morphologischen Kasten dokumentiert werden (vgl. Abbildung 3.12). Die Auswahl relevanter Merkmale erfolgt anhand der Kriterien Erfassbarkeit, Relevanz und Eindeutigkeit/ Überschneidungsfreiheit. Aus den relevanten Merkmalen wird zusammen mit den Zielen des Ersatzteilmanagements, den Anforderungen an die

Versorgungsstrategie und allgemeinen Unternehmenszielen ein Anforderungsprofil entwickelt, welches die geforderte Anforderungserfüllung an eine Nachversorgungsstrategie beinhaltet. D. h. für die relevanten Merkmale werden qualitativ Wirkzusammenhänge zu vorab definierten Anforderungsgrößen hergestellt, um das Anforderungsprofil auszuprägen.

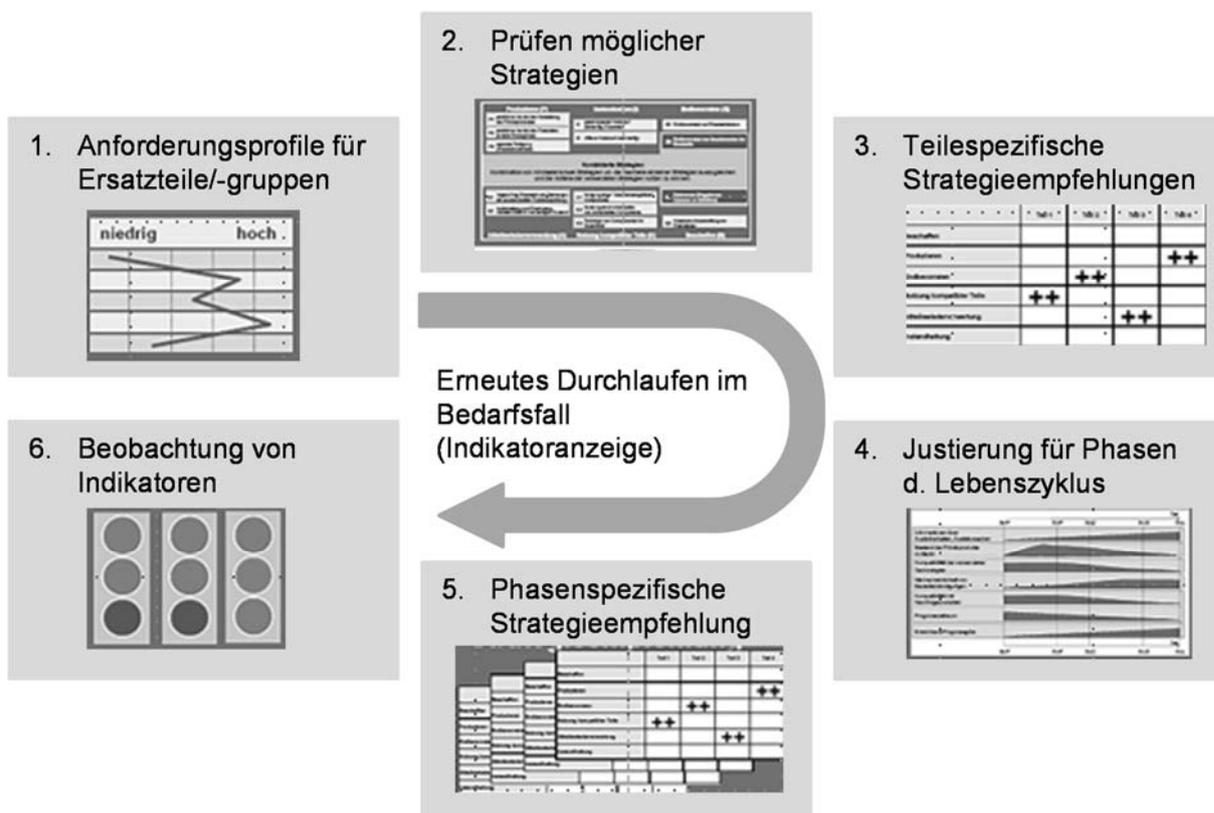


Abbildung 3.11 Ansatz zur Auswahl und Anpassung von Strategien zur Deckung von Ersatzteilbedarfen (vgl. Rosentritt und Knigge 2010, S. 55)

Sollen folglich Anforderungsprofile und Ersatzteil-Bedarfsdeckungsstrategien für charakteristische ET-Klassen gebildet werden, erfolgt dies auf Basis der Ermittlung ähnlicher Ausprägung der im morphologischen Kasten dargestellten relevanten Merkmale, wobei die Ähnlichkeit über die qualitativen, exemplarisch aufgezeigten Wirkzusammenhänge zu identifizieren ist.

Das Anforderungsprofil wird mit der durch die NSV-Strategien erreichbaren Anforderungserfüllung (Leistungsprofil) verglichen (Prüfen möglicher Strategien). Die Auswahl der Strategie erfolgt anhand des Grades, mit dem eine Versorgungsstrategie oder ein Versorgungsszenario das erstellte Anforderungsprofil erfüllt (teilespezifische Strategieempfehlung). Eine Veränderung der Anforderungen während des Produkt-Lebenszyklus wird durch phasenspezifische Anforderungsprofile berücksichtigt. Diese werden

den Leistungsprofilen der einzelnen Strategien gegenübergestellt, sodass eine abschließende phasenspezifische Strategieauswahl vorgenommen werden kann. Die Auswahl einer Strategie zur Ersatzteil-Bedarfsdeckung erfolgt nicht einmalig, sondern unterliegt einer kontinuierlichen Anpassung auf Basis der Erfassung und Auswertung von Indikatoren und Störgrößen, die insb. in den zeitlich veränderlichen Merkmalen zu sehen sind.

Merkmal		Ausprägung				
1	Bedarfsprognosefähigkeit/ Allzeitbedarf	sehr hohe Güte	hohe Güte	mittlere Güte	geringe Güte	sehr geringe Güte
2	Lagerfähigkeit / Alterungsbeständigkeit (Lagerisiko)	sehr hoch (sehr geringes Risiko)	hoch (geringes Risiko)	Mittel (mittleres Risiko)	Gering (hohes Risiko)	sehr gering (sehr hohes Risiko)
3	Kritischer Wert	sehr hoch (> 1000 * Ersatzteilwert)	hoch (> 500 * Ersatzteilwert)	mittel (> 300 * Ersatzteilwert)	gering (> 100 * Ersatzteilwert)	sehr gering (> 10 * Ersatzteilwert)
4	Obsoleszenzrisiko	sehr hoch	hoch	mittel	gering	sehr gering
5	Häufigkeit / Bedarf in Planungsperiode ABC-Analyse	sehr hoch (A-Teil)	hoch (A-Teil)	mittel (B-Teil)	gering (C-Teil)	sehr gering (C-Teil)
6	Bedarfskonstanz RUS-Analyse (Vorhersagegenauigkeit der Bedarfe XYZ – Analyse)	R – Regelmäßig (hoch X – Teil)		U – Unregelmäßig (mittel Y – Teil)	S – Sporadisch (gering Z – Teil)	
7	Ersatzteilpreis / Ersatzteilwert	sehr hoch (Preisgruppe d-e €)	hoch (Preisgruppe c-d €)	mittel (Preisgruppe b-c €)	gering (Preisgruppe a-b €)	sehr gering (Preisgruppe 0-a €)
8	Umsatz / Wertigkeit ABC- Analyse	A - Teil		B - Teil	C - Teil	
9	Wertschöpfungsgrad / Wertschöpfungsstufe / Komplexitätsgrad	Einzelteil	Baugruppe	Modul	System	Produkt
10	Lagerhaltungsanforderungen und -kosten	sehr hoch	hoch	mittel	gering	sehr gering
11	Innovationsstärke	sehr hoch	hoch	mittel	gering	sehr gering
12	Kernkompetenz	sehr hoch	hoch	mittel	gering	sehr gering
13	Eigenanteil der Wertschöpfung	sehr hoch	hoch	mittel	gering	sehr gering
14	Standardisierungsgrad	Standardteil	Normteil	Querschnittsteil	Zeichnungsteil	Kundenindividuelles Teil

Abbildung 3.12 Morphologischer Kasten relevanter Ersatzteilmerkmale (vgl. Rosentritt und Knigge 2010, S. 27)

Diese Konzepte beschreiben allgemeingültige Vorgehensweisen, die unabhängig von der betrachteten Branche bzw. den Ersatzteilen eine Planung von Versorgungsszenarien unter Berücksichtigung aller Strategien ermöglichen. Im Fokus der Betrachtungen stehen Überlegungen zum gesamten Lebenszyklus. Des Weiteren existieren branchenspezifische Ansätze, die die Möglichkeit bieten, die Planung der NSV weiter zu fokussieren und Versorgungsszenarien für bestimmte Ersatzteilgruppen in der Automobilelektronik zu generieren.

Hagen (2003) stellt ein herstellerseitiges Ersatzteilmanagement für die Automobilelektronik vor und bettet dies formal in Unternehmensstrukturen und -prozesse ein. Hierzu werden methodische Ansätze, Handlungsspielräume und Anknüpfungspunkte erarbeitet und eine geeignete Vorgehensweise inkl. Modellierungstechniken im Ersatzteilmanagement ausgewählt. Abschließend wird ein konkretes Support System konzipiert und bewertet.

Bothe (2003) entwickelt eine lebenszyklusorientierte Methodik zur Planung und Steuerung der ETV nach Ende der Serienfertigung. Ein Fokus ist bspw. in der lebenszyklusorientierten Kostenaufstellung für die einzelnen NSV-Strategien zu sehen. Zunächst erfolgen jedoch, abhängig von der Komponente, die Definition der Planungsziele sowie die Zusammenfassung zu einem übergeordneten Zielsystem. Als generelle Planungsziele in der NSV fungieren auch hier strategische Größen, wie Kundenbindung und Risikominimierung, sowie monetäre Größen (z. B.: Lagerkosten, Redesignkosten). Nachfolgend erfolgt eine einstufige qualitative Eignungsbewertung von Versorgungsszenarien u. a. unter Berücksichtigung technologischer Produktmerkmale, der Verfügbarkeit von Bauelementen und Fertigungseinrichtungen sowie der Lagerfähigkeit und -bedingungen (vgl. Abbildung 3.13).

Geeignete Versorgungsszenarien werden hinsichtlich der im Vorfeld identifizierten Planungsziele bewertet und abschließend untereinander verglichen, sodass abschließend ein Szenario ausgewählt werden kann. Bothe fokussiert in seinem Ansatz zudem das im Vorfeld durchzuführende Bedarfscontrolling und das „Obsolescence Management“ für Bauelemente und Fertigungseinrichtungen. Die von Bothe entworfene Methodik zur Planung und Steuerung der NSV beinhaltet sowohl eine lebenszyklusorientierte Sicht als auch eine Organisationssicht. Letztere dient der Schaffung von organisatorischen Voraussetzungen und der Definition von lebenszyklus- und abteilungsübergreifenden Verantwortlichkeiten. In der lebenszyklusorientierten Sichtweise werden alle relevanten Prozesse (Kernprozesse und unterstützende Prozesse) abgebildet und den einzelnen Phasen des Lebenszyklus zugeordnet.

Versorgungsstrategie	①	②	③	④	⑤	⑥
Technologisches Merkmal	Kompatible Teile	Endbevorratung	Interne Nachfertigung	Externe Nachfertigung	Wieder- instandsetzung	Altteil Wieder- verwendung
Lagerfähigkeit Bauelement		●	●	●	●	
Lagerfähigkeit Elektronikkomponente		●				
Bauteilverfügbarkeit (Abkündigung)			●	●	●	
Modularität von Systemen aus Elektronikkomponenten	●					
Spezifikation von Bauelementen und Komponenten	●				●	
Kompatibilität von Bauelementen und Komponenten	●				●	●
Reparatur- und Aufarbeitungsfähigkeit					●	●
Prüfbarkeit					●	●

Abbildung 3.13 Relevanz von Ersatzteilmerkmalen auf VS am Beispiel technologischer Merkmale (Bothe 2003, S. 88)

Durch das Projekt ReECar (Friedrichs 2008) wird ein Ansatz aufgezeigt, die Automobilelektronik durch Einsatz von Gebrauchtteilen nachhaltig zu gestalten. ReECar stellt keine methodische Vorgehensweise dar, sondern erörtert differenziert, welche Herausforderungen in der Nachserienphase zu beachten sind und analysiert diese umfangreich (Friedrichs 2008; Knode 2008; Hohaus und Stobbe 2008; Kaerger 2008; Bochow-Neß 2008; Böckhorst 2008; Mente et al. 2008). In diesem Zusammenhang werden lediglich Voraussetzungen für den Einsatz der Strategien Wiederinstandsetzung und -verwendung identifiziert und zusammengestellt. (s. vertiefend Finke und Deuse 2010; Wrehde 2011).

Den zuvor genannten Ansätzen ist gemein, dass eine Typologisierung von Ersatzteilen mittels morphologischer Kästen, paarweisen Vergleichen oder ähnlichen qualitativ bewertenden Methoden vorgenommen wird. Diese ermöglichen eine Entscheidungsunterstützung bei der Strategieauswahl anhand der Ausprägung von strategieausschließenden bzw. -beeinflussenden Ersatzteilmerkmalen. Dabei wird durchgängig die Notwendigkeit erkannt, die verschiedenen Ersatzteile in Klassen, nachfolgend als ET-

Klassen bezeichnet, zu gruppieren, um eine erleichterte Planung und Auswahl von NSV-Strategien zu ermöglichen. In keinem dieser Ansätze wird jedoch eine Methodik zur Gruppierung von ET-Klassen dargelegt.

Diese Forschungslücke untersucht Wrehde (2011). Dieser liefert einen Ansatz zur Planung und Umsetzung der NSV in der Automobilelektronik unter Zuhilfenahme einer sog. „NSV-Roadmap“. Aufbauend auf identifizierten Anforderungen wird unter Adaption der Methode des „Roadmapping“ die „NSV-Roadmap“ entwickelt, die den grundlegenden Baustein seiner Methode bildet. Diese umfasst drei Schritte: „Analyse und Clusterung“, „NSV-Roadmapping“ sowie „Umsetzung und Controlling“, unterstützt durch einen Methoden- und Maßnahmenkatalog. Die angesprochenen Anforderungen werden aus den Problemen abgeleitet, die zum einen aus der Sicherung der Nachserie von innovationsstarken Komponenten („externe Einflussfaktoren“) und zum anderen dem Planungsumfeld der "industriellen Praxis" resultieren („interne Einflussfaktoren“). Hieraus ergeben sich auf der einen Seite die Anforderungen zur Lebenszyklusorientierung, proaktiven Planung sowie Ressourcenorientierung und auf der anderen Seite der Handhabbarkeit, Reduzierung der Komplexität, Einbindung von Experten sowie Visualisierung und Dokumentation.

Durch den Schritt „Analyse und Clusterung“ soll durch die Bildung von Planungsclustern die Anzahl an Planungsobjekten verringert und resultierend die angestrebte Komplexitätsreduktion verfolgt werden. Zur Bildung von Planungsclustern werden komponenten-, ressourcen- und kundenorientierte Merkmale erörtert und exemplarisch skaliert (Wrehde 2011, S. 159). In diesem Rahmen werden die Grundlagen zur Bildung von ET-Klassen im Kontext der NSV erarbeitet, wobei insb. das Vorgehen zur Bildung dieser Klassen weiteren Forschungsbedarf aufweist. Diese erfolgt nicht basierend auf quantifizierten Merkmalsausprägungen mit Hilfe geeigneter Klassifikationsverfahren, sondern exemplarisch für einige Merkmale auf qualitativer Ebene (vgl. Abbildung 3.14). Das Vorgehen zur Bildung von ET-Klassen wird in diesem Zusammenhang lediglich theoretisch betrachtet. Zudem werden die möglichen Lösungsverfahren nicht dargestellt.

Basierend auf den identifizierten Planungsclustern wird die eigentliche Planung der NSV unter Zuhilfenahme der „NSV-Roadmap“ durchgeführt. Durch diese wird das Problemfeld für das untersuchte Planungscluster modelliert und die Einbindung von Experten sowie die Visualisierung wichtiger Zusammenhänge ermöglicht. Zur Unterstützung und Beschleunigung des „NSV-Roadmappings“ wird ein Methoden- und Maß-

nahmenkatalog dargestellt, der eine Ableitung geeigneter Maßnahmen zur Problemlösung in Standardsituationen der NSV ermöglicht (Wechsel des Produktstatus, Entstehen neuer Kundenanforderungen, Ressourcenprobleme und Wechsel einer Versorgungsstrategie).

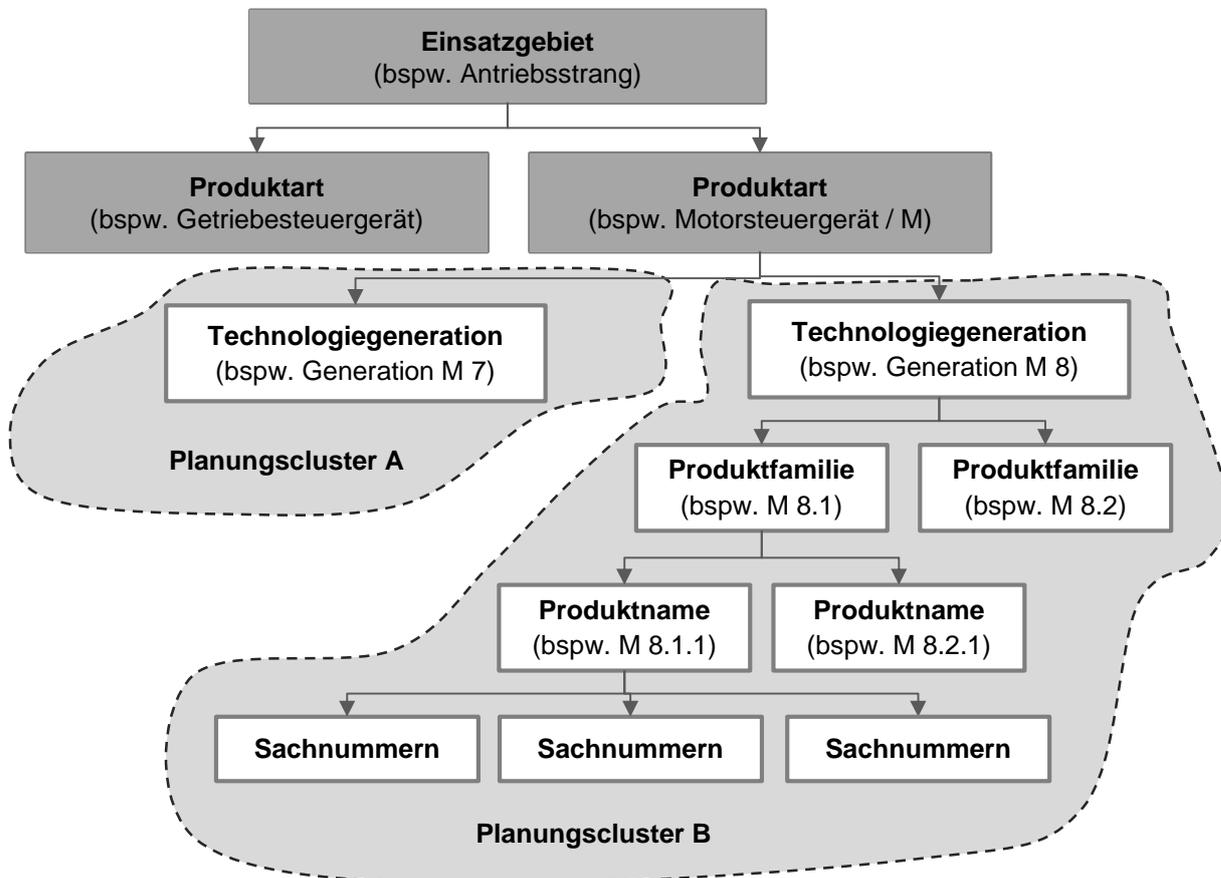


Abbildung 3.14 Bildung von Planungsclustern (Wrehde 2011, S. 164)

3.3 Zwischenfazit und Handlungsbedarf

Der Stand der Forschung zeigt, dass die Notwendigkeit, Ersatzteile in Klassen zu gruppieren, um die Wahl von NSV-Strategien zu vereinfachen und aufwandsarm zu gestalten durchgängig erkannt wird (bereits in der Definition einer Versorgungsstrategie aufgeführt). Eine Bildung von ET-Klassen hat das Potenzial den Aufwand für eine effiziente Planung und Gestaltung der NSV zu reduzieren. Jedoch können Aspekte identifiziert werden, die einer solchen entgegenstehen:

- Ersatzteilmerkmale werden z. B. in Form morphologischer Kästen aufgezeigt, eine Ausweisung „ähnlicher“ Merkmalsausprägungen zur Bildung von ET-Klassen erfolgt nicht
- Bildung von ET-Klassen auf Basis morphologischer Kästen ist vorgedacht, aber:
 - „ähnliche“ Merkmalsausprägungen werden nicht entwickelt
 - erforderliche Anweisungen/ Vorschriften sind nicht spezifiziert
 - Wirkzusammenhänge zwischen Merkmalen und Strategie werden qualitativ bzw. unvollständig abgebildet
- Wirkzusammenhänge zwischen Merkmalen untereinander und Strategie werden teilweise erkannt, jedoch nur qualitativ und unvollständig abgebildet

Diese Überlegungen sind in Abbildung 3.15 visualisiert. Zentrale Fragestellungen sind welche Merkmale relevant für die Gruppierung sind, welches Skalenniveau aussagekräftig ist und welche Merkmalsausprägungen welche Eingruppierung bzw. Strategie bedingen.

Merkmal		Ausprägung				
1	Bedarfsprognosefähigkeit/ Allzeitbedarf	sehr hohe Güte	hohe Güte	mittlere Güte	geringe Güte	sehr geringe Güte
2	Lagerfähigkeit / Alterungsbeständigkeit (Lagerisiko)	sehr hoch (sehr geringes Risiko)	hoch (geringes Risiko)	Mittel (mittleres Risiko)	Gering (hohes Risiko)	sehr gering (sehr hohes Risiko)
3	Kritischer Wert	sehr hoch (> 1000 * Ersatzteilwert)	hoch (> 500 * Ersatzteilwert)	mittel (> 300 * Ersatzteilwert)	gering (> 100 * Ersatzteilwert)	sehr gering (> 10 * Ersatzteilwert)
4	Obsoleszenzrisiko	sehr hoch	hoch	mittel	gering	sehr gering
5	Häufigkeit / Bedarf in Planungsperiode ABC-Analyse	sehr hoch (A-Teil)	hoch (A-Teil)	mittel (B-Teil)	gering (C-Teil)	sehr gering (C-Teil)
6	Bedarfskonstanz RUS-Analyse (Vorhersagegenauigkeit der Bedarfe XYZ - Analyse)	R - Regelmäßig	(hoch X - Teil)	U - Unregelmäßig (mittel Y - Teil)	S - Sporadisch (gering Z - Teil)	
7	Ersatzteilpreis / Ersatzteilwert	sehr hoch (Preisgruppe d-e €)	hoch (Preisgruppe c-d €)	mittel (Preisgruppe b-c €)	gering (Preisgruppe a-b €)	sehr gering (Preisgruppe 0-a €)
8	Umsatz / Wertigkeit ABC-Analyse	A - Teil		B - Teil	C - Teil	
9	Wertschöpfungsgrad / Wirtschaftlichkeitsstufe	Einzelteil	Baugruppe	Modul	System	Produkt

→ Versorgungsstrategie: Nachfertigen?

Abbildung 3.15 Handlungsbedarf bei der Eingruppierung von Ersatzteilen

An dieser Stelle setzte das Forschungsvorhaben an. Der dargelegte Stand der Forschung unterstreicht deutlich, dass die grundlegende Auswahl von NSV-Strategien bisher lediglich auf Basis qualitativer Ansätze (Typologien, Entscheidungsbäumen) getroffen werden kann (Finke und Deuse 2010, 2011). Es existiert kein Vorgehen, mit dessen Hilfe die Wirkzusammenhänge von Ersatzteilmerkmalen und NSV-Strategien quantitativ untersucht werden können und das es erlaubt, beliebige Ersatzteilspektren auf quantitativer Basis bspw. mittels strukturabbildender Verfahren den vorgegebenen NSV-Strategien zuzuordnen.

4 Konzeptionierung der Methodik und Ableitung von Anforderungen

Basierend auf dem aufgezeigten Handlungsbedarf, den zentralen Begriffsdefinitionen und Grundlagen zur NSV soll in diesem Kapitel die Konzeptionierung der Methodik zur Bildung von ET-Klassen aufgezeigt werden. Zudem werden zentrale Anforderungen abgeleitet, die es zu berücksichtigen gilt. Ziel der Methodik ist es, Unternehmen bei der Bildung von ET-Klassen zu unterstützen, resultierend die erforderliche Planungskomplexität zu reduzieren und folglich die Strategiewahl in der NSV zu vereinfachen (s. Abbildung 4.1). Mit der Methodik soll Unternehmen eine strukturierte Vorgehensweise an die Hand gegeben werden, die aufzeigt, wie durch den Einsatz strukturabbildender Verfahren grundsätzlich ET-Klassen gebildet werden können. ***ET-Klassen beschreiben Gruppen an Ersatzteilen, die aufgrund ihrer Merkmalsausprägungen den Einsatz einer vergleichbaren NSV-Strategie erlauben.***

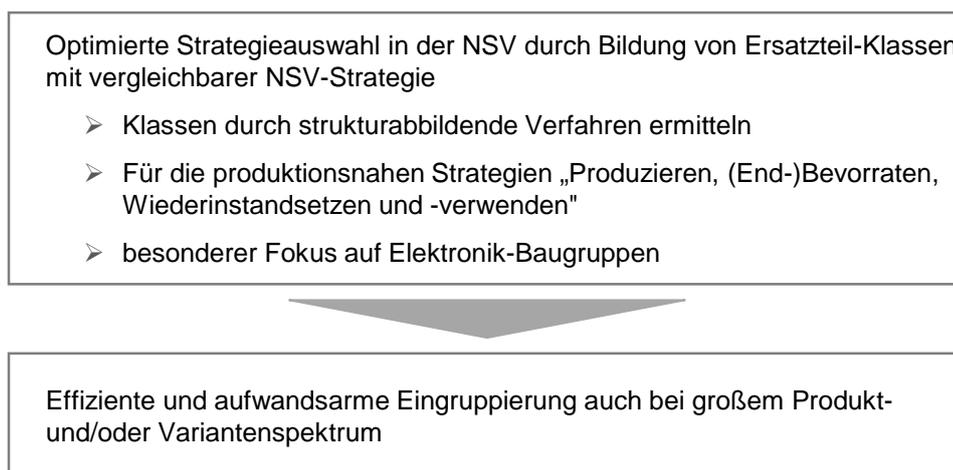


Abbildung 4.1 Zielsetzung bei der Konzeptionierung der Methodik

Grundsätzlich sollen aufbauend auf den im Stand der Forschung aufgezeigten Ansätzen relevante Gruppierungskriterien identifiziert und in bisher lediglich fragmentär untersuchte quantitative Wirkzusammenhänge überführt werden. Unter Zuhilfenahme geeigneter Klassifikationsverfahren sind in sich homogene Klassen der Elektronikbaugruppen zu bilden. Bei der Eingruppierung wird durch Data Mining für ein großes Produkt- und Variantenspektrum an ET eine der produktionsnahen Strategie „Nachfertigung“, „(End-)Bevorratung“ sowie „Wiederinstandsetzung und -verwendung“ festgelegt. Fokussiert werden hierbei elektronische Komponenten. Dies erfolgt, da elektronische Komponenten die umfassendsten Anforderungen hinsichtlich der Gestaltung der NSV aufweisen (s. Abschnitt 2.3). Alle anderen Produkte stellen Teilmengen dieser Merkmale dar, sodass durch diese Vorgehensweise nicht nur Elektronikbaugruppen,

sondern auch andere Produkte abgebildet werden können. Um ein Klassifikationsverfahren auszuwählen, werden verschiedene Methoden hinsichtlich ihrer Eignung untersucht, ein gegebenes Ersatzteilspektrum den einzelnen NSV-Strategien zuzuordnen. Zur Bildung von ET-Klassen anhand von Gruppierungsverfahren sollen strukturabbildende Verfahren (Klassifikationsverfahren) aus dem Bereich der multivariaten Statistik eingesetzt werden. Die entwickelte Klassifikationsmethodik wird in einen Leitfaden überführt. Dieser erlaubt es dem Anwender, ein gegebenes Ersatzteilspektrum bzgl. der hinterlegten Merkmale und Wirkzusammenhänge zu gruppieren und dient dem anwendenden Unternehmen als Entscheidungsunterstützung zur Auswahl der NSV-Strategie, insb. wenn keine eindeutige Zuordnung auf Basis qualitativer Kriterien gegeben ist.

Um eine sprechende Gruppierung von Ersatzteilen in ET-Klassen zu erreichen, sind zwei wesentliche Entwicklungsschritte erforderlich. Die zentrale Vorarbeit ist die Ausarbeitung eines strukturierten Merkmalkatalogs. Darauf aufbauend wird die Methodik zur Klassifikation der Ersatzteile erarbeitet. Abbildung 4.2 zeigt das grundsätzliche Konzept und wesentliche Arbeitsschritte, deren Notwendigkeit nachstehend kurz erläutert wird.

Motiviert durch den Stand der Technik und die dort aufgezeigten Planungsansätze (vgl. Abschnitt 3.2) ist es zwingend erforderlich, dass alle im SDT abgebildeten An-/Herausforderungen berücksichtigt werden. Diese lassen sich in spezifischen Ersatzteileigenschaften bzw. -merkmalen darstellen bzw. sind es in der Literatur bereits oft.

Diese Merkmale bilden den Ausgangspunkt aller weiteren Betrachtungen und sind zunächst vollständig und strukturiert zu erfassen. Da für ein beliebig heterogenes Komponentenspektrum ET-Klassen generiert werden sollen, die aufgrund spezifischer Gruppierungskriterien einer produktionsnahen NSV-Strategie (Produzieren, Endbevorraten, Wiederverwenden, Wiederinstandsetzen) zugeordnet werden, sind aufbauend auf der Gesamtaufstellung relevante/ geeignete Gruppierungskriterien zu identifizieren. Dies geschieht in einem ersten Schritt händisch/ manuell durch Verdichtung der in der Literatur in Gesamtheit aufgenommenen Merkmale, die im Kontext der NSV bestehenden. Diese werden zunächst in eine Merkmals-Gesamtaufstellung überführt, stets unter besonderer Berücksichtigung der spezifischen Anforderungen von Elektronikbaugruppen. Anschließend werden die Ersatzteilmerkmale bewertet, z. B. ob sie „produkt-, ressourcen- und marktorientiert“ und „dynamisch bzw. statisch“ sind und welche Strategien („Produzieren“, „Wiederinstandsetzen und -verwenden“ und „(End-

und 3) und Spezifikationen des Forschungsvorhabens ab. Differenziert werden allgemeine sowie hieraus resultierende Anforderungen, die sich für die Ausarbeitung des Merkmalkatalogs sowie der Klassifikationsmethodik ergeben. Diese werden in Abschnitt 4.1 bis Abschnitt 4.3 erläutert.

4.1 Allgemeine Anforderungen

In diesem Abschnitt werden zunächst zentrale allgemeine Anforderungen für die weiteren Ausarbeitungen festgelegt bzw. spezifisch ausgestaltet. Inbegriffen sind formale Anforderungen, die aufgrund des Forschungsvorhabens zu berücksichtigen sind.

Modellbezogene Anforderungen

Hinsichtlich der unterschiedlichen Planungsansätze und dem damit einhergehenden Handlungsspielraum wird zwischen Ansätzen zur „Zukunftsgestaltung“ und „Vergangenheitsbewältigung“ unterschieden (vgl. Kapitel 3). ET in der Produktentstehung proaktiv zu gestalten, leistet in den Unternehmen oft keine Abhilfe bei der akuten Problemlösung im Ersatzteilgeschäft. Ziel ist es aber, Unternehmen genau hierbei zu unterstützen. Aus diesem Grund ist in Abschnitt 3.2 bereits vermehrt auf derartige Planungsansätze eingegangen worden. Eine proaktive Gestaltung bleibt unabdingbar, um Varianzen im Nachseriengeschäft zu reduzieren. Die entwickelte Methodik gibt durch die Auswahl der relevanten Gruppierungskriterien allerdings Aufschluss darüber, welche Aspekte dringlich zu gestalten sind. Die proaktive Gestaltung der NSV wird daher nicht in die weiteren Ausarbeitungen einbezogen.

Als zentrale Zieldimension werden Kosten fokussiert bzw. die kostenoptimierte Gestaltung der NSV. Verglichen mit den o. g. Zielgrößen sind diese besser quantifizierbar und viele Aspekte lassen sich gut durch Kosten ausdrücken (z. B. Opportunitäten). Zudem fokussieren IGF-Vorhaben insb. die Wettbewerbsfähigkeit der anwendenden Unternehmen, welche folglich direkt ausweisbar wird. Die Methodik soll grundsätzlich die Bildung von ET-Klassen durch den Einsatz strukturabbildender Verfahren ermöglichen. ET-Klassen ergeben sich durch die Zuordnung einer produktionsnahen Strategie „Nachfertigung“, „(End-)Bevorratung“ sowie „Wiederinstandsetzung und -verwendung“. Die entwickelte Methodik zielt demnach auf die Grobplanung der NSV; es soll für keine der Strategien eine detaillierte Ausgestaltung bzw. Operationalisierung vorgenommen werden. Zudem werden die produktionsnahen Strategien fokussiert.

Sofern nicht proaktiv gestaltet, ist die Nutzung kompatibler Teile meist die letztmögliche Lösung und daher selten wirtschaftlich und adressiert anders organisierte Unternehmens- und Handlungsbereiche. Diese Strategie wird ausgegrenzt.

Mit Bezug zur Klassenbildung bzw. Bildung der Ersatzteilklassen ergibt sich die Anforderung, dass die Methodik eine sukzessive Überprüfung der Klassen zulassen muss, um so sowohl nachträglich ET den Klassen zuordnen zu können als auch den Umgang mit statischen und dynamischen Merkmalen zu ermöglichen. Insb. dynamische Merkmale, die ihre Ausprägungen über die Zeitspanne der Nachlieferverpflichtungen ändern (z. B. der Bedarf), erfordern die fortlaufende Überprüfung der Klassen bis zum EOS (Finke und Deuse 2010).

Zusammengefasst bietet die Methodik zur Bildung von ET-Klassen die Möglichkeit zur **Grobplanung** der NSV unter Berücksichtigung der **gegebenen Rahmenbedingungen** (kleiner Handlungsspielraum/ Vergangenheitsbewältigung) mit der zentralen **Zielgröße „Kosten“**, die **iterativ durchführbar** ist.

Anwenderbezogene Anforderungen

Insb. mit Bezug auf KMU sind anwenderbezogenen Anforderungen zu gewährleisten; die Methodik muss gebrauchstauglich sein und möglichst geringe bis keine Kosten verursachen.

Die spezifisch resultierenden Anforderungen für die Entwicklung des Merkmalkatalogs und die Klassifikationsmethodik werden nachstehend gesondert aufgeführt.

4.2 Anforderungen Merkmalkatalog

Die modell- und anwenderbezogenen Anforderungen, die Relevanz für die Aufstellung und Ausgestaltung des Merkmalkatalogs haben, sind in Tabelle 4.1 zusammengefasst. Diese werden nachstehend kurz erläutert.

Tabelle 4.1 Modell- und anwenderbezogene Anforderungen zur Aufstellung des Merkmalkatalogs

Modellbezogene Anforderungen	Anwenderbezogene Anforderungen
Vollständigkeit	Verfügbarkeit der Daten
Überschneidungsfreiheit	Technische Erhebung der Daten
Einfluss auf Strategiewahl	
Umfang des Einflusses	

Flexibel skalierbar	
---------------------	--

Zentrale modellbezogene Anforderung ist die Vollständigkeit der ET-Merkmale. Diese sind vollständig zu erfassen, sodass alle möglicherweise relevanten Merkmale (abgeleitet aus dem SDT) berücksichtigt werden. Dies bildet die Ausgangsbasis aller weiteren Untersuchungen und erfordert daher eine fundierte und umfassende Analyse, um mögliche Folgefehler zu vermeiden (s. Abschnitt 5.1).

Hierauf aufbauend ist die weitgehende Überschneidungsfreiheit der ET-Merkmale zu gewährleisten. Zum einen sind gleiche, nur unterschiedlich benannte Merkmale zu identifizieren und zum anderen signifikante Korrelationen zwischen einzelnen Merkmalen auszuweisen bzw. durch Auswahl des repräsentierenden Merkmals aufzuheben (vgl. Abschnitt 5.2).

Zwei weitere modellbezogene Anforderungen betreffen den Einfluss der Merkmale auf die Strategiewahl. Hier ist einerseits zu untersuchen, ob das jeweils betrachtete Merkmal generell Einfluss auf die Wahl hat und andererseits, wie groß der Umfang der Beeinflussung (strategiebeeinflussend/ -ausschließend) ist. Diese kritische Überprüfung der angeführten Merkmale wird in Abschnitt 5.2 näher beschrieben.

Das Skalenniveau der Merkmale ist insb. bei der Auswahl möglicher Klassifikationsverfahren von Bedeutung. Je höher das Skalenniveau, desto mehr Verfahren sind einsetzbar (vgl. Abschnitt 6.5.1). Wird das Skalenniveau frühzeitig beschränkt, begrenzt sich die Anzahl einsetzbarer Verfahren und resultierend die Flexibilität für den Anwender. Um hier größtmögliche Flexibilität auch in Abhängigkeit von der Datenbeschaffenheit der anwendenden Unternehmen zu erlauben, soll das Skalenniveau möglichst hoch sein und nicht fixiert werden. Die Ausprägungen der ET-Merkmale sollen flexibel skalierbar sein, d. h. es sollen mehrere Niveaus abbildbar sein. Ziel ist es, diese unternehmensspezifisch ausprägen zu können (mögliches Skalenniveau: metrisch, ordinal, nominal; der Reihenfolge nach absteigend priorisiert).

Anwenderbezogen ergeben sich zwei wesentliche Anforderungen. Zum einen ist die Verfügbarkeit der Daten zu berücksichtigen und zum anderen, welche technischen Möglichkeiten für die Erhebung der Daten gegeben sind. Beide Aspekte haben Einfluss auf den Aufwand der Datenerhebung und hängen von unternehmensspezifischen Rahmenbedingungen (z. B. eingesetzte IT-Systeme, bestehende Daten) ab. Zudem entscheidet die Qualität der Eingangsdaten über die Qualität des Analyseergebnisses.

4.3 Anforderungen Klassifikationsmethodik

Die Anforderungen, die an die Systematik zur Zuordnung von NSV-Strategien zu Ersatzteilen (kurz: Klassifikationsmethodik) zu stellen sind, resultieren sowohl aus der Aufgabenstellung der multivariaten Datenanalyse als auch aus den unternehmensspezifischen Besonderheiten von KMU. Neben formalen und inhaltlichen Anforderungen an die Klassifikationsmethodik sind insb. auch Anforderungen an die Leistungsfähigkeit, Effizienz, Flexibilität sowie die praktische Anwendbarkeit zu berücksichtigen.

Formal muss die Methodik eine eindeutige Zuordnung von Ersatzteilen zu jeweils einer NSV-Strategie erlauben. Dabei sind die Ersatzteile anhand der Ausprägungen ihrer Ersatzteilmerkmale und unter Berücksichtigung eines Zielkriteriums einer geeigneten Strategie zuzuordnen. Aufgrund der in KMU häufig vorzufindenden breiten Produktpalette muss diese Zuordnung für eine Vielzahl unterschiedlicher Ersatzteile und daher automatisiert bzw. rechnergestützt erfolgen. Schließlich soll dem Anwender für ein beliebig großes Ersatzteilspektrum eine Entscheidungsunterstützung für die Auswahl einer optimalen NSV-Strategie zur Verfügung gestellt werden.

Bei der Entwicklung der Methodik ist insb. ihre praktische Anwendbarkeit bzw. Umsetzbarkeit zu gewährleisten. Da die Größe der zu analysierenden Datenmengen eine manuelle Auswertung unmöglich macht, erfolgt die Umsetzung der Klassifikationsmethodik mithilfe eines IT-Werkzeugs (Demonstrator). Die zur Klassifikation eingesetzten Verfahren müssen dabei in gängigen Softwareumgebungen implementiert sein, um eine universelle und praxisgerechte Anwendbarkeit sicherzustellen. Dadurch soll in Anbetracht der Vielfalt existierender Softwarelösungen eine leichte Übertragbarkeit sowie schnelle Umsetzbarkeit der Methodik in der Praxis ermöglicht werden. Hierbei wird angestrebt, den Demonstrator auf Basis von Softwareumgebungen, die keinen Lizenz- oder Anschaffungskosten unterliegen (Open Source Software) und durch die Anwender beliebig an die eigenen Bedürfnisse angepasst werden können, zu entwickeln. Folglich entsteht den anwendenden KMU nur ein geringer bzw. kein zusätzlicher Zeit- und Kostenaufwand.

Weiterhin ist zu berücksichtigen, dass der Anwender die in dem Demonstrator umgesetzte Klassifikationsmethodik intuitiv und ohne besondere Vorkenntnisse nutzen kann. Somit werden auch KMU, die i. d. R. nicht über entsprechend ausgebildetes Fachpersonal verfügen, befähigt, das Werkzeug aufwandsarm und effektiv zu bedienen. Gleichzeitig muss auch die inhaltliche Nachvollziehbarkeit und Verständlichkeit

der Ergebnisse gewährleistet werden, sodass der Anwender sie interpretieren und geeignete Maßnahmen ableiten kann. In diesem Zusammenhang ist auch eine hinreichende Transparenz des Lösungsprozesses von besonderer Bedeutung, um die Akzeptanz der Ergebnisse bei den Anwendern sicherzustellen. Black-Box-Lösungen, bei denen Wirkzusammenhänge innerhalb des Lösungsprozesses unbekannt bleiben und die Erklärungsfähigkeit der Ergebnisse eingeschränkt ist, sind daher zu vermeiden.

Neben den formalen und inhaltlichen Anforderungen sowie den Ansprüchen an die praktische Anwendbarkeit der Methodik sind ebenfalls Kriterien hinsichtlich der Leistungsfähigkeit und Effizienz des Klassifikationsverfahrens zu berücksichtigen. Aufgrund des meist stark diversifizierten Produktportfolios von KMU ist davon auszugehen, dass sich das zu klassifizierende Ersatzteilspektrum durch eine hohe Vielfalt auszeichnet und somit die Zuordnung einer Vielzahl von Ersatzteilen zu NSV-Strategien erforderlich ist. Darüber hinaus ist anzunehmen, dass die Ersatzteile jeweils durch eine hohe Anzahl verschiedener Ersatzteilmerkmale beschrieben werden, die in den Klassifikationsprozess einfließen sollen. Die Klassifikationsmethodik muss daher in der Lage sein, große Datenmengen effizient zu verarbeiten, sodass sowohl eine hohe Lösungsgüte als auch eine angemessene Rechenzeit erzielt werden können.

Des Weiteren muss die Methodik eine flexible Auswahl der in die Klassifikation eingehenden Ersatzteilmerkmale gewährleisten. In Abhängigkeit vom jeweiligen Einsatzgebiet und der Verfügbarkeit der erforderlichen Daten kann nicht immer die Gesamtheit aller relevanten Merkmale erhoben werden. Es muss daher sichergestellt werden, dass die Methodik die flexible Auswahl von Merkmalen erlaubt und je nach Datenverfügbarkeit unterschiedliche Teilmengen des Merkmalkatalogs verarbeiten kann. Neben statischen können hierbei auch dynamische Ersatzteilmerkmale klassifizierungsrelevant sein. Diese können im Laufe der Zeit unterschiedliche Werte annehmen, sodass die Methodik eine Wiederholung der Klassifikation für unterschiedliche Merkmalsausprägungen ohne großen Anpassungsaufwand zulassen muss. Um eine flexible Merkmalsauswahl sowie eine leichte Wiederholbarkeit der Klassifikation zu gewährleisten, ist ein modularer Aufbau der Methodik anzustreben. Dieser ermöglicht eine zügige und aufwandsarme Durchführung der Klassifikation bei veränderten Inputdaten, ohne dass größerer Anpassungsbedarf entsteht. Darüber hinaus erlaubt ein hinreichender Grad an Modularität auch eine aufwandsarme Neuordnung von neuen, bisher nicht klassifizierten Ersatzteilen zu einer NSV-Strategie.

Eine weitere Anforderung an die zu entwickelnde Methodik stellt der flexible Umgang mit unterschiedlich skalierten Merkmalen dar. In Abhängigkeit von Merkmalsart und

Datenverfügbarkeit können Merkmale unterschiedlich skaliert sein. Die Methodik muss folglich sowohl metrisch als auch ordinal sowie nominal ausgeprägte Merkmale verarbeiten können. Die in diesem Abschnitt aufgeführten Anforderungen, die bei der Entwicklung der Klassifikationsmethodik zu berücksichtigen sind, werden in Tabelle 4.2 zusammenfassend gegenübergestellt.

Tabelle 4.2 **Modell- und anwenderbezogene Anforderungen für die Entwicklung der Klassifikationsmethodik**

Modellbezogene Anforderungen	Anwenderbezogene Anforderungen
Eindeutige Strategiezuordnung	Implementierung in Open Source Software
Effiziente Verarbeitung großer Datenmengen	Einfache Anwendbarkeit
Modularer Aufbau (Ziel: flexible Merkmalsauswahl; Wiederholbarkeit; Neuordnung)	Verständlichkeit und Nachvollziehbarkeit der Ergebnisse bzw. des Lösungsprozesses
Umgang mit unterschiedlich skalierten Daten	

Die Bewertung der verschiedenen methodischen Ansätze gemäß den Anforderungen erfolgte qualitativ unter Berücksichtigung der spezifischen Fachliteratur und dem Erfahrungswissen aus dem industriellen Einsatz. Die Ergebnisse wurden anschließend durch forschungsstelleninterne sowie durch mit Unternehmensvertretern vorgenommenen Expertengesprächen validiert.

5 Entwicklung eines Merkmalkatalogs

Basierend auf den in Abschnitt 4.1 sowie 4.2 gestellten Anforderungen wird in diesem Kapitel der Merkmalkatalog als Grundlage der Methodik zur Klassifikation von ET entwickelt. Die besondere Herausforderung bei der Gruppierung liegt, ausgerichtet an den Anforderungen der KMU, in der Berücksichtigung einer hohen Variantenzahl mit einer daraus resultierenden stark heterogenen Population von Elektronikbaugruppen. Diese Variantenvielfalt und -heterogenität äußert sich in einer Vielzahl an ET-Merkmalen, welche grundsätzlich als Gruppierungskriterien herangezogen werden können. Um den Merkmalkatalog zu entwickeln, gilt es diese systematisch und vollständig zu erfassen und zu verdichten (vgl. Abbildung 5.1).

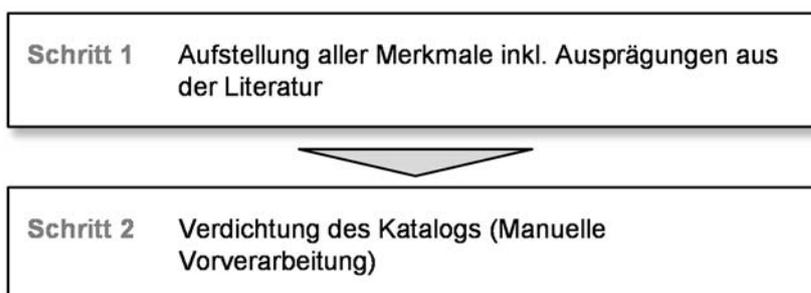


Abbildung 5.1 Zweistufiges Vorgehen zur Aufstellung des ET-Merkmalkatalogs

In einem ersten Schritt werden alle Merkmale, die in der Literatur als relevant für die Festlegung einer NSV-Strategie identifiziert wurden, differenziert aufgearbeitet und strukturiert zusammengestellt. Alle hierzu erforderlichen Vorgehensschritte, Daten und das resultierende Ergebnis sind in Abschnitt 5.1 aufgeführt.

Anschließend erfolgt die expertenwissengetriebene, manuelle Vorverarbeitung des Merkmalkatalogs, um die Anzahl möglicher Gruppierungskriterien zu reduzieren. Neben der Zusammenführung von Ersatzteilmerkmalsbezeichnungen ermöglichen es weitere Analysen und Auswertungen, die Anzahl sinnvoller Gruppierungskriterien im Kontext der Planung der NSV weiter zu reduzieren. Diese anhand von Befragungen und Experteninterviews vorgenommene Verdichtung ist in Abschnitt 5.2 detailliert erläutert. Ergebnis der zuvor genannten zwei Entwicklungsschritte ist ein Gesamtmerkmalkatalog, der die Eingangsgröße für die Entwicklung der Klassifikationsmethodik zur Bildung von ET-Klassen in Kapitel 6 ist.

5.1 Ersatzteilmerkmale in der Literatur

Durch den ersten Entwicklungsschritt, d. h. die umfangreiche Erhebung bestehender ET-Merkmale aus der Literatur, kann ein erster unbereinigter, nicht verdichteter Merkmalkatalog (Zwischenstand) entwickelt werden. Datenbasis für die Aufstellung des Merkmalkatalogs sind vorhandene Typologisierungen und andere u. a. tabellarisch aufgeführte ET-Eigenschaften, wie sie bereits exemplarisch im Stand der Forschung und den dort genannten Planungsansätzen aufgeführt sind (vgl. Kapitel 2 und 3). Basierend auf einer weitreichenden Literaturrecherche i. A. a. zentrale Ausarbeitungen (Baumann et al. 2008; Baumbach 1998; Biedermann 2008; Bothe 2003; Dombrowski und Bothe 2001; Dombrowski et al. 2010; Finke und Deuse 2010; Graf 2005; Haaß 2009; Kaiser et al. 2003; Loukmdis und Meyer 2006; Loukmidis und Luczak 2006; Meidlinger 1994; Pawellek 2013; Recknagel 2008; Rosentritt und Knigge 2010; Schmidt 2006; VDI 2892; Wienholdt 2011; Wrehde 2011) zu bestehenden Herausforderungen, Planungsansätzen und resultierenden ET-Eigenschaften im Kontext der NSV, kann folglich ein umfangreicher Merkmalkatalog erstellt werden. Der Fokus der Recherchen liegt auf Merkmalen von Elektronikbaugruppen, um resultierend einen möglichst breit zu verwendenden Ansatz zu generieren.

In dem Katalog sind die recherchierten Merkmale, deren Herkunft (literarische Angabe) sowie die jeweils definierten Merkmalsausprägungen aufgeführt. Auffällig ist, dass gleiche Merkmale unterschiedliche Merkmalsausprägungen besitzen und für Teile der Merkmale keine Ausprägungen definiert bzw. angedacht sind. In Summe ergeben sich 212 Merkmale mit unterschiedlichen Ausprägungen. Ein alphabetisch sortierter Ausschnitt des Merkmalkatalogs ist in Abbildung 5.2 dargestellt. Weitere Informationen über die Bereitstellung des gesamten Merkmalkatalogs befinden sich im Anhang.

Der Katalog ist nach diesem Entwicklungsschritt eine strukturierte Zusammenführung in der Literatur genannter Merkmale ohne weitere Verdichtung. Diese Merkmale stellen in Gesamtheit mögliche Gruppierungskriterien für die spätere Bildung der ET-Klassen dar. Offensichtlich ist, dass

- (1) grundsätzlich eine hohe Anzahl möglicher Kriterien besteht,
- (2) gleich bzw. ähnlich benannte Merkmale abweichend definierte Skalenniveaus besitzen und
- (3) sich für die Gesamtaufstellung resultierend ein gemischtes Skalenniveau ergibt.

Entwicklung eines Merkmalkatalogs

Merkmal	Ausprägung					Quellenangabe
	(+)				(-)	
Absatzrisiko						Baumann et al. 2008
Absatzrisiko / Risiko einer Überdeckung						Rosentritt und Knigge 2010
absolute Häufigkeit (des Objekts im Werk)	hoch	mittel	niedrig			Kaiser et al. 2003
alte Serienfertigungseinrichtungen können ausgemustert werden						Rosentritt und Knigge 2010
Anforderungen an die Produktentwicklung						Rosentritt und Knigge 2010
Angabe der Sicherheitsbestände	ja	nein				Bothe 2003, S. 110 f.; Biedermann 2008, S. 6
Anteil Gleichteile	hoch	mittel	gering			Dombrowski et al. 2010
Anzahl der Lager zur Sicherstellung der Ersatzteile	Einfachteile	Mehrfachteile				Biedermann 2008, S. 4
Anzahl der Lieferanten	0 - 200	201 - 500	501 - 1000	> 1000		Schmidt 2006, S. 36
Anzahl der Ressourcen	metrisch					Finke und Deuse 2010
Anzahl Teilelieferanten	10	...	5	...	1	Dombrowski et al. 2010
Anzahl Varianten	hoch	mittel	gering			Graf 2005
Artikelkritikalität (Versorgungsrisiko, Funktionsrisiko, Verfügbarkeitsrisiko, ...)						Loukmdis und Meyer 2006
Artikelwertigkeit (Preis, Umsatz, DB, ...)						Loukmdis und Meyer 2006
Aufarbeit- bzw. Reparierbarkeit						Graf 2005
Aufbau- bzw. Zerlegungsgrad	zerlegbar	zusammen- gesetzt				Biedermann 2008, S. 29
Aufwand für Fertigungsplanung						Baumann et al. 2008
Aufwand für Fertigungssteuerung						Baumann et al. 2008
Ausfallkritizität	Funktionsteil	Designteil				Recknagel 2008, S. 52
Ausfallverhalten	bekannt	Vorhersage gut möglich	Vorhersage schlecht möglich			Dombrowski und Bothe 2001, S. 792ff
Austauschfrequenz						Biedermann 2008
Austauschverhalten	Austausch ohne Spezialisten	Austausch von Spezialisten				Meidlinger 1994
Bauteilabkündigung						Bothe 2003, S. 84
Bedarfskonstanz	regelmäßig	unregelmäßig	sporadisch			Finke und Deuse 2010
Bedarfskonstanz RUS-Analyse (Vorhersagegenauigkeit der Bedarfe/ Verbräuche kurzfristig - XYZ-Analyse)	R - Regelmäßig (hoch X-Teil)	U - Unregelmäßig (mittel Y-Teil)	S - Sporadisch (gering Z-Teil)			Rosentritt und Knigge 2010
Bedarfsprognosefähigkeit	sehr hohe Güte	sehr geringe Güte				Finke und Deuse 2010

Abbildung 5.2 Ausschnitt Merkmalkatalog, unbereinigt

Neben den teilweise bestehenden gleichen Benennungen von Merkmalen zeigen sowohl die durchgeführten Recherchen als auch strukturierte Befragungen von Experten, dass einige Merkmale stark voneinander abhängen und teilweise eine gleiche Aussage bezwecken und folglich ineinander überführt werden können.

5.2 Identifikation relevanter Ersatzteilmerkmale (manuell)

Mit dem Ziel die Anzahl möglicher relevanter Gruppierungskriterien zu reduzieren und diese abschließend durch den Einsatz strukturabbildender Verfahren identifizieren zu können, sollen in diesem Abschnitt offenkundigen Redundanzen minimiert werden. Hierzu werden die Merkmale zunächst manuell vorverarbeitet und verdichtet, um redundante Daten zu beseitigen. Weitere Datenvorverarbeitungsschritte erfolgen anschließend durch Einsatz multivariater Analyseverfahren (vgl. Abschnitt 6.5). Hier können solche Merkmale identifiziert werden, die verfahrenstechnisch eine Auswahl einer NSV-Strategie nicht beeinflussen. Der in Abschnitt 5.1 aufgestellte Katalog adressierte hauptsächlich die Anforderung der Vollständigkeit. Durch die nachstehend erläuterten Aspekte soll eine möglichst hohe Überschneidungsfreiheit erreicht werden. Das erfordert, den Einfluss der Merkmale auf die Strategiewahl tiefergehend zu erfassen. Hierzu werden die erfassten (Ersatzteil-)Merkmale anhand definierter Parameter tiefergehend analysiert und eingestuft, u. a. hinsichtlich des Einflusses auf die Strategien „Produzieren“, „Wiederinstandsetzung und -verwendung“ und „(End-) Bevorraten“, den Umfang dieses Einflusses und weiteren Größen wie z. B. „produkt-, ressourcen- und marktorientiert“ und „dynamisch bzw. statisch“. Die zentrale Aufgabe ist, Parameterkombinationen zu identifizieren, durch die Merkmale eliminiert werden können. Die Parameter werden in den Merkmalkatalog aufgenommen und der Merkmalkatalog systematisch verdichtet. Hierbei wird zudem die Benennung angepasst. Merkmale mit gleicher Aussage werden umbenannt. Merkmale deren Einstufung hinsichtlich der Parameter auch nach Experten-Befragungen ungeklärt bleibt, verbleiben im Merkmalkatalog. Das Vorgehen wird nachstehend kurz erläutert.

Parameter 1: Einfluss auf die Strategiewahl

Durch den Parameter „Einfluss auf die Strategiewahl“ wird der Zusammenhang zwischen Strategie und den aufgeführten Merkmalen näher spezifiziert; die Parameterausprägungen zeigt Tabelle 5.1. Auffällig ist, dass zahlreiche Merkmale mit allen Strategien und nur wenige Merkmale mit nur einer Strategie in Zusammenhang stehen. Fokussiert werden zunächst Merkmale, die keinen oder einen indirekten Einfluss auf die Strategiewahl haben. Sie können ausgegrenzt werden, alle anderen Merkmale sind weiter zu analysieren. Nachstehend wird dies exemplarisch begründet.

Tabelle 5.1 Möglicher Einfluss des Merkmals auf die Strategiewahl

Abk.	Versorgungsstrategie	Abk.	Versorgungsstrategie
B	(End-)Bevorratung	WI	WiederInstandsetzung
K	Nutzung Kompatibler Teile	WV	WiederVerwendung
N	Nachfertigung	-	Kein bzw. indirekter Einfluss

Kein Einfluss besteht zum einen, wenn ein Merkmal die Anlageninstandhaltung und deren Umsetzung betrifft. In diesen Fällen ist die Ausgestaltung der Instandhaltungsstrategie entscheidend, demnach ist unerheblich, durch welche Versorgungsstrategie das ET zu Verfügung gestellt wird. Ein Einfluss ist daher ausgeschlossen. Das Merkmal „physische Verbundenheit zwischen ET und Anlage“ verdeutlicht diesen Sachverhalt und ist selbsterklärend; weitere Beispiele zeigt Abbildung 5.3.

Merkmal	Einfluss auf VS	(+)				(-)
absolute Häufigkeit (des Objekts im Werk)	-	hoch	mittel	niedrig		
Austauschverhalten	-	Austausch ohne Spezialisten	Austausch von Spezialisten			
Einsatz in Anlage	-	in einer Anlage (Einortteil)	in mehrerer Anlagen (Mehrortteil)			
Erklärungsbedürftigkeit	-					
Erklärungsbedürftigkeit der ET (Handhabung)	-	wenig erklärungsbedürftige ET	stark erklärungsbedürftige ET			
Erreichbarkeit	-	gut	mittel	schlecht		
Physische Verbundenheit zw. Ersatzteilen und Anlage	-					
Umgebungsbedingungen beim Einsatz	-					

Abbildung 5.3 ET-Merkmale mit Fokus Anlageninstandhaltung (Auszug)

Ein indirekter Einfluss liegt vor, sofern ein Merkmal Indiz für die Ausprägung eines oder mehrerer anderer Merkmale ist; dies ist oft bei allgemeinen Unternehmensangaben gegeben, z. B. sind die Merkmale „Branche“, „Materialart“ oder „Lieferantenbewertung“ zu nennen (weitere Beispiele s. Abbildung 5.4). Mit Bezug zum Merkmal Branche nach Schmidt (2006, S. 28) werden bspw. die Ausprägungen „Informations- und Kommunikationstechnologie ITK“, „Elektronik-/ Elektroindustrie“ und „Maschinen- und Anlagenbau“ differenziert. Diese Ausprägungen erlauben aber keine Aussage darüber, welche Strategie sinnvoll ist; grundsätzlich lässt sich aber u. a. auf den Anteil von mechatronischen Teilen und damit auf das Risiko von Bauteilabkündigungen schließen. Dies ist aber ein eigenständiges Merkmal im Katalog.

Entwicklung eines Merkmalkatalogs

Merkmalsname	Einfluss auf VS	(+)				(-)
Ausfallkritizität	-	Funktionsteil	Designteil			
Branche	-	Informations- u. Kommunikationstechnologie ITK	Elektronik-/ Elektroindustrie	Maschinen- und Anlagenbau		
Fertigungsart	-	Serienhersteller	Anlagenbauer	Kleinserienhersteller	Einzelmaschinenaubauer	Komponentenhersteller
Fertigungsart	-	Einzelfertigung	Einzel- und Kleinserienfertigung	Serienfertigung	Massenfertigung	
Funktionalität der ET	-	Ausfall des ET führt nicht zum Ausfall des PP	Ausfall des ET führt zum Ausfall des PP			
Industriezweig	-	Industriegüter	Konsumgüter			
Kernkompetenz	-	sehr hoch	hoch	mittel	gering	sehr gering
Lieferantenbewertung	-	regelmäßig	sporadisch	keine		
Marktdurchdringung	-	einzigter Kunde	mehrere Kunden			
Materialart	-					
Produktportfolio	-	vorhanden	nicht vorhanden			
Vorliegen von Vergangenheitsdaten und Erfahrungswerte	-	ja	nein			
Wettbewerb	-	Monopol	Oligopol	generische Produkte		

Abbildung 5.4 ET-Merkmale mit indirektem Einfluss auf die Wahl der VS (Auszug)

Parameter 2: Art und Umfang des Einflusses

Die Art und der Umfang beschreiben, wie der zuvor identifizierte Zusammenhang zwischen Strategien und Merkmalen ausgeprägt ist. Zu unterscheiden sind die Ausprägungen „beeinflussend“, „ausschließend“ und „bewertend“. Von besonderem Interesse ist die Kategorie „bewertend“. Diese Merkmale sind keine ET-Eigenschaften i. e. S., sondern verfolgen das Ziel die Strategieeignung einzustufen. Unterstützt wird die auch durch die fehlende Ausprägung der Merkmale (s. Abbildung 5.5).

Merkmalsname	Art/ Umfang Einflu	(+)				(-)
Aufwand für Fertigungsplanung	bewertend					
Aufwand für Fertigungssteuerung	bewertend					
kurzfristige Flexibilität zur Abfederung von Bedarfsspitzen und Sicherung eines hohen Servicegrades	bewertend					
langfristige Flexibilität (Reaktionsfähigkeit bei Bedarfsschwankungen)	bewertend					
Planungs- und Steuerungsaufwand	bewertend					

Abbildung 5.5 ET-Merkmale zur Bewertung der Strategieeignung (Auszug)

Parameter 3: Komponenten-/ Ressourcen- und Kundenorientierung

Durch den Parameter der Komponenten-/ Ressourcen- und Kundenorientierung wird eingegrenzt, welche Quelle die Ausprägung des Merkmals bestimmt (vgl. Abbildung 5.6). Zu unterscheiden ist, ob das Merkmal allein durch die Komponente (komponentenorientiert (Ko)), durch das Kunden- bzw. Marktverhalten (kundenorientiert (Ku)) oder durch den Prozess und damit die Ressourcen (ressourcenorientiert (R)) ausgeprägt wird (Wrehde 2011, S. 158; Finke und Deuse 2010, S. 40, 42).

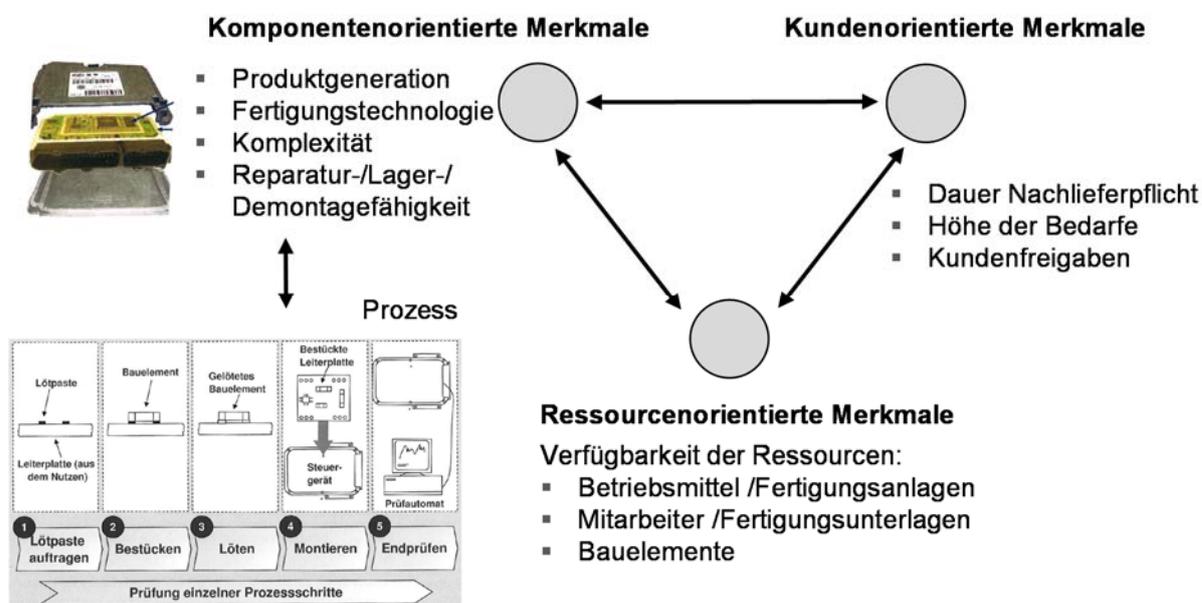


Abbildung 5.6 Komponenten-/ Ressourcen- und Kundenorientierung (i. A. a. Wrehde 2011, S. 158)

Hierbei ergeben sich erste Interpretationsspielräume. Es existieren überwiegend Merkmale, bei denen für jedes Objekt (ET/ Komponente) eindeutig eine o. g. Parameterausprägung vorgenommen werden kann. Der Bedarf kann bspw. für ET/ Komponente spezifisch ermittelt werden; er wird aber maßgeblich durch das Kundenverhalten bestimmt und daher die Parameterausprägung „Ku“ gesetzt. Es ist festzustellen, dass viele ET-Merkmale erst in Kombination mit einer VS ausprägbar sind (zusätzliche Parameterausprägung: Kombination Strategie (KS)). Die Ausprägung dieser Merkmale erfordert die explizite Ausgestaltung einer VS i. S. einer Feinplanung. Abhängig von der zugrunde gelegten VS ergeben sich voneinander abweichende Ausprägungen. Dieser Sachverhalt kann an Kostenfaktoren veranschaulicht werden. Lagerkosten z. B. resultieren aus einer Lagermenge und spezifischen Lagerkostensätzen (Finke und Deuse 2010, 2011). Die Lagermenge hängt im Fall der Nachfertigung maßgeblich von der Fertigungsstrategie und somit Losgröße ab, im Fall der Wiederinstandsetzung

Entwicklung eines Merkmalkatalogs

oder -verwendung aber von der Anzahl je Planungsperiode zurückgeführter ET. Folglich sind diese ET-Merkmale als Gruppierungskriterien für die Strategiewahl ungeeignet, für das Anlernen des später zu entwickelnden Data Mining Modells sind sie hingegen essentiell. Weitere Merkmale sind in Abbildung 5.7 abgebildet.

Merkmal	Komponenten-/ Ressourcen- und Kundenorientierung	(+)				(-)
alte Serienfertigungseinrichtungen können ausgemustert werden	KS, R					
Anforderungen an die Produktentwicklung	KS, Ko					
Beeinträchtigung der laufenden Serienproduktion (des Kerngeschäfts)	KS					
Beschaffungspreis/ Herstellkosten	KS, Ko, R	hoch	mittel	gering		
durchschnittliche Lagerdauer (Umschlagshäufigkeit)	KS, Ko, Ku					
Ersatzteillager	KS, R	eigenes, separates Lager	gemeinsames Lager mit der Produktion			
Ersatzteilpreis/-wert	KS, Ko, Ku	sehr hoch (Preisgruppe d-e)	hoch (Preisgruppe c-d)	mittel (Preisgruppe b-c)	gering (Preisgruppe a-b)	sehr gering (Preisgruppe 0-a)
Herstellkosten	KS, Ko, R					
Investitionen	KS					
Jahresbedarf von Ersatzteilen für eine wirtschaftliche Nutzung der Strategie	KS, Ko, Ku, R					
Kapitalbindungskosten	KS, Ko, R	metrisch				
Lagerbestand	KS, R					
Lagerbestandsvolumen (GMK-Analyse)	KS, Ko	groß (G)	mittel (M)	klein (K)		
Lagerhaltung, Sicherheitsbestände (bei gleichem Servicegrad)	KS, R					
Lagerhaltungsanforderungen und -kosten	KS, Ko, R	sehr hoch	hoch	mittel	gering	sehr gering
Lagerhaltungskosten	KS, Ko, R	hoch	mittel	niedrig		
Lagerisiko	KS, Ko	sehr geringes Risiko	geringes Risiko	mittleres Risiko	hohes Risiko	sehr hohes Risiko
Lagervolumen/Sperrigkeit/Größe (GMK-Analyse)	KS, Ko					
Losgröße	KS, R	metrisch				
MTTR (Mean Time To Repair)	KS, Ko, R	hoch	mittel	gering		
Preis (Einkaufs- oder Verkaufspreis)	KS, Ko, Ku	Preisklasse 1 (0-x €)	Preisklasse 2 (x-y €)	Preisklasse 3 (y-z €)		

Abbildung 5.7 ET-Merkmale zur Strategiefeinplanung (Auszug)

Parameter 4: Dynamik

Generell lassen sich statische und über den Betrachtungszeitraum veränderliche (dynamische) Merkmale voneinander abgrenzen. Dynamische Merkmale gilt es durch das Ersatzteilmanagement kontinuierlich zu erfassen, um eine Überwachung und fortlaufende Steuerung der ETV zu ermöglichen (Rosentritt und Knigge 2010, S. 149; Finke und Deuse 2010, S. 22). Um den resultierenden Aufwand für die spätere Steuerung zu minimieren, wird auch dieser Parameter berücksichtigt und ausgeprägt, eine weitere Verdichtung wird nicht vorgenommen.

Parameter 5: Inhaltliche Redundanzen

Durch diesen Parameter sollen abschließend inhaltliche Redundanzen aus dem Merkmalkatalog beseitigt werden. Wesentlich hierbei ist das Skalenniveau; es soll unternehmensspezifisch ausgeprägt werden, d. h. es werden weder das Skalenniveau an sich noch die Anzahl möglicher Merkmalsausprägungen etc. vorgegeben. Grundsätzlich wird angestrebt, das Skalenniveau möglichst hoch zu definieren, da so der höchste Informationsgehalt besteht und differenzierte Klassifikationsergebnisse erzielt werden können. In der Anwendung ist zudem eine Skalierung der Methodik auf ein niedriges Skalenniveau leichter zu realisieren (vgl. Abschnitt 6.5.1).

Da die Merkmalsausprägungen nicht mehr explizit vorgegeben sind, ergeben sich offensichtliche inhaltliche Redundanzen zwischen Merkmalen. Der Hauptunterschied lag in den voneinander abweichenden Definitionen der Merkmalsausprägungen; die Benennung der Merkmale unterscheidet sich (oft nur marginal), kann nun aber angeglichen werden, da inhaltlich die gleiche Aussage getroffen wird. Zu nennen sind hier bspw. „Bedarfsverlauf“, „Bedarfsverlaufscharakter“, „Bedarfskonstanz“, „Verbrauchsmodell“ und „Verbrauchscharakter“, die in ihrem Erklärungsgehalt synonym zueinander sind. Diese wurden umbenannt und zusammengeführt. Des Weiteren gibt es Merkmale, die stark korrelieren, z. B. die Merkmale „Lagerfähigkeit“ und „Lagerdauer“. Die Lagerfähigkeit wird bspw. nominal oder binär kodiert („hoch/ gering“ bzw. „ja/ nein“), wohingegen die maximale Lagerdauer metrisch skaliert ist (5,2 Jahre); im Grundsatz verfolgen aber beide Merkmale das Ziel, die Lagerfähigkeit eines ET bzw. einer ET-Komponente zu bewerten. Hier wird aber keine Vereinheitlichung vorgenommen, so dass kein Informationsverlust entsteht und der Anwender die Merkmale entsprechend der vorliegenden Datenbasis ausprägen kann.

Der gesamte Merkmalkatalog kann durch die zuvor beschriebenen expertenwissenbasierten Analysen auf 82 für eine Gruppierung von ET in ET-Klassen grundsätzlich relevante Merkmale reduziert werden. Diese bilden die Eingangsgröße für den sich anschließenden Data Mining Prozess. Einen Auszug der resultierenden Merkmale zeigt Abbildung 5.8. Dieser wird vollständig zu Verfügung gestellt. Weitere Informationen hierzu befinden sich im Anhang.

Entwicklung eines Merkmalkatalogs

Merkmale	Quellenangabe
Absatzrisiko	Baumann et al. 2008
Anteil Gleichteile	Dombrowski et al. 2010
Aufarbeit- bzw. Reparierbarkeit	Graf 2005
Aufbau- bzw. Zerlegungsgrad	Biedermann 2008, S. 29
Ausfallverhalten (MTBF (Mean Time Between Failure))	Graf 2005
Ausfallverhalten (Planbarkeit)	Rosentritt und Knigge 2010
Ausfallverhalten (Verlauf)	Bothe 2003, S. 97
Ausfallverhalten (Vorhersagbarkeit)	Dombrowski und Bothe 2001, S. 792ff
Bauteilabkündigung (Obsoleszenzrisiko)	Bothe 2003, S. 84
Bauteilabkündigung (Zeitpunkt)	Finke und Deuse 2010
Bedarf	Biedermann 2008
Bedarfshäufigkeit	Rosentritt und Knigge 2010
Bedarfskonstanz	Wienholdt 2011, S. 82
Bedarfsprognose (Fähigkeit)	Finke und Deuse 2010
Bedarfsprognose (Güte)	Rosentritt und Knigge 2010
Bedarfsprognose (Zeithorizont)	Rosentritt und Knigge 2010
Beschaffbarkeit am Markt	Rosentritt und Knigge 2010
Beschaffungspreis	Graf 2005
Bestand an Ersatzteilen	Biedermann 2008
Bevorratungsstufe (Lagerung)	Dombrowski und Bothe 2001, S. 793 f.

Abbildung 5.8 Relevante Gruppierungskriterien, vorverdichtet (Auszug)

6 Methodik zur Klassifikation von Ersatzteilen

Auf Grundlage der in Abschnitt 4.3 gestellten Anforderungen wird in diesem Kapitel schrittweise eine Methodik entwickelt, die dem Anwender eine Entscheidungsunterstützung für die Strategieauswahl in der NSV von Elektronikbaugruppen bereitstellt. Dazu werden analytische Verfahren der multivariaten Statistik bzw. des Data Mining eingesetzt, mit dessen Hilfe eine systematische Zuordnung von Ersatzteilen zu NSV-Strategien auf Basis quantitativer Kriterien ermöglicht wird.

6.1 Data-Mining und Multivariate Analysemethoden

Die multivariate Statistik beschäftigt sich mit statistischen Verfahren, welche eine gleichzeitige Untersuchung der Zusammenhänge zwischen mehreren Merkmalen (Variablen) ermöglichen (Kohn 2005, S. 445). Die Vielzahl der unterschiedlichen multivariaten Verfahren kann hinsichtlich ihres Anwendungsbezugs grundsätzlich in zwei übergeordnete Verfahrensgruppen, strukturabbildende (bzw. strukturprüfende) und strukturenentdeckende Verfahren eingeordnet werden (Backhaus 2011, S. 13). Strukturabbildende Verfahren werden zur Überprüfung von Zusammenhängen zwischen Variablen eingesetzt, während strukturenentdeckende Verfahren das Ziel der Entdeckung von Zusammenhängen zwischen Variablen oder zwischen Objekten verfolgen (Backhaus 2011, S. 13 f.; Kohn 2005, S. 447 ff.). Mit Objekten sind an dieser Stelle die Untersuchungseinheiten, in dem hier betrachteten produktionstechnischen Kontext somit die ET gemeint, welche anhand ihrer Eigenschaften, die sich in den Merkmalen bzw. Variablen ausdrücken, charakterisiert werden können (vgl. Hartung und Elpelt 2007, S. 18).

In der betrieblichen Praxis werden multivariate statistische Verfahren häufig im Rahmen von Analysen großer Datenbestände eingesetzt, die unter dem Begriff Data Mining zusammengefasst werden (Bachmann et al. 2014, S. 165). Data Mining bezeichnet die Extraktion von implizitem Wissen aus Daten, indem unbekannte und nicht-triviale Strukturen, Zusammenhänge und Trends in großen Datenmengen aufgedeckt werden (Cleve und Lämmel 2014, S. 38; Otte et al. 2004, S. 17). Die Verfahren des Data Mining nutzen dabei Prinzipien und Techniken der multivariaten Statistik, die zur Lösung komplexer, nicht-linearer und hoch-dimensionaler Problemstellungen erweitert und verbessert werden (Otte et al. 2004, S. 116). Im Kontext des Data Mining werden die Objekte als Beispiele und die Merkmale als Attribute bezeichnet. In dieser Arbeit werden die Begriffe daher jeweils synonym verwendet.

Bei der Anwendung von Data Mining Methoden muss ein sog. Data Mining Modell anhand einer Teilmenge der Objekte, der sog. Trainingsmenge, gelernt werden. Dieses Modell bildet die bestehenden Zusammenhänge in den Daten quantitativ ab. Analog zu der Unterteilung multivariater Analysemethoden in strukturabbildende und strukturentdeckende Verfahren erfolgt eine Differenzierung der Data Mining Methoden anhand des eingesetzten Lernverfahrens in überwachte und unüberwachte Lernverfahren (s. Abbildung 6.1).

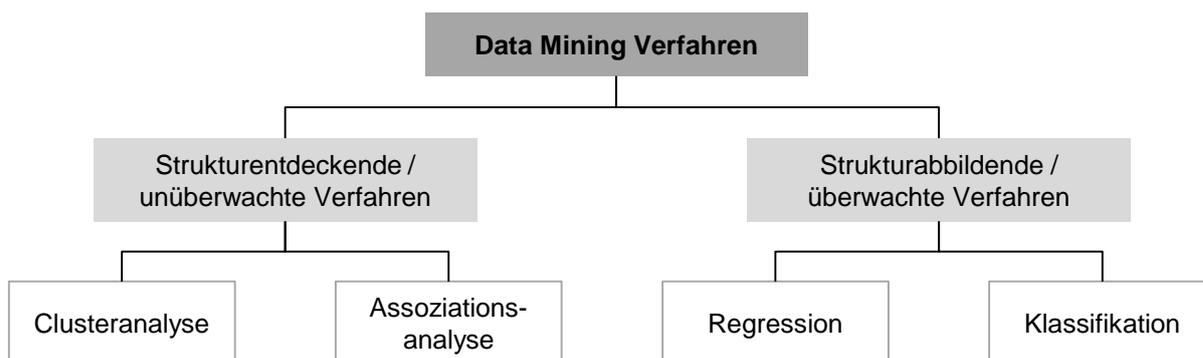


Abbildung 6.1 Data Mining Verfahren (i. A. a. Cleve und Lämmel 2014, S. 57 ff.)

Bei strukturabbildenden bzw. überwachten Verfahren wird eine Funktion gelernt, die jedem Eingabewert (Objekt) einen Ausgabewert (Label) zuordnet. Ziel ist es, mithilfe einer repräsentativen Trainingsmenge der Objekte, für welche Ausgabewerte bekannt sind, eine möglichst allgemeingültige Zuordnungsregel von Objekten zu Labeln zu ermitteln. Dadurch soll eine weitestgehend korrekte Zuweisung von Ausgabewerten zu bisher noch nicht zugeordneten Eingabewerten ermöglicht werden. Beispiele für überwacht lernende Verfahren sind Klassifikations- und Regressionsverfahren. Strukturentdeckende bzw. unüberwachte Verfahren werden hingegen dann verwendet, wenn vor der Analyse noch keine Kenntnisse über Zusammenhänge zwischen Objekten oder Merkmalen vorliegen und diese im Rahmen der Untersuchung erst aufgedeckt werden sollen. Eine vorher bekannte Zuordnung von Objekten zu Labeln ist dabei nicht gegeben. Typische Vertreter unüberwacht lernender Verfahren sind die Clusteranalyse sowie die Assoziationsanalyse.

6.2 Vorgehensweise zur Datenanalyse

Zur strukturierten Durchführung von Datenanalysen mittels Data Mining Methoden wurden in Wissenschaft und Praxis verschiedene Vorgehensmodelle entwickelt, die unter dem Begriff Knowledge Discovery in Databases (KDD) oder Data Mining Vorge-

hensweisen zusammengefasst werden (Lieber et al. 2013, S. 388). Diese Modelle stellen umfassende Systematiken zur zielgerichteten Abwicklung von Data Mining Projekten bereit, mit deren Hilfe große Datenmengen intelligent ausgewertet werden können. Die meisten der etablierten KDD-Modelle sind für das Banken- und Versicherungswesen entwickelt worden und lassen sich nur eingeschränkt auf den produktionstechnischen Kontext übertragen (Lieber et al. 2013, S. 388; Deuse et al. 2014). Sie gehen von relativ homogenen, bereits zusammengeführten Datenbeständen aus und werden der Heterogenität industrieller Daten sowie der Vielzahl von Datenquellen im industriellen Umfeld nicht gerecht. So liegen in Produktionsbetrieben die Daten häufig in verschiedenen IT-Systemen vor, bspw. Manufacturing Execution oder Computer Aided Design Systemen, deren zielgerichtete Analyse eine vorgelagerte Datenintegration erfordert.

Ein auf die Anforderungen der industriellen Produktion ausgerichtetes Modell, das unter dem Namen Knowledge Discovery in Industrial Databases (KDID) bekannt ist, wird hingegen von Lieber, Erohin und Deuse (2013, S. 390 ff.; Deuse et al. 2014, S. 382 ff.) vorgestellt. Das KDID-Prozessmodell umfasst neun Schritte, die in interdisziplinären Teams sowohl mit Mitarbeitern aus den betroffenen Unternehmensbereichen als auch mit IT- und Data Mining Experten durchgeführt werden. Nach bestimmten Vorgehensschritten sind Meilensteine vorgesehen, die der Überwachung des Projektfortschritts und der bereits erreichten Ergebnisse dienen (Deuse et al. 2014, S. 382). Der KDID-Prozess mit seinen einzelnen Vorgehensschritten ist in Abbildung 6.2 dargestellt.

Da die hier zu entwickelnde Klassifikationsmethodik die Auswertung und Analyse umfangreicher produktionstechnischer Datenbestände erfordert, soll der KDID Prozess als Grundlage für die weitere methodische Vorgehensweise dienen. Der KDID-Prozess stellt dabei jedoch einen allgemeinen Ansatz zur Wissensentdeckung in industriellen Datenbeständen dar. Für die konkrete Aufgabe der Strategiewahl in der Nachserie sind daher Spezifizierungen der Vorgehensschritte erforderlich. Aus diesem Grund werden die einzelnen Vorgehensschritte in den nachfolgenden Abschnitten erläutert und hinsichtlich der verfolgten Zielsetzung der Methodik anwendungsspezifisch ausgeprägt.

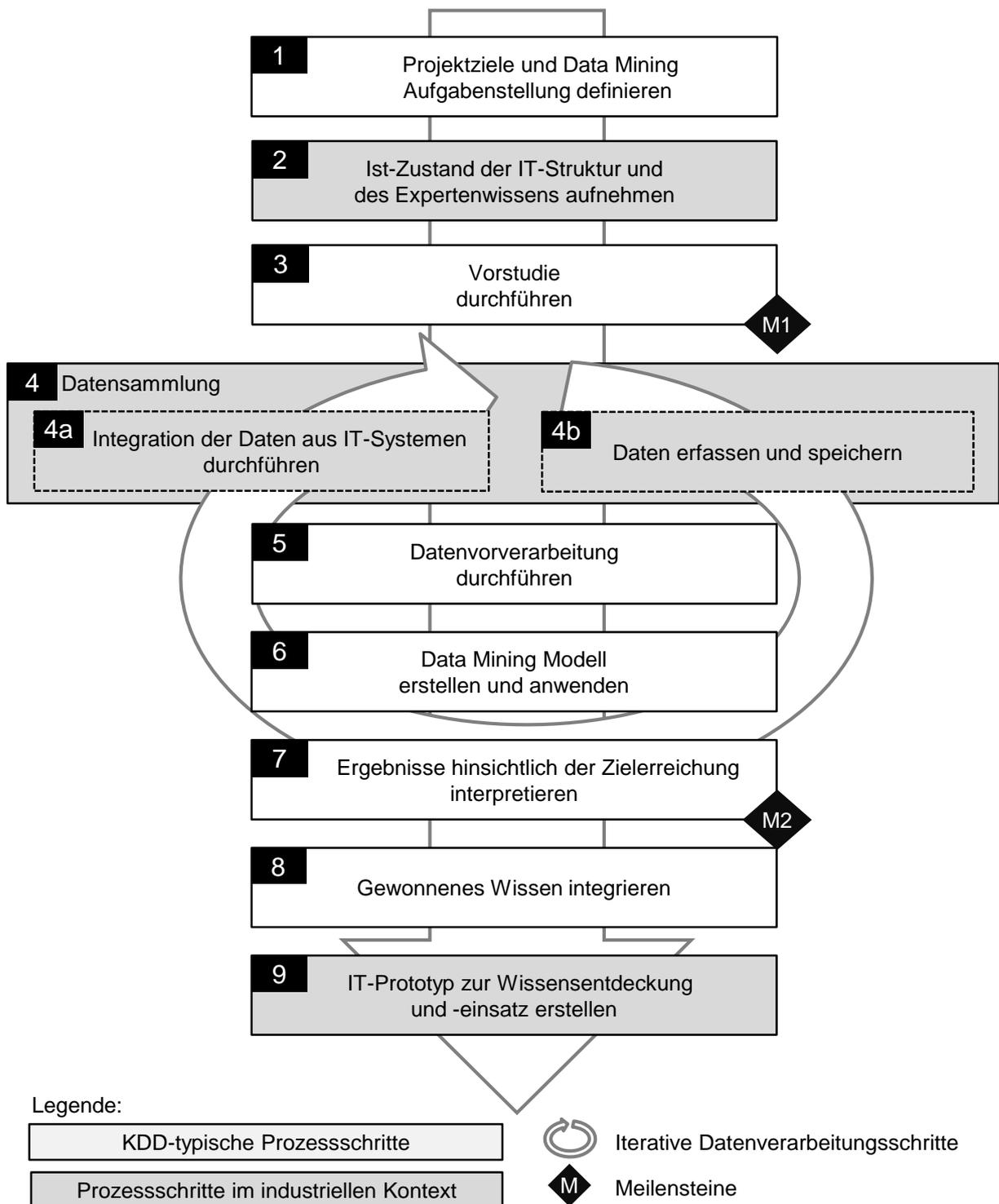


Abbildung 6.2 KDID-Prozess (Lieber et al. 2013, S. 390)

6.3 Definition der Projektziele und Data Mining Aufgabenstellung

Der erste Schritt bei der Durchführung einer Data Mining Aufgabe besteht darin, die zu untersuchende Problemstellung inhaltlich abzugrenzen sowie die Zielsetzung der Analyse zu spezifizieren (Lieber et al. 2013, S. 390). Dabei erfolgt eine Eingrenzung auf die für die Lösung der Problemstellung relevante Verfahrensgruppe (überwacht oder unüberwacht) und die potenziell zur Zielerreichung geeigneten Data Mining Verfahren (Deuse et al. 2014, S. 384 ff.).

Im hier betrachteten Anwendungskontext soll eine Methodik entwickelt werden, die dem Anwender eine Entscheidungsunterstützung bei der Auswahl der NSV-Strategie ermöglicht. Dabei soll einzelnen ET in Abhängigkeit ihrer Merkmalsausprägungen jeweils eine der vier produktionsnahen NSV-Strategien „Nachfertigung“, „(End-)Bevorzugung“ sowie „Wiederinstandsetzung und -verwendung“ zugeordnet werden. Diese Zielstellung entspricht dem Prinzip der Klassifikationsverfahren als Vertreter der überwachten lernenden Data Mining Verfahren. Klassifikationsverfahren haben das Ziel, die Objekte \vec{x} eines Datensatzes anhand ihrer Merkmalsausprägungen in Klassen einzuteilen. Auf Basis von Objekten, deren Klasse bereits bekannt ist, erfolgt eine Klassifikation neuer Objekte ohne bekannte Klassenzugehörigkeit. So wird jedem Objekt $\vec{x} \in \{\vec{x}_1, \vec{x}_2, \dots, \vec{x}_n\}$ mithilfe der Funktion $f: \vec{x} \rightarrow y$ ein (Klassen-) Label $y \in \{y_1, y_2, \dots, y_k\}$ zugeordnet. Der Vektor \vec{x} setzt sich dabei aus den einzelnen Merkmalsausprägungen des jeweiligen Objektes zusammen.

Bei Klassifikationsverfahren ist die Anzahl potenzieller Klassen endlich, sodass im Gegensatz zu Regressionsverfahren nur endlich viele (diskrete) Ausgabewerte möglich sind. Existieren nur zwei verschiedene Ausgabewerte, wird die Klassifikationsaufgabe als Zweiklassenproblem bezeichnet. Im Falle von mehr als zwei Labels handelt es sich um Mehrklassenprobleme (Alpaydin 2008; Mierswa 2009). Die Zuordnung von Ersatzteilen zu den vier NSV-Strategien entspricht demnach einem Mehrklassenproblem.

Klassifikationsverfahren können entsprechend ihrer Vorgehensweise in zwei grundsätzliche Verfahrensgruppen differenziert werden. Bei den instanzbasierten Klassifikationsverfahren werden neue Objekte direkt anhand von bereits klassifizierten Beispielen zu den vorhandenen Klassen zugeordnet. Als Entscheidungskriterium dient dabei bspw. die Ähnlichkeit der neuen Objekte zu den bereits zugeordneten Objekten der jeweiligen Klasse (k-Nearest-Neighbour-Verfahren). Die zweite Verfahrensgruppe verwendet zur Lösung des Zuordnungsproblems hingegen nicht direkt die Beispiele

selbst, sondern erstellt anhand der Beispieldaten ein Modell, welches zur Klassifikation neuer Objekte herangezogen wird. (Cleve und Lämmel 2014, S. 83) Eine Übersicht der bekanntesten und weit verbreitetsten Klassifikationsverfahren zeigt Abbildung 6.3.



Abbildung 6.3 Übersicht verbreiteter Klassifikationsverfahren

Die Anwendung von modellbasierten Verfahren erfolgt in drei Vorgehensschritten. Zunächst wird das Klassifikationsmodell innerhalb der Trainingsphase mithilfe einer Teilmenge der Objekte, für welche die Klassenzugehörigkeit bekannt ist, gelernt. Diese Teilmenge wird auch als Trainingsmenge bezeichnet. Das Ergebnis der Trainingsphase ist ein Modell bzw. eine Funktion, die jedem Objekt in Abhängigkeit seiner Merkmalsausprägungen ein Label zuordnet. Die Güte dieses Modells wird anschließend unter Verwendung von Gütekriterien im Rahmen der Testphase bewertet. Dazu wird anhand einer Testmenge, d. h. eine Teilmenge der Objekte, deren Label ebenfalls bekannt sind, geprüft, wie hoch der Anteil der durch das Modell richtig klassifizierten Objekte ist. In der letzten Phase, der Anwendungsphase, wird das Modell schließlich auf bisher nicht klassifizierte Objekte angewandt. (Han et al. 2011, S. 287 f.) Somit wird diesen Objekten auf Basis der gelernten Zusammenhänge jeweils ein geeignetes Label zugeordnet.

Übergeordnetes Zielkriterium bei der Auswahl von NSV-Strategien für die einzelnen Ersatzteile ist die Minimierung der für die Strategiewahl entscheidungsrelevanten Kosten. Neben variablen Kosten, wie Material-, Lohn- und Maschinenkosten sind dabei fixe Kosten, z. B. erforderliche Neuinvestitionen oder Kosten für technische Anpassungen der Fertigungseinrichtungen, zu berücksichtigen. Eine umfassende Übersicht über die entscheidungsrelevanten Kostenarten im Kontext der kostenoptimalen Gestaltung der NSV liefert das IGF-Forschungsvorhaben „Kostenoptimale Bevorratung nach EOP“ (Finke und Deuse 2010, S. 86 ff.). In dem Vorhaben werden ergänzend zu den

relevanten Produktionskosten wesentliche Logistikkosten für die Auslegung der NSV-Strategie identifiziert und in ein Optimierungsmodell überführt.

In der betrieblichen Praxis liegen häufig bereits Erfahrungswerte, z. B. in Form historischer Daten, bzgl. der Höhe einzelner mit der jeweiligen Strategie verbundenen Kostenpunkte vor. Auf Basis dieser Daten können unter Berücksichtigung der entscheidungsrelevanten Kostenarten die Gesamtkosten für die jeweiligen Strategien für einzelne Ersatzteile ermittelt werden. Mithilfe der Kostenabschätzungen kann für einzelne Ersatzteile die jeweils kostenminimale Strategie gewählt werden. Eine übergreifende Kostenermittlung für alle Ersatzteile über das gesamte Produktspektrum ist aufgrund der hohen Produktvielfalt in KMU i. d. R. mit einem nicht vertretbaren Aufwand verbunden. Daher soll hier nur ein kleiner Teil des Ersatzteilspektrums kostentechnisch bewertet und geeigneten Strategien zugeordnet werden. Diese Teilmenge kann anschließend zum Training des Data Mining Modells genutzt werden, um anhand der Beispieldaten eine allgemeingültige Zuordnungsregel zu entwickeln, welche nicht klassifizierten Ersatzteilen eine möglichst kostengünstige Strategie zuweist. Das Modell stellt somit einen Zusammenhang zwischen den Ausprägungen der Ersatzteilmerkmale und der jeweils kostenminimalen NSV-Strategie her.

6.4 KDID-Schritte 2 - 4

Nach der Präzisierung der Aufgabenstellung und Zielsetzung müssen in einem nächsten Schritt die zur Klassifikation zu verwendenden Objekte und Variablen bestimmt werden. Im industriellen Umfeld werden dazu zunächst die zu untersuchenden Daten aus den Datenbanken des Unternehmens erhoben. Aus der Grunddatengesamtheit werden dabei die für die Untersuchung relevanten Objekte und Merkmale selektiert (Windt et al. 2011, S. 230). Nach der Auswahl der Daten müssen Objekte und Merkmale in eine für die Klassifikationsverfahren zu verarbeitende Form gebracht werden. Dies erfordert die Aufstellung einer Rohdatenmatrix (vgl. Abbildung 6.4), die den Ausgangspunkt der Klassifikation bildet (Backhaus 2011, S. 399).

	Merkmal 1	Merkmal 2	...	Merkmal p
Objekt 1	x_{11}	x_{12}	...	x_{1p}
Objekt 2	x_{21}	x_{22}	...	x_{2p}
...
Objekt n	x_{n1}	x_{n2}	...	x_{np}

Abbildung 6.4 Aufbau einer Rohdatenmatrix (Kaufman und Rousseeuw 2005, S. 4)

Die zu gruppierenden Objekte ergeben sich durch die Zielsetzung der NSV-Strategiewahl, d. h. die Strukturierung eines Ersatzteilspektrums in Klassen. Die Objekte sind somit die in einem Unternehmen vorzuhaltenden Ersatzteile oder ET-Komponenten. Die in der Rohdatenmatrix inbegriffenen Merkmale entsprechen den in Abschnitt 5.2 verdichteten Merkmalen des Merkmalkatalogs. Für jedes Ersatzteil sind strukturiert gemäß der Vorgehensschritte 2-4 des KDID die Merkmalsausprägungen unternehmensspezifisch festzulegen. Ausgehend von der Aufnahme des Ist-Zustands der IT-Struktur und des Expertenwissens (Schritt 2) werden eine Vorstudie (Schritt 3) und die eigentliche Datensammlung (Schritt 4) durchgeführt. Das Vorgehen wird hier zunächst theoretisch beschrieben und in Abschnitt 7.1 für den bestehenden Anwendungskontext konkretisiert.

Um potenzielle Datenquellen zu identifizieren, sind die IT-Infrastruktur zu untersuchen und der relevante Datenbestand einzugrenzen. Eine enge Einbindung von Anwendern ist unabdingbar, um das v. a. im After-Sales-Bereich vermehrt implizit vorzufindende, aber auch explizite Hintergrund- und Expertenwissen in den KDID einzubinden. Historisch gewachsene IT-Strukturen sowie organisatorische und technologische Restriktionen im Planungs- und Produktionsumfeld führen i. d. R. zu stark heterogenen, unvollständigen und inkonsistenten Datenbeständen, die nicht unmittelbar für automatisierte Datenanalysen nutzbar sind und zunächst mit hohem Initialaufwand aufbereitet werden müssen. Dies trifft insb. auf Daten im Umfeld der Ersatzteilversorgung zu. U. U. fehlen aber auch generell IT-Strukturen für eine aufwandsarme Datengewinnung, verschärft tritt diese Situation oft bei KMU auf. Hier fehlen aufgrund von langfristiger Bindung an IT-Systeme, mangelnder Kompatibilität und Fachwissen durchgängige IT-Strukturen (viele vereinzelte Datenquellen, oft MS-basiert) und teilweise sogar gängige IT-Systeme wie bspw. ERP-Systeme (Meyer 2013, S. 1, 7 ff.). Durch die strukturiert eingeplante und expertenwissenbasierte Wissensgewinnung kann der häufig fehlenden Durchgängigkeit in IT-Strukturen im produktionsnahen Umfeld entgegengewirkt, das Datenverständnis insgesamt gefördert und die Entdeckung von Redundanzen in den Daten zusätzlich unterstützt werden (Deuse et al. 2014).

Der dritte Schritt sieht eine Vorstudie anhand eines repräsentativen Datenausschnitts vor, um offenkundige Auffälligkeiten, z. B. die Datenqualität oder Zusammenhänge zwischen Datensätzen betreffend, zu identifizieren. Durch dieses Vorgehen können z. B. die bei der Aufstellung und Verdichtung des Merkmalkatalogs formulierten Hypothesen bzgl. des in den Daten enthaltenen impliziten Wissens bestätigt oder widerlegt oder neue Hypothesen gebildet werden (Deuse et al. 2014).

Die sich anschließende Datensammlung ist der grundlegende und oft unterschätzte Schritt zur Bereitstellung einer vollständigen Datenbasis aus industriellen Daten. Er umfasst die Integration der Daten aus den IT-Systemen (a) und die zusätzliche Erfassung und Speicherung von Daten (b), sofern diese nicht ausschließlich aus IT-Systemen zusammenführbar sind. Dementsprechend gilt es hier, die notwendigen operativen und technischen Voraussetzungen für die Integration, Sammlung, Speicherung, Aufbereitung und/ oder Abfrage von Produktions- und Planungsdaten zu schaffen (Lieber et al. 2013, S. 391).

6.5 Datenvorverarbeitung

Nachdem die zur Ersatzteilklassenbildung zu verwendenden Daten ausgewählt und in Form einer Rohdatenmatrix beschrieben worden sind, müssen sie anschließend für die Durchführung der Klassifikation entsprechend aufbereitet werden. Dieser Schritt ist erforderlich, da die im Unternehmen vorliegenden Daten i. d. R. unvollständig, ungünstig skaliert sowie teilweise redundant oder unwichtig sind (Runkler 2010, S. 2 ff.). Im Rahmen der Vorverarbeitung müssen daher Datenlücken bzw. Fehlwerte aufgedeckt und beseitigt werden (Kantardzic 2011, S. 31 ff.; Petersohn 2005, S. 62). Darüber hinaus sind die Daten um Fehler, insbes. in Form von Ausreißern zu bereinigen, die das Data Mining Modell stark beeinflussen und verfälschen können (Han und Kamber 2010, S. 61). Bei Ausreißern handelt es sich um Objekte, die verglichen mit den anderen Objekten des Datensatzes eine sehr ungewöhnliche Kombination von Ausprägungen aufweisen (Backhaus 2011, S. 449).

Zudem muss im Vorfeld der Anwendung eines Klassifikationsverfahrens häufig eine Vergleichbarkeit der für die Klassenbildung zu verwendenden Merkmale sichergestellt werden, indem die Variablen, falls erforderlich, auf ein gemeinsames Skalenniveau gebracht werden und eine einheitliche Maßeinheit erhalten (Otte et al. 2004, S. 65). Darüber hinaus ist zu gewährleisten, dass nur solche Merkmale in die Klassifikation einfließen, die zur Trennung der Klassen beitragen. Irrelevante Variablen sind hingegen von der Klassifikation auszuschließen (Han und Kamber 2010, S. 75). Neben dem Einfluss irrelevanter Variablen müssen auch ungewollte Verzerrungen der Klassifikationsergebnisse durch korrelierte, d. h. statistisch voneinander abhängige Variablen, verhindert werden.

Die Berücksichtigung dieser Vorverarbeitungsmaßnahmen und der Umgang mit potentiellen Fehlerquellen sind entscheidend für die Lösungsgüte des Klassifikationsmodells (vgl. Kantardzic 2011, S. 32 f.). Daher werden in den folgenden Abschnitten geeignete Ansätze zur Vorverarbeitung der Daten vorgestellt, die in der hier verfolgten Methodik Anwendung finden.

6.5.1 Skalenniveau der Merkmale

Merkmale bzw. Variablen können unterschiedliche Skalenniveaus besitzen. Eine Skala dient der numerischen Repräsentation der empirischen Eigenschaften der Variablen (Petersohn 2005, S. 64). Es werden nominal, ordinal, intervall und rational skalierte Merkmale unterschieden (s. Abbildung 6.5). Nominal skalierte Merkmale stellen qualitative Eigenschaften dar, deren Ausprägungen sich lediglich nach dem Kriterium der Gleichheit bzw. Verschiedenartigkeit ordnen lassen (z. B. Farben) (Kohn 2005, S. 13).

Skala	Skalenniveau	Mögl. Rechenoperationen	Datentypbezeichnung	Beispielausprägungen
Nicht-metrische Skalen	Nominal	Häufigkeiten	<u>Nominal</u> / Aufzählung / Set / Klasse / Menge	[demontagefähig, nicht demontagefähig]
	Ordinal	Median, Quantile	<u>Diskret</u> / Set / Menge	Ungleiche Skalenaabstände: Bedarfsprognosegüte [gering, hoch, sehr hoch]
Metrische Skalen	Intervall	Mittelwerte, Streuungen, Addition, Subtraktion	<u>Numerisch</u> : Integer, Real	Gleich Skalenaabstände: Maximale Lagerdauer [2 Jahre, 5 Jahre, 10 Jahre]
	Rational	Mittelwerte, Streuungen, Addition, Subtraktion, Multiplikation, Quotient	<u>Numerisch</u> : Integer, Real	Messwerte aller Art: Produktionsstückkosten [1,55 €/Stck., 3,60 €/Stck., 7,20 €/Stck.]

Abbildung 6.5 Skalenniveau (i. A. a. Otte et al. 2004, S. 64)

Einen Spezialfall nominal skalierten Merkmale bilden binäre Variablen, da sie nur zwei verschiedene Ausprägungen annehmen können (z. B. demontagefähig, nicht demontagefähig) (Deuse 1998, S. 53). Im Gegensatz zu nominalen Merkmalen können die Ausprägungen ordinal skalierten Variablen in eine Rangfolge gebracht werden, wobei die Differenzen zwischen den Rangwerten jedoch nicht interpretierbar sind. Ein Beispiel für ordinale Merkmale stellt die Prognosegüte des Kundenbedarfs dar, wobei nach einer geringen, hohen und sehr hohen Güte differenziert werden kann. Intervall sowie rational skalierten Merkmalen liegt eine metrische Skala zugrunde, sodass die

Merkmalsausprägungen reelle Zahlen und die Abstände zwischen den Merkmalsausprägungen somit interpretierbar sind (Kohn 2005, S. 14). Im Gegensatz zu intervall skalierten Merkmalen (z. B. maximale Lagerdauer) besitzen rational skalierte Merkmale (z. B. Stückkosten) einen natürlichen Nullpunkt (Otte et al. 2004, S. 64 f.).

Ausgehend von binären Merkmalen nehmen sowohl das Skalenniveau als auch der Informationsgehalt der Daten zu. Daher ist zur Bildung von Ersatzteilklassen möglichst ein metrisches Skalenniveau für alle in die Klassifikation eingehenden Merkmale anzustreben. Je nach Datenverfügbarkeit der Unternehmen können jedoch nicht immer alle Merkmale metrisch ausgeprägt werden. Wenn Merkmale unterschiedlichen Skalenniveaus zur Klassenbildung verwendet werden sollen, sind im Vorfeld der Anwendung einer Vielzahl von Klassifikationsverfahren spezielle Maßnahmen (z. B. Normalisierung, Diskretisierung) zu ergreifen, um die Vergleichbarkeit der Merkmale zu gewährleisten. Da die in Abschnitt 6.6.2 ausgewählten Verfahren zur Bildung von Ersatzteilklassen gemischt skalierte Daten verarbeiten können, ist eine Vereinheitlichung des Skalenniveaus im Rahmen der Datenvorverarbeitung hier jedoch nicht erforderlich.

6.5.2 Umgang mit Fehlwerten

Häufig sind die in den Datenbanken der Unternehmen abgelegten und gespeicherten Daten unvollständig. Die Ursachen hierfür sind vielfältig und reichen von ausgefallenen Sensoren und Übertragungsfehlern bis hin zu fehlerhaften Handaufschreibungen (Otte et al. 2004, S. 74). Bei der Anwendung von Data Mining Verfahren müssen Merkmale bzw. Objekte mit unvollständigen Daten entweder ignoriert oder Datenlücken sinnvoll ergänzt werden, um möglichst valide Ergebnisse erzielen zu können. Zum Umgang mit Fehlwerten steht dabei eine Vielzahl von Möglichkeiten zur Verfügung.

Die einfachste und schnellste Möglichkeit besteht darin, das Merkmal oder das Objekt mit einem oder mehreren Fehlwerten aus der Rohdatenmatrix zu entfernen (Kantardzic 2011, S. 36). Gelöschte Objekte gehen dabei nicht als Eingangsdaten in das Klassifikationsverfahren ein und müssen nachträglich einer der gebildeten Klassen manuell zugeordnet werden. Das Entfernen ganzer Merkmale kann hingegen mit einem Informationsverlust verbunden sein, wenn das Merkmal für eine Vielzahl von Objekten Ausprägungen besitzt, die durch das Löschen des Merkmals verloren gehen. Das Entfernen von Objekten oder Merkmalen ist daher nur dann sinnvoll, wenn der Datensatz nur wenige Fehlwerte besitzt und möglichst viele Informationen erhalten bleiben.

Um einen Informationsverlust zu vermeiden, können fehlende Werte jedoch auch sinnvoll ergänzt werden. Bspw. können geeignete Werte manuell durch Unternehmensexperten nachträglich in die Rohdatenmatrix eingefügt werden. Aufgrund des hohen Aufwands zur Durchsicht und Korrektur der Daten bietet sich dieser Ansatz jedoch ebenfalls nur bei einer überschaubaren Anzahl an Fehlwerten an.

Falls der zu analysierende Datensatz eine große Menge an Fehlwerten besitzt, sollen daher automatische Verfahren zum Ersetzen fehlender Daten (sog. Imputationsverfahren) eingesetzt werden. Im Data Mining Umfeld besitzt insbes. das Einfügen des wahrscheinlichsten Wertes mithilfe von datengestützten Vorhersagemodellen (z. B. Regression) besondere Popularität, da diese Vorgehensweise die verfügbaren Informationen des Datensatzes am besten nutzt (Kantardzic 2011, S. 37). Jedoch ist die Anwendung von Vorhersagemodellen mit einem erhöhten Aufwand verbunden und erfordert fundierte Kenntnisse der Anwender in den Bereichen Statistik und Data Mining, die in KMU i. d. R. nicht vorhanden sind. Daher sollen im Rahmen der hier betrachteten Methodik Fehlwerte bei metrischen Merkmalen, sofern sie nicht durch eine der oben erläuterten Methoden sinnvoll behoben werden können, durch den Mittelwert des betroffenen Merkmals ersetzt werden. Die Imputation mittels Mittelwertbildung liefert häufig sehr gute Schätzwerte für die fehlenden Daten (Brown und Kros 2003, S. 182). Im Falle nicht-metrischer Merkmale kann analog der Modus als Lageparameter verwendet werden. Der Modus entspricht in diesem Zusammenhang der häufigsten Ausprägung eines nicht-metrischen Merkmals (Schulze 2007, S. 36). Für die Berechnung von Mittelwert bzw. Modus werden nur Datensätze derselben Klasse verwendet (Cleve und Lämmel 2014, S. 201), um den Fehler, der beim Ersetzen des Fehlwertes entsteht, möglichst gering zu halten.

6.5.3 Identifikation irrelevanter Merkmale und Umgang mit Ausreißern

Irrelevante Merkmale, die keinen bzw. nur einen unwesentlichen Einfluss auf das Klassifikationsergebnis besitzen, führen zu verlängerten Rechenzeiten und verschlechtern die Effizienz der eingesetzten Verfahren, ohne einen Mehrwert zu generieren. Zudem können sie zu einer Überanpassung (s. Abschnitt 6.6.2) des Klassifikationsmodells führen, welche dessen Generalisierungsfähigkeit und Lösungsgüte begrenzt. Redundante Merkmale können neben einer Effizienzminderung ebenfalls Probleme beim Training des Modells erzeugen (Kantardzic 2011, S. 54 f.). Daher sind irrelevante sowie redundante Merkmale aus dem Datensatz zu eliminieren. Dazu bieten sich sowohl die Merkmalsselektion als auch die Dimensionsreduktion als übergeordnete Verfahrensguppen an. Während bei der Merkmalsselektion irrelevante bzw. redundante

Merkmale identifiziert und aus der Rohdatenmatrix ausgeschlossen werden, nutzen Dimensionsreduktionsverfahren alle Merkmale des Originaldatensatzes und transformieren sie in eine andere Darstellungsform (Han et al. 2012, S. 99 ff.). Die in Abschnitt 6.6.2 ausgewählten Klassifikationsverfahren führen selbst eine implizite Merkmalsselektion durch, sodass ein gesonderter Datenvorverarbeitungsschritt an dieser Stelle nicht erforderlich ist. Ebenso wird der verzerrende Einfluss von Ausreißern im Datensatz, der bei einer Überanpassung des Klassifikationsmodells zu einer schlechten Klassifikationsgenauigkeit führen kann, durch Pruningverfahren (s. Abschnitt 6.6.2) in oder nach der Trainingsphase reduziert bzw. eliminiert. Eine gesonderte Identifikation von Ausreißern im Rahmen der Datenvorverarbeitung ist daher nicht erforderlich.

Mithilfe der in der Methodik einzusetzenden Klassifikationsverfahren kann der Aufwand der Datenvorverarbeitung somit auf ein Minimum begrenzt werden. Ein breites Fachwissen im Bereich Data Mining sowie fundierte statistische Kenntnisse sind für die Durchführung der Ersatzteilklassenbildung somit nicht erforderlich, sodass auch fachfremden Anwendern der aufwandsarme und unkomplizierte Einsatz der Methodik ermöglicht wird.

6.6 Erstellung und Anwendung des Data Mining Modells

Unter Verwendung der vorverarbeiteten Daten erfolgt im Anschluss die Bildung von Ersatzteilklassen mithilfe von Klassifikationsverfahren. Dieser Teilprozess des KDID-Vorgehensmodells wird im Folgenden beschrieben. In einem ersten Schritt wird dazu in Abschnitt 6.6.1 eine geeignete Verfahrensgruppe ausgewählt, die den in Abschnitt 4.3 gestellten Anforderungen möglichst vollständig gerecht wird. Auf Basis der gewählten Verfahrensgruppe werden in Abschnitt 6.6.2 zur Problemlösung adäquate Klassifikationsverfahren identifiziert. Mithilfe der Verfahren wird anschließend ein Klassifikationsmodell entwickelt, welches eine eindeutige Zuordnung von Ersatzteilen zu NSV-Strategien zulässt.

6.6.1 Vorauswahl einer Verfahrensgruppe zur Ersatzteilklassenbildung

Eine Übersicht über etablierte und häufig eingesetzte Klassifikationsverfahren ist in Abbildung 6.3 dargestellt. Strenggenommen handelt es sich bei den dort abgebildeten Methoden nicht um einzelne Verfahren, sondern um Verfahrensgruppen. Diesen Gruppen ist jeweils eine Vielzahl unterschiedlicher Verfahren bzw. Algorithmen untergeord-

net, die Gemeinsamkeiten hinsichtlich des Lösungsprinzips und/ oder der Ergebnisdarstellung aufweisen. Bevor die einzelnen Verfahren, die in der hier verfolgten Methodik Anwendung finden sollen, detaillierter beschrieben werden, ist daher zunächst eine Vorauswahl einer oder mehrerer Verfahrensgruppen zu treffen. Dazu werden die in Abschnitt 4.3 formulierten Anforderungen als Bewertungskriterien zugrunde gelegt. Für die Auswahl einer geeigneten Verfahrensgruppe ist die Einfachheit und Praktikabilität des Klassifikationsverfahrens von besonderer Bedeutung, da sich die Zielgruppe der Methodik aus Anwendern kleiner und mittelständischer Unternehmen zusammensetzt. KMU verfügen i. d. R. nicht über entsprechend ausgebildetes Fachpersonal mit umfassenden Kenntnissen im Themenbereich des Data Mining. Zudem sind auch die finanziellen Kapazitäten kleinerer Unternehmen begrenzt, sodass kostspielige IT-Lösungen nicht realisierbar sind. Daher spielen sowohl die Kosten als auch die praktische Anwendbarkeit der Methodik sowie die Nachvollziehbarkeit und die Interpretierbarkeit der Ergebnisse eine zentrale Rolle bei der Auswahl einer Verfahrensgruppe.

Aufgrund ihrer Komplexität sind Naive Bayes, Support Vector Machines, Neuronale Netze und die Diskriminanzanalyse folglich nur bedingt für die Bildung von Ersatzteilklassen im KMU-Umfeld geeignet. Während das Verfahrensprinzip von Naive Bayes auf Wahrscheinlichkeiten bzw. Dichtefunktionen basiert, verwenden Support Vector Machines sowie die Diskriminanzanalyse lineare Hyperebenen zur Trennung der Daten (Runkler 2010, S. 89 ff.). Bei diesen Verfahrensgruppen werden daher fundierte statistische Kenntnisse vorausgesetzt, sodass sie sich im hier betrachteten Anwendungsfall wenig eignen. Zwar ermöglichen insb. Support Vector Machines eine besonders hohe Lösungsgüte (Fernández-Delgado et al. 2014, S. 3155 ff.; Han und Kamber 2006, S. 337), weisen jedoch eine bzgl. Lösungsprinzip und Parameterauswahl relativ hohe Komplexität auf. Darüber hinaus besitzen sie nur eine vergleichbar geringe Effizienz beim Umgang mit großen Datenmengen (Han und Kamber 2006, S. 337). Neuronale Netze zeichnen sich ebenfalls durch eine schwierige Anwendbarkeit und mangelnde Interpretierbarkeit aus, da der Lösungsprozess keine Transparenz zulässt und dem Nutzer somit Wirkzusammenhänge verborgen bleiben (Berry und Linoff 2000, S. 127 f.). Häufig wird in diesem Zusammenhang auch von der Black Box Eigenschaft der Neuronalen Netze gesprochen (von Rimscha 2010, S. 154).

Demgegenüber besitzen sowohl das k-Nearest-Neighbour-Verfahren als auch die Verfahrensgruppe der Entscheidungsbäume relativ unkomplizierte und nachvollziehbare Verfahrensprinzipien. Das k-Nearest-Neighbour-Verfahren ordnet ein neues Objekt der Klasse zu, in der ein bzw. mehrere Objekte die größte Ähnlichkeit zu dem neuen

Objekt besitzen (Ertel 2013, S. 192 f.). Die Ähnlichkeit wird dabei mithilfe eines Ähnlichkeitsmaßes ermittelt, wobei entsprechende Maße sowohl für metrische als auch ordinale, nominale und binäre Merkmale existieren. Der große Nachteil dieses Verfahrensprinzips besteht jedoch darin, dass der Rechenaufwand durch den paarweisen Vergleich der Objekte vergleichsweise hoch ist (Han und Kamber 2006, S. 348). Entscheidungsbäume hingegen zeichnen sich neben einer einfachen Anwendung durch eine hohe Effizienz aus, sodass sie sich auch zur Analyse großer Datenmengen anbieten (Ertel 2013, S. 202 f.). Dabei erfordern sie keine statistischen Fachkenntnisse und benötigen nur die Wahl weniger, selbstsprechender Parametereinstellungen (Han et al. 2012, S. 331). Zudem lassen sich die Ergebnisse der Klassifikation graphisch in einer Baumstruktur abbilden und erlauben dem Anwender somit eine einfache Interpretation und Nachvollziehbarkeit der Lösung (Ertel 2013, S. 202). Dabei kann ein Großteil der konventionellen Baumverfahren gemischt skalierte Daten verarbeiten und ermöglicht so die flexible Auswahl von Merkmalen und deren Ausprägungsformen. Einen Überblick über das Verwendungspotenzial der Verfahrensgruppen im hier betrachteten Anwendungskontext zeigt Tabelle 6.1.

Tabelle 6.1 Verwendungspotenzial der Verfahrensgruppen zur Ersatzteilklassifikation

Anforderung \ Verfahrensgruppe	k-Nearest-Neighbour	Entscheidungsbäume	Naive Bayes	Support Vector Machine	Neuronale Netze	Diskriminanzanalyse
Eindeutige Strategiezuordnung	+	+	+	+	+	+
Hohe Lösungsgüte	0	0	0	+	+	0
Effiziente Verarbeitung großer Datenmengen	-	+	+	0	0	+
Modularer Aufbau	+	+	+	+	+	+
Umgang mit unterschiedlich skalierten Daten	+	+	+	0	0	-
Implementierung in Open Source Software	+	+	+	+	0	+
Einfache Anwendbarkeit	+	+	0	0	-	0
Verständlichkeit und Nachvollziehbarkeit der Ergebnisse bzw. des Lösungsprozesses	+	+	0	0	-	0
+ = gut geeignet / 0 = bedingt geeignet / - = schlecht geeignet						

Aufgrund der zahlreichen Vorteile sollen Entscheidungsbaumverfahren, trotz der in Relation zu Support Vector Machines und Neuronalen Netzen meist geringeren Lösungsgüte, zur Bildung von Ersatzteilklassen eingesetzt werden. Im Verfahrensvergleich erfüllen sie die in Abschnitt 4.3 formulierten Anforderungen am besten, wobei sie insb. eine hohe Praktikabilität in der Anwendung sowie die Möglichkeit einer umfassenden und einfachen Ergebnisinterpretation aufweisen. Im Folgenden wird die grundsätzliche Vorgehensweise sowie die Ergebnisdarstellung von Baumverfahren erläutert und besonders geeignete Algorithmen zur Konstruktion von Entscheidungsbäumen vorgestellt.

6.6.2 Auswahl geeigneter Klassifikationsverfahren

Baumverfahren erstellen zur Klassifikation von Objekten auf Basis von bereits klassifizierten Trainingsdaten ein hierarchisch strukturiertes Modell, das sich mithilfe von Entscheidungsbäumen graphisch darstellen lässt (Runkler 2010, S. 99). Ein Beispiel für einen Entscheidungsbaum zeigt Abbildung 6.6.

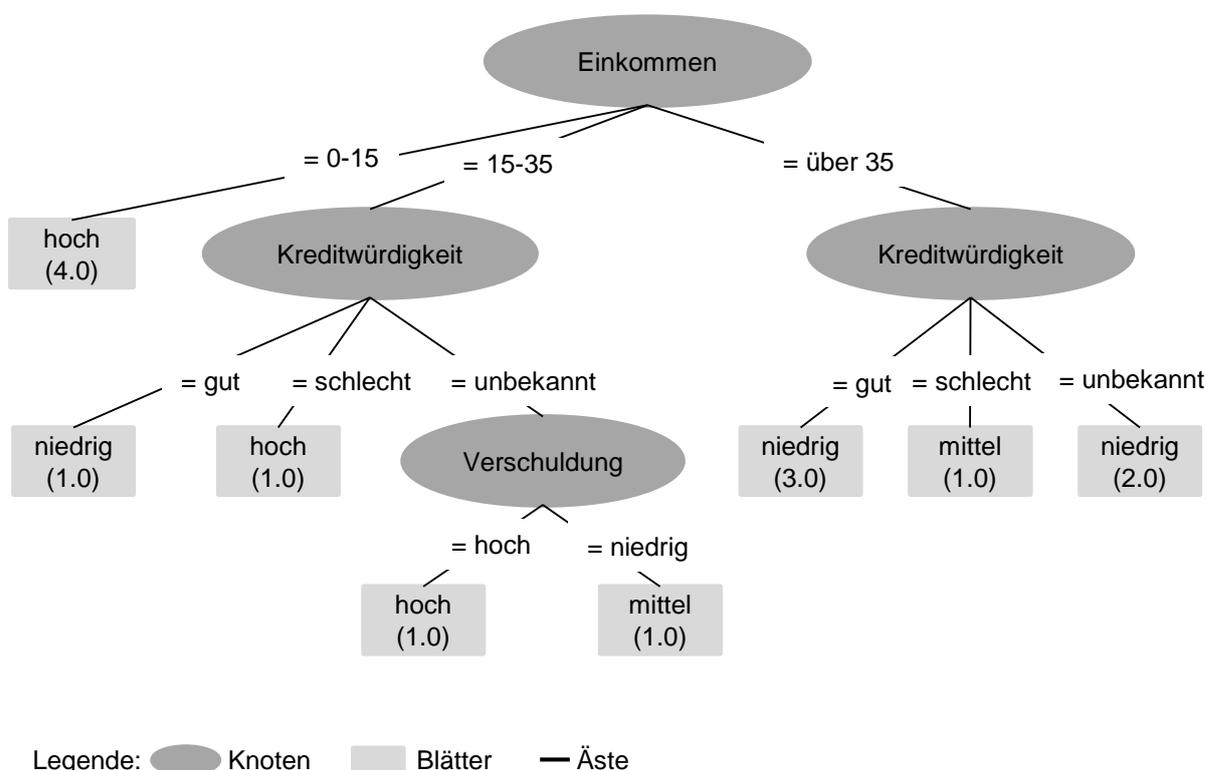


Abbildung 6.6 Exemplarischer Entscheidungsbaum (Cleve und Lämmel 2014, S. 103)

Ein Entscheidungsbaum besteht aus einem Wurzelknoten, mehreren Entscheidungsknoten und Endknoten (Blättern) sowie Ästen, welche die Knoten miteinander verbinden. Der Wurzelknoten sowie jeder Entscheidungsknoten kennzeichnen die Überprüfung eines Merkmals, während die von ihm ausgehenden Äste jeweils ein mögliches Ergebnis dieser Prüfung darstellen. Die Endknoten geben Auskunft über die aus den Merkmalsausprägungen resultierenden Klassenzuordnungen. (Kantardzic 2011, S. 171 f.)

Im Gegensatz zu den anderen Klassifikationsverfahren berücksichtigen Baumverfahren bei der Klassenzuordnung nicht alle Merkmale eines Datensatzes gleichzeitig, sondern überprüfen sie sukzessive, entsprechend ihrer Wichtigkeit (Runkler 2010, S. 99). Merkmale, die zur Separation der Klassen maßgeblich beitragen, werden deshalb in den oberen Hierarchieebenen des Baumes angeordnet. Dadurch erfolgt indirekt eine Variablenselektion, sodass in der hier verfolgten Methodik auf eine gesonderte Selektion im Rahmen der Datenvorverarbeitung verzichtet wird. Bei der Klassifikation eines neuen Objektes werden dessen Merkmalsausprägungen entsprechend der Baumstruktur sukzessive überprüft und somit ein Pfad vom Wurzelknoten bis zum Endknoten, der die Klassenzuordnung enthält, erstellt (Han et al. 2012, S. 30).

Bei der Konstruktion von Entscheidungsbäumen können je nach Verfahren unterschiedliche Baumstrukturen entstehen, da sich die Merkmale i. d. R. beliebig auf Entscheidungsknoten verteilen lassen. Ziel ist es daher, möglichst kompakte Entscheidungsbäume zu erzeugen, um anhand weniger Merkmalsüberprüfungen bereits valide Aussagen über die Klassenzugehörigkeit zu erhalten (Cleve und Lämmel 2014, S. 94).

In den letzten Jahrzehnten ist eine Vielzahl von Entscheidungsbaumverfahren entwickelt worden, die sich u. a. hinsichtlich der Auswahl bzw. Reihenfolge der Merkmale in der Baumstruktur sowie hinsichtlich der Mechanismen zum Vereinfachen des Baumes (engl.: pruning) unterscheiden. Zu den besonders verbreiteten Verfahren, die sich durch eine hohe Effizienz auszeichnen und in den gängigen Entwicklungsumgebungen für Data Mining Anwendungen implementiert sind, zählen ID3 (Quinlan 1986), C4.5 (Quinlan 1993), CHAID (Sonquist und Morgan 1964), CART (Breiman 1984) und Random Forest (Breiman 2001). Sowohl ID3 als auch CHAID können keine metrisch skalierten Merkmale verarbeiten (Tso und Mather 2009, S. 192 ff.) und bieten sich daher im hier betrachteten Anwendungskontext nicht an.

Der Random Forest Algorithmus erzeugt im Gegensatz zu den anderen Baumverfahren nicht nur einen, sondern mehrere unterschiedliche Entscheidungsbäume, wobei

jeder einzelne Baum je Objekt unabhängig voneinander eine Klasse vorhersagt (Breiman 2001, S. 5 ff.). Das Objekt wird anschließend der Klasse zugeordnet, die am häufigsten prognostiziert wurde. Dabei arbeitet Random Forest mit Zufallsstichproben (z. B. Bagging, Boosting) und/ oder einer zufälligen Auswahl an Merkmalen, um bei wiederholter Initialisierung der Bäume eine Vielfalt an Ergebnissen zu erzielen (Breiman 2001, S. 10 ff.). Durch die Konstruktion nicht nur eines, sondern mehrerer Entscheidungsbäume wird die Interpretation der Verfahrensergebnisse erschwert. Eine leichte und übersichtliche graphische Nachvollziehbarkeit der Klassenzuordnung mittels einer einzigen Baumdarstellung ist somit nicht mehr gegeben. Aus diesem Grund weist der Random Forest Algorithmus trotz seiner hohen Lösungsgüte (Fernández-Delgado et al. 2014, S. 3155 ff.) nur begrenztes Verwendungspotenzial zur Bildung von Ersatzteilklassen auf.

C4.5 ist eine Weiterentwicklung von ID3 und lässt sich auch auf gemischt skalierten Daten anwenden. Metrisch skalierte Merkmale werden dabei in Intervalle unterteilt und somit auf ordinales Skalenniveau gebracht (Cleve und Lämmel 2014, S. 106 f.). Auch CART kann gemischt skalierte Merkmale verarbeiten und weist hinsichtlich des Verfahrensablaufs große Gemeinsamkeiten zu C4.5 auf. Beide Verfahren verwenden einen Greedy-Algorithmus, der den Entscheidungsbaum im Rahmen einer Top-Down-Vorgehensweise rekursiv aufbaut (Han und Kamber 2006, S. 292). Der Unterschied zwischen den Verfahren liegt in der Anzahl der Äste, die von einem Knoten ausgehen. Während bei C4.5 beliebig viele Äste von einem Entscheidungsknoten bzw. dem Wurzelknoten ausgehen können, sind bei CART nur zwei abgehende Äste je Knoten möglich (Tso und Mather 2009, S. 198).

Ein Nachteil beider Verfahrensansätze ist eine mögliche Überanpassung (engl. overfitting) des erlernten Modells an die Trainingsdaten. Hierbei lernt der Entscheidungsbaum die Trainingsdaten und somit auch deren datenspezifische Besonderheiten (z. B. Ausreißer) auswendig. Dadurch verliert er an Generalisierungsfähigkeit und führt bei den nicht in das Training eingehenden Testdaten häufig zu vergleichsweise schlechten Vorhersageergebnissen. Um eine Überanpassung des Modells zu verhindern, werden daher Pruningverfahren eingesetzt, die eine Vereinfachung und Kürzung der Bäume vornehmen. Dabei wird zwischen Pre-Pruning- und Post-Pruning-Verfahren unterschieden (Bramer 2013, S. 128 ff.). Bei den Pre-Pruning-Verfahren werden die vollständige Ausbildung des Baumes und damit eine Überanpassung durch ein Stopp-Kriterium verhindert. Das Stopp-Kriterium führt dazu, dass der Trainingsdatensatz an einem Entscheidungsknoten nicht weiter unterteilt wird (Han und Kamber 2006, S. 305). Als mögliches Kriterium dient hierbei bspw. die maximale Baumtiefe.

Beim Post-Pruning werden hingegen nachträglich Teilbäume aus dem vollständigen Entscheidungsbaum entfernt, indem die Äste eines Entscheidungsknotens gelöscht und durch ein Blatt ersetzt werden (Bramer 2013, S. 128 ff.).

Mit den Pruning-Verfahren lassen sich die Nachteile der beiden Algorithmen C4.5 und CART somit beheben. Aufgrund ihrer Eigenschaft, effizient gemischt skalierte Daten zu verarbeiten und gleichzeitig nachvollziehbare und leicht interpretierbare zu liefern, besitzen diese Baumverfahren daher ein hohes Verwendungspotenzial im hier betrachteten Anwendungskontext.

Bei der Anwendung der beschriebenen Verfahren zur Konstruktion von Entscheidungsbäumen können unterschiedliche Kriterien verwendet werden, welche über die Auswahl und Reihenfolge der Merkmale im Baum entscheiden. Ziel ist es, die Merkmale so auszuwählen bzw. auf die Entscheidungsknoten zu verteilen, dass möglichst kompakte Bäume erzeugt werden. Die etablierten und meist eingesetzten Kriterien zur Merkmalsauswahl sind der Informationsgewinn, die Gain Ratio sowie der Gini-Index (Han und Kamber 2006, S. 297 ff.). Der Informationsgewinn gibt Auskunft über die Reduzierung des Informationsgehalts an einem Entscheidungsknoten. Der Informationsgehalt ist hierbei ein Maß für die Unordnung in einer Menge. Führt ein Entscheidungsknoten zu einer Teilobjektmenge mit nur noch einer Klasse, ist der Informationsgehalt für diese Menge null. Es wird bei der Baumkonstruktion also jeweils das Merkmal zuerst ausgewählt, das den größten Informationsgewinn bewirkt, d. h. die Unreinheit am stärksten reduziert (Cleve und Lämmel 2014, S. 99). Dabei werden Merkmale mit einer hohen Anzahl unterschiedlicher Ausprägungen bevorzugt. Die Gain Ratio behebt diesen Nachteil, indem sie eine Art Normalisierung des Informationsgewinns durchführt und Merkmale mit vielen Ausprägungen bestraft (Han et al. 2012, S. 340). Der Gini-Index ist ähnlich definiert wie der Informationsgewinn und weist ebenfalls ein ungünstiges Verhalten bei Merkmalen mit großer Ausprägungsvarianz auf.

Die Lösungsgüte eines Klassifikationsverfahrens mit einem entsprechenden Kriterium zur Merkmalsauswahl hängt stark von dem zu analysierenden Datensatz ab (Fernández-Delgado et al. 2014, S. 3155). Je nach den Eigenschaften der Daten können die Verfahren mehr oder weniger gut geeignet sein. Daher ist es sinnvoll, verschiedene Verfahren auf den Datensatz anzuwenden und die Ergebnisse miteinander zu vergleichen. Es hat sich gezeigt, dass sich sowohl der C4.5- als auch der CART-Algorithmus im hier betrachteten Anwendungskontext besonders eignen. Zur Merkmalsauswahl wurden der Informationsgewinn, die Information Ratio und der Gini-Index aufgrund ihres hohen Verbreitungsgrads als potenzielle Auswahlkriterien vorgestellt.

Auch wenn die Gain Ratio gewisse Vorteile gegenüber dem Informationsgewinn und dem Gini-Index aufweist, kann nicht auf eine allgemeingültige Überlegenheit bei der Erzeugung von Entscheidungsbäumen geschlossen werden. Daher sollen die Klassifikationsverfahren in der hier verfolgten Methodik mit den unterschiedlichen Alternativen initialisiert und die Ergebnisse miteinander verglichen werden.

6.7 Interpretation

Zur Erzeugung eines validen Klassifikationsmodells ist, wie bereits beschrieben, eine Trainings- und Testphase erforderlich. Dazu wird ein Datensatz mit bereits klassifizierten Objekten benötigt, der in eine Trainings- und eine Testmenge aufzuteilen ist. Die Trainingsmenge dient hierbei der eigentlichen Modellerstellung, während in der Testphase die Klassifikationsgüte bzw. -genauigkeit des Modells ermittelt wird. Dabei werden die mithilfe des Modells prognostizierten Klassen mit den tatsächlichen Klassen der Objekte, die in dem Datensatz enthalten sind, verglichen. Zur Aufteilung des Datensatzes in eine Training- und Testmenge stehen unterschiedliche Möglichkeiten zur Verfügung, wobei sich insbes. die Methoden Holdout, Stratifikation, Kreuzvalidierung und Bootstrapping durchgesetzt haben (Cleve und Lämmel 2014, S. 231 ff.; Han und Kamber 2006, S. 363). Während die Methoden Holdout und Stratifikation den Datensatz statisch in eine Trainings- und eine Testmenge aufteilen, erfolgt bei der Kreuzvalidierung und dem Bootstrapping eine dynamische Unterteilung, sodass aus einem einzelnen Datensatz jeweils mehrere Trainings- und Testdatensätze entstehen. Beim Holdout bleibt ein Teil des Datensatzes während des Trainings unberücksichtigt und wird erst innerhalb der Testphase zur Modellvalidierung eingesetzt. Einen ähnlichen Ansatz verfolgt auch die Stratifikation, nur dass die Aufteilung hier derart vorgenommen wird, dass die verschiedenen Klassen in der Training- und Testmenge nahezu gleich verteilt sind (Cleve und Lämmel 2014, S. 231 f.). Der Nachteil dieser beiden Vorgehensweisen besteht darin, dass der Datensatz mit bereits klassifizierten Objekten entsprechend groß sein muss, um ausreichend Objekte für das Training des Modells verwenden zu können (Alpaydin 2008, S. 351).

Im hier betrachteten Anwendungskontext ist jedoch nicht davon auszugehen, dass klassifizierte Daten in großen Mengen vorliegen. Sowohl die Kreuzvalidierung als auch das Bootstrapping bieten sich hingegen auch bei kleineren Datensätzen an, da sie den Datensatz in jeweils mehrere Trainings- und Testmengen unterteilen. Insbes. die

Kreuzvalidierung ist im Data Mining weit verbreitet und stellt in praktischen Anwendungen häufig die beste Alternative dar (Runkler 2010, S. 78). Daher soll sie auch hier zur Validierung des Modells verwendet werden.

Bei der Kreuzvalidierung wird der Datensatz zufällig in mehrere gleich große Teilmengen aufgeteilt. Es wird für jede Iteration jeweils eine Teilmenge als Testmenge fixiert, während auf den anderen Teilmengen das Klassifikationsmodell gelernt wird. In jeder Iteration wird hierbei eine andere Teilmenge als Testmenge definiert und die jeweilige Klassifikationsgenauigkeit ermittelt. Die Genauigkeit des Modells ergibt sich schließlich aus dem Durchschnitt der einzelnen Genauigkeitswerte. (Alpaydin 2008, S. 351 f.; Cleve und Lämmel 2014, S. 232)

Zur Messung der Genauigkeit eines Klassifikationsmodells wurde in den letzten Jahrzehnten eine Vielzahl von Validierungsmaßen entwickelt. Eine vergleichende Untersuchung zum Einsatz einzelner Maße und deren Abhängigkeiten untereinander stellen Ferri et al (2009) vor. In der hier vorgestellten Methodik zur Ersatzteilklassenbildung soll der Anteil korrekt klassifizierter Objekte (engl. accuracy) als Validierungsmaß aufgrund seiner Einfachheit, Interpretierbarkeit sowie weiten Verbreitung verwendet werden. Zur Berechnung dieses Maßes werden die vorhergesagten Klassen der Objekte mit den im Datensatz gegebenen Klassen verglichen.

6.8 IT-technische Umsetzung

Die Auswahl einer Entwicklungsumgebung ist zentraler Aspekt der IT-technischen Umsetzung, d. h. der Entwicklung eines IT-Prototyps (letzter Schritt des KDID). Zu differenzieren ist die Auswahl einer Entwicklungsumgebung zum einen für den Aufbau einer Rohdatenmatrix und die ersten Schritte der Datenvorverarbeitung und zum anderen für die programmiertechnische Umsetzung der Datenvorverarbeitung und Gruppierung der ET mithilfe der Klassifikationsverfahren.

Für den Aufbau der Rohdatenmatrix und die ersten Schritte der Datenvorverarbeitung, wie die Eliminierung irrelevanter Variablen, bietet sich der Einsatz von Microsoft-Excel an, da sich Excel durch eine weite Verbreitung in der Praxis auszeichnet (vgl. Kofler und Nebelo 2011, S. 626; Stutzke 2011, S. 10). Mithilfe der Programmiersprache Visual Basic for Application (VBA) können die Funktionen von Excel zudem erweitert werden (Held 2010, S. 37), wodurch sich die Generierung der Rohdatenmatrix realisieren lässt. Darüber hinaus ermöglicht Excel einen einfachen Datenaustausch mit anderen Programmen (Baloui 2001, S. 213). Die in dem Praxisbeispiel verfügbare Datenbasis liegt sowohl in einer Excel-Tabelle als auch in verschiedenen csv-Dateien vor. Zur Integration der Daten in ein einheitliches Dateiformat können die Daten der csv-Dateien leicht in Excel eingelesen werden. Zudem besteht in Excel die Möglichkeit des Datenexports in unterschiedliche Dateiformate, welche das Einlesen der in Excel erstellten Datenmatrix in das zur Klassifikation verwendete Programm ermöglicht. Der nach Eliminierung irrelevanter Variablen gegebene Merkmalkatalog (s. Kapitel 5) ist wesentlicher Input für eine Rohdatenmatrix in Excel; dies wird in Abschnitt 7.1 näher beschrieben.

Für die darauffolgende programmiertechnische Umsetzung der weiteren Datenvorverarbeitungsschritte sowie der Gruppierung der ET mithilfe der Klassifikationsverfahren sind unterschiedliche Entwicklungsumgebungen vorauszuwählen, zu bewerten und eine Alternative abschließend festzulegen (vgl. Abbildung 6.7).

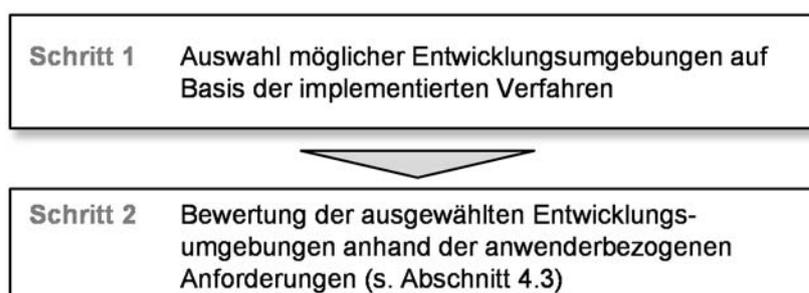


Abbildung 6.7 Vorgehen zur Auswahl der Entwicklungsumgebung

Grundsätzliche Voraussetzung ist, dass die ausgewählten Entwicklungsumgebungen die vorausgewählten Klassifikationsverfahren unterstützen und die o. g. Skalenniveaus verarbeiten können (Schritt 1 gemäß Spezifikationen in Abschnitt 6.5.1 und 6.6.2). Anschließend sind die Entwicklungsumgebungen hinsichtlich der modell- und anwenderbezogenen Anforderungen aus Abschnitt 4.3 zu bewerten (Schritt 2). Anwenderbezogen sollte neben der Unterscheidung, ob die Werkzeugen kostenpflichtig oder Open Source verfügbar sind, maßgeblich die Anwendbarkeit i. S. von Bedienerfreundlichkeit fokussiert werden. Das erstellte Programm benötigt eine (idealerweise grafische) Benutzeroberfläche, die sich durch eine entsprechende Bedienerfreundlichkeit auszeichnet. Zudem sollte eine hohe Verständlichkeit und Nachvollziehbarkeit der Ergebnisse und des Lösungsprozesses gegeben sein; ausgedrückt durch geeignete Visualisierungsmöglichkeiten. Dies ist bereits durch die Vorauswahl der Klassifikationsverfahren gewährleistet.

Für die Bildung der ET-Klassen soll eine leistungsstarke, speziell für Data Mining Anwendungen entwickelte Softwareumgebung genutzt werden. Die grundsätzliche Alternative, das beschriebene Data Mining Modell mit einer leistungsfähigen, universell einsetzbaren Programmiersprache wie C++ oder Java umzusetzen, wäre hinsichtlich des zu erwartenden Aufwands nicht zweckmäßig. Der Software Markt im Bereich des Data Mining ist aufgrund der steigenden Relevanz der Thematik in den letzten Jahren sehr umfangreich und unübersichtlich, im Jahr 2011 werden bereits etwa 150 Data Mining Lösungen angeboten (s. Müller und Lenz 2013, S. 259). Fast alle dieser Entwicklungsumgebungen eignen sich grundsätzlich für Klassifikationsaufgaben, wie sie das in Abschnitt 6.6 aufgestellte Data-Mining-Modell erfordert. Aufgrund der weiten Verbreitung sind insb. RapidMiner und R als Open Source Lösungen (Müller und Lenz 2013, S. 260; Piatetsky 2013) sowie SPSS/ Statistica als Repräsentant möglicher IT-Lösungen aus dem Bereich der lizenzpflichtigen Verfahren zur statistischen Datenanalyse hervorzuheben. Alle Umgebungen verfügen über Schnittstellen für den Im- und Export gängiger Dateiformate. Der Import der in Excel erstellten Datenmatrix (Merkmalkatalog) kann über das csv-Format folglich problemlos in R eingelesen werden. Die Umgebungen werden nachfolgend in Kürze beschrieben, wobei kurz auf deren spezifische Eignung hinsichtlich der Anforderungen eingegangen wird. Diese ist abschließend in Tabelle 6.2 zusammengefasst.

Bei R handelt es sich um eine syntaxbasierte Open Source Software sowie Programmiersprache und -umgebung zur rechnergestützten statistischen Datenverarbeitung (Wollschläger 2012, S. 1 f.), die im Bereich der Statistik als de-facto-Standard für Datenanalyseanwendungen gilt (Ligges 2008, S. 1 ff.). Einer der großen Vorteile von R

besteht darin, dass die Verwendung der Softwareumgebung kostenlos und der Quelltext frei verfügbar ist, sodass Anwendungen transparent und nachvollziehbar sind (ebd.). Darüber hinaus verfügt R über einen großen Funktionsumfang, der flexibel durch seine Anwender aktualisiert und erweitert werden kann (Hatzinger et al. 2011, S. 49). Derartige Erweiterungsmodule werden als Pakete bezeichnet und sind teilweise in der Basisinstallation von R enthalten oder über Archive wie das Comprehensive R Archive Network (CRAN) erhältlich (ebd.). Dazu gehören auch unterschiedliche Pakete zur Klassifikation von Datensätzen. Ein weiterer Vorteil von R ist die Lauffähigkeit auf unterschiedlichen Betriebssystemen wie UNIX oder Windows (Ligges 2008, S. 5). Ein Nachteil bzgl. der Verwendung von R besteht darin, dass die befehlsbasierte Struktur bzw. die fehlende grafische Benutzeroberfläche die Bedienfreundlichkeit erheblich einschränkt (Wollschläger 2012, S. 2). Auch bei vordefinierten Anwendungspaketen zum Einlesen von Daten und zur Festlegung von Verfahrensparametern sind ansatzweise Programmierkenntnisse erforderlich. Darüber hinaus ist die Befehlssteuerung nicht fehlertolerant, sodass eine korrekte Eingabe von Befehlen erforderlich ist (ebd.).

Die Softwareumgebung RapidMiner ist ein Programm zur Wissensentdeckung in Datenbanken und ebenfalls als Open Source Software verfügbar. Ursprünglich unter dem Namen Yale am Lehrstuhl 8 der Fakultät Informatik der Technischen Universität Dortmund entwickelt, unterstützt RapidMiner eine Vielzahl von Anwendungen im Bereich der Datenanalyse und bietet über 400 Operatoren zum Analysieren großer Datenbestände. RapidMiner verfügt über eine ausgereifte grafische Benutzeroberfläche (Mierswa 2009, S. 936); die verschiedenen Operatoren können in der graphischen Benutzeroberfläche einfach zu Prozessen verknüpft werden. Für die Ausgabe der Datenzusammenhänge stehen zahlreiche 2D- und 3D-Visualisierungsmöglichkeiten zur Verfügung. RapidMiner kann u. a. für multivariate Analysen, aber auch für multikriterielle Optimierungen genutzt werden (vgl. Lokuciejewski et al. 2010, S. 7 f.; Mierswa 2009, S. 940). Das Programm ist in Java entwickelt und kann vom Anwender entwickelte Verfahren als Plug-Ins integrieren. Bei der Nutzung bestehender Anwendungen sind keinerlei Programmierkenntnisse erforderlich.

Die Softwareumgebungen SPSS (Statistical Package for the Social Sciences) und Statistica sind konzipiert für statistische Auswertungen unterschiedlicher Art und können u. a. zur Klassifikation verwendet werden (Duller 2007, S. 39; de Sá 2003, S. 17 ff.). Beide Softwareumgebungen verfügen über eine grafische Bedienoberfläche und finden in Wissenschaft und Praxis weit verbreitete Anwendung (Backhaus 2011, S. 15; Weihs und Szepannek 2009, S. 3 ff.). Zur Ausführung vordefinierter Analysen werden

keine Programmierkenntnisse benötigt. Allerdings handelt es sich sowohl bei SPSS als auch bei Statistica um kommerzielle Softwareprodukte.

Analog zu den in Tabelle 6.2 zusammengefassten Bewertungen wird die Softwareumgebung RapidMiner zur programmiertechnischen Umsetzung der Datenvorverarbeitung sowie zur Gruppierung der ET eingesetzt. Diese Wahl liegt insb. den umfangreichen Funktionen zur Klassifikation, deren selbsterklärender und intuitiver Bedienung (verglichen zu R) und in der freien Verfügbarkeit (verglichen zu SPSS/ Statistica) begründet.

Tabelle 6.2 Eignung der Entwicklungsumgebungen für ET-Klassifikation

Entwicklungsumgebungen	Anwenderbezogene Anforderungen			Effiziente Verarbeitung großer Datenmengen
	Open Source Software	Anwendbarkeit	Verständlichkeit und Nachvollziehbarkeit der Ergebnisse	
R	+	-	+	0
RapidMiner	+	+	+	+
SPSS/ Statistica etc.	-	+	+	+

Die in diesem Kapitel formulierte und ausgestaltete Methodik zur Klassifikation von ET wird im nächsten Kapitel in einen Softwaredemonstrator überführt und hiermit die Einsatzfähigkeit für Unternehmen, insb. KMU, weiter gesteigert.

7 Umsetzung der Methodik in einen Softwaredemonstrator

Um die in Kapitel 6 beschriebene systematische Methodik zur Klassifikation von ET in der Praxis aufwandsarm anwenden zu können, ist diese in geeigneter Weise in einen Softwaredemonstrator zu überführen. Dieser sowie eine Anleitung im Umgang mit dem Demonstrator (Leitfaden) sind Inhalt dieses Kapitels. Die Bildung von ET-Klassen mittels Entscheidungsbäumen erfordert komplexe und z. T. multivariate Berechnungen und Analysen; das Vorgehen ist entsprechend nur in Form eines Softwaredemonstrators anwenderfreundlich und aufwandsarm abbildbar. Die Auswahl einer geeigneten Entwicklungsumgebung erfolgte bereits in Abschnitt 6.8, weshalb die programmier-technische Umsetzung in der Software RapidMiner (Version 6.0) vorgenommen wird. Auf die Installation der Softwareumgebungen und deren grundlegende Funktionalität wird an dieser Stelle nicht eingegangen. Diesbezüglich wird auf die entsprechenden Programmdokumentationen verwiesen (www.rapid-i.com). Informationen über die Bereitstellung der in den nachfolgenden Abschnitten beschriebenen Datensätzen und Programme befinden sich im Anhang.

Die nachfolgenden Ausführungen dienen ebenfalls als Anleitung zur Verwendung des Demonstrators (Leitfaden). Beschrieben wird der Umgang mit dem Softwaredemonstrator anhand eines fiktiven Beispiels, da die zur Aufstellung des Data Mining Modells verwendeten realen Daten der Geheimhaltung unterliegen und nicht ohne signifikanten Informationsverlust anonymisiert werden können. Der Softwaredemonstrator kann zur prototypischen Erprobung und Erstanwendung der Forschungsergebnisse genutzt werden. Darüber hinaus begünstigt der Demonstrator aber auch den Transfer der Forschungsergebnisse in die Wirtschaft, d. h. eine breite Anwendbarkeit der entwickelten Vorgehensweise – insb. auch KMU.

7.1 Datensammlung

Die Datensammlung umfasst zwei wesentliche Teilschritte. Zunächst ist ein Trainingsdatensatz zu erstellen, um das in RapidMiner abgebildete Data Mining Modell anzulernen. Der Trainingsdatensatz umfasst Beispieldaten, auf deren Basis die allgemeingültige Zuordnungsregel entwickelt wird, d. h. der Entscheidungsbaum ausgeprägt wird. Dieser erlaubt es nicht klassifizierten Ersatzteilen eine möglichst kostengünstige Strategie zuzuweisen (vgl. Abschnitt 6.3). Nach dem Anlernen kann der Entscheidungsbaum auf den Gesamtdatensatz angewendet werden. Das genaue Vorgehen

der Datenvorverarbeitung und Durchführung ist Inhalt des nachfolgenden Abschnitts. Hier wird zunächst kurz erläutert, wie die zwei Datensätze aufzubereiten sind. Trainings- als auch Gesamtdatensatz repräsentieren die Rohdatenmatrizen (Excel-Format), welche für die Anwendung des Data Mining Modells in RapidMiner zu importieren sind.

Die Trainingsdaten, d. h. Merkmale (Spalten) und ET (Objekte, Zeilen) sind in der Datei „Trainingsdatensatz_variANa.xlsx“ zu erfassen und sukzessive auszuprägen (s. Abbildung 7.1). Die Merkmale sind die vorverdichteten Merkmale aus Abschnitt 5.2, welche grundsätzlich für die Gruppierungsaufgabe relevant sind.

	Label VS	Absatzrisiko	Anteil Gleichteile	Aufarbeit- bzw. Reparierbarkeit	Aufbau- bzw. Zerlegungsgrad	...	Versorgungszeitraum (Dauer)	Wert (Kritisch)	Wert der (Zwischen-) Produkte	Wert ET	Wertigkeit/ Umsatz (ABC-Analyse)	Wertschöpfungsgrad/ -stufe/ Komplexitätsgrad	Wiederbeschaffungszeit	Wirkprinzip	Zustand des Ersatzteils
ET-1 Training															
ET-2 Training															
ET-3 Training															
ET-4 Training															
...															
ET-n Training															

Abbildung 7.1 Rohdatenmatrix für die Trainingsdaten

Neben der Ausprägung dieser Merkmale ist es für die Trainingsdaten zwingend erforderlich, ein Label festzulegen. Das Label entspricht den produktionsnahen VS (N, B, WI, WV). Die Vergabe des Labels im Trainingsdatensatz erfolgt expertenwissenbasiert. Fokus für diese Festlegung liegt auf Kostengrößen. Unter Berücksichtigung entscheidungsrelevanter Kostenarten werden für die ET des Trainingsdatensatzes die Gesamtkosten für die jeweiligen Strategien ermittelt und die jeweils kostenminimale Strategie gewählt. Hierzu sind die in Abschnitt 5.2 identifizierten ET-Merkmale heranzuziehen, bei denen eine Ausprägung lediglich in Kombination mit einer VS möglich ist. Durch die Ausprägung der in den Spalten aufgeführten Merkmale stellt das Modell

einen Zusammenhang zwischen den Merkmalsausprägungen und der jeweils kostenminimalen NSV-Strategie (Label) her. Die genaue Anzahl erforderlicher Trainingsdaten kann nicht pauschal angegeben werden, sie ändert sich relativ zur Größe des Gesamtdatensatzes; grundsätzlich erhöht aber eine steigende Anzahl an Trainingsdaten die Genauigkeit des Data Mining Modells und resultierend die Güte der Klassifikation.

Für die Durchführung der Klassifikation in RapidMiner ist der Gesamtdatensatz in die Rohdatenmatrix „Gesamtdatensatz_variANa.xlsx“ einzupflegen (vgl. Abbildung 7.2). Diesen ET wird durch Anwendung des Modells das Label als Ergebnis zugeordnet. Die Erhebung der Daten erfolgt gemäß den in Abschnitt 6.4 beschriebenen Verfahrensschritten des KDID. Die Datensammlung erfolgt durch das Einlesen der Daten aus IT-Systemen, ergänzt um das manuelle Ausfüllen durch Experten. Die Vielzahl erforderlicher Daten, die oft mangelnde Dokumentation sowie dezentral zu Verfügung stehendes Know-How der Mitarbeiter bestimmen die Datenverfügbarkeit im Kontext der NSV und führen u. U. zu einem hohen Anteil expertenwissenbasierter Datensammlung. In diesem Zusammenhang können auch erste Datenvorverarbeitungsschritte vorgenommen werden, z. B. ein Plausibilitätscheck auf signifikante Ausreißer etc. Dies ist nicht zwangsläufig erforderlich, da die Datenvorverarbeitung auch durch das Entscheidungsbaummodell erfolgen kann (s. Abschnitt 6.5 und 7.2).

	Absatzrisiko	Anteil Gleichteile	Aufarbeit- bzw. Reparierbarkeit	Aufbau- bzw. Zerlegungsgrad		...	Versorgungszeitraum (Dauer)	Wert (Kritisch)	Wert der (Zwischen-) Produkte	Wert ET	Wertigkeit/ Umsatz (ABC-Analyse)	Wertschöpfungsgrad/ -stufe/ Komplexitätsgrad	Wiederbeschaffungszeit	Wirkprinzip	Zustand des Ersatzteils
ET-1															
ET-2															
ET-3															
ET-4															
...															
ET-n															

Abbildung 7.2 Rohdatenmatrix für den gesamten Datensatz

7.2 Datenvorverarbeitung und Durchführung

Die in Kapitel 6 beschriebene Methodik zur Ersatzteilklassenbildung ist programmier-technisch in einem übergreifenden RapidMiner-Prozess umgesetzt, wobei einzelne Operatoren weitere Subprozesse auf bis zu zwei Hierarchieebenen enthalten. Der Klassifikationsprozess erfolgt weitgehend automatisiert, sodass nur wenige Eingaben und Anpassungen durch die Anwender erforderlich sind. Um den Gesamtprozess in RapidMiner zu importieren, muss die Datei „variANa.rmp“ über die Registerkarte „File“ → „Import Process“ ausgewählt werden (s. Abbildung 7.3).

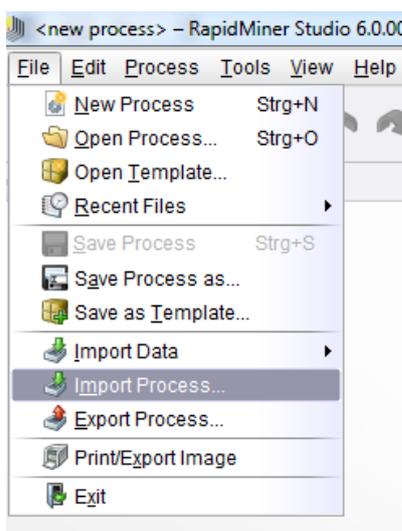


Abbildung 7.3 Importieren des Gesamtprozesses

Der Hauptprozess mit seinen einzelnen Operatoren ist in Abbildung 7.4 dargestellt. Er gliedert sich in zwei Teilprozesse, wobei je Teilprozess ein eigener Datensatz zu importieren ist. Der obere Teilprozess in Abbildung 7.4 führt die Training- und Testphase zur Erzeugung des Entscheidungsbaumes durch, während der untere Teilprozess der Anwendung des erlernten Modells auf den bisher nicht klassifizierten Objekten dient.

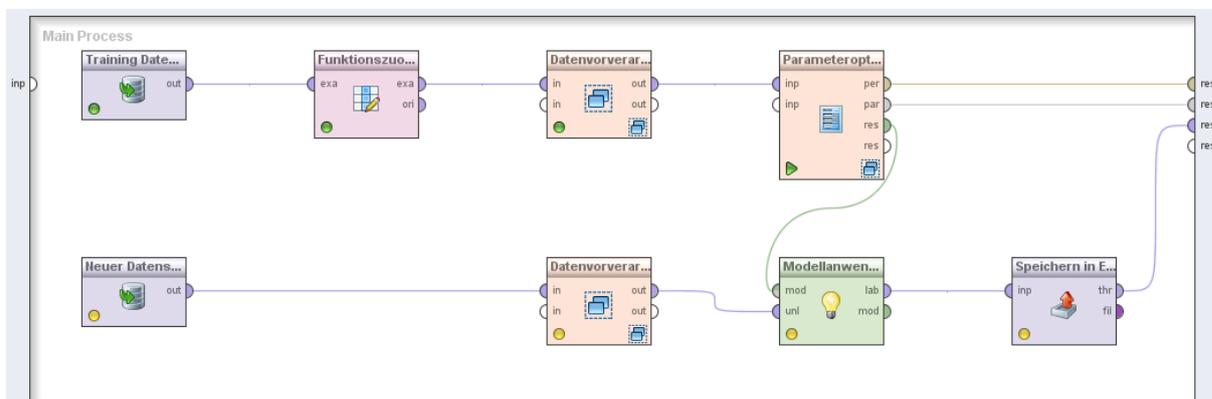


Abbildung 7.4 Hauptprozess zur Ersatzteilklassenbildung

Für die Trainings- und Testphase wird der bereits klassifizierte Datensatz zunächst aus der in Abschnitt 7.1 vorgestellten Excel-Datei (Trainingsdatensatz_variANa.xlsx) eingelesen. Durch Anwählen des Operators „Training Datensatz“ lässt sich die Rohdatenmatrix über den Reiter „excel file“ importieren (s. Abbildung 7.5).

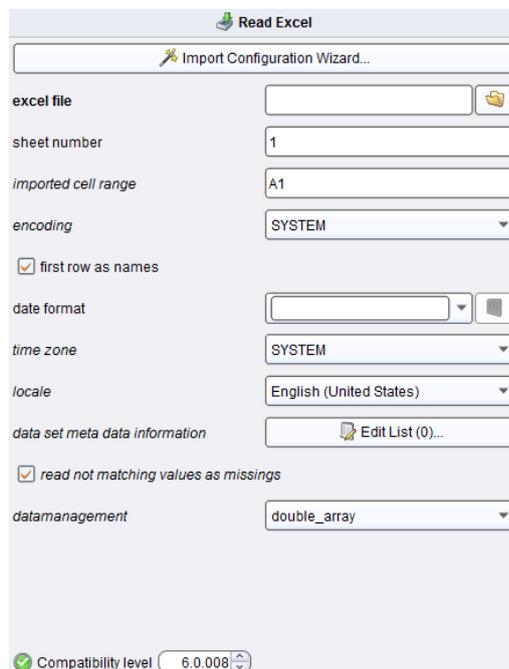


Abbildung 7.5 Importieren des Trainings- und Testdatensatzes

Im nächsten Schritt (Operator „Funktionszuordnung Daten“) erfolgt die Strukturierung der eingelesenen Rohdatenmatrix, indem den einzelnen Spalten jeweils Funktionen zugewiesen werden. Dadurch erkennt das Klassifikationsverfahren, welche Spalten jeweils das Label, die Objektbezeichnung bzw. die Merkmale enthalten. Sofern die Spaltenüberschriften der Excel-Datei unverändert bleiben, ist eine Anpassung der Operatoreinstellungen nicht erforderlich. Ansonsten kann die Bedeutung der einzelnen Parameter in der Hilfe-Funktion von RapidMiner leicht nachvollzogen werden, sodass dem Anwender eine unkomplizierte Anpassung der Einstellungen ermöglicht wird.

Nach der Strukturierung der Rohdatenmatrix werden die Daten durch den Operator „Datenvorverarbeitung“ für den Einsatz der Klassifikationsverfahren entsprechend aufbereitet. Der Operator enthält dabei unterschiedliche Subprozesse, die in Abbildung 7.6 dargestellt sind.

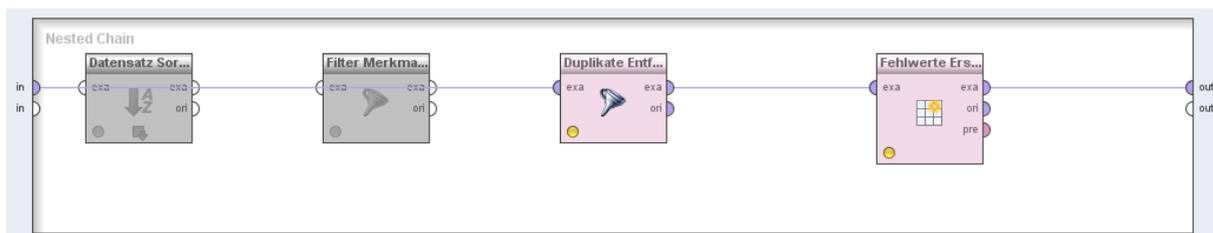


Abbildung 7.6 Subprozesse innerhalb der Datenvorverarbeitung

Zunächst können einzelne Merkmale um ungewöhnliche Ausprägungen bereinigt werden, sofern derartige Bereinigungen innerhalb der Excel-Datei noch nicht vorgenommen wurden. Dazu können die Daten nach einzelnen Merkmalen aufsteigend bzw. absteigend sortiert (Operator „Datensatz Sortieren“) und anschließend Objekte mit abnormen Merkmalsausprägungen aus dem Datensatz entfernt werden (Operator „Filter Merkmalsausprägungen“). Die zugehörigen Operatoren sind optional über den Reiter durch Rechtsklick auf „Enable Operator“ auswählbar und sind in der Standardeinstellung des Prozesses nicht aktiviert. Nach der optionalen Bereinigung der Daten um ungewöhnliche Merkmalsausprägungen werden Duplikate aus der Datenmatrix (Operator „Duplikate Entfernen“) entfernt. Dadurch wird verhindert, dass dieselben Ersatzteile aufgrund von Übertragungsfehlern oder sonstigen Fehlerquellen mehrmals in die Klassifikation eingehen. Darüber hinaus werden im Rahmen der Datenvorverarbeitung potentielle Fehlwerte durch den Mittelwert bzw. den Modus des betroffenen Merkmals ersetzt (Operator „Fehlwerte Ersetzen“), sofern fehlende Daten auf Basis von Expertenwissen nicht bereits zuvor entfernt oder sinnvoll ergänzt worden sind. Bei Bedarf können die Fehlwerte auch durch andere Lageparameter als den Mittelwert bzw. den Modus ersetzt werden. Dazu muss der „default“-Parameter entsprechend angepasst werden. Es können für die einzelnen Merkmale auch unterschiedliche Imputationsmöglichkeiten über den „columns“-Parameter ausgewählt werden (s. Abbildung 7.7).

Abbildung 7.7 Parametereinstellungen des Operators „Fehlwerte Ersetzen“

Auf Basis der vorverarbeiteten Daten wird anschließend das Klassifikationsmodell mithilfe von Entscheidungsbäumen erstellt. Um möglichst optimale Klassifikationsergeb-

nisse zu erzielen und eine einfache Anwendbarkeit des Demonstrators zu ermöglichen, werden geeignete Werte für die einzustellenden Parameter der Baumverfahren automatisch mithilfe des Operators „Parameteroptimierung“ festgelegt. Dieser Operator enthält weitere Subprozesse auf zwei Hierarchieebenen (s. Abbildung 7.8).

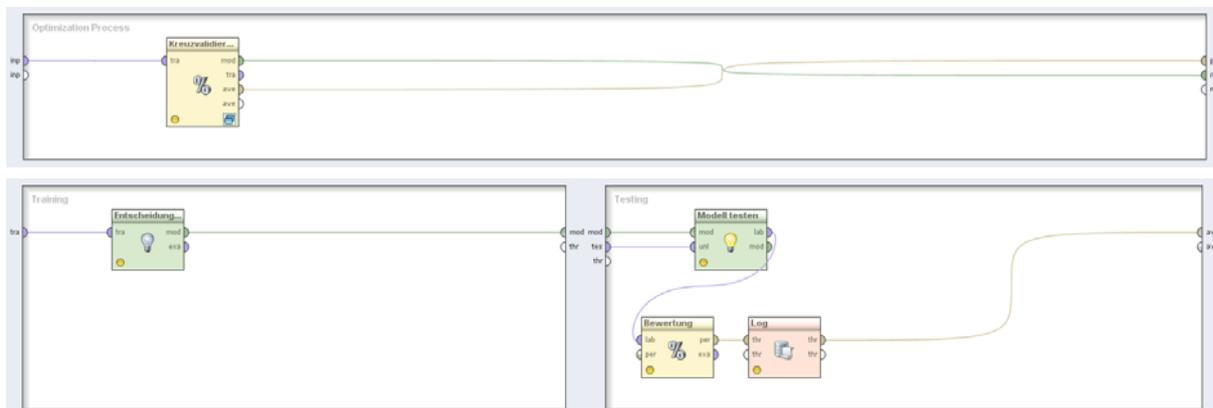


Abbildung 7.8 Subprozesse des Operators „Parameteroptimierung“

Auf der ersten Hierarchieebene wird der Trainingsdatensatz zunächst mittels 10-facher Kreuzvalidierung in je eine Trainings- und Testmenge unterteilt und zur Entscheidungsbaumkonstruktion verwendet. Die Trainings- und Testphase selbst erfolgen innerhalb mehrerer Subprozesse. Für jede Iteration der Kreuzvalidierung wird dabei ein Entscheidungsbaum gelernt, dessen Klassifikationsgenauigkeit innerhalb der Testphase bewertet wird. Die einzelnen Entscheidungsbäume werden anschließend zu einem einzelnen Baum kombiniert, der eine möglichst hohe Genauigkeit liefert. Der Operator „Entscheidungsbaum“ entspricht hier dem in RapidMiner verfügbaren „Decision Tree“-Operator, der ähnlich zu den in Abschnitt 6.6.2 empfohlenen C4.5- bzw. CART-Algorithmus arbeitet. Zum Training des Entscheidungsbaums erfordert eine Vielzahl Parametereinstellungen, welche die Baumstruktur beeinflussen (s. Abbildung 7.9).

Decision Tree	
criterion	gain_ratio
minimal size for split	4
minimal leaf size	2
minimal gain	0.1
maximal depth	20
confidence	0.25
number of prepruni...	3
<input type="checkbox"/>	no pre pruning
<input type="checkbox"/>	no pruning

Abbildung 7.9 Verfahrensparameter des „Entscheidungsbaum“-Operators

Dazu gehören neben dem Kriterium zur Merkmalsauswahl („criterion“), die minimale Objektanzahl innerhalb eines Knotens („minimal size for split“) sowie innerhalb eines Blattes („minimal leaf size“) und die maximale Größe des Baumes („maximal depth“). Darüber hinaus sind weitere Parametereinstellungen möglich, welche den Pruning-Prozess zur Vereinfachung des Baumes spezifizieren. Die Pruning-Parameter sind hierbei auf einen fixen Wert festgelegt und müssen durch den Anwender nicht angepasst werden. Die anderen Parameter werden automatisch durch den Operator „Parameteroptimierung“ innerhalb einer festgelegten Spanne variiert, wobei für jede Einstellung ein neues Klassifikationsmodell trainiert und getestet wird. Schließlich werden die Parameter ausgewählt, die zu dem Modell mit der höchsten Klassifikationsgenauigkeit führen. Eine manuelle Einstellung der Parameter durch den Anwender ist somit nicht erforderlich. Die Spanne, innerhalb der die einzelnen Parameter zur Optimierung variiert werden, kann im Operator über den Reiter „Edit Parameter Settings“ festgelegt werden (s. Abbildung 7.10). Dieser Schritt ist optional, da bereits sinnvolle Grenzen für die einzelnen Merkmale in der Standardeinstellung fixiert wurden.

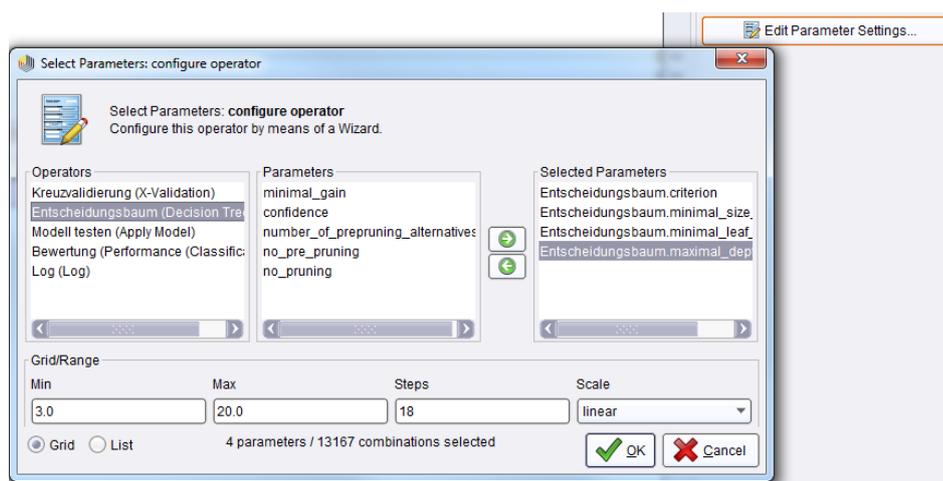


Abbildung 7.10 Einstellungen des Operators „Parameteroptimierung“

Das mittels Parameteroptimierung und Kreuzvalidierung erlernte Klassifikationsmodell wird im Anschluss auf den bisher nicht klassifizierten Datensatz angewendet. Dazu muss die entsprechende Excel-Datei mit den nicht klassifizierten Ersatzteilen (Gesamtdatensatz_variANA.xlsx) über den Operator „Neuer Datensatz“ importiert werden. Nach den bereits beschriebenen Datenvorverarbeitungsschritten erfolgt die Modellanwendung. Die Ergebnisse der Klassifikation, d. h. die Strategiezuzuordnung für jedes Ersatzteil, werden automatisch in einer Excel-Datei abgespeichert. Über den Reiter „excel file“ des Operators „Speichern in Excel“ lässt sich der Ablageort sowie die Bezeichnung der Datei verändern (s. Abbildung 7.11). Mit dem vorgelagerten Operator „Attributauswahl“ wird festgelegt, welche Informationen in der Excel-Datei gespeichert

werden. In der Standardeinstellung werden die Ersatzteile zusammen mit ihren Merkmalsausprägungen und der prognostizierten NSV-Strategie gelistet.

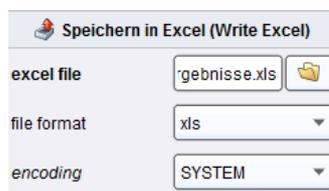


Abbildung 7.11 Auswahl des Ablageorts der Klassifikationsergebnisse

7.3 Interpretation

Um den Klassifikationsprozess durchzuführen, muss der Startknopf (Grünpfeil) in der Symbolleiste betätigt werden. Je nach Größe des Datensatzes und Leistungsfähigkeit des Computers kann der Rechenprozess unterschiedlich viel Zeit beanspruchen. Neben der Ergebnisdarstellung innerhalb der Excel-Datei (s. Abbildung 7.12) erfolgt die Ausgabe der Klassifikationsergebnisse auch innerhalb von RapidMiner in verschiedenen Fenstern (Betätigen von F9 auf der Tastatur). Da die für die Modell Erstellung genutzten realen Daten der Geheimhaltung unterliegen, werden die Ergebnisse exemplarisch anhand des Iris-Datensatz, der im Data Mining häufig zu Testzwecken verwendet wird, dargestellt.

	A	B	C	D	E	F
1	Objekt	Merkmal a1	Merkmal a2	Merkmal a3	Merkmal a4	Klassenlabel
2	Objekt 1	5,1	3,5	1,4	2	Iris-setosa
3	Objekt 2	4,9	3,0	1,4	2	Iris-setosa
4	Objekt 3	4,7	3,2	1,3	2	Iris-setosa
5	Objekt 4	4,6	3,1	1,5	2	Iris-setosa
6	Objekt 5	5,0	3,6	1,4	2	Iris-setosa
7	Objekt 6	5,4	3,9	1,7	4	Iris-setosa
8	Objekt 7	4,6	3,4	1,4	3	Iris-setosa
9	Objekt 8	5,0	3,4	1,5	2	Iris-setosa
10	Objekt 9	4,4	2,9	1,4	2	Iris-setosa
11	Objekt 10	4,9	3,1	1,5	1	Iris-setosa
12	Objekt 11	5,4	3,7	1,5	2	Iris-setosa
13	Objekt 12	4,8	3,4	1,6	2	Iris-setosa
14	Objekt 13	4,8	3,0	1,4	1	Iris-setosa
15	Objekt 14	4,3	3,0	1,1	1	Iris-setosa
16	Objekt 15	5,8	4,0	1,2	2	Iris-setosa

Abbildung 7.12 Auswahl des Ablageorts der Klassifikationsergebnisse

In dem Fenster „Tree (Entscheidungsbaum)“ wird der Entscheidungsbaum graphisch dargestellt, sodass der Anwender die gelernten Entscheidungsrouinen des Modells leicht und übersichtlich nachvollziehen kann (s. Abbildung 7.13).

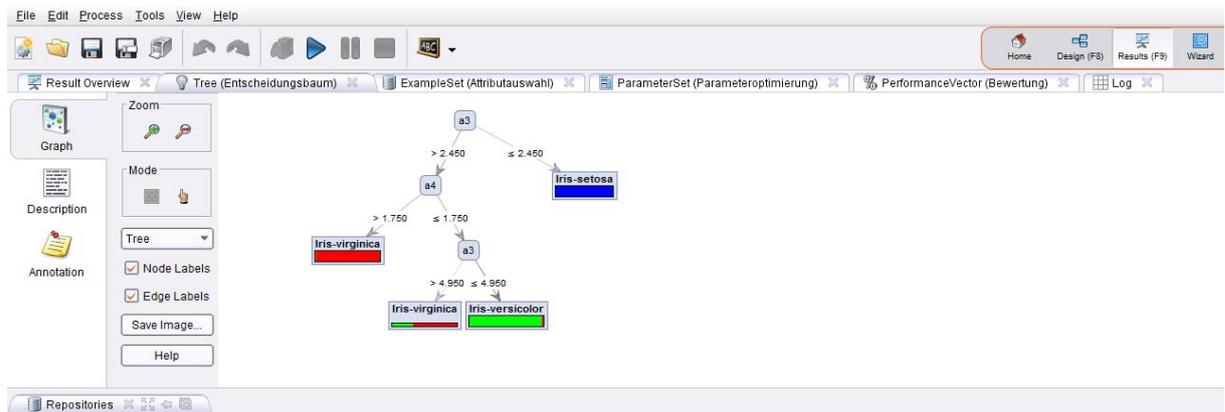


Abbildung 7.13 Klassifikationsergebnisse - Entscheidungsbaum

Über das Fenster „PerformanceVector (Bewertung)“ lassen sich die Genauigkeiten für die gesamte Klassifikation sowie für einzelne Klassen anzeigen (s. Abbildung 7.14). Dabei werden die vorhergesagten den tatsächlichen Klassen der Objekte gegenübergestellt und je Klasse die Klassifikationsgenauigkeit in Prozent angegeben. Die Genauigkeit des Modells für den Iris-Datensatz beträgt hier insgesamt 97,95 %.

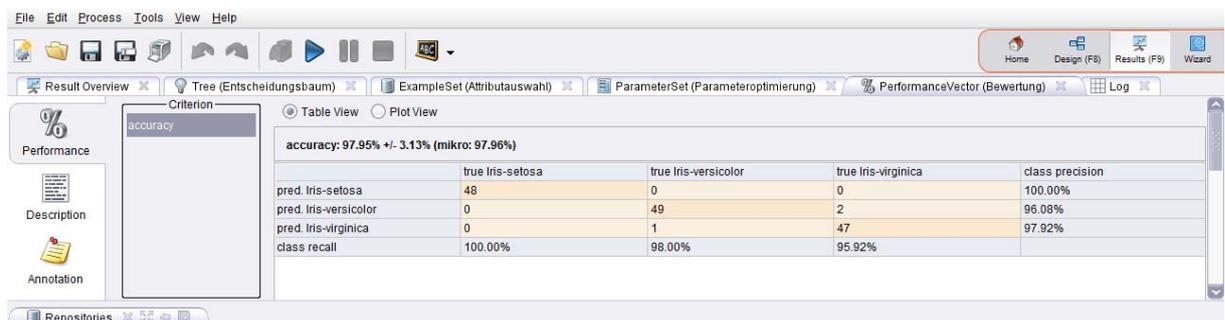


Abbildung 7.14 Klassifikationsergebnisse – Genauigkeit des Modells

8 Zusammenfassung und Ausblick

Eine effiziente Planung und Gestaltung der NSV unter Berücksichtigung zahlreicher sich wandelnder Einflüsse ist aufgrund der Verpflichtung zur ETV und umso mehr zur Sicherung der Wettbewerbsfähigkeit durch zunehmende Kundenbindung und gesteigertes Unternehmensergebnis unabdingbar. Die Auswahl von NSV-Strategien (Planungsaufgabe) ist grundsätzlich sehr komplex, erfordert die Berücksichtigung einer Vielzahl an Anforderungen und Abhängigkeiten und erfolgte bisher lediglich auf Basis qualitativer Ansätze. Es existierte kein Vorgehen, das es erlaubt, Wirkzusammenhänge zwischen Ersatzteilmerkmalen und NSV-Strategien zu quantifizieren und heterogene Ersatzteilspektren auf quantitativer Basis VS zuzuordnen.

Primäres Ziel des IGF-Forschungsvorhabens war daher die Entwicklung einer systematischen Methodik zur Bildung von ET-Klassen mittels strukturabbildender Verfahren (quantitativ). Zu diesem Zweck wurde der Ansatz verfolgt, Gruppierungen von (Elektronik-) Ersatzteilen bilden zu können, deren Merkmalsausprägungen eine vergleichbare NSV-Strategie zulassen. Der Rückgriff auf strukturabbildende Verfahren erfolgte, damit ein großes Produkt- und/ oder Variantenspektrum effizient und aufwandsarm klassifiziert werden kann.

Hierzu wurden im zweiten und dritten Kapitel zunächst die theoretischen Grundlagen für die weitergehenden Betrachtungen gelegt. Der Fokus lag hierbei auf zentralen Begriffsdefinitionen und der Planung der NSV als zentraler Betrachtungsgegenstand des Forschungsvorhabens. Aufbauend auf den theoretischen Grundlagen wurden in Kapitel 4 die Konzeptionierung der Methodik zur Bildung von ET-Klassen und die hieraus resultierenden Anforderungen erarbeitet. Kern der Ausarbeitung stellen folglich der in Kapitel 5 erarbeitete strukturierte Merkmalkatalog sowie die in Kapitel 6 entwickelte Methodik zur Klassifikation von ET dar. Abschließend wurde die entwickelte Methodik zur Bildung von ET-Klassen in einen softwarebasierten Planungsleitfaden überführt (vgl. Kapitel 7), um die industrielle Praxistauglichkeit zu gewährleisten. Die programmiertechnische Umsetzung zur ET-Klassen-Bildung erfolgte unter Zuhilfenahme der Open Source Entwicklungsumgebung RapidMiner.

Es bleibt festzuhalten, dass durch die erarbeitete Methodik, den Softwaredemonstrator und den Leitfaden zur effizienten und aufwandsarmen Planung der NSV der Stand der Technik erweitert werden konnte. Bereits die umfassende Zusammenfassung in der Literatur beschriebener ET-Merkmale, deren Zusammenführung in einem Merkmalkatalog und anschließende strukturierte Auswertung leisten hier einen Mehrwert. Durch

Einsatz des Softwaredemonstrators und zugehörigem Leitfaden können anwendende Unternehmen objektive Handlungsempfehlungen zur Auswahl der geeigneten NSV-Strategie in Abhängigkeit der ihrer ET erhalten, ohne wiederholt detaillierte Analysen durchführen zu müssen. Basierend auf den generierten ET-Klassen können die gewählten NSV-Strategien operationalisiert und optimiert werden. Durch diese Ergebnisse konnte eine Komplexitätsreduktion bei der Planung und folglich der Strategieauswahl in der NSV von Elektronikbaugruppen bewirkt werden. Gerade KMU, deren Portfolio häufig viele verschiedene Produktvarianten umfasst, werden in die Lage versetzt, aktuellen und zukünftigen Lieferverpflichtungen im Ersatzteilgeschäft kosten- und aufwandsoptimiert zu begegnen und parallel eine nachhaltige, datenbasierte Wissensbasis im Unternehmen aufzubauen. Die dargestellten Ergebnisse stellen daher insb. für KMU eine hilfreiche, aufwandsarme, unternehmensspezifische Planungsunterstützung dar. Mit Bezug zur eingangs formulierten Zielsetzung des Vorhabens ist abschließend festzustellen, dass diese durch die aufgezeigten Ergebnisse in vollem Umfang erreicht wurde.

Die erzielten Ergebnisse stellen den Ausgangspunkt für weitere Untersuchungen und weiterführende Forschungsfragen dar. Diesbezüglich ist u. a. die Untersuchung der Eignung alternativer Klassifikationsverfahren für die ET-Klassenbildung interessant. Bspw. könnte der Einsatz fuzzytheoretischer Verfahren, welche ein ET mehreren Klassen mit einer gewissen Zugehörigkeit zuordnen, weitere Vorteile mit sich bringen. So bietet ein derartiger Ansatz z. B. die Möglichkeit die Klassifikation flexibel zu gestalten, sodass die letztendliche Zuordnung einer Strategie zu einem ET dem Anwender obliegt. Diesbezüglich ist jedoch zu klären, wie eine derartige Methodik benutzerfreundlich und nachvollziehbar gestaltet werden kann.

9 Formale Ergebnisdokumentation

9.1 Wissenschaftlich-technischer und wirtschaftlicher Nutzen für Unternehmen

Der im Rahmen des Forschungsvorhabens entwickelte Leitfaden zur aufwandsarmen Bildung von ET-Klassen auf Basis strukturabbildender Verfahren leistet einen wesentlichen Beitrag zur Steigerung der Wettbewerbsfähigkeit in Unternehmen und insb. KMU. Expertengespräche/ -interviews und Diskussionen auf den Sitzungen des projektbegleitenden Ausschusses zeigten, dass Unternehmen und v. a. KMU vor der Herausforderung stehen, neben ihrem Seriengeschäft auch ihre Planungsaktivitäten in der Nachserie effizienter zu gestalten, da die spezifischen Herausforderungen (vgl. Kapitel 2) die Komplexität teils unbeherrschbar machen. Bisher spielte eine wissenschaftlich fundierte Herangehensweise mittels strukturabbildender Verfahren in Forschungsarbeiten im Themenfeld der ETV eine nahezu unbedeutende Rolle (vgl. Kapitel 3), obwohl diese Herangehensweise im Vergleich zu den bisherigen Verfahren eine deutlich vereinfachte Strategieauswahl für die Anwender bedeutet (vgl. Kapitel 6). Dennoch waren keine geeigneten Planungsansätze und -methoden vorhanden, die die Strategiewahl in der NSV quantitativ fundieren, deren Durchführung aufwandsarm gestalten und in der Komplexität beherrschbar machen. Der Leitfaden unterstützt Unternehmen in der anforderungsgerechten und effizienten Planung und Gestaltung der NSV durch die Wahl einer Versorgungsstrategie auf Basis der durch strukturabbildende Verfahren gebildeten ET-Klassen. Durch diese Gruppierung sind solche Teile leicht zu identifizieren, deren Merkmalsausprägungen eine vergleichbare NSV-Strategie zulassen. Der entwickelte Leitfaden bietet eine einfache und praxisgerechte Unterstützung bei dieser Planungsaufgabe. Hieraus resultiert Unternehmen und insb. KMU ein entsprechender wirtschaftlicher Nutzen. Sie werden in die Lage versetzt, aktuellen und zukünftigen Lieferverpflichtungen im Ersatzteilgeschäft kosten- und aufwandsoptimiert zu begegnen und parallel eine nachhaltige, datenbasierte Wissensbasis im Unternehmen aufzubauen. Dies gilt für Unternehmen aller Wirtschaftszweige, die für ihre Produkte Ersatzteile bereithalten müssen und mit einem großem Produkt- und/oder Variantenspektrum konfrontiert sind. Gerade KMU, deren Portfolio häufig aus einer hohen Anzahl verschiedener Produktvarianten mit entsprechend geringeren Absatzmengen besteht, steht durch das Projektergebnis somit eine Methodik zur Verfügung, die es erlaubt, die Kosten der NSV durch eine optimierte Strategieuordnung zu reduzieren. Der entstehende Analyseaufwand reduziert sich gegenüber bestehenden Planungs-

ansätzen signifikant. Die Zuordnung von Ersatzteilen zu ET-Klassen muss nach erstmaliger Anwendung des Leitfadens und Implementierung der Verfahren nicht weiter auf Basis manueller Vorschriften und der Ausprägung morphologischer Kästen für einzelne Ersatzteile erfolgen. Daher können umfangreiche Ersatzteilspektren und nachträglich in die Nachserienphase übergehende Ersatzteile aufwandsarm in ET-Klassen eingeordnet werden. Der resultierende Bearbeitungsaufwand erlaubt damit auch KMU eine dezidierte Betrachtung der NSV.

9.2 Innovativer Beitrag und industrielle Anwendungsmöglichkeiten

Im Forschungsvorhaben wurde ein Leitfaden entwickelt, der die Möglichkeit eröffnet, bestehende Ersatzteilspektren effizient und aufwandsarm ET-Klassen und somit NSV-Strategien zuzuordnen sowie Handlungsempfehlungen für die Nachserienphase abzuleiten. Wie im Stand der Forschung herausgearbeitet, umfassen bisher entwickelte Verfahren zur Auswahl von NSV-Strategien keine Ansätze, die eine quantitative Abbildung der Zusammenhänge zwischen den einzelnen Kriterien/ Merkmalen von Ersatzteilen und den verschiedenen Strategien ermöglichen. Die hier erarbeitete Methodik und zugehöriger Leitfaden zeichnen sich dadurch aus, dass zunächst relevante Einflussgrößen (manuell) verdichtet und mit Hilfe strukturabbildender Verfahren abschließend identifiziert wurden. Für vorliegende Ersatzteile können folglich Effekte/ Einflüsse der unterschiedlichen Kriterien auf die NSV-Strategien aufgezeigt werden. Durch Einsatz des Leitfadens können die anwendenden Unternehmen objektive Handlungsempfehlungen zur Auswahl der geeigneten NSV-Strategie in Abhängigkeit der jeweiligen Ersatzteile erhalten, ohne wiederholt eine detaillierte Analyse durchführen zu müssen. Darüber hinaus bietet dieses Vorgehen die Möglichkeit, auch nachträglich in die Nachserienphase übergehende Ersatzteile in die ET-Klassen einzuordnen. Basierend auf den erstellten ET-Klassen kann der Anwender die gewählten NSV-Strategien optimieren. Da Unternehmen mit dem Leitfaden eine strukturierte Vorgehensweise zur Verfügung steht, mit der quantitative Zusammenhänge zwischen ET-Merkmalen und NSV-Strategien aufgezeigt werden können, leisten die Projektergebnisse einen wesentlichen Beitrag zur Wissenserweiterung. Die Projektergebnisse werden nach Abschluss des Vorhabens über die Internetseite sowie der Forschungsstelle und -vereinigung veröffentlicht (s. fortgeschriebener Transferplan in Abschnitt 9.4). Diese beinhalten den Abschlussbericht sowie den Leitfaden, die diskriminierungsfrei und kostenlos zugänglich sind (Softwarepakete ohne Lizenz- oder Anschaffungskosten, beliebig an An-

wender anpassbar (Open Source Programme); s. Abschnitte 4.1 bis 4.3). Dies ermöglicht Unternehmen und insb. KMU aus unterschiedlichen Wirtschaftszweigen selbstständig und ohne finanzielle Aufwendungen ihr Ersatzteilspektrum den NSV-Strategien unter Kostengesichtspunkten zuzuordnen und basierend hierauf ihr Ersatzteilgeschäft detailliert auszugestalten. Den Unternehmen entstehen keine zusätzlichen Kosten für Anwenderschulungen, da der Leitfaden i. A. a. gängige IT-Standards aufgebaut und im Abschlussbericht detailliert erläutert ist. Die praktische Umsetzung und Ausführung der Klassierung erfordert eine aufbereitete Datenbasis, die unternehmensseitig sicherzustellen ist, um qualitativ hochwertige Ergebnisse zu erhalten. Investitionen i. e. S. sind daher nicht zu tätigen, jedoch ist der Personalaufwand hierfür in Form zusätzlicher kalkulatorischer Kosten zu berücksichtigen. Die Höhe dieser Kosten kann im Vorfeld nicht pauschal bemessen werden, da diese von der unternehmenseigenen Datenqualität abhängt. Der einzusetzende Personalaufwand amortisiert sich zeitnah, da Unternehmen, insb. KMU, aufwandsarm, für eine hohe Anzahl an Ersatzteilen eine auf Basis der Kosten optimierte Strategie auswählen können. Auf diese Weise wird die Klassierung der Ersatzteile mittels des Leitfadens und der hiermit eingeführten Methodik zur ET-Klassifikation schon mittelfristig zu einer Kostenersparnis in den anwendenden Unternehmen führen.

Durch die kostenlose Verfügbarkeit des Leitfadens und freie Zugänglichkeit der veröffentlichten Projektergebnisse, die Unterstützung der Anwendung bei interessierten Unternehmen, sowie die fortlaufende Aktualisierung des Demonstrators, können Unternehmen langfristig mit den erzielten Forschungsergebnissen arbeiten.

9.3 Verwendung der zugewendeten Mittel

Zur Durchführung des Forschungsprojekts wurde während der Projektlaufzeit von 23 Monaten (inkl. kostenneutraler Laufzeitverlängerung von 3 Monaten) an der Professur APS ein wissenschaftlicher Mitarbeiter der Entgeltgruppe E 13 nach TV-L beschäftigt. Ebendieser Einsatz wissenschaftlichen Personals im Umfang von 20 PM war für die Generierung der in Kapitel 2 bis 8 dargestellten Ergebnisse und hierfür durchgeführten Recherchen und Untersuchungen erforderlich. Die geleistete Arbeit entspricht in vollem Umfang den im Antrag dargestellten Zielsetzungen (s. Abschnitte 1.2 und 1.3) und war daher für die Durchführung des Vorhabens notwendig und angemessen. Die Abweichung der Aufwendungen der Wirtschaft für den Projektbegleitenden Ausschuss entstand durch die krankheitsbedingte Absage eines Teilnehmers.

9.4 Ergebnistransfer in die Wirtschaft

Zur weiteren Nutzung der während des Projekts erarbeiteten Forschungsergebnisse wurden zahlreiche Transfermaßnahmen durchgeführt. U. a. wurden die Ergebnisse in Form von Vorträgen und Poster-Ausstellungen einer breiten Öffentlichkeit zugänglich gemacht und abschließend ausführlichen in einem Sachbericht dokumentiert. Zur Beschreibung des Ergebnistransfers in die Wirtschaft sind nachstehend die bereits durchgeführten sowie geplanten Transfermaßnahmen kurz dargestellt. Zusammenfassend kann der Plan zum Ergebnistransfer in die Wirtschaft wie in Tabelle 9.1 dargestellt fortgeschrieben werden.

Durchgeführte Transfermaßnahmen

Zeitschriften- und Buchbeiträge/ Dissertationen/ Internet

Der Sachbericht zum IGF-Forschungsvorhaben variANa wird mit entsprechendem Förderhinweis über das Eldorado-System der Technischen Universität Dortmund interessierten Unternehmen online zur Verfügung gestellt. Die Ergebnisse sind langfristig verfügbar. Entsprechende Verweise werden auf der Homepage der Forschungsvereinigung sowie der Forschungsstelle eingerichtet.

Gesellschaft für Verkehrsbetriebswirtschaft und Logistik e.V. (<http://www.gvb-ev.de>)
Professur für Arbeits- und Produktionssysteme (IPS) (<http://www.ips.do>)

Vorträge

Inhalte und Ergebnisse des Forschungsvorhabens wurden interessierten Vertretern der Industrie am 13.03.2013 unter dem Titel „Data Mining - Potenziale und Anwendungsfelder entlang des Produktlebenszyklus“ und am 29.09.2014 im Rahmen der Veranstaltung „Effiziente Herstellung variantenreicher Produkte in Serie und Nachserie - Wettbewerbsvorteile durch Komplexitätsbeherrschung mittels Data Mining“ an der Technische Universität Dortmund vorgestellt.

Finke, Y. *Multivariate Analyseverfahren zur Strategiewahl in der Nachserie (variANa)*. Vortrag auf dem 1. Kolloquium (Sitzung des projektbegleitenden Ausschusses) zum IGF-Forschungsvorhaben. Dortmund, 13.03.2013.
Kickoff und Austausch der ersten Arbeitsschritte

Formale Ergebnisdokumentation

Deuse, J. *Multivariate Analyseverfahren zur Strategiewahl in der Nachserie (vari-ANa)*. Vortrag auf dem 2. Kolloquium (Sitzung des projektbegleitenden Ausschusses) zum IGF-Forschungsvorhaben. Dortmund, 29.09.2014.
Präsentation und Diskussion der erzielten Ergebnisse in Kooperation mit dem IGF-Forschungsvorhaben „MicroBatchFlow“ (18170 N)

Präsentationen des Vorhabens in Form Poster-Ausstellungen

- Projektbegleitender Ausschuss des IGF-Vorhabens „ReiMaFlu“ (27.02.2013)
- Fachtagung des BMBF-Forschungsvorhabens „rorarob“ (05.03.2013)
- Abschlusskolloquium des BMBF-Forschungsvorhabens „WaProTek“ (13.06.2013)
- Industriearbeitskreis „Wissen aus Daten generieren“ (02.10.2013)
- Projektbegleitender Ausschuss des IGF-Vorhabens „ReiMaFlu“ (25.03.2013)
- Fachausstellung der 5. Dortmunder Industrial Engineering-Fachtagung "Industrial Engineering: Erfolgsfaktor für Industrie 4.0" in der Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin (BAuA) (05.06.2014)

Weitere Transfermaßnahmen

- Bekanntmachung des Vorhabens über die Internetseite der Professur (seit 12/2012)
- 4 studentische Arbeiten zur vertiefenden Untersuchung der Kostenwirkung der Nachserienversorgungsstrategien „Wiederverwenden und -instandsetzen“ (ab 12/2012) betreut und abgeschlossen
- 2 studentische Arbeiten zur „Vorauswahl möglicher Gruppierungskriterien“ (ab 05/2013) betreut und abgeschlossen
- Informationsblatt mit Übersicht der ersten Forschungsarbeiten liegt seit August 2013 am Institut/ Professur aus
- Bereitstellung eines Informationsblatts über Ergebnisse und Fortschritt des Vorhabens auf der Fachausstellung der 5. Dortmunder Industrial Engineering-Fachtagung "Industrial Engineering: Erfolgsfaktor für Industrie 4.0" in der Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin (BAuA) (05.06.2014)

Geplante Transfermaßnahmen

Veröffentlichungen von Inhalten des IGF-Forschungsvorhabens sind im Rahmen eines Fachbuchs, das am Institut/ Professur entsteht und voraussichtlich Mitte 2015 erscheint, und in Form der Dissertation der Projektbearbeiterin geplant.

Tabelle 9.1 Übersicht der während/ nach Projektlaufzeit geplanten Transfermaßnahmen

	Maßnahme	Ziel/Bemerkung	Zeithorizont
während der Projektlaufzeit	Projektinformation über Internetseite der Forschungsstelle	Information über aktuellen Stand der Arbeiten http://www.ips.tu-dortmund.de/cms/de/Forschung/Aktuelle_Projekte_am_IPS/Projekt_Variana/index.html	seit 12/ 2012
	Projektinformation über d. Internetseite der AiF-Forschungsvereinigung	Information über aktuellen Stand der Arbeiten auf den Seiten der der Gesellschaft für Verkehrsbetriebswirtschaft und Logistik (GVB) e.V. www.gvb-ev.de	ab 11/ 2012
	Sitzung des projektbegleitenden Ausschusses „Wirtschaftliche ET-Klassen“	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Diskussion über Forschungsfortschritt und Abstimmung des weiteren Vorgehens mit Unternehmen des projektbegleitenden Ausschusses ▪ Sicherstellung der Akzeptanz 	13.03.2013 29.09.2014
	Transfer in die Industrie durch Verbände	Initiierung der Zusammenarbeit mit dem Netzwerk Industrie RuhrOst (NIRO) zur Verbreitung der Forschungsergebnisse, z. B. Präsentation der Forschungsergebnisse auf der Plattform NIRO-Wissen als Erfahrungsaustausch und Ergebnistransfer in die regionale Wirtschaft: Mail/Infoblatt an Mitglieder aus Bereich Produktion	seit 01/2013 s. vAW (DI)
	Präsentation d. Forschungsergebnisse auf d. Plattform NIRO-Wissen	Erfahrungsaustausch und Ergebnistransfer in die regionale Wirtschaft	vierteljährlich
	Master-/ Bachelor- und Projektarbeiten im Themenfeld des Forschungsvorhabens	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Ausschreiben von Master-/Bachelor-/Projektarbeiten zur Vermittlung und Verbreitung wissenschaftlicher Erkenntnisse Heranführung von Studierenden an selbständiges wissenschaftliches Arbeiten	6 erfolgreich abgeschlossene Bachelor-/ Masterarbeiten
	Exemplarische Anwendung des Leitfadens	Zeitgleiche Verifizierung der Forschungsergebnisse bei INDUS AG (Holding von KMU) und Deutsche Edelstahlwerke GmbH	ab 3. Quartal 2014
nach /mit Abschluss des Vorhabens	Abschlussbericht	Veröffentlichung der Forschungsergebnisse auf https://el-dorado.tu-dortmund.de und www.gvb-ev.de	ab 06/ 2014
	Akademische Ausbildung	Wissenschaftlich didaktische Aufbereitung d. Ergebnisse zur Einbindung in d. universitäre Lehre durch Vorlesungen u. Seminare	ab Sommersemester 2015
	Fachliche Fortbildung	Externe Kunden für d. Thema „Nachserienversorgung“ in Form von Fortbildungsmaßnahmen sensibilisieren	ab 03/ 2015
	Veröffentlichungen in Fachzeitschriften	Wissenschaftliche Veröffentlichungen der Ergebnisse in den Fachzeitschriften (je nach Medienplan): Industrial Engineering, Logistik, wt Werkstattstechnik online, Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb, Industriemanagement etc.	ab 03/ 2015
	Dissertation	Wissenschaftliche Qualifikation des Bearbeiters des Forschungsvorhabens	1 Jahr nach Projektende

Literaturverzeichnis

DIN 24420 Teil 1, 01.09.1976: Ersatzteillisten.

DIN 31051, 06.2003: Grundlagen der Instandhaltung.

DIN EN ISO 9000, Dezember 2005: Qualitätsmanagementsysteme.

DIN 31051, September 2012: Grundlagen der Instandhaltung.

VDI 2892, Juni 2006: Ersatzteilwesen der Instandhaltung.

Alpaydin, Ethem (2008): Maschinelles Lernen. München: Oldenbourg.

Bachmann, Ronald; Kemper, Guido; Gerzer, Thomas (2014): Big Data - Fluch oder Segen? Unternehmen im Spiegel gesellschaftlichen Wandels. 1. Aufl. Heidelberg, Neckar: mitp/bhv.

Backhaus, Klaus (2011): Multivariate Analysemethoden. Eine anwendungsorientierte Einführung. 13. Aufl. Berlin [u.a.]: Springer.

Baloui, Said (2001): Excel 2002. Das Handbuch. München: Markt + Technik (M + T pocket).

Barkawi, Karim; Baader, Andreas; Montanus, Sven (Hg.) (2006): Erfolgreich mit After Sales Services. Geschäftsstrategien für Servicemanagement und Ersatzteillogistik. Berlin, Heidelberg: Springer.

Baumann, Siegfried; Höfferer, Stefan; Matauschek, Johann (2008): Obsolescence Management. Lösungsansätze zur Sicherstellung der Langzeitverfügbarkeit von elektronischen Ersatzteilen in der Automobilindustrie. In: *Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb* 103 (1-2), S. 59–64.

Baumbach, Michael (1998): After-Sales-Management im Maschinen- und Anlagenbau. Regensburg: Transfer.

Berry, Michael J. A; Linoff, Gordon (2000): Mastering Data Mining. The Art and Science of Customer Relationship Management. New York: Wiley Computer Pub.

Best, Siegfried (2007): Weltpremiere: IP-basiertes Bordnetz und Geisterfahrerwarnung. In: *Automobil-Elektronik* 5 (6), S. 12.

Biedermann, Hubert (2008): Ersatzteilmanagement. Effiziente Ersatzteillogistik für Industrieunternehmen. 2. Aufl. Berlin: Springer.

- Blum, D. (2004): Strategien in der Elektronikentwicklung zur Verbesserung der Nachserienversorgung. Design for Obsolescence. In: *Lebenszyklusorientiertes Ersatzteilmanagement. Problemfeld Elektronik, von der Entwicklung bis zum Auslauf, branchenübergreifende Konzepte*. VDI-Berichte Nr. 1848, S. 103–115.
- Bochow-Neß, Olaf (2008): Zustandsüberwachung mit Monitorstrukturen. Abschlusspräsentation des Verbundprojekts ReECar Nachhaltigkeit durch den Einsatz von Gebrauchtteilen in der Kfz-Elektronik Dortmund, 13. November 2008. Online verfügbar unter <http://www.reecar.org/servlet/is/951/>.
- Böckhorst, Stephan (2008): Zustandsuntersuchung gebrauchter Steuergeräte aus dem Fahrzeuginnenraum. Abschlusspräsentation des Verbundprojekts ReECar Nachhaltigkeit durch den Einsatz von Gebrauchtteilen in der Kfz-Elektronik Dortmund, 13. November 2008. Online verfügbar unter <http://www.reecar.org/servlet/is/951/>.
- Bosch, R. (2001): Hype oder Notwendigkeit. Will man durch Wissensmanagement effektiver werden, empfiehlt sich die Verabschiedung von alten Strukturen. In: *IT 1-2*, S. 36–38.
- Bothe, Tim (2003): Planung und Steuerung der Ersatzteilversorgung nach Ende der Serienfertigung. Zugl. Dissertation RWTH Aachen 2003. Aachen: Shaker (Schriftenreihe des IFU, 7).
- Braglia, Marcello; Grassi, Andrea; Montanari, Roberto (2004): Multi-attribute classification method for spare parts inventory management. In: *Journal of Quality in Maintenance Engineering* 10 (1), S. 55–65. DOI: 10.1108/13552510410526875.
- Bramer, M. A. (2013): Principles of data mining. 2. Aufl. London: Springer (Undergraduate topics in computer science).
- Breiman, Leo (1984): Classification and regression trees. New York: Chapman & Hall (Wadsworth statistics/probability series).
- Breiman, Leo (2001): Random Forests. In: *Machine Learning* (45), S. 5–32.
- Brown, Marvin L.; Kros, John F. (2003): The Impact of Missing Data on Data Mining. In: John Wang (Hg.): Data mining. Opportunities and challenges. Hershey, PA: Idea Group, S. 174–198.

- Cleve, Jürgen; Lämmel, Uwe (2014): Data Mining. München: Oldenbourg Wissenschaftsverlag.
- de Sá, J. P. Marques (2003): Applied statistics. Using SPSS, STATISTICA, and MATLAB. Berlin, New York: Springer.
- Deuse, Jochen (1998): Fertigungsfamilienbildung mit feature-basierten Produktdatensätzen. Aachen: Shaker (Berichte aus der Produktionstechnik).
- Deuse, Jochen; Erohin, Olga; Lieber, Daniel (2014): Wissensentdeckung in vernetzten, industriellen Datenbeständen. In: Wolfgang Kersten (Hg.): Industrie 4.0. Wie intelligente Vernetzung und kognitive Systeme unsere Arbeit verändern. Berlin: GITO (Schriftenreihe der Hochschulgruppe für Arbeits- und Betriebsorganisation e.V. (HAB)), S. 373–395.
- Deuse, Jochen; Stausberg, Jan; Wischniewski, Sascha (2007): Leitsätze zur Gestaltung einer verschwendungsarmen Produktion. In: *Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb* 102 (5), S. 291–294.
- Dombrowski, Uwe (2004): Ersatzteilmanagement in der industriellen Praxis. Vergangenheitsbewältigung und Zukunftsgestaltung. In: Lebenszyklusorientiertes Ersatzteilmanagement. Problemfeld Elektronik von der Entwicklung bis zum Auslauf branchenübergreifende Konzepte. Tagung Leonberg/Stuttgart, 22. und 23. Juni 2004. Düsseldorf: VDI Verlag (VDI-Berichte, 1848), S. 13–31.
- Dombrowski, Uwe; Bauer, Andreas; Bothe, Tim (2002): Lebenszyklusorientiertes Ersatzteilmanagement. In: *Industrie Management* 18 (2), S. 55–59.
- Dombrowski, Uwe; Bothe, Tim (2001): Ersatzteilmanagement. Strategien für die Ersatzteilversorgung nach Ende der Serienproduktion. In: *wt Werkstattstechnik online* 91 (12), S. 792–796.
- Dombrowski, Uwe; Bothe, Tim (2002): Lebenszyklusorientiertes Ersatzteilmanagement für die Nachserienversorgung. In: J. Decker (Hg.): Wissenschaftssymposium Logistik der BVL 2002. Dokumentation. Magdeburg (26.-27.06.2002). München: Huss.
- Dombrowski, Uwe; Bothe, Tim (2003): Ersatzteilversorgung nach Ende der Serienfertigung. In: *Industrie Management* 4 (19), S. 19–22.

- Dombrowski, Uwe; Horatzek, Sascha; Wrehde, Johannes (2005a): Der Weg zu einem lebenszyklusorientierten Ersatzteilmanagement Teil I: Zukunftsgestaltung. In: *Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb* 100 (3), S. 125–129.
- Dombrowski, Uwe; Horatzek, Sascha; Wrehde, Johannes (2005b): Der Weg zu einem lebenszyklusorientierten Ersatzteilmanagement Teil II: Vergangenheitsbewältigung. In: *Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb* 100 (4), S. 197–201.
- Dombrowski, Uwe; Lappe, Dirk; Bothe, Tim (2003): Management von Bauteilabkündigungen. In: *VDI-Z* 145 (1-2), S. 73–76.
- Dombrowski, Uwe; Quantschnig, Martin (2007): Potential der lebenszyklusorientierten Planung im Ersatzteilmanagement. In: *wt Werkstattstechnik online* 97 (7/8), S. 567–571.
- Dombrowski, Uwe; Quantschnig, Martin (2009): Komponenten der Versorgungsstrategie Wiederinstandsetzung im OEM-Ersatzteilmanagement. In: *Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb* 104 (5), S. 379–384.
- Dombrowski, Uwe; Schulze, Sven (2008a): Lebenszyklusorientiertes Ersatzteilmanagement. Neue Herausforderungen durch innovationsstarke Bauteile in langlebigen Primärprodukten. In: *Beiträge zu einer Theorie der Logistik*, S. 439–462.
- Dombrowski, Uwe; Schulze, Sven (2008b): Repair of Automotive Electronics as a Module of Life-Cycle-orientated Spare Parts Management. International Conference on Life Cycle Engineering, (LCE 2008), Sydney, Australien, 17.-19.03.2008. In: *Proceedings of the 15th CIRP*, S. 464–469.
- Dombrowski, Uwe; Weckenborg, Sebastian; Schulze, Sven (2009): Outsourcing von Elektronikkomponenten in der Nachserienversorgung. In: *Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb* 104 (11), S. 954–959.
- Dombrowski, Uwe; Weckenborg, Sebastian; Schulze, Sven (2010): Identifikation kritischer Bauelemente für ein effizientes Ersatzteilmanagement. In: *Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb* 105 (6), S. 556–561.
- Duller, Christine (2007): Einführung in die Statistik mit EXCEL und SPSS. Ein anwendungsorientiertes Lehr- und Arbeitsbuch. 2. Aufl. Heidelberg: Physica (Physica-Lehrbuch).

- Ertel, Wolfgang (2013): Grundkurs Künstliche Intelligenz. Eine praxisorientierte Einführung. 3. Aufl. Wiesbaden: Springer Vieweg.
- Ester, Birgit (1997): Benchmarks für die Ersatzteillogistik. Benchmarkingformen, Vorgehensweise, Prozesse und Kennzahlen. Zugl. Dissertation TH Darmstadt 1997. Berlin: Schmidt (Unternehmensführung und Logistik, 13).
- Everitt, Brian (2011): Cluster Analysis. 5. Aufl. Chichester, West Sussex, U.K.: Wiley (Wiley series in probability and statistics).
- Feldmann, K.; Schmuck, T.; Brossog, M.; Dreyer, J. (2008): Beschreibungsmodell zur Planung von Produktionssystemen. Entwicklung eines Beschreibungsmodells für Produkte, Prozesse und Ressourcen zur rechnergestützten Planung produktionstechnischer Systeme. In: *wt Werkstattstechnik online* 98 (3), S. 156–162.
- Fernández-Delgado, Manuel; Cernadas, Eva; Barro, Senén (2014): Do we Need Hundreds of Classifiers to Solve Real World Problems? In: *Journal of Machine Learning Research* 15, S. 3133–3181.
- Ferri, C.; Hernández-Orallo, J.; Modroi, R. (2009): An experimental comparison of performance measures for classification. In: *Pattern Recognition Letters* (30), S. 27–38.
- Finke, Yvonne; Deuse, Jochen (2010): Kostenoptimale Produktions- und Bevorratungsstrategie nach End of Production (EOP). Schlussbericht. IGF-Forschungsvorhaben 15697 N/1. Dortmund: Univ. Lehrstuhl für Arbeits- u. Produktionssysteme.
- Finke, Yvonne; Deuse, Jochen (2011): A Mathematical Optimization Model to Generate Post-series Production Strategies. In: *44th CIRP Conference on Manufacturing System*.
- Finkenwirth, André (1993): Ersatzteildisposition in der Automobilindustrie mit einem System-Dynamics-Lagerhaltungsmodell. Pfaffenweiler: Centaurus.
- Fortuin, Leonard (1980): The All-Time Requirement of Spare Parts for Service After Sales. Theoretical Analysis and Practical Results. In: *International Journal of Operations & Production Management* 1 (1), S. 59–70. Online verfügbar unter <http://www.emeraldinsight.com/doi/pdf-plus/10.1108/eb054660>.

- Friedrichs, A. (2008): Anforderungen an die Produktgestaltung aus Sicht der Langzeitversorgung. Abschlusspräsentation des Verbundprojekts ReECar Nachhaltigkeit durch den Einsatz von Gebrauchtteilen in der Kfz-Elektronik Dortmund, 13. November 2008. Online verfügbar unter <http://www.reecar.org/servlet/is/951/>.
- Gesellschaft Fördertechnik, Materialfluss und Logistik (2000): Effiziente Ersatzteil-Logistik. Tagung Kassel, 11. und 12. Oktober 2000. Düsseldorf: VDI Verlag (VDI-Berichte, 1573). Online verfügbar unter <http://www.gbv.de/dms/hebis-darmstadt/toc/9355012X.pdf>.
- Graf, René (2005): Erweitertes Supply Chain Management zur Ersatzteilversorgung. Essen: Vulkan.
- Haaß, Markus (2009): Entwicklung eines Optimierungsmodells für die Veränderungsplanung einer komplexen Ersatzteilwirtschaft. Dortmund: Verl. Praxiswissen (Unternehmenslogistik).
- Hagen, Markus (2003): Methoden, Daten- und Prozessmodell für das Ersatzteilmanagement in der Automobilelektronik. Dissertation.
- Han, Jiawei; Kamber, Micheline (2006): Data Mining. Concepts and Techniques. 2. Aufl. Amsterdam, Boston, San Francisco, CA: Elsevier; Morgan Kaufmann (The Morgan Kaufmann series in data management systems).
- Han, Jiawei; Kamber, Micheline; Pei, Jian (2011): Data Mining. Concepts and Techniques. 3. Aufl. Burlington: Elsevier Science.
- Han, Jiawei; Kamber, Micheline; Pei, Jian (2012): Data Mining. Concepts and Techniques. 3. Aufl. Waltham, Mass: Morgan Kaufmann Publishers.
- Hartung, Joachim; Elpelt, Bärbel (2007): Multivariate Statistik. Lehr- und Handbuch der angewandten Statistik. 7. Aufl. München [u.a.]: Oldenbourg.
- Hatzinger, Reinhold; Hornik, Kurt; Nagel, Herbert (2011): R. Einführung durch angewandte Statistik. 1. Aufl. München: Pearson Studium ein Imprint der Pearson Education (Pearson Studium - Scientific Tools).
- Held, Bernd (2010): Excel-VBA. Mit über 1000 Makros für Excel 2000 bis 2010. München: Markt + Technik (Kompendium).
- Hennecke, Klaus-Dieter (2007): Die Alternative - gebrauchte Werkzeugmaschinen. In: *VDI-Zeitschrift* 149 (5), S. 58–59.

- Hertel, Guido (2007): Mercer-Studie Autoelektronik. In: *Automobil-Elektronik* 5 (3), S. 26–27.
- Hesselbach, Jürgen; Graf, René (2003): Produktbegleitende Dienstleistungen zur Kundenbindung. Ganzheitliches Ersatzteilmanagement als Basis für ein After-Sales Service. In: Wilhelm Dangelmaier (Hg.): Innovationen im E-Business. 5. Paderborner Frühjahrstagung des Fraunhofer-Anwendungszentrums für Logistikorientierte Betriebswirtschaft, 10. April 2003. Paderborn: Fraunhofer-ALB (ALB-HNI-Verlagsschriftenreihe Innovative Produktion und Logistik, 10), S. 505–512.
- Hesselbach, Jürgen; Herrmann, C.; Graf, René; Mansour, M. (2004): Life Cycle Management als Ansatz für eine flexible Gestaltung der Ersatzteilversorgung. In: Lebenszyklusorientiertes Ersatzteilmanagement. Problemfeld Elektronik von der Entwicklung bis zum Auslauf branchenübergreifende Konzepte. Tagung Leonberg/Stuttgart, 22. und 23. Juni 2004. Düsseldorf: VDI Verlag (VDI-Berichte, 1848), S. 87–95.
- Hesselbach, Jürgen; Mansour, Markus; Graf, René (2002a): Erweitertes Supply Chain Management durch ganzheitliches Ersatzteilmanagement. In: Michael Schenk (Hg.): Logistikplanung & -management. 8. Magdeburger Logistik-Tagung, Magdeburg, 14./15. November 2002. Magdeburg: LOGiSCH (Magdeburger Logistik - Logistik aus technischer und ökonomischer Sicht), S. 225–246.
- Hesselbach, Jürgen; Mansour, Markus; Graf, René (2002b): Reuse of components for the spare part management in the automotive electronics industry after end-of-production. In: Klaus Feldmann (Hg.): Integrated product policy - chance and challenge. Proceedings of the 9th CIRP International Seminar on Life Cycle Engineering, Erlangen, Germany, April, 09. - 10. 2002. Bamberg: Meisenbach, S. 191–197.
- Hohaus, Christian; Stobbe, Irina (2008): Nachhaltigkeit durch den Einsatz von Gebrauchtteilen in der Kfz-Elektronik. Abschlusspräsentation des Verbundprojekts ReECar Nachhaltigkeit durch den Einsatz von Gebrauchtteilen in der Kfz-Elektronik Dortmund, 13. November 2008. Fraunhofer-Institut für Materialfluss und Logistik. Online verfügbar unter <http://www.reecar.org/servlet/is/951/>.

- Hoth, Carsten (1990): Die Pflicht zur Ersatzteilversorgung. Ein Beitrag zur Reichweite der deliktsrechtlichen Herstellerhaftung. Zugl. Dissertation Freie Universität Berlin 1990.
- Hug, Werner (1986): Optimale Ersatzteilwirtschaft. Beitrag zum technisch-wirtschaftlichen Bestände-Controlling. Köln: TÜV Rheinland.
- Huiskonen, Janne (2001): Maintenance spare parts logistics: Special characteristics and strategic choices. In: *International Journal of production economics* 71, S. 125–133.
- Ihde, G. B.; Merkel, H.; Henning, R. (1999): Ersatzteillogistik. Theoretische Grundlagen und praktische Handhabung. 3. Aufl. München: Huss.
- Ihde, Gösta; Lukas, Gernot; Merkel, Helmut; Unshelm, Karl (1980): Ersatzteil-Logistik. Grundlagen und empirische Ergebnisse. Düsseldorf: Verkehrs-Verlag J. Fischer.
- Inderfurth, Karl; Kleber, Rainer (2008): Modellgestützte Flexibilitätsanalyse von Strategien zur Ersatzteilversorgung in der Nachserienphase. Magdeburg.
- Inderfurth, Karl; Kleber, Rainer (2010): An Advanced Heuristic for Multiple-Option Spare Parts Procurement after End-of-Production. Magdeburg: FEMM (Working paper series / Otto von Guericke University Magdeburg, FEMM, Faculty of Economics and Management, 5).
- Inderfurth, Karl; Mukherjee, Kampan (2008): Decision support for spare parts acquisition in post product life cycle. In: *Central European Journal of Operations Research* 16 (1), S. 17–42.
- IPRI (2014): Forschungsschwerpunkt Ersatzteilmanagement. Übersicht über unsere Forschungsprojekte im Ersatzteilmanagement. Hg. v. IPRI International Performance Research Institute gemeinnützige GmbH. Online verfügbar unter <http://www.ersatzteilmanagement.eu/index.html>, zuletzt geprüft am 08.01.2015.
- Kaerger, Wolfgang (2008): Elektronische Baugruppen aus Altfahrzeugen. Gewinnung und Beschaffung über Demontagebetriebe. Abschlusspräsentation des Verbundprojekts ReECar Nachhaltigkeit durch den Einsatz von Gebrauchtteilen in der Kfz-Elektronik Dortmund, 13. November 2008. Online verfügbar unter <http://www.reecar.org/servlet/is/951/>.

- Kaiser, Uwe; Vogel, Michael; Werding, Arndt (2003): Ersatzteilmanagement. Instandhaltungs-Ersatzteilmanagement auf der Grundlage eines mehrdimensionalen Entscheidungsmodells. In: *Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb* 1998 (12), S. 685–687.
- Kalmbach, R.; Keinhans, C. (2004): Zulieferer auf der Gewinnerseite. In: *Mercer Management Consulting: Future Automotive Industry Structure FAST 2015*, S. 4–8.
- Kantardzic, Mehmed (2011): Data mining. Concepts, models, methods, and algorithms. 2. Aufl. Hoboken, N.J: John Wiley; IEEE Press.
- Kaufman, Leonard; Rousseeuw, Peter J. (2005): Finding groups in data. An introduction to cluster analysis. Hoboken NJ: Wiley-Interscience (Wiley series in probability and statistics).
- Kennedy, W.J.; Patterson, J.W.; Fredendall, L.D. (2002): An overview of recent literature on spare parts inventories. In: *International Journal of production economics* (76) (2), S. 201–215.
- Klug, Florian (2010): Logistikmanagement in der Automobilindustrie. Grundlagen der Logistik im Automobilbau. Berlin, Heidelberg: Springer (VDI-Buch).
- Knigge, Jens; Rosentritt, Caroline (2009): Systematische Auswahl und Anpassung von Strategien zur Ersatzteil-Bedarfsdeckung. In: *Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb* 104 (12), S. 1147–1150.
- Knode, Martin Dipl.-Ing. (2008): Demontage von elektronischen Baugruppen aus ELV. Abschlusspräsentation des Verbundprojekts ReECar Nachhaltigkeit durch den Einsatz von Gebrauchtteilen in der Kfz-Elektronik Dortmund, 13. November 2008. Online verfügbar unter <http://www.re-ecar.org/servlet/is/951/>.
- Koch, Susanne (2004): Lebenszyklusorientierte Ersatzteillogistik in Hersteller-Anwender-Kooperationen. Zugl. Dissertation Universität Bremen 2004. Hamburg: Kovac (Logistik-Management in Forschung und Praxis, 3). Online verfügbar unter <http://www.gbv.de/dms/zbw/393452239.pdf>.
- Kofler, Michael; Nebelo, Ralf (2011): Excel programmieren. Anwendungen entwickeln und Abläufe automatisieren mit Excel 2010 und 2007. 1. Aufl. München, Boston [u.a.]: Addison-Wesley (Programmer's choice).

- Kohn, Wolfgang (2005): Statistik. Datenanalyse und Wahrscheinlichkeitsrechnung. Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag Berlin Heidelberg (Statistik und ihre Anwendungen).
- Lieber, Daniel; Erohin, Olga; Deuse, Jochen (2013): Wissensentdeckung im industriellen Kontext. Herausforderungen und Anwendungsbeispiele. In: *Zeitung für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb* 108 (Nr. 6), S. 388–393.
- Ligges, Uwe (2008): Programmieren mit R. Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag (Statistik und ihre Anwendungen).
- Lokuciejewski, Paul; Stolpe, Marco; Morik, Katharina; Marwedel, Peter (2010): Automatic Selection of Machine Learning Models for Compiler Heuristic Generation. In: *Proceedings of the 4th Workshop on Statistical and Machine Learning Approaches to ARchitecture und compilaTion SMART*.
- Loukmdis, Georgios; Meyer, Jan Christoph (2006): ET-Versorgung: Effiziente Disposition im Ersatzteilmanagement. Entscheidungsmodell für differenzierten Einsatz von Prognosestrategien im Lebenszyklus der Ersatzteilversorgung. In: *Unternehmen der Zukunft* (1), S. 19–22.
- Loukmidis, Georgios; Luczak, Holger (2006): Lebenszyklusorientierte Planungsstrategien für den Ersatzteilbedarf. In: Karim Barkawi, Andreas Baader und Sven Montanus (Hg.): *Erfolgreich mit After Sales Services. Geschäftsstrategien für Servicemanagement und Ersatzteillogistik*. Berlin, Heidelberg: Springer.
- Mason, Martin (2007): Platz, Kosten und Zeit sparen. In: *Automobil-Elektronik* 5 (2), S. 50–51.
- Meidlinger, Andreas (1994): *Dynamisierte Bedarfsprognose für Ersatzteile bei technischen Gebrauchsgütern*. Frankfurt am Main, New York: P. Lang (Reihe V Volks- und Betriebswirtschaft, 1536).
- Meifarth, Uwe; Weber, Björn; Bauer, Andreas (2004): Ersatzteilmanagement elektronischer Bauteile - Randbedingungen und Anforderungen in der Zivilluftfahrt. In: *Lebenszyklusorientiertes Ersatzteilmanagement. Problemfeld Elektronik von der Entwicklung bis zum Auslauf branchenübergreifende Konzepte*. Tagung Leonberg/Stuttgart, 22. und 23. Juni 2004. Düsseldorf: VDI Verlag (VDI-Berichte, 1848), S. 37–57.

- Mente, T.; Kleikemper, V.; Ernst, Ch. (2008): Zustandsidentifikation langzeitgelagerter und gebrauchter Steuergeräte mit dem Ziel der Wiederverwendung. Abschlusspräsentation des Verbundprojekts ReECar Nachhaltigkeit durch den Einsatz von Gebrauchtteilen in der Kfz-Elektronik Dortmund, 13. November 2008.
- Mertens, Peter; Rässler, Susanne (Hg.) (2005): Prognoserechnung. 6. Aufl. Heidelberg: Physica (Springer-11775 /Dig. Serial]).
- Meyer, Jörn-Axel (2013): Berliner Forschungsbeiträge zu kleinen und mittleren Unternehmen. Ausgewählte Beiträge. 1. Aufl. Lohmar, Köln: Eul (Reihe: Kleine und mittlere Unternehmen, Bd. 23).
- Mierswa, Ingo (2009): Non-Convex and Multi-Objective Optimization in Data Mining. Non-Convex and Multi-Objective Optimization for Statistical Learning and Numerical Feature Engineering. Dissertation. Dortmund: Technische Universität.
- Müller, Roland M.; Lenz, Hans-Joachim (2013): BI Tools und Anwendungsfelder. In: Roland M. Müller und Hans-Joachim Lenz (Hg.): Business Intelligence. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg (eXamen.press), S. 259–276.
- Otte, Ralf; Otte, Viktor; Kaiser, Volker (2004): Data Mining für die industrielle Praxis. 1. Aufl. München: Hanser.
- Pawellek, Günther (2013): Integrierte Instandhaltung und Ersatzteillogistik. Vorgehensweisen, Methoden, Tools. Berlin, Heidelberg: Springer.
- Petersohn, Helge (2005): Data mining. Verfahren, Prozesse, Anwendungsarchitektur. München: Oldenbourg.
- Pfohl, Hans-Christian (2010): Logistiksysteme. Betriebswirtschaftliche Grundlagen. 8. Aufl. Berlin: Springer.
- Piatetsky, Gregory (2013): KDnuggets Annual Software Poll:RapidMiner and R vie for first place. rapid. Online verfügbar unter <http://www.kdnuggets.com/2013/06/kdnuggets-annual-software-poll-rapidminer-r-vie-for-first-place.html>, zuletzt aktualisiert am 13.01.2015.
- Pourakbar, M.; Dekker, R. (2011): Customer Differentiated End-of-Life Inventory Problem. In: *Econometric Institute Report EI 2011-21*, S. 1–28.

- Pourakbar, M.; Frenk, J.B.G.; Dekker, R. (2010): End-of-Life Inventory Decisions for Consumer Electronics Service Parts. In: *Econometric Institute Report EI 2009-48*, S. 1–43.
- Pourakbar, M.; van der Laan, E.; Dekker, R. (2011): End-of-Life Inventory Problem with Phase-out Returns. In: *Econometric Institute Report EI 2011-12*, S. 1–30.
- Pourakbar, Morteza (2011): End-of-Life Inventory Decisions of Service Parts. Dissertation. Universität Rotterdam.
- Quinlan, J. R. (1986): Induction of Decision Trees. In: *Machine Learning* (1), S. 81–106.
- Quinlan, J. R. (1993): C4.5. Programs for machine learning. San Mateo, Calif: Morgan Kaufmann Publishers (The Morgan Kaufmann series in machine learning).
- Recknagel, Stefan (2008): Optimierung der Langzeitprognose für den Allzeitbedarf von Ersatzteilen durch materialklassenspezifische Bedarfsplanung. Dissertation. Magdeburg: Universität.
- Reindl, Stefan (2007): Cashcow Aftermarket - Teilnehmer, Strukturen und Entwicklung. In: EUROFORUM Deutschland SE (Hg.): Euroforum-Jahrestagung. Der Automobil-Aftermarket, 14.03.2007.
- Rimscha, Markus (2010): Algorithmen kompakt und verständlich. Lösungsstrategien am Computer. 2. Aufl. Wiesbaden: Vieweg+Teubner Verlag / GWV Fachverlage.
- Rinn, J. (2002): Schlechte Noten für gebrauchte Autoteile. In: *auto motor zubehör* (Nr. 3), S. 66–69.
- Rosentritt, Caroline; Knigge, Jens (2010): Geregelte Ersatzteil-Bedarfsdeckungs-Strategien "GET". Lenszyklusabhängige Anpassungsfähigkeit von Ersatzteil-Bedarfsdeckungs-Strategien unter logistischer und wirtschaftlicher Kosten- Nutzen-Risiko-Bewertung. Schlussbericht für das Forschungsprojekt GET (IGF-Nr. 15731). Stuttgart-Hannover.
- Runkler, Thomas A. (2010): Data Mining. Methoden und Algorithmen intelligenter Datenanalyse. Wiesbaden: Vieweg+Teubner Verlag / GWV Fachverlage GmbH (SpringerLink : Bücher).

- Schmidt, Axel de (2006): Excellence in der internationalen Ersatzteillogistik. Herausforderungen und Chancen im globalen Wettbewerb. 3. Aufl. München: Huss (Logistik result).
- Schröter, Marcus (2006): Strategisches Ersatzteilmanagement in Closed-Loop Supply Chains. Ein systemdynamischer Ansatz. 1. Aufl. Wiesbaden: Dt. Universitäts-Verlag /GWV Fachverlage GmbH Wiesbaden. Online verfügbar unter <http://dx.doi.org/10.1007/978-3-8350-9037-8>.
- Schröter, Marcus; Spengler (2003): Strategic Management of Spare Parts in Closed-loop Supply Chains. A System Dynamics Approach. In: *INTERFACES – An International Journal of INFORMS* 33 (6), S. 7–17.
- Schulze, Peter M. (2007): Beschreibende Statistik. 6. Aufl. München [u.a.]: Oldenbourg (Lehrbuch).
- Schuppert, Frieder (1994): Strategische Optionen für Anbieter auf Ersatzteilmärkten. Wiesbaden: Gabler Verlag (Gabler Edition Wissenschaft).
- Sonquist, J.A.; Morgan, J.N. (1964): The Detection of Interaction Effects. Ann Arbor: Survey Research Center, Institut for Social Research, University of Michigan.
- Stark, Martin (2004): Die Gestaltung der Aufbauorganisation als Schlüssel zu einer effizienten Langzeitversorgung. In: Lebenszyklusorientiertes Ersatzteilmanagement. Problemfeld Elektronik von der Entwicklung bis zum Auslauf branchenübergreifende Konzepte. Tagung Leonberg/Stuttgart, 22. und 23. Juni 2004. Düsseldorf: VDI Verlag (VDI-Berichte, 1848), S. 145–160.
- Stumpp, B. (2007): Vernetzung stoppt Teile-Flut. In: *Automobil-Produktion* 21 (4), S. 82.
- Stutzke, Holger H. (2011): Projektmanagement mit Excel. Ein Praxisbuch mit den besten Tools für Projektmanager. 1. Aufl. München: Vahlen (Vahlen Praxis).
- Sünnemann, Frank (2004): Obsolescence Management - ein Baustein zur Absicherung der Lieferfähigkeit. In: Lebenszyklusorientiertes Ersatzteilmanagement. Problemfeld Elektronik von der Entwicklung bis zum Auslauf branchenübergreifende Konzepte. Tagung Leonberg/Stuttgart, 22. und 23. Juni 2004. Düsseldorf: VDI Verlag (VDI-Berichte, 1848), S. 117–126.

- Teunter, Ruud H.; Fortuin, Leonard (1998): End-of-life service. A case study. In: *European Journal of Operational Research* 107, S. 19–34. DOI: 10.1016/S0377-2217(97)00365-2.
- Teunter, Ruud H.; Fortuin, Leonard (1999): End-of-life Service. In: *International Journal of production economics* 59, S. 487–497.
- Tso, Brandt; Mather, Paul M. (2009): Classification methods for remotely sensed data. 2. Aufl. Boca Raton: CRC Press.
- VDA-Ausschuss Aftermarket (2006): Präsentation der Arbeitsergebnisse. Nachserienversorgung (Elektronik). VDA.
- Voss, Holger (2006): Life Cycle Logistics. Der Weg zur produktlebenszyklusorientierten Ersatzteillogistik. Univ., Diss.--Erlangen-Nürnberg, 2006. 1. Aufl. Bern: Haupt (Schriftenreihe Logistik der Kühne-Stiftung, 11). Online verfügbar unter <http://www.gbv.de/dms/ilmenau/toc/515929093.PDF>.
- Weih, Claus; Szepannek, Gero (2009): Distances in Classification. In: *LNAI* (Nr. 5633), S. 1–12.
- Wiendahl, Hans-Peter (2005): Betriebsorganisation für Ingenieure. 5. Aufl. München, Wien: Hanser.
- Wiendahl, Hans-Peter (2008): Betriebsorganisation für Ingenieure. 6. Aufl. München: Hanser.
- Wienholdt, Henrik (2011): Dynamische Konfiguration der Ersatzteillogistik im Maschinen- und Anlagenbau. 1. Aufl. Aachen: Apprimus-Verl (Edition Wissenschaft - Apprimus, 108).
- Windt, Katja; Knollmann, Mathias; Meyer, Mirja (2011): Anwendung von Data Mining Methoden zur Wissensgenerierung in der Logistik - Kritische Reflexion der Analysefähigkeit zur Termintreueverbesserung. In: Dieter Spath (Hg.): Wissensarbeit - zwischen strengen Prozessen und kreativem Spielraum. Berlin: GITO (Schriftenreihe der Hochschulgruppe für Arbeits- und Betriebsorganisation e. V. (HAB)), S. 223–250.
- Wollenweber, Jens (2006): Dynamische Gestaltung von Ersatzteilsystemen. Entwicklung eines ganzheitlichen Ansatzes unter integrierter Betrachtung von Prognoseverfahren, Netzwerkstrukturen und Bestandspolitiken. IGF-Forschungsvorhaben 14422 N.

Wollschläger, Daniel (2012): Grundlagen der Datenanalyse mit R. Eine anwendungsorientierte Einführung. 2. Aufl. 2012. Berlin, Heidelberg: Springer (Statistik und ihre Anwendungen).

Wrehde, Johannes (2011): Planung und Umsetzung der Nachserienversorgung in der Automobilelektronik. Aachen: Shaker (Schriftenreihe des IFU / Institut für Fabrikbetriebslehre und Unternehmensforschung, Technische Universität Carolo-Wilhelmina zu Braunschweig, 18).

Anhang

Alle zusätzlich zum Schlussbericht erforderlichen Dokumente werden anwendenden Unternehmen und anderen Interessierten gerne auf Anfrage bei der Forschungsstelle zur Verfügung gestellt und sind frei zugänglich. Dies umfasst nachstehende Dokumente.

Merkmalkatalog aus Kapitel 5

unbereinigter Merkmalkatalog „Merkmalkatalog_unbereinigt_variANa.pdf“

Softwaredemonstrator aus Kapitel 7

Rohdatenmatrix Trainingsdatensatz „Trainingsdatensatz_variANa.xlsx“

Rohdatenmatrix Gesamtdatensatz „Gesamtdatensatz_variANa.xlsx“

RapidMiner-Prozess „variANa.rmp“
