

Schlussbericht zum Forschungsprojekt HEUREGA!

Heuristikbasierte Ersatzteil-Bedarfsprognosen durch Nutzung organisationalen Wissens und anreizbasierter Abnehmerintegration

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

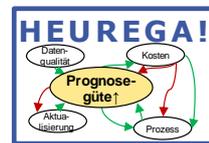


ALLIANZ
INDUSTRIE
FORSCHUNG



Gesellschaft für
Verkehrsbetriebswirtschaft
und Logistik e.V.

Das IGF-Vorhaben 17224 N / 1 der Forschungsvereinigung Gesellschaft für Verkehrsbetriebswirtschaft und Logistik e.V., Wiesenweg 2, 93352 Rohr wurde über die AiF im Rahmen des Programms zur Förderung der industriellen Gemeinschaftsforschung (IGF) vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages gefördert.



Zusammenfassung

Ziel des Forschungsprojekts war es, mittelständischen Unternehmen ein **aufwandsarmes Vorgehen zur Verbesserung ihrer Ersatzteil-Bedarfsprognosen** zur Verfügung zu stellen. Hierfür sollten die Einflussfaktoren auf den Ersatzteilbedarf systematisiert und Möglichkeiten zur Verbesserung der Datengrundlage untersucht werden. Des Weiteren sollten heuristische Verfahren zur Prognose von Ersatzteilbedarfen neu entwickelt und in ein gesamthaftes Vorgehen eingebettet werden. Diese heuristischen Verfahren sollen die bestehende Lücke zwischen den exakten, aber oft nicht anwendbaren mathematischen Verfahren und den bislang oft angewendeten, aber häufig nicht exakten subjektiven Schätzungen schließen.

Im Rahmen des Forschungsprojekts wurden gemeinsam mit den Unternehmen des Projektbegleitenden Ausschusses die geplanten Ergebnisse erarbeitet. Der **Projektbegleitende Ausschuss unterstützte die Arbeiten** in allen Phasen durch den intensiven Test der Ergebnisse, das Einbringen von Daten aus unternehmensinternen Datenbanken sowie Workshops und Interviews.

Die **Einflussfaktoren auf den Ersatzteilbedarf** wurden identifiziert, systematisiert und hinsichtlich ihrer Bedeutung und Sensitivität bewertet.

Parallel wurden die **Möglichkeiten zur unternehmensinternen und -übergreifenden Verbesserung der Datengrundlage** für die Ersatzteil-Bedarfsprognosen untersucht. Durch den Einsatz dieser Möglichkeiten kann die Datenqualität sukzessive verbessert werden.

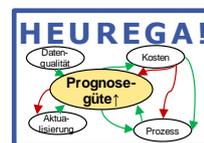
Für die aufwandsarme Prognose von Ersatzteilbedarfen **wurden drei heuristische Prognoseverfahren entwickelt** und anhand von Realdaten der Unternehmen getestet. Vergleichsgrundlage waren dabei die subjektiven Schätzungen der Unternehmenspartner sowie die Ergebnisse parallel angewandter mathematischer Verfahren. Die Ergebnisse dieser Test (mögliche Einsatzbereiche der Verfahren und vorteilhafte Fälle, Vorgehen) wurden dokumentiert.

Sämtliche Ergebnisse wurden schließlich in ein **Vorgehen** überführt, welches KMU befähigt, aufwandsarme Prognosen für ihre Ersatzteile zu erstellen. Die Möglichkeit der unmittelbaren Praxisanwendung dieses Vorgehens wird durch die Erstellung eines Handlungsleitfadens, die Entwicklung eines Seminarkonzepts sowie eines softwarebasierten Demonstrators abgesichert. Alle Ergebnisse wurden vom Projektbegleitenden Ausschuss intensiv getestet.

Das Ziel des Forschungsvorhabens wurde erreicht.

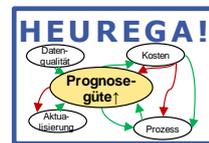
Das IGF-Vorhaben 17224 N / 1 der Forschungsvereinigung Gesellschaft für Verkehrsbetriebswirtschaft und Logistik e.V., Wiesenweg 2, 93352 Rohr wurde über die AiF im Rahmen des Programms zur Förderung der industriellen Gemeinschaftsforschung (IGF) vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages gefördert.

Für diese Förderung und Unterstützung sei gedankt.

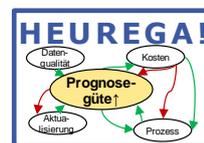


I Inhaltsverzeichnis

Zusammenfassung	I
I Inhaltsverzeichnis	II
II Abbildungsverzeichnis	IV
III Tabellenverzeichnis	V
1 Ausgangssituation, wissenschaftlich-technische Problemstellung und Zielsetzung des Forschungsprojekts.....	1
2 Gegenüberstellung der erzielten Ergebnisse mit den Zielsetzungen im Antrag.....	3
3 Detaildarstellung der durchgeführten Arbeiten und erzielten Ergebnisse	8
3.1 Arbeitspaket 1: Identifizierung und Kategorisierung der Einflussfaktoren der Bedarfsprognose	8
3.2 Arbeitspaket 2: Erarbeitung der Zusammenhänge zwischen den Einflussfaktoren.....	10
3.3 Arbeitspaket 3: Ermittlung der Robustheit der Einflussfaktoren	14
3.4 Arbeitspaket IV: Möglichkeiten für Anreize zur Verbesserung der Datenverfügbarkeit/Abnehmerintegration	17
3.4.1 Anreize in Supply Chains.....	17
3.4.2 Zielsetzung und Analyse der diskutierten Anreize.....	18
3.4.3 Gemeinsame Datengrundlage zur Verbesserung der Datenqualität	20
3.5 Arbeitspaket 5: Erarbeitung von Heuristiken.....	22
3.5.1 Überblick	22
3.5.2 Heuristik „Installed Base“	23
3.5.3 Heuristik „Vergangenheitsbedarf“	25
3.5.4 Heuristik „Ähnlichkeit“	26
3.6 Arbeitspaket 6: Beispielhafte Anwendung und Validierung der Heuristiken	28
3.6.1 Vorgehensweise	28
3.6.2 Anwendung der Heuristiken bei ausgewählten Unternehmen des PA...31	
3.6.3 Wesentliche Erkenntnisse der Validierung - Einsatzempfehlungen für die verschiedenen Prognoseverfahren	36
3.7 Arbeitspaket 7: Dokumentation und Öffentlichkeitsarbeit.....	38
4 Innovativer Beitrag und wirtschaftlicher Nutzen	39
4.1 Innovativer Beitrag der Forschungsergebnisse.....	39

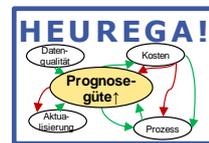


4.2	Wirtschaftlicher Nutzen der Forschungsergebnisse.....	40
5	Veröffentlichungen und Transfermaßnahmen.....	42
5.1	Projektbegleitender Ausschuss des Projekts HEUREGA!.....	42
5.2	Überblick über die bis zum Projektende durchgeführten Transfermaßnahmen...42	
5.3	Transfermaßnahmen nach der Projektlaufzeit.....	45
5.3.1	Demonstrator.....	45
5.3.2	Handlungsleitfaden zur heuristikbasierten Ersatzteil-Bedarfsprognose.45	
5.3.3	Seminarangebot.....	45
5.4	Einschätzung zur Realisierbarkeit des vorgeschlagenen und aktualisierten Transferkonzepts.....	46
6	Durchführende Forschungsstelle.....	47
IV	Literaturverzeichnis.....	VI



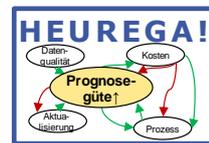
II Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Arbeitspakete des Forschungsprojekts	2
Abbildung 2: Zusammenhänge zwischen den Einflussfaktoren	11
Abbildung 3: Ableitung von Wirkungsketten.....	12
Abbildung 4: Theoretischer und tatsächlicher Ersatzteilbedarf.....	13
Abbildung 5: Einflussfaktoren auf den Ersatzteilbedarf - Darstellung der Wirkungsketten und des Grades der Faktoren	14
Abbildung 6: Ergebnisportfolio der Vester-Analyse	15
Abbildung 7: Vester-Matrix zur Bewertung der Einflussfaktoren	15
Abbildung 8: Auswertung der Vester-Matrix.....	16
Abbildung 9: Unternehmensübergreifende Bewertung der Robustheit der Einflussfaktoren .	17
Abbildung 10: Verbesserung des Informationsdurchlaufs über die Lieferkette	20
Abbildung 11: Teiledokumentation zur Verbesserung der Datenverfügbarkeit	21
Abbildung 12: Verbesserung der Informationsgrundlage zur Ersatzteil-Bedarfsprognose.....	22
Abbildung 13: Heuristik "Installed Base" im Überblick.....	24
Abbildung 14: Heuristik "Vergangenheitsbedarf" im Überblick	26
Abbildung 15: Heuristik "Ähnlichkeit" im Überblick.....	27
Abbildung 16: Ersatzteile, für die Heuristiken geeignet sind	29
Abbildung 17: Einflussmatrix nach Vester zur Analyse der Einflussstärke der relevanten Einflussfaktoren	30
Abbildung 18: Merkmale der zu analysierenden Teile	32
Abbildung 19: Auszug der Einflussmatrix nach Vester.....	33
Abbildung 20: Auswertung der Einflussmatrix nach Vester.....	34
Abbildung 21: Güte der Prognoseverfahren.....	35
Abbildung 22: Bedarfsprognose Test 1.....	36
Abbildung 23: Entscheidungsbaum zur Auswahl des passenden Prognoseverfahrens.....	36



III Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Gegenüberstellung der erzielten Ergebnisse aus Arbeitspaket 1	3
Tabelle 2: Gegenüberstellung der erzielten Ergebnisse aus Arbeitspaket 2	4
Tabelle 3: Gegenüberstellung der erzielten Ergebnisse aus Arbeitspaket 3	4
Tabelle 4: Gegenüberstellung der erzielten Ergebnisse aus Arbeitspaket 4	5
Tabelle 5: Gegenüberstellung der erzielten Ergebnisse aus Arbeitspaket 5	6
Tabelle 6: Gegenüberstellung der erzielten Ergebnisse aus Arbeitspaket 6	7
Tabelle 7: Gegenüberstellung der erzielten Ergebnisse aus Arbeitspaket 7	7
Tabelle 8: Arbeitsvorlage für die Unternehmen im Rahmen der Delphi-Studie	8
Tabelle 9: Einflussfaktoren auf den Ersatzteilbedarf	9
Tabelle 10: Vorgehen Heuristik "Installed Base"	25
Tabelle 11: Öffentlichkeitsarbeit und Ergebnistransfer	42



1 Ausgangssituation, wissenschaftlich-technische Problemstellung und Zielsetzung des Forschungsprojekts

Aus der Pflicht zur Versorgung von Primärprodukten mit Ersatzteilen¹ resultiert für produzierende Unternehmen die Notwendigkeit zur **Sicherstellung der Ersatzteilverfügbarkeit** für ihre Primärprodukte. Voraussetzung dafür ist die **Erstellung von Ersatzteil-Bedarfsprognosen**.

Zur Erstellung von Ersatzteil-Bedarfsprognosen existieren zahlreiche komplexe Verfahren,² welche hohe Anforderungen an die Datenmenge und -qualität stellen und ersatzteilspezifisch anzuwenden sind. Trotz dieser verfügbaren Verfahren erfolgt die **Ersatzteil-Bedarfsprognose** in der Praxis aufgrund der häufig unzureichenden Datenlage **letztlich oft intuitiv und ist stark subjektiv geprägt**; das vorhandene Wissen zur Abschätzung der Ersatzteilbedarfe ist nicht expliziert. Zudem erfolgt die Bedarfsermittlung häufig rein vergangenheitsorientiert. Entwicklungen, wie beispielsweise Veränderungen der Nachfragemengen aufgrund der Verfügbarkeit neuer Produkte oder des Ausscheidens von Primärprodukten nach der gewöhnlichen Nutzungsdauer, werden nur zeitverzögert nachgezeichnet.³

Für kleine und mittlere Unternehmen (KMU) ist es aufgrund von Kapazitätsrestriktionen unmöglich, bei mehreren Tausend Ersatzteilen⁴ auch nur für einen Bruchteil die vorhandenen spezifischen Prognoseverfahren anzuwenden. Vielmehr ist es erforderlich, **Vorgehensweisen** zur Verfügung zu stellen, welche mit **geringem Aufwand hinreichend genaue Lösungen** liefern. Dies leisten beispielsweise Heuristiken.⁵

Wesentliches Problem bei der Erstellung von Ersatzteil-Bedarfsprognosen ist die **mangelnde Verfügbarkeit der zugrunde liegenden Daten** in der erforderlichen Qualität.⁶ Die Daten fallen dezentral im Unternehmen an, in den Bereichen Entwicklung/Konstruktion, Produktion, Vertrieb, Service und Logistik. Einige Daten sind nur auf nachgelagerten Stufen der Supply-Chain (Kundenunternehmen) in hoher Güte verfügbar, wie beispielsweise der tatsächliche Bestand der zugehörigen Primärprodukte im Markt („Installed Base“).

¹ Vgl. §157 und §242 BGB sowie die Ausführungen bei Koch (2004) und Voss (2006).

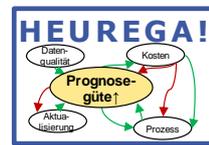
² Vgl. für eine Übersicht der Verfahren Schuh et al. (2013), S. 187ff.

³ Vgl. Mahnel/Seebauer (Hrsg. 2008), S. 66, fast die Hälfte der Unternehmen im Maschinenbau führt eine rein vergangenheitsorientierte Ersatzteil-Bedarfsermittlung durch. In der gleichen Studie wurde erhoben, dass die durchschnittliche Ersatzteilverfügbarkeit auf Auftragsebene im Maschinen- und Anlagenbau bei nur 62% liegt (vgl. ebenda, S. 89).

⁴ Nach einer Studie wurden im Maschinenbau durchschnittlich 26.400 verschiedene Ersatzteil-Artikel in den letzten drei Jahren verkauft. Ähnlich hoch sind die Zahlen für die Elektroindustrie und die IKT-Branche, wo durchschnittlich 26.000 Artikel in den letzten drei Jahren verkauft wurden (vgl. Mahnel/Seebauer (Hrsg. 2008), S. 47).

⁵ Vgl. Gigerenzer (2007).

⁶ Vgl. Schuppert (1994), S. 175.



Sind die benötigten Eingangsdaten nicht in der geforderten Qualität vorhanden, können **mathematische Prognoseverfahren keine nutzbaren Ergebnisse** liefern. Für die unternehmensübergreifende Zusammenarbeit müssen zudem geeignete Anreize gesetzt werden, um die Weitergabe der erforderlichen Daten zu fördern. Solche Anreize können beispielsweise günstigere Preise oder zusätzliche Services sein, wenn der voraussichtlich benötigte Bedarf von den nachgelagerten Stufen der Supply Chain frühzeitig gemeldet wird.

Zahlreiche Gespräche mit Unternehmensvertretern unterschiedlicher Branchen im Vorfeld des Projekts zeigten den **vorhandenen Forschungsbedarf** im Bereich der Ersatzteil-Bedarfsprognose. Insbesondere bei der Entwicklung einer Vorgehensweise zur Ersatzteil-Bedarfsprognose sowie der Entwicklung handhabbarer, aber trotzdem hinreichend genauer **Verfahren zur Erstellung von Ersatzteil-Bedarfsprognosen** wurde ein großer Bedarf bei den Unternehmen gesehen.

Das Ziel des Forschungsprojekts bestand daher in

- der **Entwicklung eines Vorgehens**, mit welchem KMU aufwandsarm hinreichend **genaue Ersatzteil-Bedarfsprognosen** erstellen können,
- der **Entwicklung heuristischer Verfahren** zur Erstellung von Ersatzteil-Bedarfsprognosen, eingebettet in das Gesamtverfahren sowie
- der **Erarbeitung eines Konzepts zur nachhaltigen Verbesserung der Datenverfügbarkeit** für Ersatzteil-Bedarfsprognosen.

Um das Ziel des Forschungsprojekts zu erreichen, wurde das Projekt in sechs inhaltliche Arbeitspakete aufgeteilt. Eine **Übersicht der Arbeitspakete** ist in Abbildung 1 dargestellt.

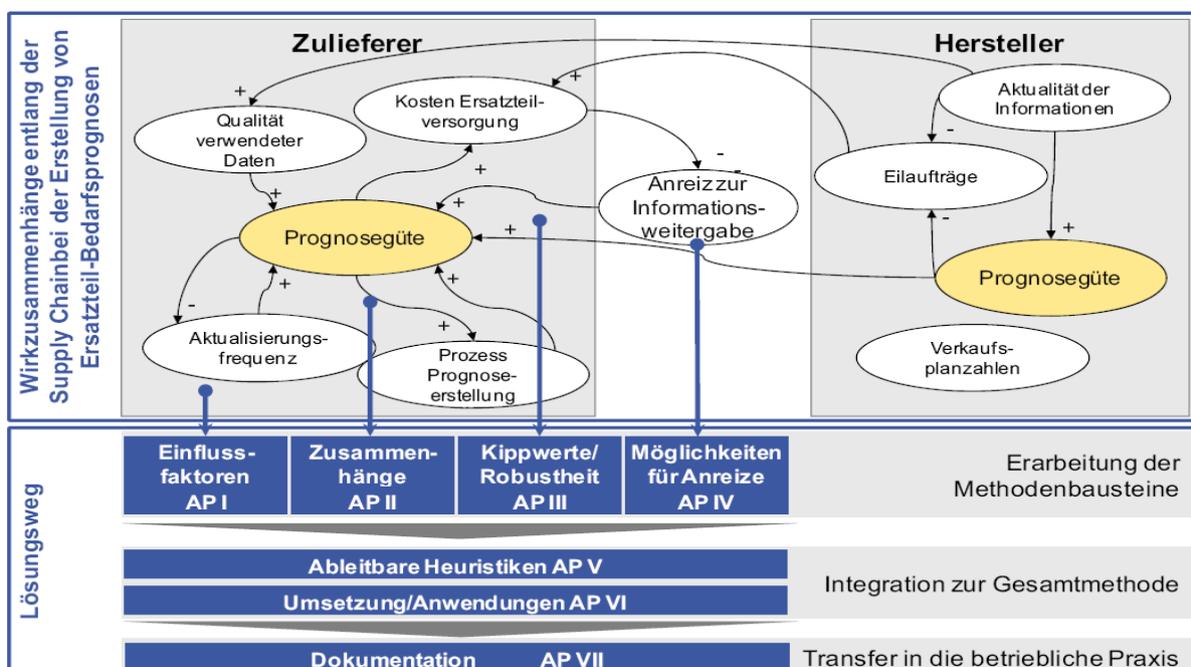
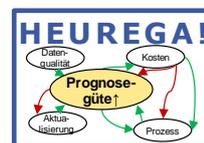


Abbildung 1: Arbeitspakete des Forschungsprojekts⁷

⁷ Eigene Darstellung.



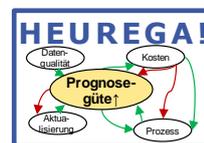
2 Gegenüberstellung der erzielten Ergebnisse mit den Zielsetzungen im Antrag

Bevor auf die Ergebnisse eingegangen wird, sollen diese den Zielsetzungen des Projekts gegenübergestellt und damit in den Gesamtkontext eingeordnet werden. Insgesamt wurden sowohl die **Ziele der Arbeitspakete als auch das Gesamtziel des Forschungsvorhabens erreicht**.

In **Arbeitspaket 1** wurden die Einflussfaktoren auf den Ersatzteilbedarf erarbeitet. Tabelle 1 stellt die erarbeiteten Ergebnisse in der Übersicht dar.

Tabelle 1: Gegenüberstellung der erzielten Ergebnisse aus Arbeitspaket 1

Arbeitspaket 1: Identifizierung und Kategorisierung der Einflussfaktoren der Bedarfsprognose		
Geplante Ergebnisse lt. Langantrag	Durchgeführte Arbeiten	Erzielte Ergebnisse am Projektende
<ul style="list-style-type: none"> ■ Ermittlung der relevanten Faktoren zur Erstellung von Ersatzteil-Bedarfsprognosen ■ Klassifizierung der Ersatzteile nach wesentlichen Merkmalen ■ Auswahl und Beschreibung der für die Bauteile relevanten Einflussfaktoren 	<ul style="list-style-type: none"> ■ Auswertung und Strukturierung der Literatur ■ Erhebung der in der Unternehmenspraxis bekannten und berücksichtigten Einflussfaktoren ■ Erarbeitung und Klassifizierung der Einflussfaktoren ■ Validierung der Zuordnung der Einflussfaktoren zu den Kategorien sowie inhaltliche Beschreibung der Einflussfaktoren gemeinsam mit den Unternehmen des Projektbegleitenden Ausschusses (PA) ■ Vorbereitung und Durchführung der Arbeitspaket-übergreifenden Delphi-Studie 	<ul style="list-style-type: none"> ■ Einflussfaktoren auf den Ersatzteilbedarf ■ Klassifizierung von Ersatzteilen und Kennzeichnung der Teile, für welche in der Praxis keine zufriedenstellenden Bedarfsprognose-Verfahren verfügbar sind ■ Beschreibung und Klassifizierung der relevanten Einflussfaktoren



In **Arbeitspaket 2** wurden die Zusammenhänge zwischen den Einflussfaktoren auf den Ersatzteilbedarf erarbeitet. Tabelle 2 stellt die erarbeiteten Ergebnisse in der Übersicht dar.

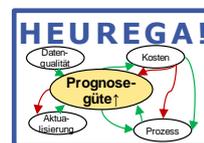
Tabelle 2: Gegenüberstellung der erzielten Ergebnisse aus Arbeitspaket 2

Arbeitspaket 2: Erarbeitung der Zusammenhänge zwischen den Einflussfaktoren		
Geplante Ergebnisse lt. Langantrag	Durchgeführte Arbeiten	Erzielte Ergebnisse am Projektende
<ul style="list-style-type: none"> ■ Untersuchung der Zusammenhänge zwischen den Einflussfaktoren für verschiedene Bauteile ■ Beschreibung der Wirkzusammenhänge zwischen den Einflussfaktoren 	<ul style="list-style-type: none"> ■ Delphi-Studie zur Analyse der Zusammenhänge zwischen den Einflussfaktoren, der Erhebbarkeit und Stufe der Einflussfaktoren ■ Überprüfung der Ergebnisse der Delphi-Studie anhand konkreter Praxisanwendungen auf Vollständigkeit der beschriebenen Einflussfaktoren 	<ul style="list-style-type: none"> ■ Zusammenhänge der wesentlichen Einflussfaktoren auf den Ersatzteilbedarf ■ Beschriebene Wirkzusammenhänge zwischen den Einflussfaktoren, Beschreibung von Einflussketten

In **Arbeitspaket 3** wurden die Sensitivität und Robustheit der Einflussfaktoren erarbeitet. Tabelle 3 stellt die erarbeiteten Ergebnisse in der Übersicht dar.

Tabelle 3: Gegenüberstellung der erzielten Ergebnisse aus Arbeitspaket 3

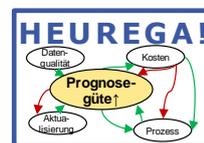
Arbeitspaket 3: Ermittlung der Robustheit der Einflussfaktoren		
Geplante Ergebnisse lt. Langantrag	Durchgeführte Arbeiten	Erzielte Ergebnisse am Projektende
<ul style="list-style-type: none"> ■ Beurteilung der Stabilität der Einflussfaktoren gegenüber äußeren Einflüssen ■ Ermittlung geeigneter Indikatoren zur Anzeige struktureller Veränderungen (Strukturbrüche) 	<ul style="list-style-type: none"> ■ Tiefeninterviews mit den Vertretern des PA ■ Systemrelevanz der Einflussfaktoren über die Netzwerkanalyse nach Vester ■ Rückkopplung in Folgeinterviews in Unternehmen des PA 	<ul style="list-style-type: none"> ■ Systemrelevante und aktive Einflussfaktoren, mit denen Einfluss auf die Bedarfsprognose genommen werden kann ■ Indikative Einflussfaktoren, die für die Überwachung der Ersatzteilbedarfsentwicklungen relevant sind ■ Robustheit der Einflussfaktoren im Sinne ihrer Relevanz und Kritikalität



In **Arbeitspaket 4** wurden Ansätze zur Verbesserung der Datengrundlage für den Ersatzteilbedarf erarbeitet. Tabelle 4 stellt die erarbeiteten Ergebnisse in der Übersicht dar.

Tabelle 4: Gegenüberstellung der erzielten Ergebnisse aus Arbeitspaket 4

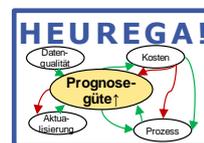
Arbeitspaket 4: Möglichkeiten für Anreize zur Verbesserung der Datenverfügbarkeit/Abnehmerintegration		
Geplante Ergebnisse lt. Langantrag	Durchgeführte Arbeiten	Erzielte Ergebnisse am Projektende
<ul style="list-style-type: none"> ■ Katalog der Möglichkeiten zur Verbesserung der Prognosen durch entsprechende Anreize 	<ul style="list-style-type: none"> ■ Diskussion möglicher Anreize mit Hilfe der Galeriemethode ■ Identifikation von Kontextfaktoren der Prognose ■ Cross-Impact-Analyse der Kontextfaktoren ■ Erhebung der Informationsbedarfe für eine Verbesserung der Bedarfsprognose 	<ul style="list-style-type: none"> ■ Unternehmensinterne Verbesserungsmöglichkeiten der Datenverfügbarkeit (Vorlagen und Vorgehen) ■ Datenherkunft und Möglichkeit zur Datenerhebung der für den Ersatzteilbedarf benötigten Daten ■ Klassifizierung der Möglichkeiten zur unternehmensübergreifenden Verbesserung der Datenverfügbarkeit nach Nutzbarkeit und Einsatzbereichen ■ Beispielhafte Möglichkeiten zur Verbesserung der Datenverfügbarkeit



In **Arbeitspaket 5** wurden die heuristischen Verfahren zur Prognose des Ersatzteilbedarfs erarbeitet. Tabelle 5 stellt die erarbeiteten Ergebnisse in der Übersicht dar.

Tabelle 5: Gegenüberstellung der erzielten Ergebnisse aus Arbeitspaket 5

Arbeitspaket 5: Erarbeitung von Heuristiken		
Geplante Ergebnisse lt. Langantrag	Durchgeführte Arbeiten	Erzielte Ergebnisse am Projektende
<ul style="list-style-type: none"> ■ Ableitung und Dokumentation von geeigneten Heuristiken für geeignete Anwendungsfälle 	<ul style="list-style-type: none"> ■ Literaturanalyse hinsichtlich eingesetzter/nutzbarer Heuristiken ■ Tiefeninterviews zur Erarbeitung der nutzbaren Haupteinflussfaktoren, des akzeptablen Aufwands sowie sonstigen Anforderungen ■ Auswahl dreier Ansätze durch den PA ■ Untersuchung zur Fallunterscheidung der Anwendbarkeit einzelner Heuristiken 	<ul style="list-style-type: none"> ■ Heuristische Vorgehen zur Bedarfsprognose <ul style="list-style-type: none"> ○ Formalisierte Heuristik auf Basis von historischen Bedarfen (Optimierungsverfahren): Anwendungsvorschrift, Einsatzgebiet, Korrekturfaktoren, Ermittlung der Korrekturfaktoren ○ Formalisierte Heuristik auf Basis der Installed Base (Optimierungsverfahren): Anwendungsvorschrift, Einsatzgebiet, Korrekturfaktoren, Ermittlung der Korrekturfaktoren ○ Formalisierte Heuristik auf Basis von Ähnlichkeiten (Eröffnungsverfahren): Anwendungsvorschrift, Einsatzgebiet, Ähnlichkeitsfaktoren, Bewertung der Ähnlichkeit von Teilen



In **Arbeitspaket 6** wurden die entwickelten heuristischen Verfahren zur Prognose des Ersatzteilbedarfs sowie das Gesamtverfahren anhand von Realdaten der Unternehmen validiert und weitere Umsetzungshilfen erarbeitet. Tabelle 6 stellt die erarbeiteten Ergebnisse in der Übersicht dar.

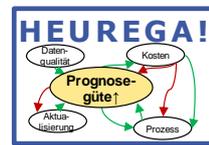
Tabelle 6: Gegenüberstellung der erzielten Ergebnisse aus Arbeitspaket 6

Arbeitspaket 6: Beispielhafte Anwendung und Validierung der Heuristiken		
Geplante Ergebnisse lt. Langantrag	Durchgeführte Arbeiten	Erzielte Ergebnisse am Projektende
<ul style="list-style-type: none"> ■ Überprüfung der erstellten Heuristiken anhand historischer Daten der Unternehmen 	<ul style="list-style-type: none"> ■ Anwendung der erarbeiteten Heuristiken bei Unternehmen des PA auf Basis von Realdaten, Durchführung von Vergleichstests mit mathematischen Verfahren und subjektiven Schätzungen ■ Entwicklung des Excel-Demonstrators ■ Entwicklung des Leitfadens zur Ersatzteilbedarfsprognose mittels Heuristiken ■ Validierung des Demonstrators und des Leitfadens mit Mitgliedern des PA 	<ul style="list-style-type: none"> ■ Anwendungsbereiche der Heuristiken und Messung der Güte ■ Leitfaden zur Bestimmung des Einsatzbereichs der Heuristiken sowie zur Bedarfsprognose unter Verwendung der Heuristiken ■ Excel-Demonstrator zur Anwendung der Heuristiken ■ Validiertes Vorgehen zur Ersatzteil-Bedarfsprognose unter Verwendung der entwickelten Heuristiken

Arbeitspaket 7 widmete sich dem Transfer der erarbeiteten Ergebnisse in die betriebliche Praxis. Die erfolgten und geplanten Aktivitäten sind ausführlich in Kapitel 5 dargestellt.

Tabelle 7: Gegenüberstellung der erzielten Ergebnisse aus Arbeitspaket 7

Arbeitspaket 7: Dokumentation und Transfer		
Geplante Ergebnisse lt. Langantrag	Durchgeführte Arbeiten	Erzielte Ergebnisse am Projektende
<ul style="list-style-type: none"> ■ Transfer der erarbeiteten Ergebnisse in die betriebliche Praxis 	<ul style="list-style-type: none"> ■ Siehe Transferplan (Abschnitt 5.2 und 5.3) 	<ul style="list-style-type: none"> ■ Siehe Transferplan (Abschnitt 5.2 und 5.3)



3 Detaildarstellung der durchgeführten Arbeiten und erzielten Ergebnisse

3.1 Arbeitspaket 1: Identifizierung und Kategorisierung der Einflussfaktoren der Bedarfsprognose

Ausgangspunkt der Arbeiten im Projekt war die **Identifizierung der Einflussfaktoren** der Ersatzteil-Bedarfsprognose. Hierzu wurde zunächst die Literatur gesichtet und eine Sammlung der dort genannten Faktoren erstellt. Zum Einen wurden in Veröffentlichungen und Vorträgen genannte Einflussfaktoren gesammelt, zum Anderen wurden veröffentlichte Rechenverfahren hinsichtlich der Eingangsgrößen untersucht.⁸

Parallel wurden **Tiefeninterviews mit den Unternehmen des Projektbegleitenden Ausschusses (PA)** geführt, in denen nach subjektiv wahrgenommenen und berücksichtigten Einflussfaktoren auf den Ersatzteilbedarf gefragt wurde. Diese Faktoren wurden der Sammlung hinzugefügt.

Der so entstandene **Katalog unterschiedlicher Einflussfaktoren** wurde auf Dopplungen geprüft bzw. auf die Möglichkeit zur Zusammenlegung/Aufspaltung von Einflussfaktoren. Damit wurde eine einheitliche Abstraktionsebene der Einflussfaktoren erreicht.

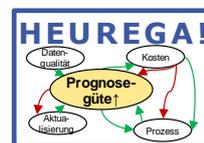
Im Anschluss wurde mit den Unternehmen des Projektbegleitenden Ausschusses (PA) eine **Delphi-Studie** durchgeführt. Hierzu wurde den Unternehmen die **Sammlung der Einflussfaktoren** sowie eine Vorlage zur **Kommentierung** dieser zugesandt. Die Kommentierung umfasste dabei den Einfluss, den der jeweilige Faktor auf andere Faktoren ausübt, die Beeinflussung dieses Faktors durch andere Faktoren, die Sensitivität dieses Faktors sowie die Möglichkeiten, diesen Faktor zu erheben.

Tabelle 8: Arbeitsvorlage für die Unternehmen im Rahmen der Delphi-Studie⁹

Einschätzung der Einflussfaktoren auf den Ersatzteil-Bedarf	<Name des Einflussfaktors>
Welchen Einfluss hat dieser Faktor auf andere Faktoren (auf welche Faktoren und wie werden diese beeinflusst?)	<Ihre Antwort>
Von welchen anderen Faktoren wird der kommentierte Faktor auf welche Art selbst beeinflusst?	<Ihre Antwort>
Wie sensitiv reagiert dieser Faktor auf externe Einflüsse (bspw. veränderte Marktentwicklungen)?	<Ihre Antwort>
Wie schätzen Sie die Erhebbarkeit des Faktors ein (Datenverfügbarkeit, Qualität der Daten)?	<Ihre Antwort>

⁸ Vgl. bspw. die genannten Einflussfaktoren bei Kleber et al. (2012), Mukhopadhyay et al. (2012), Wang (2011), Teunter et al. (2011), Louit et al. (2011), Jalil et al. (2011), Schreiber (2010), Boone/Quisbrock (2009), Hua et al. (2009), Van Kooten und Tan (2009), Biedermann (2008), Porras und Dekker (2008), Hua et al. (2007), Wong et al. (2007), Dahmen/Wollenweber (2005), Eaves/Kingsman (2004), Hesselbach et al. (2004), Shenstone/Hyndman (2005), Aronis et al (2004), Kostas et al. (2004), Meidlinger (1994), Richter (1987), Ihde et al. (1988).

⁹ Eigene Darstellung.



Die Bedeutung des jeweiligen Faktors wurde im Rahmen einer **Priorisierung** durch die Unternehmen erfasst, indem den kommentierten Faktoren Ränge zugewiesen wurden.

Die Angaben der Unternehmen wurden im Anschluss für jeden Einflussfaktor ausgewertet und zusammengefasst. Diese Zusammenfassung wurde den Unternehmen anschließend erneut mit der Bitte um Kommentierung vorgelegt. Dieses Vorgehen diente dazu, das Wissen der beteiligten Unternehmen zu integrieren und eine **stabile Beurteilung der einzelnen Faktoren** zu erarbeiten, welche von Ausreißerwerten möglichst wenig verzerrt wird.

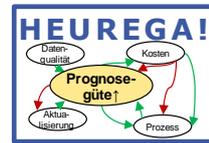
Die erneut **kommentierten Ergebnisse** wurden wieder zusammengefasst und auf einer Sitzung des Projektbegleitenden Ausschusses abschließend diskutiert.

Im Ergebnis konnten **22 Faktoren mit Einfluss auf den Ersatzteilbedarf** herausgearbeitet werden, welche im Folgenden aufgeführt sind.

Tabelle 9: Einflussfaktoren auf den Ersatzteilbedarf¹⁰

Einflussfaktor
Gesamtzahl der Produkte des Unternehmens
Vergangenheitsbedarf Ersatzteil
Anzahl an Reklamationen/Reparaturen
Ausfallverhalten Primärprodukt
Nutzungsbedingungen
Anzahl abgeschlossener Serviceverträge
Liefermodalitäten (Zoll, Erreichbarkeit)
Alternative Versorgungsmöglichkeiten
Entwicklung Marktnachfrage nach Primärprodukt
Lebenszyklusphase des Ersatzteils
Vergleichbarkeit des Produkts mit anderen Produkten
Wertschöpfungstiefe am Ersatzteil
Herstell- o. Beschaffungszeit
Lieferfähigkeit
Wert des Produkts für den Kunden

¹⁰ Eigene Darstellung.



Einflussfaktor
Kompatibilität des Ersatzteils für andere Produkte
Anzahl der Kunden
Verteilung der Kunden
Reproduzierbarkeit
Attraktivität für Wettbewerber
Preis des Ersatzteils
Anteil eigen versorgter Ersatzteile am Gesamtbedarf

3.2 Arbeitspaket 2: Erarbeitung der Zusammenhänge zwischen den Einflussfaktoren

Die in Abschnitt 3.1 beschriebene Delphi-Studie diente gleichzeitig zur **Erarbeitung der Zusammenhänge zwischen den Einflussfaktoren**. Die Einflussfaktoren auf den Ersatzteilbedarf sind von einander nicht unabhängig, sondern beeinflussen sich zum Teil gegenseitig.

Um Einflüsse nicht doppelt zu erfassen bzw. je nach verfügbarer Datenlage einen geeigneten Faktor zur Beschreibung einer Wirkungskette auswählen zu können, mussten daher die **Einflüsse zwischen den Faktoren erarbeitet** werden.

Durch die Durchführung der Delphi-Studie sowie die anschließende Diskussion der Ergebnisse im Rahmen einer PA-Sitzung konnten die **in Abbildung 2 dargestellten Einflüsse** erarbeitet werden.

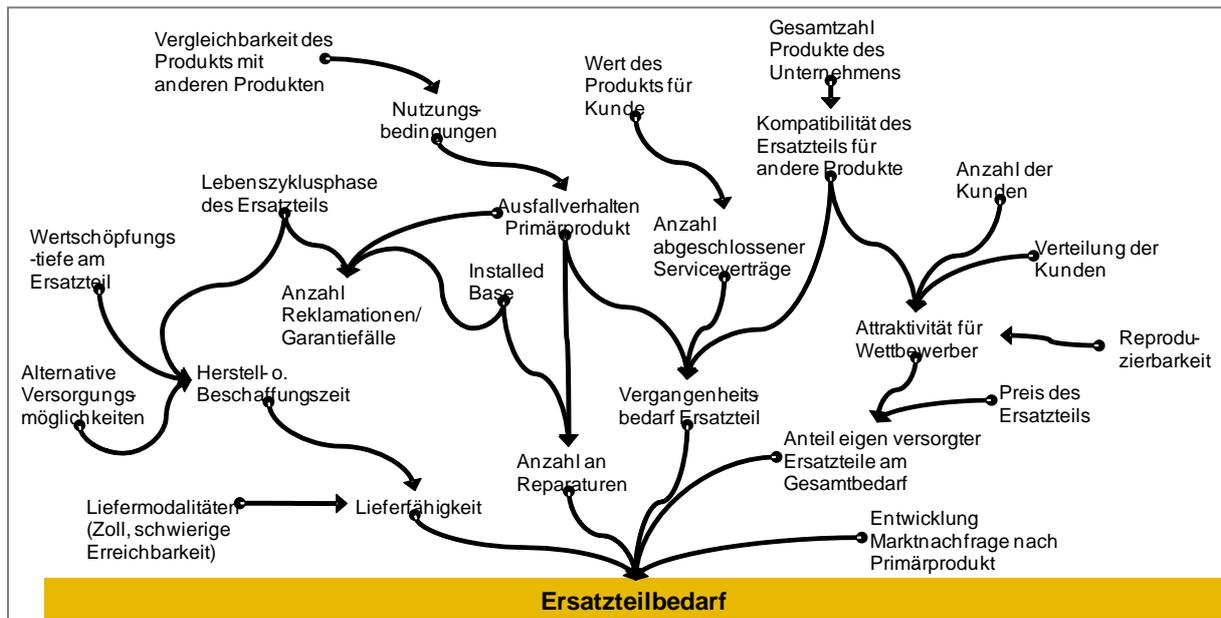


Abbildung 2: Zusammenhänge zwischen den Einflussfaktoren¹¹

Diese Analyse ermöglicht zweierlei: Zum einen können einzelne **Wirkungsketten beschrieben** werden, zum anderen können jene **Faktoren** identifiziert werden, welche einen **direkten Einfluss auf den Ersatzteilbedarf** haben (Einflussfaktoren 1. Grades).

Die Wirkungsketten wurden mit den Unternehmen diskutiert und sollen hier **an einem Beispiel verdeutlicht werden** (vgl. Abbildung 3). Die Anzahl der Kunden für die entsprechenden Ersatzteile wirkt sich direkt auf die Attraktivität der Nachfertigung dieser Ersatzteile für Wettbewerber aus: Je mehr Kunden diese Teile nachfragen, desto eher lohnt sich eine Nachfertigung bzw. die Einrichtung und Aufrechterhaltung der für die Teileversorgung benötigten Infrastrukturen. Die Attraktivität für den Wettbewerb wirkt sich wiederum auf den Anteil der eigen versorgten Produkte am Ersatzteilbedarf aus: Je stärker der Wettbewerb, desto vielfältiger sind die Versorgungsmöglichkeiten der Kunden und desto schwieriger wird es für den Hersteller, in diesem Wettbewerb zu konkurrieren.

¹¹ Eigene Darstellung.

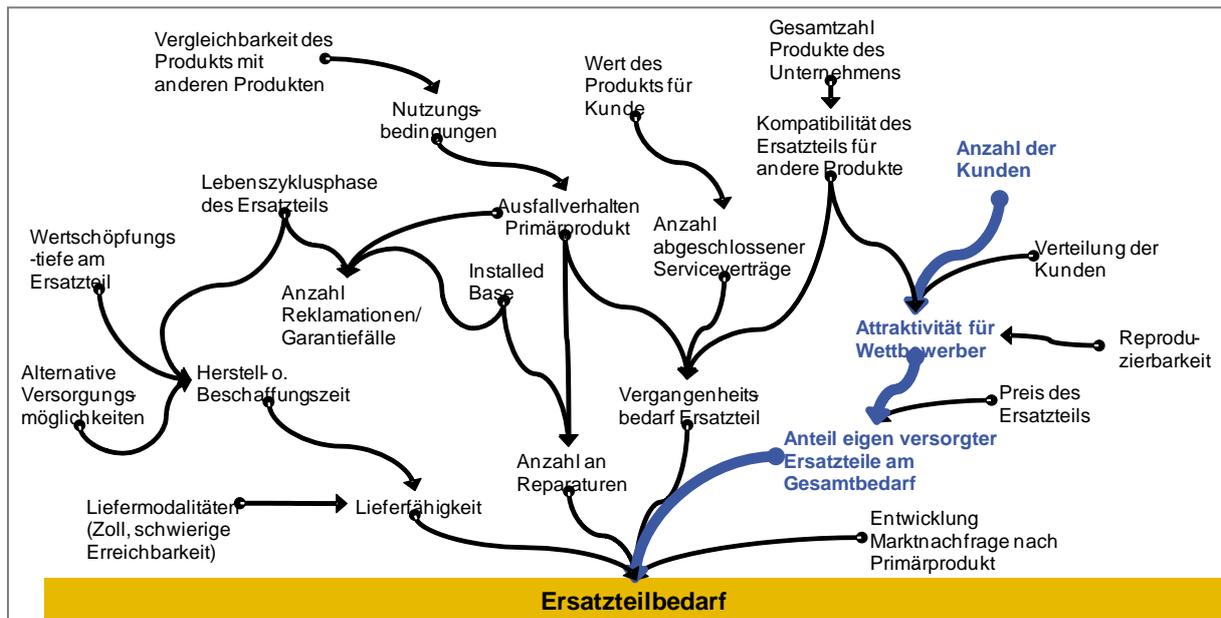


Abbildung 3: Ableitung von Wirkungsketten¹²

Dies resultiert aus der Tatsache, dass der **theoretische Ersatzteilbedarf in der Praxis nicht mit der tatsächlichen Ersatzteilversorgung durch den Hersteller übereinstimmen muss**. Der theoretische Bedarf, welcher sich aus der Produktionsmenge des Primärprodukts und einer durchschnittlichen Ausfall-/Fehlerquote ergibt, wird in der Praxis nicht zwingend vom Hersteller allein bedient. Andere Akteure, beispielsweise freier Teilehandel oder Konkurrenzanbieter, können ebenfalls die Ersatzteilversorgung übernehmen und damit den Anteil des Herstellers reduzieren. Die tatsächlich benötigte Anzahl der Ersatzteile im Service kann damit nur bedingt aus dem theoretischen Bedarf abgeleitet werden (vgl. Abbildung 4).

¹² Eigene Darstellung.

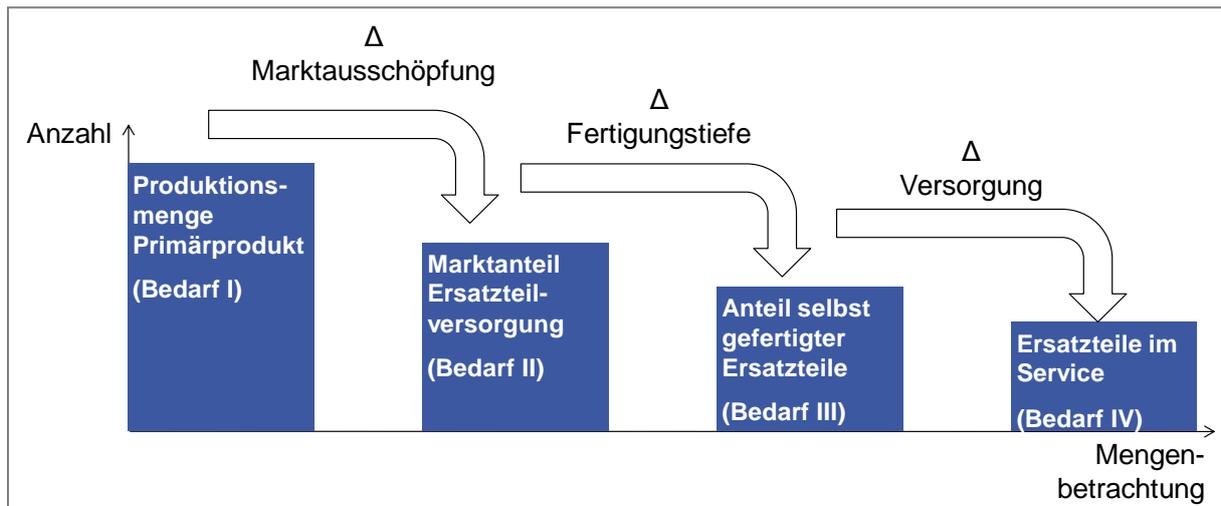


Abbildung 4: Theoretischer und tatsächlicher Ersatzteilbedarf¹³

Anhand der Betrachtung der Zusammenhänge und Wirkungsketten wurde mit den Unternehmen auch die **Richtung der Zusammenhänge** diskutiert. Unter Richtung wird dabei die positive oder negative Wirkung eines Faktors auf einen anderen verstanden. In obigem Beispiel wirkt sich die Anzahl der Kunden positiv (erhöhend) auf die Attraktivität für den Wettbewerb aus, die Attraktivität des Wettbewerbs wiederum wirkt sich negativ (erniedrigend) auf den Anteil eigen versorgter Ersatzteile aus.

Diese **Zusammenhänge wurden für alle Wirkungsketten erarbeitet**. Als letzter Schritt konnten die Faktoren in Faktoren 1. Grades (direkter Einfluss auf den Ersatzteilbedarf, dunkelgrau dargestellt), Faktoren 2. Grades (indirekter Einfluss auf den Ersatzteilbedarf, mittelgrau dargestellt) und Faktoren höheren Grades (mittelbarer Einfluss auf den Ersatzteilbedarf über mindestens zwei Stufen, hellgrau bzw. weiß dargestellt) unterteilt werden (vgl. Abbildung 5).

¹³ Eigene Darstellung.

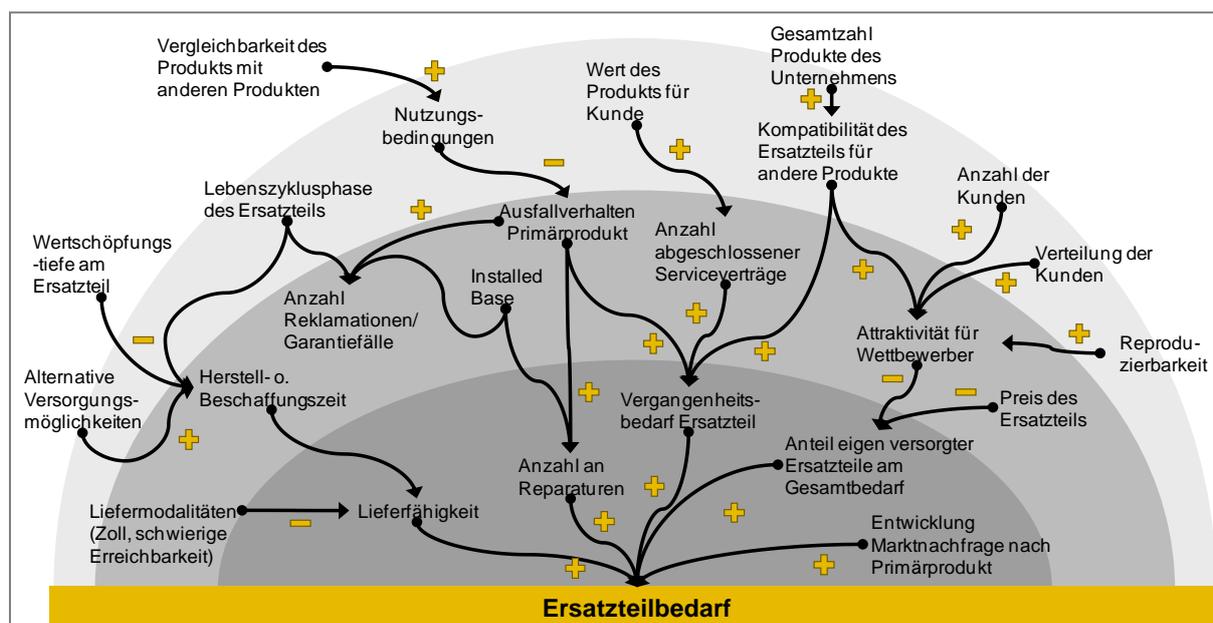


Abbildung 5: Einflussfaktoren auf den Ersatzteilbedarf - Darstellung der Wirkungsketten und des Grades der Faktoren¹⁴

3.3 Arbeitspaket 3: Ermittlung der Robustheit der Einflussfaktoren

Neben den Zusammenhängen zwischen den Einflussfaktoren ist auch die **Robustheit der einzelnen Faktoren** ein wichtiges Maß in der betrieblichen Praxis. Veränderungen an den Einflussfaktoren werden kontinuierlich auftreten. Für die Unternehmen ist es daher wesentlich zu wissen, wie stark sich die Änderung an einzelnen Faktoren auf den Gesamt-Ersatzteilbedarf auswirkt.

Die **Robustheit der Einflussfaktoren** wurde auf zwei Wegen analysiert: branchenübergreifend und unternehmensindividuell.

Branchenübergreifend ist der Grad des Einflussfaktors ein wichtiger Hinweis: **Einflussfaktoren ersten Grades** wirken sich **direkt auf den Ersatzteilbedarf** aus und werden zudem in den meisten Fällen von mehreren anderen Faktoren beeinflusst. Daher sind diese Faktoren weniger robust als Einflussfaktoren höheren Grades.

Da diese Einordnung zwar einen ersten Hinweis gibt, den Unternehmen aber nicht in der Analyse ihrer individuellen Situation hilft, wurde weiterhin eine **Methode zur individuellen Ermittlung der Robustheit der Einflussfaktoren** erarbeitet. Methodisch wurde hierbei auf die Einflussfaktorenanalyse nach Vester¹⁵ zurückgegriffen (vgl. Abbildung 7). Diese bietet die Möglichkeit der Bewertung der Faktoren und der Einordnung in ein Portfolio.

¹⁴ Eigene Darstellung.

¹⁵ Vgl. Vester (2012), S. 218ff.

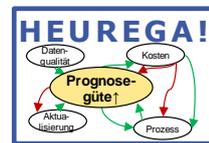


Abbildung 6: Ergebnisportfolio der Vester-Analyse¹⁶

Das Vorgehen besteht darin, den **Einfluss jedes einzelnen Faktors auf die anderen Faktoren zu bewerten**, wobei eine Skala von 0 bis 3 (0 kein Einfluss bis 3 sehr starker Einfluss) verwendet wird.¹⁷ Hierfür wird eine Matrix erstellt, in der zeilenweise der Einfluss des einzelnen Faktors auf alle anderen Faktoren beschrieben wird (vgl. Abbildung 7).

Ausgewählte Faktoren	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1)										
2)										
3)										
4)										
5)										
6)										
7)										
8)										
9)										
10)										

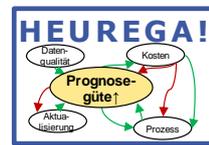
Leserichtung von Zeilen zu Spalten, Bedeutung: Faktor 1 beeinflusst Faktor 2...n
 0 gar nicht, 1 gering, 2 mittel, 3 hoch

Abbildung 7: Vester-Matrix zur Bewertung der Einflussfaktoren¹⁸

¹⁶ In Anlehnung an Vester (2012), S. 234.

¹⁷ Vgl. Vester (2012), S. 226.

¹⁸ In Anlehnung an Vester (2012), S. 226.



Nach dieser Bewertung kann dann durch eine Addition der Werte in den Zeilen und Spalten die **Stärke des aktiven und passiven Einflusses ermittelt** werden. Die Zeilensumme zeigt die Stärke des aktiven Einflusses an, die Spaltensumme die Stärke des passiven Einflusses (vgl. Abbildung 8). Dieses Verfahren ermöglicht es den Unternehmen, in kurzer Zeit eine individuelle Analyse ihrer Einflussfaktoren auf den Ersatzteilbedarf zu erstellen.

Ausgewählte Faktoren	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Zeilensummen = Stärke des aktiven Einflusses
1)											
2)											
3)											
4)											
5)											
6)											
7)											
8)											
9)											
10)											
Spaltensummen = Stärke des passiven Einflusses											

Abbildung 8: Auswertung der Vester-Matrix¹⁹

Im Projekt wurde die Bewertung der Einflussfaktoren mit den Unternehmen des PA durchgeführt und durch eine Berechnung der Mittelwerte **eine unternehmensübergreifende Bewertung der Einflussfaktoren** erarbeitet. Diese Bewertung der Einflussfaktoren ist in Abbildung 9 dargestellt und kann Unternehmen, welche sich neu mit den Einflussfaktoren beschäftigen, als erste Orientierung dienen.

¹⁹ In Anlehnung an Vester (2012), S. 228.

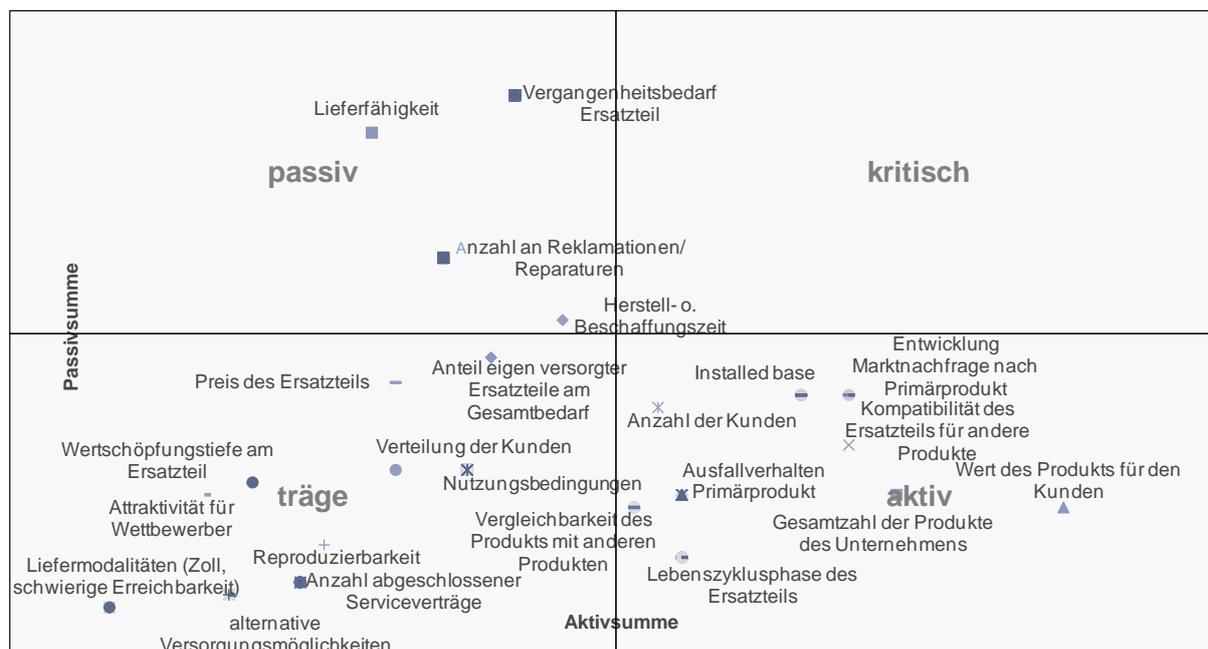


Abbildung 9: Unternehmensübergreifende Bewertung der Robustheit der Einflussfaktoren²⁰

3.4 Arbeitspaket IV: Möglichkeiten für Anreize zur Verbesserung der Datenverfügbarkeit/Abnehmerintegration

3.4.1 Anreize in Supply Chains

Anreizsysteme sollen dazu dienen, das Verhalten von Personen, Organisationen oder Unternehmen auf zuvor definierte Ziele auszurichten.²¹ In einem weiten Begriffsverständnis lassen sich Anreizsysteme beschreiben als „Summe aller bewusst gestalteten Arbeitsbedingungen, die bestimmte Verhaltensweisen (durch positive Anreize, Belohnungen etc.) verstärken, die Wahrscheinlichkeit des Auftretens anderer dagegen mindern (negative Anreize, Sanktionen)“²².

Allgemein begründet sich ein Anreizsystem aus der **Menge von monetären bzw. nicht monetären Anreizen** sowie einer Menge von Kriterien. Diese beiden Mengen werden durch Relationsvorschriften zueinander in Beziehung gesetzt.²³ Über Anreize werden wichtige Steuerungs- und Motivationsfunktionen für das Verhalten der Vertragspartner ausgeübt.²⁴

Die **adäquate Zielausrichtung der Supply-Chain-Partner** ist in komplexen Netzwerken von Unternehmen einer Wertschöpfungskette besonders schwierig. Einzel- und Gesamtinteressen können hier konfligierend sein. Insbesondere in Supply Chains, in denen

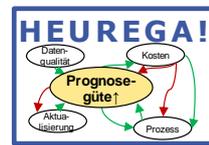
²⁰ Eigene Darstellung.

²¹ Vgl. Krey/Wettels (2008), S. 131.

²² Wild (1973), S. 47.

²³ Vgl. Kossbiel (1994), S. 78.

²⁴ Vgl. Krey/Wettels (2008), S. 141.



ein oder wenige Unternehmen die Wertschöpfungskette dominieren, kann mittels Anreizsystemen eine effektive Zielausrichtung der Supply-Chain-Partner erfolgen.²⁵

Die **adäquate Ausgestaltung** der Anreizsysteme ist **abhängig von den Beziehungen der einzelnen Unternehmen**.

Die **Kollaboration mit Abnehmern** lässt sich mit unterschiedlicher Intensität gestalten. Nach Bacon et al. kann die Kollaboration in drei unterschiedlichen Formen stattfinden:²⁶ Beziehungen auf transaktionaler Ebene, auf einer Ebene mit erweitertem Informationsteilung/-austausch sowie auf einer Ebene mit gemeinsamer Planung und Entwicklung von Geschäftsplänen.

Bei **transaktionalen Beziehungen** werden lediglich Informationen über Bestellungen und Rechnungen ausgetauscht.

In einer **Geschäftsbeziehung mit erweitertem Informationsaustausch** werden zusätzliche Informationen, wie Bestände oder Bestellstatus, geteilt.

Bei der **gemeinsamen Planung und Entwicklung von Geschäftsplänen** werden die ausgetauschten Informationen interaktiv genutzt.

Die **häufigsten Formen von Geschäftsbeziehungen** sind auf transaktionaler Ebene oder mit erweitertem Informationsaustausch.²⁷ Dies konnte im Projekt bestätigt werden.

3.4.2 Zielsetzung und Analyse der diskutierten Anreize

Im Rahmen des Projekts wurden auf Basis bestehender Untersuchungen zum Supply Chain Management **Anreize identifiziert**, die zu einer Verbesserung des Informationsflusses bezüglich der Einflussfaktoren auf den Ersatzteilbedarf und somit der Ersatzteil-Bedarfsprognose herangezogen werden können. Die Anreize wurden gemeinsam mit den Unternehmen des PA diskutiert.

In der Literatur sind verschiedene Anreize beschrieben; diese sind häufig allerdings auf den intraorganisationalen Einsatz fokussiert.²⁸ Ein **betriebsübergreifender Einsatz** dieser **Anreize** gestaltet sich oftmals **schwierig**.

Des Weiteren sind die in der Literatur aufgeführten interorganisatorischen Anreize oftmals auf die Zulieferer in der Supply Chain ausgerichtet²⁹; eine **Betrachtung der Abnehmerseite wird nur ansatzweise durchgeführt**³⁰.

Die mit den Unternehmen des PA diskutierten **Anreize**, die in der Praxis für die **Verbesserung der Bedarfsprognose** eingesetzt werden können, werden im Folgenden erläutert:

²⁵ Vgl. Narayanan/Raman (2004), S. 96.

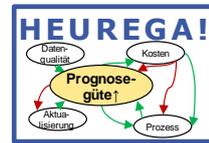
²⁶ Vgl. Bacon et al. (2002), S. 12.

²⁷ Vgl. Kaipa/Hartiala (2006), S. 388.

²⁸ Vgl. die Arbeiten von Wächter (1991), de Ruiter/Koch (1991), Bleicher (1992) oder Welge et al. (1996).

²⁹ Vgl. Krey/Wettels (2008), S. 143.

³⁰ Vgl. Narayanan/Raman (2004), S. 100.



- Rabatt für frühzeitige Bestellung
- Rabatt auf ET für kundenseitiges Zwischenlager
- Rabatt für Reduzierung der ET-Varianten
- Garantierte Verfügbarkeit
- Kostenerstattung der Ersatzteile

Frühzeitige Bestellungen der Ersatzteile den Kunden könnten mit einem Rabatt belohnt werden. Die Gegenleistung des Kunden für den gewährten Rabatt ist die höhere Planungssicherheit für den Hersteller durch rechtzeitige Informationen über den zukünftigen Bedarf. Damit können in Folge Bedarfsspitzen abgedeckt und eine gleichmäßige Auslastung der Produktion erreicht werden.

Ein weiterer Anreiz könnte ein **Rabatt für die Kunden sein, die ein eigenes Zwischenlager für Ersatzteile führen**. Als Gegenleistung für den gewährten Rabatt lagert der Kunde die Ersatzteile im eigenen Zwischenlager. Das verfolgte Ziel sind hierbei die Risikoreduzierung für den Hersteller sowie eine mit dem Zwischenlager verbundene Pufferwirkung. Das kundenseitige Zwischenlager führt zu geringeren Beständen und einer geringeren Kapitalbindung seitens des Herstellers, wodurch er ein geringeres Abwertungsrisiko für die Bestände hat und ein geringerer Kapitaleinsatz erforderlich ist. Des Weiteren wird weniger Lagerfläche benötigt. Dies kann insbesondere bei großvolumigen Ersatzteilen eine deutliche Flächeneinsparung für den Hersteller bedeuten sowie die Transportkosten reduzieren.

Ein weiterer Anreiz für die Abnehmerseite ist die **Gewährung eines Rabatts auf Ersatzteile bei einer Reduzierung der Ersatzteilvarianten**. Die Reduzierung der Variantenvielfalt führt zu einer geringeren Komplexität in der Logistik, wodurch Einsparungen in diesem Bereich erzielt werden können. Das Ziel ist die Bereitstellung eines Kits für die Ersatzteile, die Reduzierung der Vielfalt und die Erhöhung der Planungssicherheit durch einen auf wenige Ersatzteilvarianten aggregierten Bedarf. Insbesondere ist dieses Vorgehen geeignet bei Produkten mit hoher Varianz und mit geringen Ersatzteilbedarfen pro Variante.

Die Gewährleistung einer garantierten Ersatzteilverfügbarkeit ist ein weiterer Anreiz, der den Abnehmern gewährt werden kann. Dadurch können Image des Herstellers und Kundentreue verbessert werden. Verknüpft werden kann die Gewährleistung der Verfügbarkeit beispielsweise auch mit der Gegenleistung des Kunden, Informationen über den Ausfallgrund bereitzustellen. Dies kann die Bedarfsprognose ebenfalls verbessern.

Die **Kostenerstattung der Ersatzteile** bietet sich insbesondere in Märkten mit einer saisonalen Nachfrage nach Ersatzteilen an. Um die Versorgung mit Ersatzteilen in der Hauptbetriebsphase sicherstellen zu können, wird den Abnehmern (z.B. Händler) ein Rückgaberecht für Ersatzteile zu einem bestimmten Preis eingeräumt. Die Endkundenversorgung kann somit auch in Phasen mit einem hohen Ersatzteilbedarf sichergestellt werden. Im Gegenzug können ebenfalls Informationen über den Ausfallgrund vereinbart werden, die die Prognose des Ersatzteilbedarfs verbessern können.

Sobald ein Anreizsystem implementiert ist, sollten Unternehmen **regelmäßig die Passung analysieren**, da sich Geschäftsbeziehungen oder Technologien ändern und die gewählte Anreizgestaltung beeinflussen können.³¹

Generell wurden in den Diskussionen Anreize im Allgemeinen durch die Experten der Unternehmen des PA nicht als praktikabler Weg eingeschätzt, die Prognosequalität zu verbessern. Konsens war, dass Anreize in Einzelfällen relevant sein mögen, jedoch **Markthindernisse oftmals gegen eine tiefergehende Umsetzung der Anreizsetzung zur Abnehmerintegration** sprechen.

Oft sind die Möglichkeiten, Kunden in die Prognose einzubinden, durch den Service nicht umzusetzen. Es fehlt beispielsweise der Kontakt zu den Endkunden, bei denen der Ersatzteilbedarf entsteht oder die Strategie des Unternehmens schließt eine Anreizsetzung aus, beispielsweise das Versprechen ohne Gegenleistung innerhalb einer gewissen Zeit kostenfrei Ersatzteile zu liefern. Des Weiteren können **Machtverhältnisse in der Supply Chain eine Steuerung über Anreize ausschließen**. So ist ein Käufermarkt, der in der Regel vorliegt, ein Hindernis, Anreize umzusetzen.

3.4.3 Gemeinsame Datengrundlage zur Verbesserung der Datenqualität

Eine **Verbesserung der Datenqualität** muss auch **durch interne Maßnahmen gefördert** werden. So sind in den verschiedenen Unternehmensbereichen häufig viele relevante Informationen vorhanden, die eine **Verbesserung der Prognosequalität** bewirken können. Voraussetzung hierfür ist eine gemeinsame Datenbasis, in der die vorhandenen Informationen gebündelt und ausgewertet werden können (vgl. Abbildung 10).

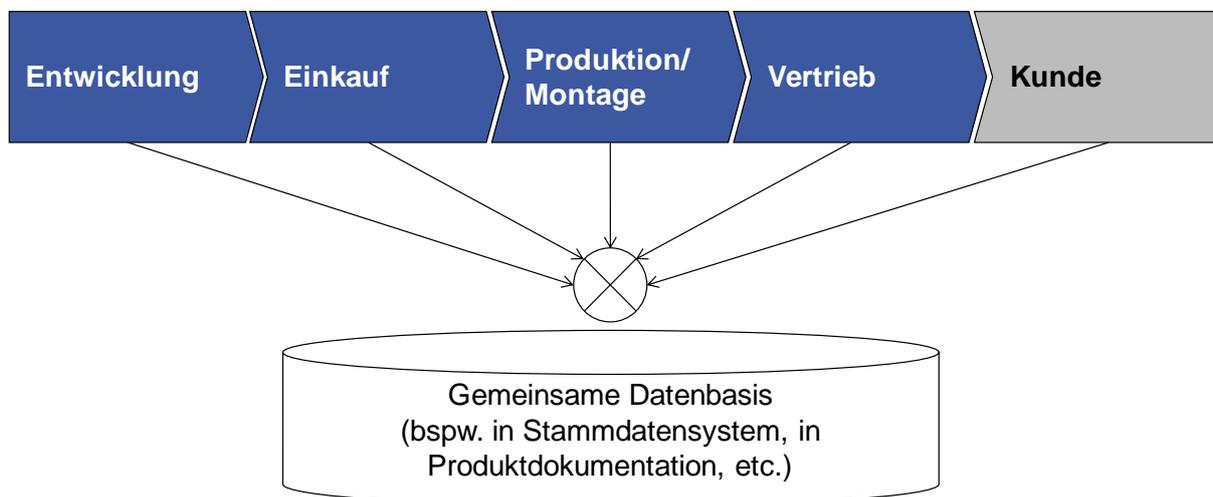
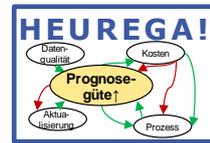


Abbildung 10: Verbesserung des Informationsdurchlaufs über die Lieferkette³²

³¹ Vgl. Narayanan/Raman (2004), S. 102.

³² Eigene Darstellung.



Eine **gemeinsame Datenbasis** ermöglicht es, die formulierten Bedarfsprognosen des Kunden mit seinen tatsächlichen Bedarfen abzugleichen und einen „Korrekturfaktor“ für die Genauigkeit der Bedarfsprognosen des Kunden zu ermitteln.

In dieser Datenbasis sollten möglichst alle **relevanten Informationen zur Ersatzteil-Bedarfsprognose** aus den Unternehmensbereichen **zusammengeführt** werden. Die Daten können beispielsweise in das Stammdatensystem oder in die Produktdokumentation integriert werden.

Die Vervollständigung der Teiledokumentation und der nachfolgende **Pflegeaufwand** sollten ebenfalls auf die **Unternehmensbereiche verteilt** werden. Die Verantwortung der Koordination zur Nachverfolgung und Kontrolle der Ersatzteildaten sollte im Servicebereich angesiedelt werden. Die Kontrolle der Daten durch den Servicebereich sollte regelmäßig erfolgen, z.B. in halbjährlichen oder jährlichen Abständen. Hierbei sind angelegte Ersatzteile u.a. auf Aktualität und Vollständigkeit der Daten zu prüfen (vgl. Abbildung 11). So können die Datenbestände von alten Datensätzen bereinigt und neuangelegte Ersatzteile auf Vollständigkeit überprüft werden.

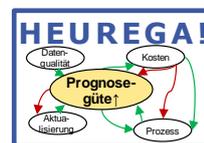


Abbildung 11: Teiledokumentation zur Verbesserung der Datenverfügbarkeit³³

Die Daten, die im Unternehmen in der Regel zur Verfügung stehen, jedoch **zusammengeführt** werden müssen, sind vielfältig. In Abbildung 12 sind beispielhaft Daten zusammengestellt, die die Qualität der Ersatzteil-Bedarfsprognose verbessern. Diese **Daten sind in den Bereichen Entwicklung, Einkauf, Produktion, Vertrieb und Service aufzunehmen und zusammenzuführen**. Des Weiteren können der Vertrieb und der Service die Daten der Ersatzteile mit relevanten Informationen über den Kunden vervollständigen.

Zu den **Informationen aus der Entwicklung** gehören beispielweise die Planlebensdauer der Ersatzteile bzw. der Produktgruppe und des Primärprodukts sowie die Kompatibilität des Ersatzteils mit Vorgänger- bzw. Nachfolgerprodukten.

³³ Eigene Darstellung.



Relevante **Daten im Einkauf** sind u.a. Langzeitbezugsmöglichkeiten für die Ersatzteile, Mindestbestellmengen oder ob Ersatzteile werkzeuggebunden sind.

Im **Bereich der Produktion** sind insbesondere die Vorlaufzeiten und Mindestlosgrößen von Interesse. Des Weiteren ist der Zeitplan für einen möglichen Rückbau der Produktionsanlagen relevant.

In den Bereichen **Vertrieb und Service** sind u.a. die geplante Einsatzdauer und -umgebung beim Kunden, die Zumutbarkeit für den Kunden auf ein kompatibles/ähnliches Produkt umzusteigen sowie Früh- und Spätausfallursachen und entsprechend betroffene Teile relevante Informationen, die die Ersatzteil-Bedarfsprognose verbessern können. Ferner sind die Informationen über die mengenmäßige und geografische Verteilung der Installed Base sowie die Bedeutung des Kunden für das Unternehmen von Interesse. Diese Informationen können aus dem Vertrieb und aus dem Servicebereich beschafft werden.

Entwicklung	Einkauf	Produktion/ Montage	Vertrieb	Service	Kunde
Plan-Lebensdauer von Ersatzteilen/ Teilegruppen	Langzeit-Bezugs- möglichkeiten	Mindest- Losgrößen	Abgegebene Serviceverspre- chen bzw. geschlossene Serviceverträge (insb. EoD)	Früh- und Spätausfall- ursachen bzw. betroffene Teile	Verteilung der Installed Base (Mengenmäßig und geographisch)
Kompatibilität mit Vorgänger- /Nachfolgeteilen	Mindestbestell- mengen	Vorlaufzeiten	Geplante Einsatzdauer/ Einsatzbedin- gung (Dauerbe- trieb, etc.)	Erwarteter Ersatzteilbedarf	Bevorratungs- strategien der Kunden
Lagerfähigkeit einzelner Teile/Teilgruppen	Anzeichen für Verteuerung/ Einstellung der Belieferung	Fertigungs-/ Montageanlagen vorhanden?	Zumutbarkeit für den Kunden auf kompatibles/ähn- liches Produkt zu wechseln	Benötigte Vorratsmengen, Schnell- und Langsamdreher	Nutzungs- bedingungen bei Kunden
Versionsstände, - unterschiede	Werkzeuggebun- dene Teile Zeichnungsteile		Produktwert/ Marktsegment/ Mindestwert für Reparatur	Reklamationen der Kunden, Änderungs- wünsche	Bedeutung des Kunden

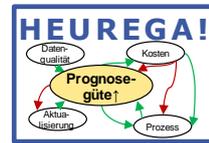
Abbildung 12: Verbesserung der Informationsgrundlage zur Ersatzteil-Bedarfsprognose³⁴

3.5 Arbeitspaket 5: Erarbeitung von Heuristiken

3.5.1 Überblick

Im Mittelpunkt des Forschungsprojekts stand die **Erarbeitung von Heuristiken** zur aufwandsarmen und doch hinreichend genauen Prognose von Ersatzteilbedarfen.

³⁴ Eigene Darstellung.



Allgemein kann eine **Heuristik definiert** werden als „*nicht-willkürliches Verfahren, um auf Grundlage einer Reduktion des Problemlösungsaufwands aus unvollständiger Information vernünftige Schlüsse zu ziehen, das aber keine Lösung garantieren kann.*“³⁵

Heuristiken können in mehrere **Typen** unterschieden werden.³⁶ Für dieses Forschungsprojekt relevant waren Eröffnungsverfahren und Optimierungsverfahren. Eröffnungsverfahren dienen dazu, für ein bestehendes Problem eine erste zulässige Lösung zu erarbeiten. Optimierungsverfahren hingegen gehen von einer bestehenden Erstlösung aus, die dann weiter verbessert wird.

Wesentliches Merkmal heuristischer Verfahren ist die **Verwendung weniger**, aber **aussagekräftiger Eingangsgrößen**. Diese müssen geeignet sein, um eine hinreichend genaue Abschätzung zu ermöglichen. Das bewusste Ignorieren anderer Einflussfaktoren führt dabei nicht automatisch zu schlechteren Ergebnissen,³⁷ verringert jedoch erheblich die benötigte Kapazität.

Für die **Identifikation dieser Einflussfaktoren** konnte auf die Ergebnisse der Arbeitspakete 1-3 zurückgegriffen werden (wesentliche Einflussfaktoren, Grad und Sensitivität des Einflussfaktors). Für die Nutzbarkeit in der Praxis ist es zudem wichtig, dass die Eingangsgrößen vorliegen. Hierzu wurden die Datenbanken in den Unternehmen des PA analysiert, welche Daten bei den meisten der Unternehmen vorliegen bzw. mit geringem Aufwand zu beschaffen sind und gleichzeitig aussagekräftige Einflussfaktoren auf den Ersatzteilbedarf darstellen.

Im Ergebnis wurden **drei zentrale Einflussfaktoren identifiziert** und zu diesen Einflussfaktoren jeweils ein heuristisches Verfahren entwickelt. Die entwickelten Heuristiken werden im Folgenden vorgestellt.

3.5.2 Heuristik „Installed Base“

Die erste Heuristik basiert auf dem Einflussfaktor der „**Installed Base**“, d.h. der Anzahl der im Markt vorhandenen Primärprodukte (vgl. Abbildung 13).

Dieser **Einflussfaktor determiniert wesentlich den Ersatzteilbedarf**, da die Nachfrage nach Ersatzteilen immer eine abgeleitete Nachfrage, basierend auf den verfügbaren Primärprodukten, ist.

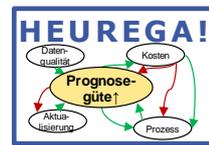
Die **Installed Base lässt sich unternehmensseitig gut ermitteln**, entweder durch die Abfrage der Verkaufszahlen im Vertrieb oder alternativ durch die Anpassung der geplanten Verkaufszahlen.

Vorteil dieser Heuristik ist, dass **keine Vergangenheitsdaten für den Ersatzteilbedarf erforderlich** sind und aktuelle Entwicklungen ebenso wie Sondereinflüsse direkt berücksichtigt werden können.

³⁵ Vgl. Powalla (2009).

³⁶ Vgl. Domschke/Schöll (2006), S. 2.

³⁷ Vgl. Gigerenzer/Brighton (2009), S. 107.



Nachteilig ist die **schwierige Ermittlung der tatsächlich noch im Markt aktiven Produkte**. Insbesondere in späten Lebenszyklusphasen ist häufig nicht bekannt, welche Produkte bereits stillgelegt oder in Drittmärkte verkauft wurden, so dass die Installed Base nur abgeschätzt werden kann.

Vorteile	Nachteile
<ul style="list-style-type: none"> ■ Keine Vergangenheitsdaten für den Ersatzteilbedarf erforderlich ■ Aktuelle Produktfehler können zeitnah berücksichtigt werden 	<ul style="list-style-type: none"> ■ Schlechte Nachvollziehbarkeit der tatsächlich noch im Markt aktiven Produkte in späteren Lebenszyklusphasen
Vorgehen	
<ul style="list-style-type: none"> ■ Ausgehend von der Anzahl der Geräte im Markt wird der Bedarf anhand der Fehlerquote pro Geräte geschätzt und um andere Faktoren bereinigt ■ Beispiel: 1000 Geräte sind im Markt aktiv, Gerät wird seit 5 Jahren verkauft, durchschnittlich fällt das betrachtete Ersatzteil bei 5 von 100 Geräten im Jahr aus, das Ersatzteil ist funktionskritisch und schwierig wiederbeschaffbar ■ Bewertung: $1000 \cdot 0,05 =$ jährlicher Bedarf von 50 Teilen, dieser wird aufgrund der Einflussfaktoren Wiederbeschaffbarkeit und funktionskritisch $\cdot 1,1$ gerechnet = jährlicher Bedarf von 55 Teilen 	

Abbildung 13: Heuristik "Installed Base" im Überblick³⁸

Die Installed Base allein gibt dabei den theoretischen Bedarf vor (vgl. hierzu Abbildung 4) und ist daher als alleinige Eingangsgröße nicht aussagekräftig. Die **Heuristik** zur Abschätzung des Ersatzteilbedarfs **berücksichtigt** daher mehrere **Korrekturfaktoren**, welche **anhand der Ergebnisse der Vester-Matrix** ausgewählt werden. Die Abschätzung erfolgt dabei so, dass zunächst der theoretische Bedarf ermittelt und dieser dann anhand der Korrekturfaktoren angepasst wird. Der theoretische Bedarf wird anhand eines Anteils an der Installed Base berechnet, indem eine definierte Ausfallquote zugrunde gelegt wird. Anhand der Anzahl der pro Primärprodukt verbauten Teile des betrachteten Ersatzteils kann dann der theoretische Bedarf berechnet werden.

Dieser wird um verschiedene Korrekturfaktoren bereinigt. In der Praxisanwendung zeigte sich, dass eine **Berücksichtigung von maximal 3 Korrekturfaktoren zielführend** ist. Durch diese Korrekturfaktoren wird der theoretische Bedarf verringert oder erhöht. Beispielsweise wird bei einem Primärprodukt, welches sich am Ende seines Lebenszyklus befindet der Korrekturfaktor „Phase im Lebenszyklus“ genutzt, um das jährliche Ausscheiden aus dem Markt eines bestimmten Anteils der Primärprodukte zu berücksichtigen. Im Gegensatz dazu kann beispielsweise bei einem neu entwickelten Produkt der Faktor „Vergleichbarkeit mit anderen Produkten“ herangezogen werden, um einen erhöhten Ersatzteilbedarf abzubilden.

Das Vorgehen wird im Folgenden an einem Beispiel verdeutlicht (vgl. Tabelle 10).

³⁸ Eigene Darstellung.



Tabelle 10: Vorgehen Heuristik "Installed Base"³⁹

Rechenschritt	Eingangsgrößen	Berechnung	Ergebnis
1) Ermittlung des theoretischen Bedarfs	Installed Base des Primärprodukts, Ausfallquote, Anzahl der verbauten Teile pro Primärprodukt	Installed Base * jährliche Ausfallquote des betrachteten Ersatzteils * Anzahl der verbauten Teile pro Primärprodukt	Theoretischer Ersatzteilbedarf pro Periode
2) Ermittlung des Einflusses der Korrekturfaktoren	Unternehmensspezifische Einflussfaktoren auf den Ersatzteilbedarf (bspw. ermittelt durch Vester-Matrix), Wirkrichtung und Stärke des Einflusses	Prozentuale Auswirkung des Einflussfaktors auf den theoretischen Ersatzteilbedarf pro Periode	Korrekturmenge des theoretischen Ersatzteilbedarfs
3) Berechnung des tatsächlichen Periodenbedarfs	Theoretischer Ersatzteilbedarf, Korrekturmenge	Addition der Korrekturmenge zum theoretischen Ersatzteilbedarf	Tatsächlicher Ersatzteilbedarf

Die Abschätzung des Einflusses der Korrekturfaktoren wurde dabei über die anteilige Beeinflussung berücksichtigt, wenn beispielsweise die späte Phase im Lebenszyklus den Bedarf um ca. 10% reduziert. Zwar besteht hier die **Möglichkeit**, dass sich die **Effekte der einzelnen Korrekturfaktoren gegenseitig aufheben**, dies entspricht jedoch den **tatsächlichen Gegebenheiten der Praxis** und ist daher so zu übernehmen.

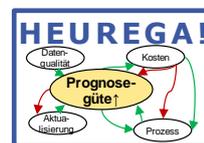
Im **Demonstrator** wurde diese Heuristik umgesetzt, indem der Anwender lediglich die **Installed Base** und die **Fehlerquote angeben** muss. Auf Basis der zuvor erarbeiteten Vester-Matrix werden dann Korrekturfaktoren vorgeschlagen, welche aus einer Liste gewählt und der Einfluss angegeben werden kann. Durch wenige Eingaben kann somit ein Ergebnis erzielt werden. Im Ergebnis wird der Ersatzteilbedarf pro Betrachtungsperiode ermittelt.

3.5.3 Heuristik „Vergangenheitsbedarf“

Die zweite Heuristik basiert auf dem Einflussfaktor „**Vergangenheitsbedarf**“, d.h. der Nachfrage nach dem betrachteten Ersatzteil in den letzten Perioden (vgl. Abbildung 14).

Im Unterschied zu univariaten, zeitreihenanalytischen Verfahren kann diese **Heuristik bereits eingesetzt** werden, wenn nur **Daten von einer Periode verfügbar** sind und eignet

³⁹ Eigene Darstellung.



sich damit auch für Unternehmen, welche sich erstmals mit systematischen Bedarfsprognosen beschäftigen.⁴⁰

Vorteile

- Nutzbar, wenn keine Verkaufszahlen/Installed Base vorhanden ist
- Nutzen der Erfahrungswerte, einfach ermittelbar

Nachteile

- Veränderungen werden nur zeitverzögert berücksichtigt
- Korrektur muss manuell erfolgen

Vorgehen

- Ausgangspunkt ist der historische Bedarf für das Ersatzteil (Daten min. einer Periode)
- Dieser wird durch Korrekturfaktoren (bspw. Phase im Lebenszyklus, Verfügbarkeit eines Nachfolgeprodukts, etc.) vermindert/erhöht
- Dabei werden maximal 3 Korrekturfaktoren beachtet

Abbildung 14: Heuristik "Vergangenheitsbedarf" im Überblick⁴¹

Inhaltlich ist das Vorgehen analog zu dem der Heuristik „Installed Base“, nur wird hier als Ausgangspunkt und damit **Haupteinflussfaktor der Vergangenheitsbedarf** des Ersatzteils herangezogen. Dieser kann direkt in Stück gerechnet werden und muss - im Unterschied zur Heuristik „Installed Base“ - nicht durch die Berücksichtigung einer Fehlerquote errechnet werden.

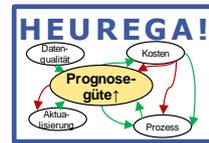
Die Korrekturfaktoren sind hier analog zu denen der Heuristik „Installed Base“ auszuwählen und abzuschätzen. Zu berücksichtigen ist dabei, dass die **Datengrundlage des Vergangenheitsbedarfs weniger sensitiv auf die Lebenszyklusphasen reagiert**, da es eine nachlaufende Größe ist. Weiterhin sind beim Vergangenheitsbedarf **Scheinschwankungen möglich**, welche beispielsweise **durch Lagerauffüllbestellungen** der Kunden ausgelöst werden und in Folge einen scheinbar geringeren Ersatzteilbedarf nach sich ziehen.

3.5.4 Heuristik „Ähnlichkeit“

Die dritte Heuristik „Ähnlichkeit“ kann zu den **Eröffnungsverfahren** gezählt werden, denn sie ermöglicht die Erzielung einer ersten zulässigen Lösung. Da die Ähnlichkeitsheuristik **keine Verbrauchs- oder Plandaten für das Ersatzteil selbst verlangt**, ist diese insbesondere für neu entwickelte Teile einsetzbar, für welche noch keine Erfahrungswerte vorliegen.

⁴⁰ Die Verfahren der Trendextrapolation oder der Zeitreihenanalyse benötigen meist Werte von min. drei vergangenen Perioden. Die Heuristik ist hier unabhängiger, da etwaige Sondereffekte der betrachteten Periode durch Korrekturfaktoren berücksichtigt werden können.

⁴¹ Eigene Darstellung.



Vorteile

- Keine Vergangenheitsdaten erforderlich
- Geeignet auch für neue Produkte

Nachteile

- „Ähnlichkeit“ muss unternehmensspezifisch definiert werden, Definition muss immer wieder angepasst werden (lernendes Verfahren)

Vorgehen

- Für das zu prognostizierende Produkt werden „ähnliche“ Produkte gesucht
- Ähnlichkeit wird dabei über mehrere Faktoren ermittelt, bspw. die Faktoren gleiches Einsatzgebiet, Verkauf an gleiche Kunden, gleiche Funktionsweise, gleiche Materialien, gleiche mechanische Belastungen
- Anhand der Bewertung dieser Faktoren wird dann das „ähnlichste“ Produkt ermittelt und der Anteil der benötigten Ersatzteile berechnet

Abbildung 15: Heuristik "Ähnlichkeit" im Überblick⁴²

Für die Ähnlichkeitsheuristik wird ein **zum zu prognostizierenden Ersatzteil ähnliches Teil bestimmt**, für welches **bereits Erfahrungswerte vorliegen**. Anhand dieser Erfahrungswerte kann dann eine erste **Bedarfsschätzung** für das eigentlich zu prognostizierende Ersatzteil erfolgen. Diese kann über die Relation Ausfallquote/Anzahl eingesetzter Teile erfolgen und damit anhand der geplanten Verkaufszahlen errechnet werden.

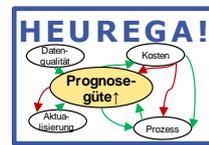
Grundsätzlich muss hierzu zunächst die Frage beantwortet werden, **welches Teil zu dem zu Prognostizierenden ähnlich ist**. Die Ähnlichkeit muss sich dabei auf den **Bedarfsverlauf** beziehen, um für die Prognose geeignet zu sein. Zur Analyse der Ähnlichkeit des Bedarfsverlaufs können verschiedene Maße herangezogen werden:

- Die Gesamtausfallquote (anteilige Ausfälle an allen verkauften Teilen)
- Die Früh- und Spätausfallquoten (Anteil der Ausfälle in der ersten und letzten Zeit der Produktlebensdauer)
- Das Trendverhalten (Gesamttrend der Ausfälle).

Durch den **Vergleich** dieser **Ähnlichkeitsmaße** für **verschiedene Ersatzteile** sowie eine anschließende Analyse der Teilecharakteristika können Unternehmen ihre individuelle Ähnlichkeitsdefinition erarbeiten.

Als Orientierung für die Unternehmen wurden im Forschungsprojekt **Kriterien** erarbeitet, welche für eine **Ähnlichkeit im Bedarfsverlauf** ursächlich sein können. Hierzu gehören

⁴² Eigene Darstellung.



- der Innovationsgrad des jeweiligen Teils,
- die Funktion im Primärprodukt,
- die Nutzungsbedingungen,
- die Materialzusammensetzung,
- die Planlebensdauer sowie
- die Umgebungsbedingungen.

Welches **Kriterium im Einzelfall die Ähnlichkeit am besten beschreibt**, muss **unternehmensindividuell** untersucht werden. Hierzu steht das Vorgehen zur Analyse der Ähnlichkeit der Bedarfsverläufe zur Verfügung, ebenso wie Kriterien zur Beschreibung der Charakteristika von Ersatzteilen.

3.6 Arbeitspaket 6: Beispielhafte Anwendung und Validierung der Heuristiken

3.6.1 Vorgehensweise

Um das entwickelte **Vorgehen zur Ersatzteil-Bedarfsprognose** sowie die **erarbeiteten Heuristiken** zu **validieren**, wurden mit den produzierenden Unternehmen des PA anhand von Beispielen sowohl die entwickelten Heuristiken als auch das Vorgehen insgesamt getestet. Die entwickelten Heuristiken sowie univariate, zeitreihenanalytische Verfahren wurden vergleichend betrachtet, um das jeweils für eine Situation am besten geeignete Verfahren zur Ersatzteil-Bedarfsprognose auszuwählen (vgl. Abschnitt 3.6.2).

Im Rahmen der Validierung wurden in fünf Unternehmen des PA Workshops und Datenanalysen durchgeführt. Dabei wurde einerseits das Vorgehen zur Ersatzteil-Bedarfsprognose validiert; andererseits wurden **Daten zur Validierung der Heuristiken aufgenommen**. Die Dauer der Interviews betrug zwischen zwei und vier Stunden.

Die **Schritte zur Validierung der Vorgehensweise** zur Ersatzteil-Bedarfsprognose sowie der Heuristiken umfassten folgende Punkte:

1. Festlegung der Ersatzteile
2. Bestimmung der relevanten Einflussfaktoren auf Unternehmensebene, die den Ersatzteilbedarf determinieren
3. Analyse der Beziehungen der Einflussfaktoren in der Einflussmatrix nach Vester und Auswahl der drei wesentlichen Einflussfaktoren
4. Diskussion der Einflussfaktoren und Ableitung des Korrekturfaktors für jeden relevanten Einflussfaktor
5. Durchführung der Prognoseverfahren und Test der erreichbaren Güte
6. Auswahl der geeigneten Prognoseverfahren

Die oben dargestellten Schritte zur Validierung werden nachfolgend beschrieben.

Zunächst wurde für die Validierung der Ergebnisse analysiert, für welche **Ersatzteile** des Unternehmens die **entwickelte Vorgehensweise geeignet** ist. Die Analyse der Ersatzteile wurde unter den in Abbildung 16 aufgeführten Kriterien durchgeführt.

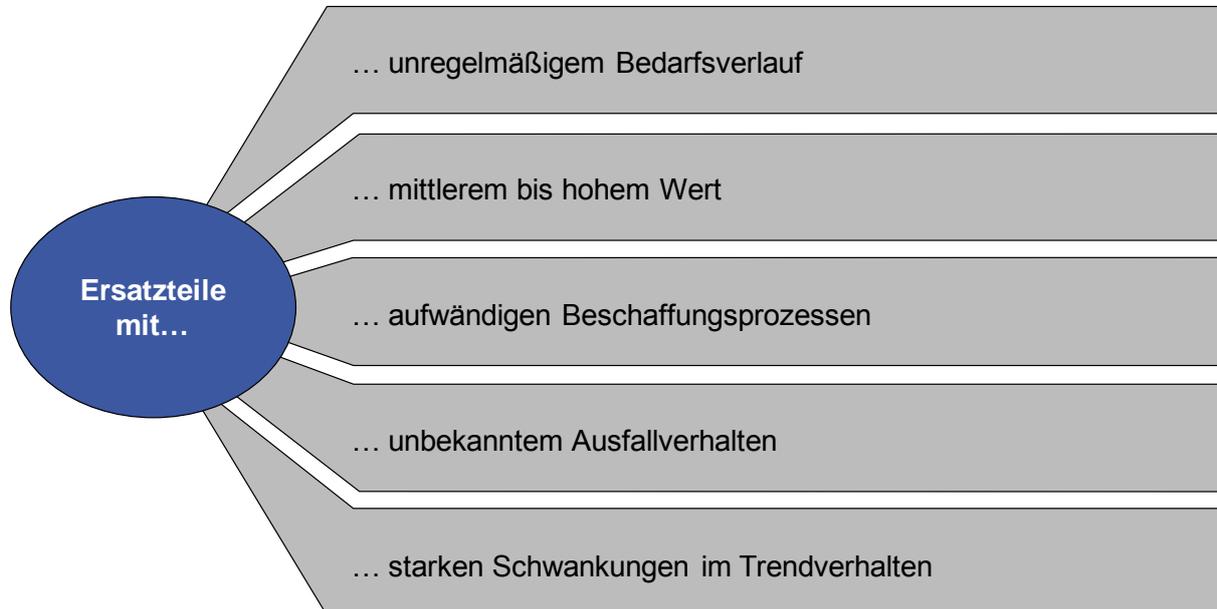


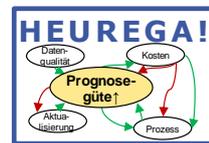
Abbildung 16: Ersatzteile, für die Heuristiken geeignet sind⁴³

Die **Anwendung von Heuristiken eignet sich vor allem für Ersatzteile mit einem unregelmäßigem Bedarfsverlauf**. Sofern ein regelmäßiger Bedarfsverlauf vorliegt, können univariate, zeitreihenanalytische Verfahren zur Ersatzteil-Bedarfsprognose herangezogen werden. Des Weiteren ist der Einsatz einer Heuristik zur aufwandsarmen Ersatzteilprognose bei Teilen mit mittlerem bis hohem Wert gerechtfertigt. Bei hochwertigeren Teilen wird in der Regel eine genaue Prognose angestrebt und ein höherer Prognoseaufwand betrieben. Der Einsatz von Heuristiken eignet sich des Weiteren insbesondere bei Ersatzteilen mit einem unbekanntem Ausfallverhalten sowie bei Ersatzteilen mit starken Schwankungen im Trendverhalten.

Im zweiten Schritt wurden die in Abschnitt 3.1 erarbeiteten **Einflussfaktoren** auf deren **Relevanz** für die **Ersatzteil-Bedarfsprognose** des Unternehmens überprüft. Jene Einflussfaktoren, die zur Determinierung des Ersatzteilbedarfs als relevant eingestuft wurden, wurden im nachfolgenden dritten Schritt mit Hilfe der Einflussmatrix nach Vester⁴⁴ analysiert. Die Einflussmatrix nach Vester ist beispielhaft in Abbildung 17 dargestellt.

⁴³ Eigene Darstellung.

⁴⁴ Zur Einflussmatrix nach Vester siehe u.a. Vester (2012), S. 226ff. und Baum et al. (2007), S. 46f.



Ausgewählte Faktoren	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Zeilensummen = Stärke des aktiven Einflusses
1)	1										
2)		1									
3)			1								
4)				1							
5)					1						
6)						1					
7)							1				
8)								1			
9)									1		
10)										1	
Spaltensummen = Stärke des passiven Einflusses											

Abbildung 17: Einflussmatrix nach Vester zur Analyse der Einflussstärke der relevanten Einflussfaktoren⁴⁵

In der **Einflussmatrix** wird sowohl die **Stärke des Einflusses als auch die Wirkrichtung der Einflussfaktoren analysiert**. Die Leserichtung erfolgt dabei von Zeilen zu Spalten; die Bedeutung ist wie folgt: Faktor 1 beeinflusst Faktor 2, Faktor m beeinflusst Faktor n. Die Stärke dabei kann 0 = gar nicht, 1 = gering, 2 = mittel oder 3 = hoch sein. Die Wirkrichtung ergibt sich aus der Zeilensumme bzw. aus der Spaltensumme. Die Zeilensumme gibt an, wie hoch der Einfluss des Faktors auf andere Faktoren ist, Stärke des aktiven Einflusses. Die Spaltensumme gibt an, wie hoch der Einfluss anderer Faktoren auf einen Faktor ist, Stärke des passiven Einflusses.

Anschließend wurden die **drei wesentlichen Einflussfaktoren ausgewählt** und jeweils ein **Korrekturfaktor bestimmt**. Bei den wesentlichen Einflussfaktoren handelt es sich um jene Einflussfaktoren mit der höchsten Aktivsumme. Nach der Bestimmung der Einfluss- sowie der zugehörigen Korrekturfaktoren erfolgte die Durchführung der Ersatzteil-Bedarfsprognose.

⁴⁵ In Anlehnung an Vester (2012), S. 228.



Neben den in Abschnitt 3.5 erarbeiteten Heuristiken wurden univariate, zeitreihenanalytische Verfahren als mögliche alternative Prognoseverfahren betrachtet. Folgende univariate, zeitreihenanalytische Verfahren wurden als Vergleich zu den Ergebnissen der Heuristiken herangezogen:⁴⁶

- Gleitender Mittelwert
- Trendextrapolation
- Exponentielle Glättung 1. Ordnung
- Exponentielle Glättung 2. Ordnung (nach Brown)

Im Rahmen der **Validierung** der Vorgehensweise zur Bedarfsprognose wurden **Ersatzteile** ausgewählt, für die die **Bedarfsdaten der letzten sechs Jahre** vorlagen. Dabei dienten die **ersten vier Jahre als Datengrundlage** zur Anwendung der Heuristiken und der oben aufgeführten zeitreihenanalytischen Verfahren. Für die zwei letzten Jahre wurde eine Prognose mittels der hier betrachteten Prognoseverfahren durchgeführt. Die **prognostizierten Ersatzteilbedarfe wurden anschließend mit den tatsächlichen Vergangenheitswerten verglichen**. Um die Prognosen durch die Heuristiken mit den tatsächlich aufgetretenen Ersatzteilbedarfen abzugleichen, wurde der **Prognosefehler** ermittelt. Hierfür wurde die Messgröße des „Mean Absolute Percentage Error“ (MAPE)⁴⁷ herangezogen. Diese ermittelt sich folgendermaßen:

$$MAPE = \frac{\sum_{t=1}^n \frac{|e_t|}{y_t} * 100}{n},$$

mit $e_t = y_t - \hat{y}_{t-1}$ Vorhersagefehler, y_t tatsächlicher Bedarf zum Zeitpunkt t , \hat{y}_t Vorhersage des durchschnittlichen Bedarfs zum Zeitpunkt t , n Zahl der Eintritte.

Der **Vergleich der Prognosefehler der verschiedenen Verfahren** führte anschließend zu dem jeweils am **besten geeigneten Verfahren zur Prognose des Bedarfs** der ausgewählten Ersatzteile. Das Prognoseverfahren mit dem geringsten MAPE-Wert wurde als das geeignete Verfahren ausgewählt.

3.6.2 Anwendung der Heuristiken bei ausgewählten Unternehmen des PA

Die Anwendung der Vorgehensweise zur Ersatzteil-Bedarfsprognose sowie die Anwendung der entwickelten Heuristiken und des Demonstrators werden im Folgenden anhand eines anonymisierten Unternehmensbeispiels aus dem PA dargestellt. Die Anwendung der Heuristiken wurde mit Hilfe des erarbeiteten Handlungsleitfadens sowie des entwickelten Demonstrators beispielhaft durchgeführt.

Zunächst wurden drei **Ersatzteile bestimmt**, mit denen anschließend die Validierung durchgeführt wurde. Dabei wurden die Kriterien der geeigneten Ersatzteile für die Bedarfsprognose mittels Heuristiken aus Abbildung 16 berücksichtigt. Die Ersatzteile wurden

⁴⁶ Zur Beschreibung der univariaten, zeitreihenanalytischen Verfahren siehe u.a. Recknagel (2008), S. 47f. und Thonemann (2010), S. 48ff.

⁴⁷ Vgl. Thonemann (2010), S. 67ff.



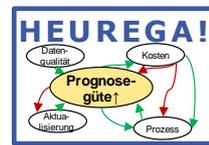
anschließend mittels der in Abbildung 18 aufgeführten Merkmale beschrieben. Diese Beschreibung stellt die Grundlage zur Anwendung der Ähnlichkeitsheuristik dar.

	Test 1	Test 2	Test 3	Teil 4	Teil 5
Funktionsweise	Mechanisches Teil	Mechanisches Teil	Mechanisches Teil		
Beanspruchung (Einsatzzeit, Umgebungsbedingungen)	gering	mittel	mittel		
Neuigkeitsgrad	Standardteil	Standardteil	Verbessertes Teil		
Bedarfshäufigkeit	mittel	gering	mittel		
Bedarfskonstanz	Regelmäßiger Bedarf	Regelmäßiger Bedarf	Unregelmäßiger Bedarf		
Spezifität	Baureihen-spezifisch	Baureihen-spezifisch	Baureihen-spezifisch		
Norm-Lebensdauer	Gleich Primärprodukt	Geringer als Primärprodukt	Gleich Primärprodukt		
Ausfallverhalten	Verschleißteil	Verschleißteil	Verschleißteil		

Abbildung 18: Merkmale der zu analysierenden Teile⁴⁸

Im weiteren Verlauf wurden die **Einflussfaktoren diskutiert** und jene Faktoren bestimmt, die den **Ersatzteilbedarf beeinflussen** und somit bei einer **Prognose** des Ersatzteilbedarfs **berücksichtigt** werden müssen. Anschließend wurden die Beziehungen und die Wirkrichtung der Einflussfaktoren untereinander mittels einer Einflussmatrix nach Vester ermittelt. Ein Auszug dieser Matrix ist in Abbildung 19 dargestellt.

⁴⁸ Eigene Darstellung.



		1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	Vergangenheitsbedarf Ersatzteil		kein Einfluss	kein Einfluss	kein Einfluss	kein Einfluss	kein Einfluss	kein Einfluss	kein Einfluss	kein Einfluss
2	Anzahl an Reklamationen/ Reparaturen	kein Einfluss		kein Einfluss	kein Einfluss	kein Einfluss	kein Einfluss	kein Einfluss	kein Einfluss	kein Einfluss
3	Ausfallverhalten Primärprodukt	beeinflusst stark	beeinflusst stark		beeinflusst	kein Einfluss				
4	Nutzungsbedingungen	beeinflusst stark	beeinflusst	kein Einfluss		kein Einfluss				
5	Anzahl abgeschlossener Serviceverträge	kein Einfluss	kein Einfluss	kein Einfluss	kein Einfluss		kein Einfluss	kein Einfluss	kein Einfluss	kein Einfluss
6	Liefermodalitäten (Zoll, schwierige Erreichbarkeit)	kein Einfluss	kein Einfluss	kein Einfluss	kein Einfluss	kein Einfluss		kein Einfluss	kein Einfluss	kein Einfluss
7	Alternative Versorgungsmöglichkeiten	kein Einfluss	kein Einfluss	kein Einfluss	kein Einfluss	kein Einfluss	kein Einfluss		kein Einfluss	kein Einfluss
8	Entwicklung Marktnachfrage nach Primärprodukt	kein Einfluss	beeinflusst stark	kein Einfluss	kein Einfluss	kein Einfluss	kein Einfluss	kein Einfluss		kein Einfluss
9	Lebenszyklusphase des Primärprodukts	beeinflusst sehr stark	kein Einfluss	beeinflusst sehr stark	kein Einfluss					

Abbildung 19: Auszug der Einflussmatrix nach Vester⁴⁹

In der **Matrix** wird eingetragen, **inwieweit ein Einflussfaktor einen anderen Einflussfaktor beeinflusst**. Das Ausfallverhalten des Primärprodukts beispielsweise beeinflusst stark die Anzahl an Reklamationen/Reparaturen. Die Analyse der Beziehungen wird für jeden relevanten Einflussfaktor vorgenommen.

Die Zeilensumme bildet die Aktivsumme eines Einflussfaktors. Diese beschreibt den Einfluss eines Faktors auf andere Einflussfaktoren. Eine **hohe Aktivsumme** bedeutet, dass der **Faktor einen hohen Einfluss auf andere Faktoren und auf das System** des Ersatzteilbedarfs hat; aktive Faktoren können selbst jedoch nur schwer beeinflusst werden.

Die Spaltensumme bildet die Passivsumme eines Einflussfaktors. Diese beschreibt den Einfluss anderer Faktoren auf den betrachteten Einflussfaktor. Eine **hohe Passivsumme** bedeutet, dass die **Einflussfaktoren leicht beeinflusst werden können**; sie haben jedoch nur geringen Einfluss auf andere Faktoren.

Die **kritischen Einflussfaktoren haben eine hohe Aktiv- und Passivsumme**. Sie **beeinflussen andere Faktoren sehr stark**; sie werden aber auch **sehr stark von anderen Faktoren beeinflusst**. Dadurch wirken diese Faktoren stark auf das Systemverhalten ein. In Abbildung 20 ist die Auswertung der Einflussfaktoren aus der beispielhaften Anwendung dargestellt.

⁴⁹ Eigene Darstellung.

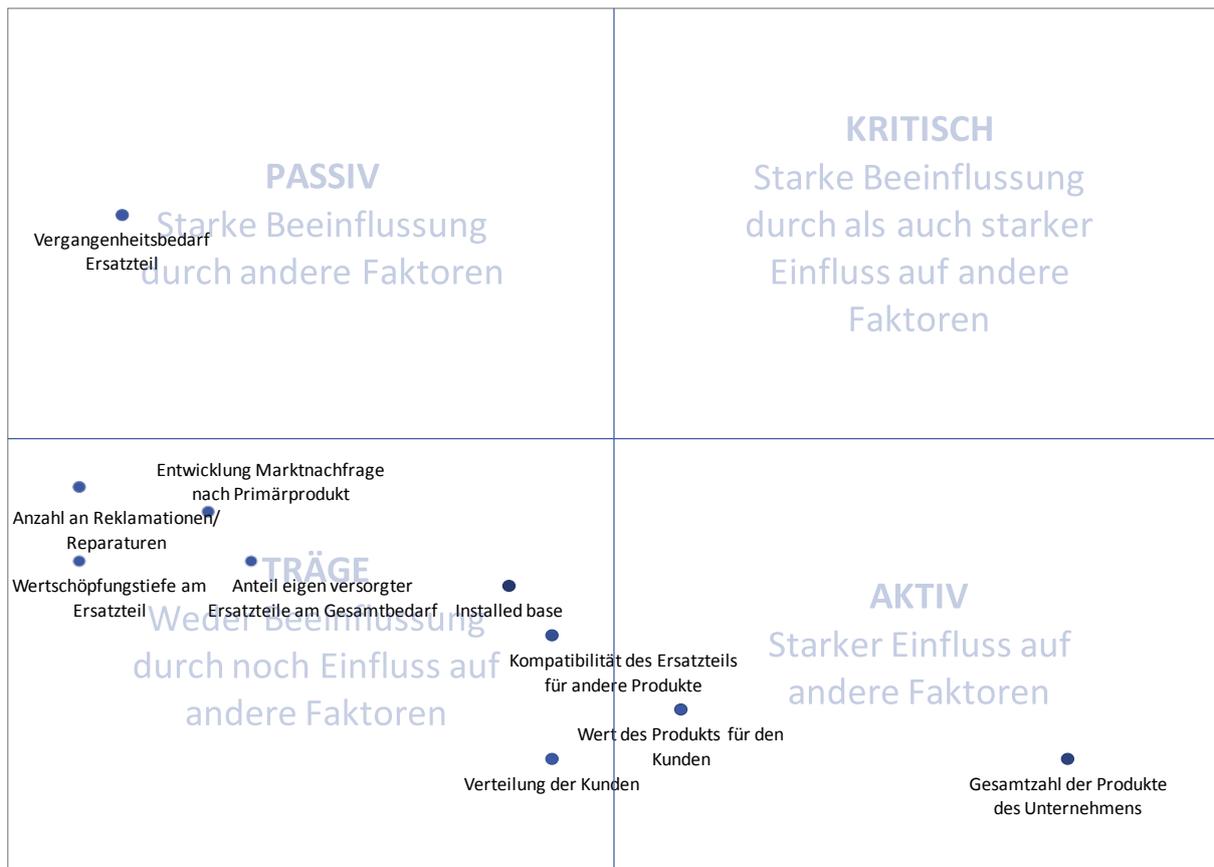
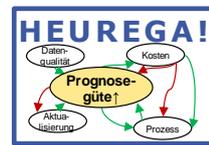
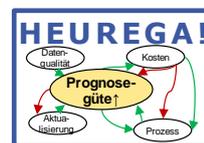


Abbildung 20: Auswertung der Einflussmatrix nach Vester⁵⁰

Die **Auswertung** umfasst die Faktoren mit den fünf höchsten Aktiv- bzw. Passivsummen. Dies gewährleistet die **gezielte Betrachtung der wesentlichen Einflussfaktoren** bei der Bedarfsprognose; eine Überfrachtung der Prognose mit weiteren Einflussfaktoren wird somit vermieden.

Im Anschluss an die Analyse der Einflussfaktoren wurde die Bedarfsprognose durchgeführt. Die einzelnen Heuristiken sind in Abschnitt 3.5 beschrieben. Bei der **Bedarfsprognose** wurden, wie in Abschnitt 3.6.1 erläutert, die verschiedenen Verfahren, zeitreihenanalytische Verfahren sowie die entwickelten Heuristiken, parallel zur Bedarfsprognose verwendet und mittels des **MAPE deren Prognosefehler berechnet**. Die Prognosefehler der einzelnen Prognoseverfahren der hier betrachteten Ersatzteile sind in Abbildung 21 dargestellt.

⁵⁰ Eigene Darstellung.



Mean Absolute Percentage Error										
	Periode	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	MAPE
Test 1	APE Gleitender Mittelwert					6,25	42,86			24,55
	APE Trendextrapolation					25,00	25,00			25,00
	APE Exp. GI 1. Ordnung					18,75	32,14			25,45
	APE Exp. GI 2. Ordnung					0,00	42,86			21,43
	APE Heuristik hist. Bedarf					12,50	25,00			18,75
	APE Installed Base					56,25	10,71			33,48
Test 2	APE Gleitender Mittelwert					44,15	59,47			51,81
	APE Trendextrapolation					4,57	22,49			13,53
	APE Exp. GI 1. Ordnung					55,85	72,42			64,14
	APE Exp. GI 2. Ordnung					52,40	68,59			60,50
	APE Heuristik hist. Bedarf					19,84	58,98			39,41
	APE Installed Base					8,03	32,52			20,27
Test 3	APE Gleitender Mittelwert					44,07	6,03			25,05
	APE Trendextrapolation					6,08	35,56			20,82
	APE Exp. GI 1. Ordnung					60,49	13,79			37,14
	APE Exp. GI 2. Ordnung					47,42	1,72			24,57
	APE Heuristik hist. Bedarf					47,11	14,66			30,88
	APE Installed Base					34,04	4,96			19,50

Abbildung 21: Güte der Prognoseverfahren⁵¹

Das Verfahren der **Heuristik Historischer Bedarf** ist in diesem Beispiel für die Prognose des Ersatzteils Test 1 am besten geeignet, da dieses Verfahren über die beiden betrachteten Perioden den geringsten Prognosefehler hat. Im zweiten Fall ist das Verfahren der **Trendextrapolation** am besten geeignet. Dies ist auf den **kontinuierlich steigenden Bedarfsverlauf** zurückzuführen. Hingegen ist das Verfahren der **Heuristik Installed Base** für das dritte Ersatzteil am besten geeignet.

Die Bedarfsprognose des Ersatzteils Test 1 mit den verwendeten Verfahren ist in Abbildung 22 dargestellt. Die rote gestrichelte Linie stellt dabei das Jahr mit den letzten verfügbaren Daten dar. Im Fall der hier dargestellten Validierung sind für die zwei nachfolgenden Jahre ebenfalls noch die Daten vorhanden, wodurch der Prognosefehler, wie oben beschrieben, berechnet und das geeignete Prognoseverfahren ausgewählt werden kann.

Im Fall der **Exponentiellen Glättung erster und zweiter Ordnung** findet bei den hier steigenden stark schwankenden Bedarfen des Ersatzteils Test 1 eine **Unterschätzung der zukünftigen Bedarfe** statt. Dies ist ebenso bei dem **gleitenden Mittelwert** der Fall. Die Heuristik Installed Base überschätzt im ersten Prognosejahr den historisch ermittelten Wert und hat einen hohen Prognosefehler, jedoch ist der Prognosefehler im zweiten Jahr sehr gering. Die Heuristik Historischer Bedarf hat im Durchschnitt den geringsten Prognosefehler und ist gut für die Bedarfsprognose dieses Ersatzteils geeignet.

⁵¹ Eigene Darstellung.

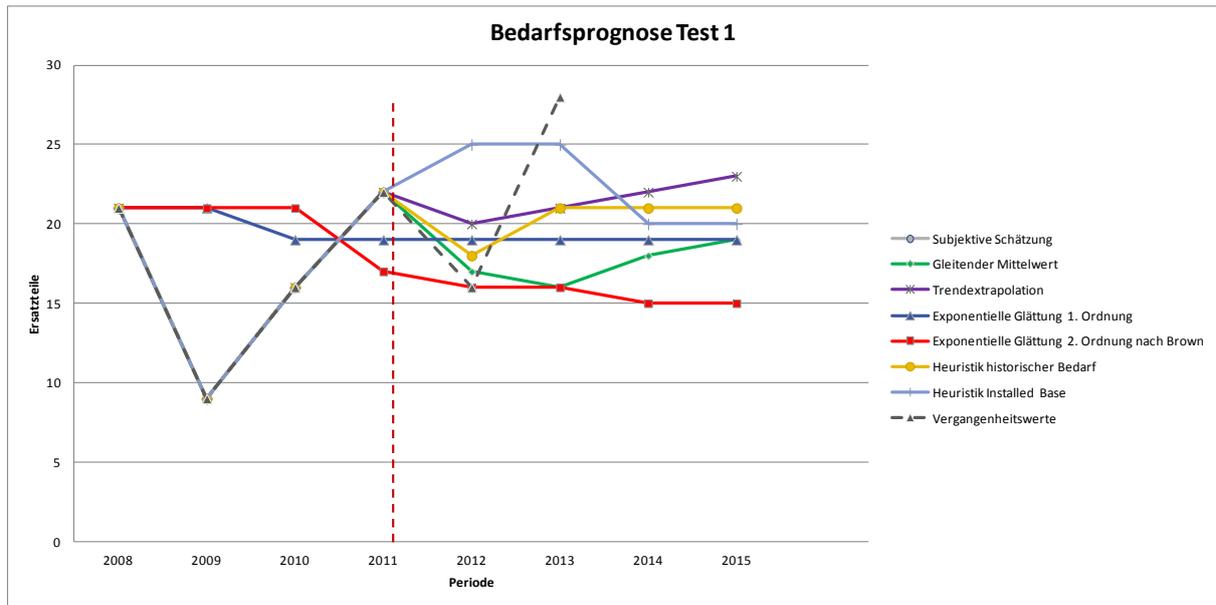


Abbildung 22: Bedarfsprognose Test 1⁵²

3.6.3 Wesentliche Erkenntnisse der Validierung - Einsatzempfehlungen für die verschiedenen Prognoseverfahren

Die im Rahmen der Validierung der Vorgehensweise und der Heuristiken gewonnenen Erkenntnisse wurden in einem Entscheidungsbaum zusammengefasst (vgl. Abbildung 23). Mittels dieses Entscheidungsbaums können Unternehmen durch die Beantwortung von maximal vier geschlossenen Fragen die in Frage kommenden Verfahren auswählen.

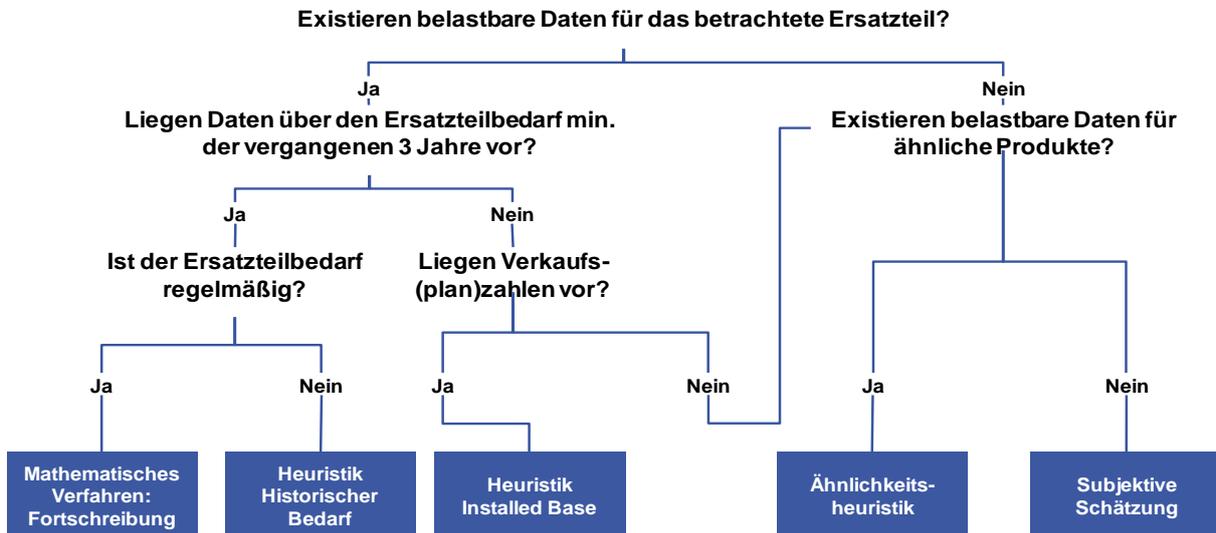
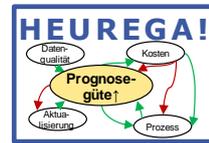


Abbildung 23: Entscheidungsbaum zur Auswahl des passenden Prognoseverfahrens⁵³

⁵² Eigene Darstellung.

⁵³ Eigene Darstellung.



Zusätzlich können folgende Empfehlungen gegeben werden:

■ **Zeitreihenanalytische Verfahren sind nur für relativ gleichbleibende Bedarfsverläufe mit stabilen Trendverhalten geeignet:**

Die univariaten, zeitreihenanalytischen Verfahren, die zum Vergleich der Heuristiken herangezogen wurden, sind für schwankende Bedarfe ungeeignet. Bei einem gleichmäßigen Bedarfsverlauf, welcher sich durch geringe Schwankungen in der Menge und einen gleichförmigen Trend auszeichnet, sind diese Verfahren gut für die Bedarfsprognose geeignet. Insbesondere der gleitende Mittelwert hat sich hier aufgrund seiner einfachen Anwendbarkeit bewährt. Zu beachten ist allerdings, dass auch hier Veränderungen nur zeitverzögert nachgezeichnet werden. Diese Zeitverzögerung ergibt sich zum einen aus dem Verfahren selbst, hängt zum anderen auch von der Datenverfügbarkeit im Unternehmen ab. Werden die Bedarfe der letzten Perioden nur zeitverzögert zur Verfügung gestellt, können Veränderungen der Nachfrage erst noch später erfasst und berücksichtigt werden. Dies kann insbesondere bei starken Nachfrageänderungen (bspw. Angebot einer neuen Version für bestehende Ersatzteile) zu Fehlprognosen führen.

■ **Heuristiken Installed Base und Historischer Bedarf sind gut für die späten Phasen des Lebenszyklus geeignet:**

Die Heuristiken „Installed Base“ und „Historischer Bedarf“ eignen sich insbesondere für Prognosen zum bzw. nach Projektende mit zurückgehender Installed Base. Zur Prognose ist in diesen Fällen der Planungshorizont (Phase im Lebenszyklus) als Korrekturfaktor standardmäßig zu berücksichtigen, welcher die Verringerung der Installed Base durch das Ausscheiden von Primärprodukten aus dem Markt abbilden kann. Somit kann die Veränderung der Installed Base antizipiert und nicht, wie bei mathematischen Verfahren, erst mit einigen Perioden Verzögerung berücksichtigt werden.

■ **Nutzung organisationalen Wissens zur Bestimmung der Korrekturfaktoren:**

Die Bestimmung der Höhe der Korrekturfaktoren der Einflussfaktoren sollten möglichst in kleiner Gruppe diskutiert werden. Die sinnvolle Zusammensetzung der Gruppe ist abhängig von der Aufbauorganisation des Unternehmens. Je nach Aufbauorganisation sollte sich die Gruppe aus Vertrieb, Service, Qualitätssicherung und Einkauf zusammensetzen. Der höhere Aufwand durch die Einbeziehung mehrerer Beteiligter wird nach Ansicht der Praxispartner gerechtfertigt, da dies einerseits nur selten erforderlich ist und andererseits die Qualität der Ersatzteil-Bedarfsprognosen wesentlich gesteigert werden kann.

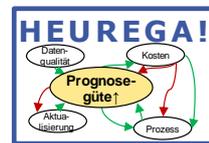


■ **Kleinstbedarfe benötigen eigene Prognoseverfahren:**

Ersatzteile mit geringen Bedarfen (< 10 Stück pro Jahr) benötigen eigene Verfahren der Bedarfsprognose, da sich Schwankungen hier sehr stark auswirken. Bei nur drei benötigten Ersatzteilen entspricht eine Steigerung der Nachfrage um eins bereits einer prozentualen Steigerung von 33%. Für diese Kleinstbedarfe ist es daher empfehlenswert, bei geringwertigen Teilen in jedem Fall eine Zwischenbevorratung mit mittlerem Planungshorizont anzustreben. Sind diese Ersatzteile kundenindividuell oder nur sehr kurz lagerfähig, sollte geprüft werden, ob eine Endfertigung im Bedarfsfall aus eingelagerten Standardteilen (Verschiebung des Variantenbildungspunktes) oder die Auslagerung der Bevorratung an die Kunden möglich sind.

3.7 Arbeitspaket 7: Dokumentation und Öffentlichkeitsarbeit

Die Forschungsergebnisse wurden begleitend dokumentiert und der Öffentlichkeit durch geeignete Maßnahmen zugänglich gemacht. Die durchgeführten Maßnahmen sind in Abschnitt 5.2 und 5.3 aufgezeigt.



4 Innovativer Beitrag und wirtschaftlicher Nutzen

4.1 Innovativer Beitrag der Forschungsergebnisse

Die im Forschungsprojekt entwickelten Heuristiken ermöglichen eine **Objektivierung und Explizierung der Ersatzteil-Bedarfsprognosen**. Bisherige Verfahren der mathematischen Fortschreibung gehen in der Regel von der Eingangsgröße „Installed Base“ oder „Vergangenheitsbedarf“ aus, andere Faktoren werden nicht berücksichtigt. Die Forschungsergebnisse ermöglichen es KMU, die weiteren relevanten Einflussfaktoren zu erkennen, auszuwählen und in die Prognose einzubeziehen. Gleichzeitig liegt damit eine Dokumentation vor, welche im Unternehmen genutzt werden kann und das Wissen der Mitarbeiter, welche mit der Erstellung von Ersatzteil-Bedarfsprognosen betraut sind, expliziert.

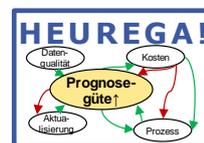
Für diese **Explikation des Erfahrungswissens der Mitarbeiter** war bislang kein geeignetes Vorgehen verfügbar, in Folge konnte eine Explikation und damit Nutzbarmachung des individuellen Wissens von den Unternehmen nicht durchgeführt werden. Die Forschungsergebnisse überwinden dieses Defizit und erlauben es, das vorhandene Wissen als gemeinsame Wissensbasis zur Verfügung zu stellen und sukzessive zu verbessern. Letzteres wird durch den Vergleich der Güte der Verfahren mit den tatsächlichen Bedarfen ermöglicht, welche wiederum die Anpassung der berücksichtigten Korrekturfaktoren erlaubt.

Die erarbeiteten Ergebnisse erlauben es KMU, mit äußerst begrenztem Aufwand hinreichend genaue Ersatzteil-Bedarfsprognosen zu erstellen. Die bislang verfügbaren Verfahren waren aufgrund des benötigten Zeitaufwands bzw. der einzubringenden Daten für einen Großteil der zu betreuenden Ersatzteile nicht nutzbar. In Folge wurden für viele Ersatzteile nur subjektive Schätzungen durchgeführt bzw. standardisierte Zeitreihenanalysen vorgenommen, welche beispielsweise bei Ersatzteilen mit unstetem Trendverhalten oder äußerst geringen Bedarfen kaum aussagekräftige Ergebnisse liefern. Die erarbeiteten Heuristiken ermöglichen es, genau für diese bislang **problematischen Fälle eine zulässige Lösung zu erarbeiten und zu optimieren**.

Die im Demonstrator verfügbare Vorgehensweise des Vergleichs mathematischer und heuristischer Verfahren sowie der subjektiven Schätzung ermöglicht es KMU, **für ihre Ersatzteile das jeweils beste Verfahren auszuwählen**. Die Eingabe weniger Eingangsgrößen ermöglicht einen Vergleich der Güte der Verfahren.

Dies ermöglicht eine Nutzung der Forschungsergebnisse in Unternehmen verschiedener Branchen sowie die **Anpassung/Fortentwicklung der Forschungsergebnisse durch das jeweilige Unternehmen**. Die gesamte im Forschungsprojekt erstellte Dokumentation erlaubt es den Unternehmen, die **vorwettbewerblichen Ergebnisse** mit geringem Aufwand anzupassen und weiterzuentwickeln.

Die Forschungsergebnisse ermöglichen nicht nur eine Transparenz der Einflussfaktoren, sondern zeigen darüber hinaus auf, in welchen Bereichen des Unternehmens die einzelnen Informationen anfallen bzw. verfügbar sind. Die Unternehmen werden somit befähigt, ihre



Informationsgrundlage für die Erstellung von Ersatzteil-Bedarfsprognosen gezielt und kontinuierlich zu verbessern. Dies gilt auch für Unternehmen, welche über keine Vergangenheitsdaten bzgl. des Ersatzteilbedarfs oder nur Vergangenheitsdaten geringer Qualität verfügen. Die Forschungsergebnisse leisten damit insbesondere in bislang problematischen Fällen (neu entwickelte Ersatzteile, Einzelteile/Sonderteile, Ersatzteile mit sporadischem Bedarf) Unterstützung.

4.2 Wirtschaftlicher Nutzen der Forschungsergebnisse

Der Einsatz der Forschungsergebnisse ermöglicht die **Verbesserung von Ersatzteil-Bedarfsprognosen**, die **aufwandsärmere Erstellung der Ersatzteil-Bedarfsprognosen** sowie die **Nutzung des im Unternehmen vorhandenen Wissens**. Weiterhin ermöglichen die Forschungsergebnisse es Unternehmen erstmals, die **Güte ihrer eigenen subjektiven Schätzungen** zu beurteilen. Darüber hinaus ermöglicht die Kenntnis der den Ersatzteilbedarf beeinflussenden Faktoren **frühzeitige Reaktionen auf Änderungen**.

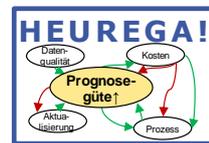
Verbesserte Ersatzteil-Bedarfsprognosen ziehen mehrere Effekte nach sich: Genauere Prognosen verringern die Kosten von Über- bzw. Unterbevorratung sowie das gebundene Kapital und verringern den benötigten Lagerplatz.

Zu den Kosten der Überbevorratung gehören Verschrottungskosten, wenn nicht mehr benötigte Ersatzteile entsorgt werden müssen sowie die Herstellungskosten der Ersatzteile, denen dann kein Umsatz mehr gegenübersteht. Insbesondere bei schwer zu prognostizierenden Teilen sind hohe Sicherheitsaufschläge üblich, welche sich in hohen Überbeständen auswirken. Eine verbesserte Bedarfsprognose kann hier erhebliche **Kosten einsparen** und sich somit direkt auf den Gewinn der Unternehmen auswirken.

Kosten der Unterbevorratung sind insbesondere Kosten für Eilaufträge (Transportkosten, zusätzliche Rüstkosten), wenn dringende Bedarfe nicht lagerhaltig bedient werden können. Diese Kosteneinsparungen wirken sich nicht nur direkt auf den Gewinn des Unternehmens aus, sondern können darüber hinaus die Kundenzufriedenheit nachhaltig negativ beeinflussen, wenn die Versorgung mit den benötigten Ersatzteilen zu spät oder in zu geringer Stückzahl möglich war. Jede **Einsparung von Kosten** für die Einsteuerung oder den Transport von Eilaufträgen wirkt sich direkt auf den Gewinn des Ersatzteilbereichs aus.

Die aufwandsärmere Erstellung der Ersatzteil-Bedarfsprognosen **verringert die benötigte Kapazität zur Erstellung dieser Prognosen**. Insbesondere KMU mit ihren begrenzten Kapazitäten können davon profitieren. Die Einsparung dieser Kapazitäten kann beispielsweise genutzt werden, um für einen größeren Anteil der zu betreuenden Ersatzteile angepasste Bedarfsprognosen zu erstellen, was sich in reduzierten Kosten der Unter- und Überbevorratung widerspiegelt.

Die **Explikation des vorhandenen Wissens** hat mehrere Effekte: Das bislang nur einzelnen Personen zur Verfügung stehende Wissen wird zum einen für alle mit der Erstellung von Ersatzteil-Bedarfsprognosen beauftragten Personen nutzbar, womit alle vom Erfahrungswissen der anderen profitieren. Gleichzeitig kann diese Wissensbasis



fortentwickelt werden, indem beispielsweise sukzessive die nicht-relevanten Faktoren aus der Ersatzteil-Bedarfsprognose ausgeschlossen werden. Schließlich dient dieses Wissen dem Aufbau der Datengrundlage für die Ersatzteil-Bedarfsprognosen.

Die Möglichkeit zum Vergleich der **Leistungsfähigkeit ihrer subjektiven Schätzungen** mit den Bedarfsprognoseverfahren kommt insbesondere KMU zugute. Subjektive Schätzungen können - in Abhängigkeit der Erfahrung des Schätzenden - durchaus gute Resultate erzielen und sind zudem sehr aufwandsarm. Durch die Möglichkeit, die Güte dieser Schätzungen zu prüfen, können sich die Unternehmen für bestimmte Ersatzteile begründet und bewusst für subjektive Schätzungen entscheiden - nicht mangels Alternativen, sondern auf Basis einer objektiven Gütebeurteilung. Dies ermöglicht eine gezielte Ressourcenallokation im Unternehmen, in dem der Aufwand zur Erstellung von Ersatzteil-Bedarfsprognosen zielführend eingesetzt wird.

Die **Kenntnis der den Ersatzteilbedarf beeinflussenden Faktoren** und insbesondere deren Rang und Sensitivität ermöglicht es Unternehmen, frühzeitig auf Strukturbrüche in der Nachfrage zu reagieren. Veränderungen treten an diesen Faktoren dem Ersatzteilbedarf vorgelagert auf. Werden an den unternehmensindividuell ermittelten wichtigsten Faktoren starke Veränderungen wahrgenommen, können somit bereits früh Korrekturmaßnahmen eingeleitet bzw. die Bedarfsprognosen angepasst werden. Auch damit lässt sich wieder einer Unter- und Überbevorratung entgegenwirken.



5 Veröffentlichungen und Transfermaßnahmen

5.1 Projektbegleitender Ausschuss des Projekts HEUREGA!

Durch die **aktive Einbindung des Projektbegleitenden Ausschusses (PA)** in allen Phasen des Projekts wurden **Praxisrelevanz und Verbreitung der Ergebnisse sichergestellt**. Während der Projektlaufzeit wurden die Ergebnisse auf den Sitzungen des Projektbegleitenden Ausschusses präsentiert. Darüber hinaus sind regelmäßig Workshops in Kleingruppen und Arbeitstreffen zur zielorientierten Bearbeitung definierter Projektinhalte bei Unternehmen des PA sowie mit anderen Unternehmen durchgeführt worden.

Der Projektbegleitende Ausschuss setzte sich branchenübergreifend aus **acht produzierenden Unternehmen** zusammen. Die Zusammenarbeit mit den Unternehmen unterschiedlicher Branchen und Größen sichert die Praxistauglichkeit der Ergebnisse ab. Dem Projektbegleitenden Ausschuss gehörten, neben den KMU, zwei größere Unternehmen an. Der **Projektbegleitende Ausschuss** trat **halbjährlich** zu einer **gemeinsamen Sitzung** zusammen, in denen die bisherigen Ergebnisse diskutiert und das weitere Vorgehen abgestimmt wurden. Insgesamt trat der PA zu fünf Sitzungen zusammen. Zwischen den Sitzungen des Projektbegleitenden Ausschusses fanden weitere Arbeitstreffen bei den Unternehmen vor Ort statt, in denen einzelne Fragestellungen vertiefend diskutiert und unter **Einsatz von Moderations- sowie Kreativitätstechniken** bearbeitet wurden.

5.2 Überblick über die bis zum Projektende durchgeführten Transfermaßnahmen

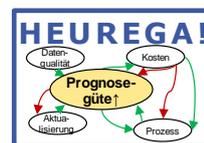
Um der **interessierten Öffentlichkeit die Ergebnisse bestmöglich zugänglich zu machen**, wurden neben der allgemeinen Presse- und Öffentlichkeitsarbeit mehrere Veröffentlichungen im Projekt erstellt. Die nachstehende Tabelle gibt einen Überblick über die Öffentlichkeitsarbeit und den Ergebnistransfer.

Tabelle 11: Öffentlichkeitsarbeit und Ergebnistransfer

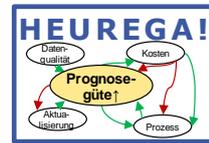
Art	Datum	Inhalt	Quelle	Adressaten
Projekt-homepage	Seit 01.08.2011	Vorstellung von Projektinhalten und -zielen,	www.ersatzteilmanagement.eu/heurega_projekt.html	Interessierte Öffentlichkeit
Instituts-homepage IPRI	laufende Aktualisierung	Zusammensetzung des Projektbegleitenden Ausschusses, Darstellung von Ergebnissen	http://www.ipri-institute.com/index.php/laufende-projekte/heurega	



Art	Datum	Inhalt	Quelle	Adressaten
Veranstaltung	15.11.2011	IPRI-Fachworkshop „Ersatzteilmanagement als Wettbewerbsvorteil“ (öffentlicher Workshop)	IPRI	Mittelständische Unternehmen, zur Veranstaltung wurde Pressemitteilungen und persönliche Anschreiben eingeladen
Veranstaltung	30.11.2011	Vorstellung des Projekts auf der 3. Sitzung des BVL-Themenkreises „Ersatzteilmanagement“	BVL-Themenkreis „Ersatzteilmanagement“	20 Vertreter verschiedener Unternehmen, über die Arbeit des Themenkreises wird im Internet und auf Veranstaltungen berichtet
Veranstaltung	13.03.2012	Vorstellung der Ergebnisse	GVB Mitgliederversammlung im Rahmen der LogiMat, Stuttgart	Mitglieder der GVB
Veranstaltung	27.03.2012	Projektvorstellung und Vorstellung der erzielten Ergebnisse	EUROFORUM-Konferenz "Automobil Aftermarket"	Interessierte Fachöffentlichkeit
Veranstaltung	19.04.2012	Projektvorstellung bei IPRI-Veranstaltung zum Tag der Logistik "Ersatzteilmanagement besser gestalten"	Veranstaltung des IPRI auf dem Tag der Logistik	Unternehmen verschiedener Branchen
Veranstaltung	18.04.2013	Vortrag zu bisherigen Ergebnissen des Projekts auf dem 14. Fachworkshop "Tag der Logistik: Lebenszyklusorientiertes Ersatzteilmanagement"	Veranstaltung des IPRI auf dem Tag der Logistik	Mittelständische Unternehmen, zur Veranstaltung wurde Pressemitteilungen und persönliche Anschreiben eingeladen



Art	Datum	Inhalt	Quelle	Adressaten
Veranstaltung	20.11.2013	Öffentlicher Abschlussworkshop, Präsentation der Ergebnisse	IPRI	Mittelständische Unternehmen, zur Veranstaltung wurde Pressemitteilungen und persönliche Anschreiben eingeladen
Presse-meldung	15.08.2011	IPRI-Forschungsprojekt zur Prognose des Bedarfs an Ersatzteilen gestartet	IDW Online	Interessierte Fachöffentlichkeit
Presse-meldung	Im April 2014	IPRI-Forschungsprojekt zur Prognose des Bedarfs an Ersatzteilen abgeschlossen	IDW Online	Interessierte Fachöffentlichkeit
Presse-meldung	Im April 2014	IPRI-Praxis Nr. 5 „Leitfaden zur heuristikbasierten Prognose des Ersatzteilbedarfs“ erschienen	IDW Online	Interessierte Fachöffentlichkeit
Artikel	Winter-Journal 2011/2012, Nr. 14	Projekt „HEUREGA!“	IPRI-Journal	236 Personen erhalten das Journal per Post; 420 Personen erhalten das Journal per Email
Artikel	Winter-Journal 2013/2014, Nr. 18	Vereinfachte Ersatzteil-Bedarfsprognosen - Ergebnisse des Forschungsprojekts HEUREGA!	IPRI-Journal	236 Personen erhalten das Journal per Post; 420 Personen erhalten das Journal per Email
Artikel	Ausgabe 5/2012	Heuristikbasierte Ersatzteil-Bedarfsprognosen - Ansätze zur Überwindung eines Datenverfügbarkeitsproblems	Zeitschrift Productivity Management	Interessierte Fachöffentlichkeit



5.3 Transfermaßnahmen nach der Projektlaufzeit

5.3.1 Demonstrator

Die **Ergebnisse aus den Arbeitspaketen** sowie der entwickelte Leitfaden zur Ersatzteil-Bedarfsprognose wurden in einen **Excel-basierten Demonstrator überführt**. Dadurch sind die erzielten **Ergebnisse unmittelbar nutzbar**. Eine Weiterentwicklung und Anpassung des Demonstrators für unternehmensindividuelle Zwecke ist möglich. Der Demonstrator wurde in den Unternehmen des Projektbegleitenden Ausschusses validiert und notwendige Verbesserungen in den Demonstrator eingearbeitet.

Der Demonstrator wurde auf Basis von Microsoft Office 2007® erstellt und ist **damit für alle Unternehmen anwendbar**, die ihre EDV mit Microsoft-Office- oder Open-Office-Anwendungen ausgestattet haben. Der Demonstrator ist mit einem detaillierten Leitfaden ausgestattet, der den Anwender Schritt für Schritt in das Thema Ersatzteil-Bedarfsprognose einführt sowie durch den Demonstrator leitet. Sollte der Anwender eine ältere Office-Version auf seinem Computer haben, dann kann er/sie den kostenlosen Konverter von Microsoft unter folgendem Link abrufen und den Demonstrator dennoch verwenden: <http://www.microsoft.com/de-de/download/details.aspx?id=3>. Der Demonstrator ist über die durchführende Forschungsstelle (siehe Abschnitt 6) zu beziehen.

5.3.2 Handlungsleitfaden zur heuristikbasierten Ersatzteil-Bedarfsprognose

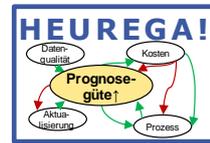
Das in dem Forschungsprojekt entwickelte **Vorgehen zur Ersatzteil-Bedarfsprognose** wurde in ein **Handlungsleitfaden überführt**. In diesem Leitfaden ist das schrittweise Vorgehen zur Ersatzteil-Bedarfsprognose aufgearbeitet. Dieses Vorgehen erlaubt insbesondere KMU die aufwandsarme Erstellung von Bedarfsprognosen für umfangreiche Ersatzteil-Teilenummern. Der Leitfaden ist über die durchführende Forschungsstelle (siehe Abschnitt 6) zu beziehen.

5.3.3 Seminarangebot

Die während des Forschungsprojekts erarbeiteten Ergebnisse gehen ein in das **Seminar „Vorgehen zur heuristikbasierten Prognose des Ersatzteilbedarfs“** der IPRI-Seminarreihe. Das Seminar wird erstmals im **Herbst 2014** und **anschließend halbjährlich im Frühjahr bzw. im Herbst eines Jahres** angeboten. In dem Tagesseminar wird die erarbeitete Vorgehensweise zur Ersatzteil-Bedarfsprognose sowie der entwickelte Demonstrator anhand von konkreten Unternehmensbeispielen den Teilnehmer erläutert.

5.3.4 Integration der Erkenntnisse in die Lehre

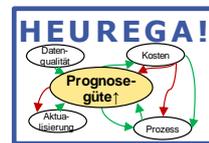
Neben der wissenschaftlichen und unternehmensorientierten Verwertung werden die **Ergebnisse** auch in die **Ausbildung von Nachwuchsakademikern integriert**. Eine Lehrveranstaltung hierzu fand am 04. Februar 2014 statt und richtete sich an Bachelorstudierende der Universität Ulm. Unter dem Titel „Willkommen in der Wissenschaft“ wurde am Beispiel des Projekts HEUREGA! vorgestellt, wie ein wissenschaftliches Forschungsprojekt gestaltet sein kann, welche Ergebnisse erzielt werden können und wie praxisorientierte Forschung abläuft.



5.4 Einschätzung zur Realisierbarkeit des vorgeschlagenen und aktualisierten Transferkonzepts

Das vorgeschlagene und aktualisierte Transferkonzept bietet hervorragende Aussichten einer **vollständigen Realisierbarkeit**.

- **Publikationen:** alle Publikationen sind publiziert. Das IPRI-Praxis-Paper „Handlungsleitfaden zur heuristikbasierten Ersatzteil-Bedarfsprognose“ wird im April 2014 publiziert. Die Publikation wird über eine Pressemeldung bekannt gegeben.
- **Systematische Ansprache von Multiplikatoren und potenziell interessierter Unternehmen:** Auf diversen Veranstaltungen, beispielsweise bei dem Themenkreis Ersatzteilmanagement und bei dem Tag der Logistik 2012 und 2013 wurden Ergebnisse des Projekts vorgetragen sowie gezielt Unternehmen und Multiplikatoren auf die Ergebnisse aufmerksam gemacht.
- **Vorstellung des Konzepts in einem öffentlichen IPRI-Fachworkshop:** Das Konzept wurde auf der öffentlichen Abschlussveranstaltung vorgestellt und diskutiert.
- **Seminare in der IPRI-Seminarreihe:** Unterlagen zu IPRI-Seminaren sind erarbeitet; das erste Seminar wird im Herbst 2014 angeboten.



6 Durchführende Forschungsstelle

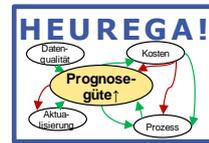
Die IPRI – International Performance Research Institute gemeinnützige GmbH wurde von Prof. Dr. Dr. h.c. mult. Péter Horváth mit der Zielsetzung gegründet, Forschung auf dem Gebiet des **Performance Management von Organisationen**, Unternehmen und Unternehmensnetzwerken zu betreiben.

Unter Leitung von Prof. Dr. Mischa Seiter untersucht IPRI in Zusammenarbeit mit anderen Forschungseinrichtungen und mittelständischen Unternehmen die **Wirkungszusammenhänge in den Bereichen Controlling, Finanzen, Logistik und Produktion**.

Die Forschungsstelle arbeitet eng mit der **Gesellschaft für Verkehrsbetriebswirtschaft und Logistik (GVB) e.V.** zusammen. Zudem wird der Kontakt zu Experten aus der Praxis über regelmäßige Veranstaltungen und Workshops hergestellt.

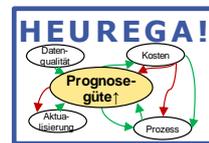
Für die durchgeführten Recherchen und Untersuchungen wurden neun wissenschaftliche Mitarbeiter anteilig beschäftigt. Die **geleistete Arbeit entspricht in vollem Umfang dem begutachteten und bewilligten Antrag** und war daher für die Durchführung des Vorhabens notwendig und angemessen.

Forschungsstelle	IPRI - International Performance Research Institute gemeinnützige GmbH
Anschrift	Königstraße 5, 70173 Stuttgart
Leitung der Forschungsstelle	Prof. Dr. Mischa Seiter
Projektleitung	Dipl.-Kffr. techn. Caroline Rosentritt
Kontakt	Tel.: 0711 - 620 32 68 - 0, www.ipri-institute.com

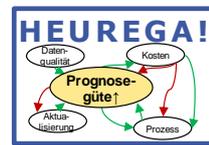


IV Literaturverzeichnis

- Aronis, K.-P., Magou, I., Dekker, R. und Tagaras, G. (2004)**, Inventory control of spare parts using a Bayesian approach: A case study, in: European Journal of Operational Research, 154, S. 730-739.
- Bacon, A., Lapide, L. und Suleski, J. (2002)**, Supply chain collaboration today: it's tactic, not a strategy, AMR Research Report, September 2002, S. 12.
- Baum, H.-G., Coenenberg, A. G. und Günther, T. (2007)**, Strategisches Controlling, 4., überarbeitete Auflage, Stuttgart 2007.
- Biedermann, H. (2008)**, Ersatzteilmanagement - Effiziente Ersatzteillistik für Industrieunternehmen, Berlin u.a. 2008.
- Bleicher, K. (1992)**, Strategische Anreizsysteme: Flexible Vergütungssysteme für Führungskräfte, in: Entwicklungstendenzen im Management, Bd. 8, Stuttgart 1992.
- Boone, N. und Quisbrock, T. (2009)**, Logistische Hochleistungsanforderungen an Zulieferunternehmen bei der Ersatzteildistribution im unabhängigen Automotive-Aftermarket in Deutschland, Schriftenreihe Logistik, 1, Ostwestfalen-Lippe 2009.
- Dahmen, J. und Wollenweber, J. (2005)**, Klassifizierung und Vorhersage des zukünftigen Kundenbedarfs an Ersatzteilen, in: Lasch, R. (Hrsg.), Logistik-Management: innovative Logistikkonzepte. Gabler, Wiesbaden 2005, S. 81-92.
- de Ruiter, W. und Koch, Th. (1991)**, Leistungsförderung im Vertrieb durch Incentives, in: Schanz, G. (Hrsg. 1991), Handbuch Anreizsysteme, Stuttgart 1991, S. 1025-1036.
- Domschke, W. und Scholl, A. (2006)**, Heuristische Verfahren, Jenaer Schriften zur Wirtschaftswissenschaft, 8/2006.
- Eaves, A.H.C. und Kingsman, B.G. (2004)**, Forecasting for the ordering and stock-holding of spare parts, in: Journal of Operational Research Society, 55 Jg. 2004, S. 431-437.
- Gigerenzer, G. (2007)**, Bauchentscheidungen. Die Intelligenz des Unbewussten und die Macht der Intuition, München 2007.
- Gigerenzer, G. und Brighton, H. (2009)**, Homo Heuristicus: Why Biased Minds Make Better Inferences, in: Topics in Cognitive Science, 1 Jg. 2009, Nr. 1, S. 107-143.
- Hesselbach, J., Mansour, M., Graf, R. und Karl, G. (2004)**, Integration von Re-X Optionen in den Abläufen eines ganzheitlichen Ersatzteilmanagements, in: Spengler, T., Voss, S., Kopfer, H. (Hrsg.), Logistik Management, Prozesse, Systeme, Ausbildung. Heidelberg, S. 287-308.
- Hua, Z., Yang, J., Huang, F. und Xu, X. (2009)**, A static-dynamic strategy for spare part inventory systems with nonstationary stochastic demand, in: Journal of the Operational Research Society, 60 Jg. 2009, Nr. 9, S. 1254-1263.



- Hua, Z.S., Zhang, B., Yang, J. und Tan, D.S. (2007)**, A new approach of forecasting intermittent demand for spare parts inventories in the process industries, in: Journal of Operational Research Society, 58 Jg. 2007, S. 52-61.
- Ihde, G.B., Lukas, G., Merkel, H. und Neubauer, H. (1988)**, Ersatzteillogistik - Theoretische Grundlagen und praktische Handhabung, München.
- Jalil, M.N., Zuidwijk, R.A., Fleischmann, M. und van Nunen, J.A.E.E. (2011)**, Spare parts logistics and installed base information, in: Journal of the Operational Research Society, 62. Jg. 2011, Nr. 3, S. 442-457.
- Kaipia, R. und Hartiala, H. (2006)**, Information-sharing in supply chains: five proposals on how to proceed, the International Journal of Logistics and Management, 17. Jg. 2006, Nr. 3, S. 377-393.
- Kleber, R., Schulz, T. und Voigt, G. (2012)**, Dynamic buy-back for product recovery in end-of-life spare parts procurement, in: International Journal of Production Research, 50. Jg. 2012, Nr. 6, S. 1476-1488.
- Koch, S. (2004)**, Lebenszyklusorientierte Ersatzteillogistik in Hersteller-Anwender-Kooperationen, zugl. Diss. U Bremen, Hamburg 2004.
- Kossbiel, H. (1994)** Überlegungen zur Effizienz betrieblicher Anreizsysteme, in: DBW Die Betriebswirtschaft, 54. Jg. 1994, Nr. 1, S. 75-93.
- Kostas, P. A., Magou, I., Dekker, R. und Tagaras, G. (2004)**, Inventory control of spare parts using a Bayesian approach: A case study, in: European Journal of Operational Research, 154. Jg. 2004, Nr. 3, S. 730-739.
- Krey, A. und Wettels, T. (2008)**, Ansätze zur Ausgestaltung von Anreizsystemen in der Supply Chain, in: Tschandl, M. und Bäck, S. (Hrsg. 2008), Supply Chain Performance, Graz 2008, S. 129-149.
- Louit, D., Pascual, R., Banjevic, D. und Jardine, A.K.S. (2011)**, Optimization models for critical spare parts inventories - a reliability approach, in: Journal of the Operational Research Society, 62. Jg. 2011, S. 992-1004.
- Mahnel, M. und Seebauer, P. (Hrsg. 2008)**, Global Spare Parts Management 2010 - Bringen Sie Ihre Ersatzteilversorgung weltweit auf Erfolgskurs, München 2008.
- Meidlinger, A. (1994)**, Dynamisierte Bedarfsprognose für Ersatzteile bei technischen Gebrauchsgütern, Frankfurt a.M. 1994.
- Mukhopadhyay, S., Solis, A. O. und Gutierrez, R. S. (2012)**, The Accuracy of Non-traditional versus Traditional Methods of Forecasting Lumpy Demand, in: Journal of Forecasting, 31. Jg. 2012, Nr. 8, S. 721-735.
- Narayanan, V.G. und Raman, A. (2004)**, Aligning Incentives in Supply Chains, in: Harvard Business Review, November 2004, S. 94-102.



- Porras, E. und Dekker, R. (2008)**, An inventory control system for spare parts at a refinery: An empirical comparison for different reorder point methods, in: European Journal of Operational Research, 184. Jg. 2008, Nr. 1, S. 101-132.
- Powalla, C. (2009)**, Heuristiken im Rahmen der strategischen Analyse – Ein Vergleich der Prognosekraft von VRIO-Framework und Rekognitionsheuristik, Berlin 2009.
- Recknagel, S. (2008)**, Optimierung der Langzeitprognose für den Allzeitbedarf von Ersatzteilen durch materialklassenspezifische Bedarfsplanung, zugl. Diss., Magdeburg 2008.
- Richter, H.-J. (1987)**, Ersatzteilbewirtschaftung über die Lebensdauer eines elektronischen Gerätetyps - Eine Analyse und methodische Behandlung praktischer Serviceprobleme, Frankfurt a. M. 1987.
- Schreiber, K. (2010)**, After-Sales-Management - eine theoretische und empirische Untersuchung, München 2010.
- Schuh, G., Stich, V. und Wienholdt, H. (2013)**, Ersatzteillogistik, in: Schuh, G. und Stich, V. (Hrsg. 2013), Logistikmanagement, Berlin Heidelberg 2013, S. 165-208.
- Schuppert, F. (1994)**, Strategische Optionen für Anbieter auf Ersatzteilmärkten, Wiesbaden 1994.
- Shenstone, L. und Hyndman, R.J. (2005)**, Stochastic Models Underlying Croston's Method for Intermittent Demand Forecasting, in: Journal of Forecasting, 24. Jg. 2005, Nr. 6, S. 389-402.
- Teunter, R. H., Syntetos, A.A. und Babai, M.Z. (2011)**, Intermittent demand: Linking forecasting to inventory obsolescence, in: European Journal of Operational Research, 214. Jg. 2011, Nr. 3, S. 606-615.
- Thonemann, U. (2010)**, Operations Management - Konzepte, Methoden und Anwendungen, 2., aktualisierte Auflage, München 2010.
- Van Kooten, J.P.J. und Tan, T. (2009)**, The final order problem for repairable spare parts under condemnation, in: Journal of the Operational Research Society, 60. Jg. 2009, Nr. 10, S. 1449-1461.
- Vester, F. (2012)**, Die Kunst vernetzt zu denken - Ideen und Werkzeuge für einen neuen Umgang mit Komplexität, 9. Auflage, München 2012.
- Voss, H. (2006)**, Life Cycle Logistics: Der Weg zur produktlebenszyklusorientierten Ersatzteillogistik, zugl. Diss. U Erlangen-Nürnberg, Nürnberg 2006.
- Wächter, H. (1991)**, Tendenzen der betrieblichen Lohnpolitik in motivationstheoretischer Sicht, in: Schanz, G. (Hrsg. 1991), Handbuch Anreizsysteme, Stuttgart 1991, S. 195-214.
- Wang, W. (2011)**, A stochastic model for joint spare parts inventory and planned maintenance optimization, in: European Journal of Operational Research, 216. Jg. 2011, Nr. 1 2012, S. 127-139.



- Welge, M.K., Hüttemann, H.H. und Al-Laham, A. (1996)**, Strategieimplementierung, Anreizsystemgestaltung und Erfolg, in: Zeitschrift Führung und Organisation, 65 Jg. 1996, Nr. 2, S. 80-85.
- Wild, J. (1973)**, Organisation und Hierarchie, in: Zeitschrift für Organisation, 42. Jg. 1973, Nr. 1, S. 45-54.
- Wong, H., Kranenburg, B., van Houtum, G.J. und Cattrysse, D. (2007)**, Efficient heuristics for two-echelon spare parts inventory systems with an aggregate mean waiting time constraint per local warehouse, in: OR Spectrum, 29. Jg. 2007, Nr. 4, S. 699-722.