





TECHNISCHE  
UNIVERSITÄT  
WIEN

Ich habe zur Kenntnis genommen, dass ich zur Drucklegung meiner Arbeit unter der Bezeichnung

## Diplomarbeit

nur mit Bewilligung der Prüfungskommission berechtigt bin.

Ich erkläre weiters Eides statt, dass ich meine Diplomarbeit nach den anerkannten Grundsätzen für wissenschaftliche Abhandlungen selbstständig ausgeführt habe und alle verwendeten Hilfsmittel, insbesondere die zugrunde gelegte Literatur, genannt habe.

Weiters erkläre ich, dass ich dieses Diplomarbeitsthema bisher weder im In- noch Ausland (einer Beurteilerin/einem Beurteiler zur Begutachtung) in irgendeiner Form als Prüfungsarbeit vorgelegt habe und dass diese Arbeit mit der vom Begutachter beurteilten Arbeit übereinstimmt.

Wien, im Oktober 2021

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'M. Jolovic', written in a cursive style.

---

Mladen Jolovic

## Kurzfassung

Aufgrund der steigenden Anzahl an Abkündigungen und der daraus resultierenden Nichtverfügbarkeit von Komponenten, werden produzierende Unternehmen vor eine große Herausforderung gestellt. Am stärksten von dieser Problematik betroffen sind lebenserhaltungsdominante Systeme, bei denen der Produktlebenszyklus des Systems die Lebensdauer der einzelnen Komponenten um ein Vielfaches übersteigt.

Diesen Umstand aufgreifend, wurde in der vorliegenden Arbeit ein ganzheitliches Obsoleszenzmanagement-Modell entwickelt, welches als Basis für die Ermittlung des Obsoleszenzrisikos für sicherheitskritische Hardware- und Softwarekomponenten dient. Im Zuge dessen konnte folgende Forschungsfrage beantwortet werden: *Wie muss ein ganzheitliches Obsoleszenzmanagement für den sicherheitskritischen Bereich aufgebaut sein, um eine Optimierung der Lebenszykluskosten zu gewährleisten?*

Die methodische Basis für die Entwicklung des neu konzipierten Modells stellt das Design-Science-Paradigma von Hevner et al dar. Für die Umsetzung der einzelnen Schritte kommen zwei weitere Forschungsmethoden zum Einsatz. Einerseits wird zur Ableitung von Zielvorgaben sowie Anforderungen eine systematische Literaturanalyse durchgeführt und andererseits Concept Mapping zur Strukturierung sowie logischen Verknüpfung von Schlüsselkonzepten verwendet.

Im praktischen Teil der Arbeit wurde das entwickelte Obsoleszenzmanagement-Modell im operativen Kontext im Unternehmen Frequentis AG angewendet und validiert. Wesentliche Punkte im Zuge der praktischen Umsetzung waren die Analyse der bestehenden Prozesse, Erarbeitung von Prozessoptimierungen, Umsetzung der gewonnenen Erkenntnisse in einem neuen Prozessmodell, Auswertung von Obsoleszenzparametern sowie Durchführung von Risikoanalysen.

Das Ergebnis dieser Diplomarbeit ist ein generisches Management-Modell zur holistischen Behandlung von Obsoleszenz, welches sich aus induktiv abgeleiteten Elementen aus spezifischen Ansätzen sowie aus deduktiv abgeleiteten Elementen aus literaturbasierten Anforderungen zusammensetzt. Die Anwendung sowie die Bedeutsamkeit des Modells werden durch den Einsatz im sicherheitskritischen Bereich konkret aufgezeigt.

## Abstract

Due to the increasing number of product discontinuations and the resulting unavailability of components, manufacturing companies are faced with a major challenge. The systems most affected by this problem are sustainment-dominated systems, in which the product life cycle of the system exceeds the service life of the individual components by a multiple.

Addressing this circumstance, this thesis developed a holistic obsolescence management model that serves as the basis for determining the obsolescence risk for safety-critical hardware and software components. As part of this, the following research question could be answered: *How must a holistic obsolescence management for the safety-critical area be structured in order to ensure optimization of lifecycle costs?*

The methodological basis for the development of the newly designed model is the design science paradigm of Hevner et al. Two additional research methods are used for the implementation of the individual steps. On the one hand, a systematic literature analysis is conducted to derive objectives as well as requirements, and on the other hand, concept mapping is used to structure as well as logically link key concepts.

In the course of the practical part of the work, the developed obsolescence management model was applied and validated in the operational context of Frequentis AG. The key elements of the practical implementation were the analysis of existing processes, the development of process optimizations, the implementation of the findings in a new process model, the evaluation of obsolescence parameters, and the performance of risk analyses.

The result of this thesis is a generic management model for the holistic treatment of obsolescence, which is composed of inductively derived elements from specific approaches as well as deductively derived elements from literature-based requirements. The application as well as the significance of the model are concretely demonstrated by its use in the safety-critical domain.

# Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung: Obsoleszenzmanagement als Treiber für vorausschauende Bauteilversorgung .....	1
1.1	Problemstellung und Forschungsfrage .....	4
1.2	Methodische Vorgehensweise .....	5
1.3	Phasen und Aufbau der Arbeit .....	7
2	Theoretische Grundlagen.....	9
2.1	Einführung in das Obsoleszenzmanagement .....	9
2.1.1	Definition und Begriffsbestimmung .....	9
2.1.2	Ursachen von Obsoleszenz .....	13
2.1.3	Anwendungsfelder von Obsoleszenz .....	13
2.1.4	Dimensionen von Obsoleszenz.....	15
2.1.5	Verantwortung innerhalb der Supply Chain .....	16
2.2	Strategien des Obsoleszenzmanagement.....	17
2.2.1	Reaktives Obsoleszenzmanagement.....	18
2.2.2	Proaktives Obsoleszenzmanagement.....	28
2.2.3	Strategisches Obsoleszenzmanagement.....	36
2.2.4	Zusammenfassende Schlussfolgerung zu den Strategien .....	43
2.3	Lebenszyklusorientierte Prognoseverfahren .....	44
2.3.1	Phasen des Produktlebenszyklus .....	44
2.3.2	Prognosen für Komponenten mit evolutionären parametrischen Treibern .....	46
2.3.3	Prognosen für Komponenten mit nicht-evolutionären parametrischen Treibern .....	48
2.3.4	Prognosen ohne Datenbanken .....	49
2.3.5	Zusammenfassende Schlussfolgerung zu den Prognoseverfahren .....	51
2.4	Software-Obsoleszenz .....	52
2.4.1	Ursachen und Bereiche von Software-Obsoleszenz.....	53
2.4.2	Herausforderungen und Treiber von Software-Obsoleszenz .....	55
2.4.3	Ansätze und Strategien zur Minderung und Vorbeugung von Software-Obsoleszenz .....	59

2.4.4	Ansätze und Kriterien zur Risikobeurteilung von Software- Obsoleszenz .....	62
2.4.5	Zusammenfassende Schlussfolgerung zu Software-Obsoleszenz .....	65
3	Abgrenzung zum Stand der Technik .....	66
3.1	Systematische Literaturanalyse .....	66
3.1.1	Nutzen und Bedeutung der systematischen Literaturanalyse .....	66
3.1.2	Vorgehensweise bei der systematischen Literaturanalyse .....	67
3.1.3	Durchführung der systematischen Literaturanalyse .....	69
3.1.4	Ergebnisse und Erkenntnisse der systematischen Literaturanalyse .....	73
3.2	Concept Mapping .....	75
3.2.1	Einführung in das Concept Mapping .....	75
3.2.2	Vorgehensweise beim Concept Mapping .....	76
3.2.3	Resultierende Concept Map für diese Arbeit .....	77
4	Entwicklung des ganzheitlichen Obsoleszenzmanagement-Modells .....	79
4.1	Übersicht des ganzheitlichen Obsoleszenzmanagement-Modells .....	79
4.2	Das ganzheitliche Obsoleszenzmanagement-Modell .....	81
4.2.1	Anwendungsbereich des ganzheitlichen Obsoleszenzmanagement- Modells .....	81
4.2.2	Aufbau des ganzheitlichen Obsoleszenzmanagement-Modells .....	81
4.2.3	Beurteilungskriterien zur Bewertung des Obsoleszenzrisikos .....	86
4.2.4	Auswahl der geeigneten Obsoleszenzmaßnahmen .....	89
5	Umsetzung und Evaluierung des ganzheitlichen Obsoleszenzmanagement- Modells im Unternehmen Frequentis AG .....	90
5.1	Einblick in das Unternehmen Frequentis AG .....	90
5.1.1	Beschreibung der Ausgangssituation .....	91
5.1.2	Informationslandschaft .....	93
5.2	Erstellung der Obsoleszenzmanagement-Prozesse .....	93
5.2.1	Vorgehensweise bei der Prozessmodellierung .....	94
5.2.2	Umsetzung und Ergebnisse der Prozesserstellung .....	95
5.2.3	Voraussetzungen zur Implementierung der Obsoleszenzmanagement- Prozesse .....	100
5.3	Evaluierung der Obsoleszenzmanagement-Prozesse .....	101
6	Diskussion und Ergebnisinterpretation .....	102

6.1	Zusammenfassung der Ergebnisse .....	102
6.2	Limitationen und mögliche Weiterentwicklungsschritte des ganzheitlichen Obsoleszenzmanagement-Modells .....	106
7	Resümee.....	108
8	Anhang.....	110
8.1	Dokumentation der Literaturrecherche .....	110
8.1.1	Dokumentation der Literaturrecherche in SpringerLink.....	110
8.1.2	Dokumentation der Literaturrecherche in ScienceDirect.....	111
8.1.3	Dokumentation der Literaturrecherche in IEEE Xplore .....	112
8.1.4	Dokumentation der Literaturrecherche in Google Scholar .....	113
8.1.5	Dokumentation der Literaturrecherche in CatalogPlus.....	114
8.2	Concept Map .....	115
8.3	Prozessdarstellungen .....	116
8.4	Template zur Auswertung des Obsoleszenzrisikos .....	120
9	Literaturverzeichnis .....	121
9.1	Verwendete Literatur .....	121
9.2	Weiterführende Literatur .....	126
10	Abbildungsverzeichnis .....	128
11	Tabellenverzeichnis .....	131
12	Abkürzungsverzeichnis .....	132

# 1 Einleitung: Obsoleszenzmanagement als Treiber für vorausschauende Bauteilversorgung

„The only big companies that succeed will be those that obsolete their own products before someone else does“ (Bill Gates, Founder of Microsoft Corp.)<sup>1</sup>

Im Jahr 2015 wurde an der Dualen Hochschule Baden-Württemberg Mannheim eine empirische Analyse zum Thema „Obsoleszenzmanagement in deutschen Unternehmen“ durchgeführt, bei welcher 86 Teilnehmer aus diversen Feldern der Industrie teilgenommen haben.<sup>2</sup> Die Umfrage ergab, dass die verwendeten Anlagen bzw. die Hardware in der deutschen Industrie zu 50% ein Alter von über zehn Jahren aufweisen und knapp 20% sogar mehr als 20 Jahre alt sind. Das Alter der in den Anlagen eingesetzten Software betrug bei 32% der befragten Unternehmen mehr als zehn Jahre. Darüber hinaus wurde in der Umfrage festgestellt, dass Obsoleszenzmanagement in den Unternehmen oft noch nicht fest verankert ist und die Aufgaben des Obsoleszenzmanagement überwiegend dem Einkauf oder einem Technikbereich zugeteilt werden. Bezugnehmend auf diese Ergebnisse kann festgehalten werden, dass deutliches Entwicklungspotential sowie Handlungsbedarf rund um die Thematik Obsoleszenzmanagement besteht, um zukünftig die Nutzungsdauer von Produkten zu verlängern und einen frühzeitigen Ausfall abzuwenden.

2018 fand eine Abkündigung von 150.000 elektronischen Komponenten statt. Fertigungsunternehmen mit 10.000 bis 20.000 Teilen haben bereits einen substantiellen administrativen Aufwand in Bezug auf obsoletere Komponenten ihrer Produkte. Heutzutage ist es keine Seltenheit auf Besetzungen im Unternehmen zu treffen, welche mit einem außerordentlich hohen manuellen Aufwand für die Prüfung und Bearbeitung von Änderungs- bzw. Abkündigungsmitteilungen zuständig sind. Diese Herangehensweise trägt einen hohen Kostenfaktor mit sich.<sup>3</sup>

Aufgrund der sich rasant entwickelnden Digitalisierung in allen Produktionssegmenten und der miteinhergehenden Innovationsgeschwindigkeit nimmt die Bedeutung von Obsoleszenzmanagement zu. Die Abkündigung von Komponenten eines Produkts stellt für die meisten produzierenden Unternehmen eine große Herausforderung dar. Der Ansatz des Obsoleszenzmanagements hat sich noch nicht breitflächig durchgesetzt, da die Lebenszyklen vieler Produkte (beispielsweise im Maschinenbau) bis dato eine wesentlich längere Dauer aufwiesen. Die unaufhaltsame Digitalisierung verkürzt jedoch diese Zyklen und bringt das Erfordernis mit sich, rechtzeitig sowie

<sup>1</sup> vgl. Rajagopal et al. (2014), S.76

<sup>2</sup> vgl. Marx (2015), S.2

<sup>3</sup> vgl. Robles (2019), S.16

nachhaltig zu agieren. Daraus resultierend erhält die Thematik eine lautere Stimme in der produzierenden Wirtschaft.<sup>4</sup>

Obsoleszenzmanagement beschreibt koordinierte Prozesse sowie den Einsatz von Maßnahmen, um eine Organisation hinsichtlich Obsoleszenz bestmöglich zu lenken und leiten. Obsoleszenz tritt ein, sobald ein Bauteil entweder durch den Originalhersteller nicht mehr lieferbar ist oder keine Funktionsfähigkeit aufgrund externer Einflüsse gegeben ist.<sup>5</sup> Obsoleszenzmanagement verfolgt das Ziel, dass Obsoleszenz als integraler Bestandteil von Entwicklung, Beschaffung und Unterstützung im Einsatz behandelt wird, um eine Minimierung von Kosten zu erreichen sowie nachteilige Auswirkungen, wie beispielsweise Versorgungsengpässe, über den gesamten Produktlebenszyklus zu verhindern.<sup>6</sup>

Um Obsoleszenzfälle und die damit auftretenden Probleme effektiv in Angriff nehmen zu können, ist es in erster Linie erforderlich eine allgemeine Ursachenforschung zu betreiben, um die möglichen Auslöser einer Nichtverfügbarkeit besser verstehen zu können:<sup>7</sup>

- Technologische Evolution

Durch einen kontinuierlichen technologischen Fortschritt und kürzere Innovationszyklen entstehen verbesserte oder kostengünstigere Bauteile, welche ihre Vorgänger ersetzen (z.B. Mikroprozessoren).

- Technologische Revolution

Sobald Produktinnovationen mit klaren Vorteilen in der Anwendung bzw. einem größeren Funktionsspektrum am Markt erscheinen, werden ihre Vorgänger obsolet (z.B. DVD/Blu-Ray vs. VHS).

- Markteinwirkungen

Durch einen Rückgang in der Nachfrage aufgrund von natürlichen Marktentwicklungen ist eine fortlaufende Produktion von gewissen Komponenten nicht mehr rentabel und Hersteller sind gezwungen diese Bauteile vom Markt zu nehmen.

- Umweltpolitische Einschränkungen und Restriktionen

Durch eine Änderung der Gesetzgebung bzw. durch die Einführung von neuen Richtlinien wird beispielsweise die Verwendung von bestimmten Materialien

---

<sup>4</sup> vgl. Heinbach (2019), S.62

<sup>5</sup> vgl. DIN EN 62402 (2008), S.8

<sup>6</sup> vgl. DIN EN 62402 (2008), S.5

<sup>7</sup> vgl. Bartels et al. (2012), S.8ff.

eingeschränkt (z.B. RoHS, WEEE, REACH), wodurch eine Abkündigung von Bauteilen erforderlich wird.

- Allokation

Lange Lieferzeiten bei einer erhöhten Nachfrage resultieren in einer kurzfristigen Unterbrechung der Supply Chain, wodurch eine temporäre Nichtverfügbarkeit von Produkten entsteht.

- Geplante Obsoleszenz

Bei einer geplanten Obsoleszenz wird von Herstellern die Strategie verfolgt die Lebensdauer von Bauteilen bewusst zu verkürzen, um eine erneute und regelmäßige Konsumation ihrer Produkte zu gewährleisten.

Es existieren drei unterschiedliche Strategien von Obsoleszenzmanagement, deren Wahl sich u.a. von der Art, den Produkten sowie internen Unternehmensstrukturen als auch Vorgaben von definierten Unternehmensleitsätzen ableiten lässt.<sup>8</sup>

Reaktives Obsoleszenzmanagement beschreibt einen spezifischen Lösungsprozess für bereits abgekündigte oder obsoletere Bauteile. Maßnahmen in diesem Zusammenhang sind risikomindernde Bauteilbevorratungskonzepte, Fit-Form-Function-Substitute, Reparaturen etc. Proaktives Obsoleszenzmanagement hingegen schildert einen vorausschauenden Analyseprozess für obsoleszenzkritische Komponenten, bei welchem durch entsprechende Prognosen erfasst werden soll, in welcher Phase des Produktlebenszyklus sich ein Bauteil befindet. Beim strategischen Obsoleszenzmanagement erfolgt eine Implementierung bereits in der Entwicklungsphase und wird auf allen Lebenszyklusphasen des eigenen Systems angewendet. Durch die strategische Planung und den Einsatz von Upgrades soll beispielsweise eine Lebenszyklusoptimierung der Bauteile und eine Kostenreduzierung erreicht werden.<sup>9 10</sup>

Mit zunehmender Digitalisierung sowie erhöhter Komplexität der Lieferkette wird bzw. ist die Obsoleszenz eine der größten Herausforderungen für Branchen mit längeren Produktlebenszyklen.<sup>11</sup> Aufgrund fehlender Prozess- und Lösungsansätze in diesem Zusammenhang hinken viele Unternehmen hinterher. Ein strukturiertes als auch professionelles Obsoleszenzmanagement kann hier Abhilfe schaffen und Fertigungsunternehmen auf die sich ändernden Anforderungen und technischen Gegebenheiten strategisch als auch monetär unterstützen.<sup>12</sup>

---

<sup>8</sup> vgl. Robles (2019), S.15

<sup>9</sup> vgl. Sandborn (2008), S.25

<sup>10</sup> vgl. VDI 2882 (2016), S.11ff.

<sup>11</sup> vgl. Heinbach (2020), S.1

<sup>12</sup> vgl. Bartels & Poppe (2019), S.140

## 1.1 Problemstellung und Forschungsfrage

Den Umstand aufgreifend, dass steigendes Innovationstempo und technologischer Wandel einen essentiellen Einfluss auf die Entwicklung von Bauteilen und deren Marktverfügbarkeit besitzen, haben Systemhersteller zunehmend mit der Sicherstellung einer langjährigen Verfügbarkeit von entsprechender Hard- und Software zu kämpfen.<sup>13</sup> Um am konkurrierenden Markt nicht nur wettbewerbsfähig zu bleiben, sondern als Sieger hervorzugehen, ist es entscheidend ein geeignetes Obsoleszenzmanagement im Unternehmen zu integrieren, welches sowohl den Bedürfnissen der Kunden als auch denen des Systemherstellers genügt.

Im Zuge dieser Arbeit (Kapitel 3.1.3) wird aufgezeigt, dass ein allgemeingültiger Obsoleszenzmanagementprozess bzw. ein ganzheitliches Managementmodell, welches eine Kombination aus reaktiven, proaktiven und strategischen Maßnahmen beinhaltet sowie Hardware- als auch Softwarekomponenten zugleich berücksichtigt, bislang nicht vorhanden sind.

Vor diesem Hintergrund befasst sich die vorliegende Arbeit mit der Thematik des Obsoleszenzmanagements mit dem Fokus der Auslegung eines Strategiemixes innerhalb eines Managementmodells zur Sicherstellung der Bauteilversorgung und letztendlich zur Optimierung der Lebenszykluskosten. Die Diplomarbeit erfolgt in Kooperation mit dem Unternehmen Frequentis AG, dem führenden Anbieter von Informations- und Kommunikationssystemen im sicherheitskritischen Umfeld, beispielsweise für Flugsicherungen, Sicherheits- und Rettungsdienste, Eisenbahnunternehmen oder Küstenwachen. Das Unternehmen entwickelt und liefert weltweit individuell angepasste, integrationsfähige Systeme mit hoher Ausfallssicherheit. Die internationalen Kunden erwarten dabei Produkte mit hoher Lebensdauer und verlangen zudem, sofern vertraglich festgelegt, eine langfristige Versorgung mit Ersatzteilen. Da es sich bei den Komponenten und Ersatzteilen der erstellten Systeme zur Gänze um elektrische und elektromechanische Bauteile handelt, welche im Schnitt einen viel kürzeren Lebenszyklus als das System aufweisen, ergibt sich eine Problematik, die es mittels geeigneter Maßnahmen zu lösen gilt.

Folglich ist das Ziel dieser Arbeit, ein Modell für ein ganzheitliches Obsoleszenzmanagement zu entwickeln, basierend auf einer detaillierten Literaturanalyse sowie bereits existierenden Management-Modellen und -Strategien für andere bzw. ähnliche Zwecke (z.B. Risikomanagement, Life Cycle Management, Projektmanagement). Das konzeptionierte Modell soll in weiterer Folge anhand von operativen Prozesserstellungen bei dem Unternehmen Frequentis AG evaluiert werden.

---

<sup>13</sup> vgl. Bartels et al. (2012), S.11

In diesem Zusammenhang soll im Rahmen der Diplomarbeit auf folgende konkrete Forschungsfrage eine Antwort gegeben werden:

*Wie muss ein ganzheitliches Obsoleszenzmanagement für den sicherheitskritischen Bereich aufgebaut sein, um eine Optimierung der Lebenszykluskosten zu gewährleisten?*

Folgende Unterfragen spiegeln die einzelnen Teile der Arbeit wider und beantworten im Zuge der Arbeit detailliert die zentrale Fragestellung:

- Was sind die wesentlichen Zielsetzungen und Anforderungen an ein ganzheitliches Obsoleszenzmanagement für den sicherheitskritischen Bereich?
- Welche Interdependenzen bestehen innerhalb von Produkten hinsichtlich Hardware- sowie Software-Obsoleszenz und wie lässt sich Software-Obsoleszenz handhaben?
- Wie muss der strategische Prozess ausgelegt werden, um eine langfristige Versorgung von Produkten sicherzustellen?
- Wie können die operativen Prozesse hinsichtlich Obsoleszenzmanagement im Unternehmen verbessert werden?
- Was sind die signifikanten Erfolgsfaktoren bei der Implementierung des ganzheitlichen Obsoleszenzmanagement-Modells?

## 1.2 Methodische Vorgehensweise

Um eine vollständige, wissenschaftlich fundierte Beantwortung der zentralen Fragestellung zu gewährleisten, wird auf das Design-Science-Paradigma von Hevner et al. als Forschungsansatz zurückgegriffen. Das Design-Science-Paradigma hat seine Wurzeln im Ingenieurwesen und ist als Problemlösungsprozess konzipiert worden. Der Fokus wird dabei auf die Lösung von praktischen Problemen, durch die Erstellung von Artefakten in Form von Modellen, Methoden oder Systemen, gelegt. Voraussetzung für die Anwendung des Design-Science-Paradigmas ist, dass es sich einerseits um ein relevantes Problem handelt und andererseits das zu erstellende Artefakt einen Nutzen für die spezifische Problemstellung hervorbringt.<sup>14</sup> Beides ist durch die praktische Aufgabenstellung dieser Diplomarbeit gegeben.

Für die konkrete Entwicklung des Obsoleszenzmanagement-Modells soll das Vorgehensmodell von Peffers et al. verwendet werden, welches auf den Richtlinien des Design-Science-Paradigmas und dem grundsätzlichen Rahmenwerk von Hevner et al. aufbaut. Das Vorgehensmodell von Peffers et al. lässt sich grundsätzlich in sechs Hauptschritte einteilen (siehe Abbildung 1):<sup>15</sup>

<sup>14</sup> vgl. Hevner et al. (2004), S.76ff.

<sup>15</sup> vgl. Peffers et al. (2007), S.12ff.

1. Identifikation und Motivation des Problems

Das spezifische Forschungsproblem wird definiert und der Nutzen der Lösung begründet. Hierbei ist es hilfreich das Problem konzeptionell zu atomisieren, damit die Komplexität des Problems leichter erfasst werden kann.

2. Definition von Zielvorgaben für die Lösung

Auf Basis der Problemdefinition und dem Wissen darüber, was möglich und machbar ist, werden Zielvorgaben für die Lösung abgeleitet. Eine fundierte Analyse des „State of the Art“ ist dabei zwangsläufig erforderlich.

3. Gestaltung und Entwicklung

Zunächst werden die gewünschte Funktionalität sowie der Aufbau des Artefakts bestimmt und infolgedessen das eigentliche Artefakt erstellt.

4. Demonstration

Die Verwendung des erstellten Artefakts wird an einem Praxisbeispiel vorgeführt, um zu demonstrieren, dass die Idee prinzipiell funktioniert.

5. Evaluierung

Beobachtete Resultate bei der Verwendung des Artefakts werden mit den Zielvorgaben verglichen sowie deren Erfüllung entsprechend ausgewertet und gemessen. Ist die Zielerreichung nicht zufriedenstellend, so können die Schritte 3 und 4 wiederholt werden bis das Ergebnis den Zweck erfüllt.

6. Kommunikation

Schließlich wird das Artefakt, dessen Nutzen und Neuartigkeit diskutiert und einem relevanten Publikum präsentiert.

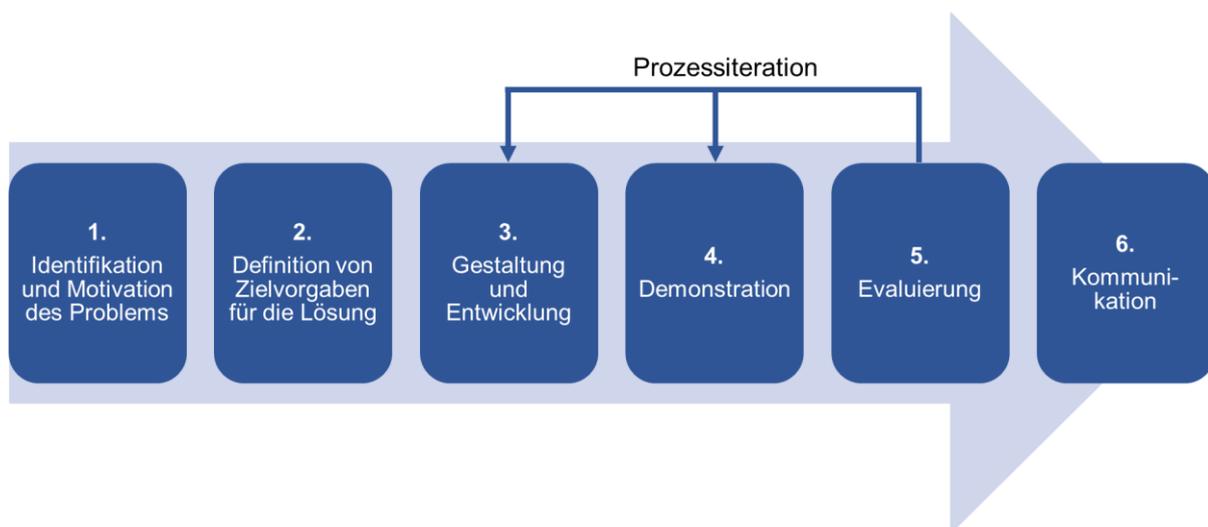


Abbildung 1: Vorgehensweise bei der Modellentwicklung (dargestellt als Prozess)

Für die Durchführung der einzelnen Schritte werden diverse wissenschaftliche Forschungsmethoden, wie eine systematische Literaturanalyse zur Ableitung von

Zielvorgaben und Anforderungen, Concept Mapping zur Visualisierung von Subkonzepten und ihren Beziehungen in Form eines Netzwerks sowie Prozessmodellierung zur Evaluierung der Zielerreichung in verschiedenen Szenarien verwendet.

### 1.3 Phasen und Aufbau der Arbeit

Die Diplomarbeit wird anhand der in Abbildung 2 dargestellten Phasen erarbeitet. Die Phasen orientieren sich hierbei an dem Design-Science-Paradigma und dem im vorangegangenen Kapitel dargestellten schrittweisen Vorgehensmodell.

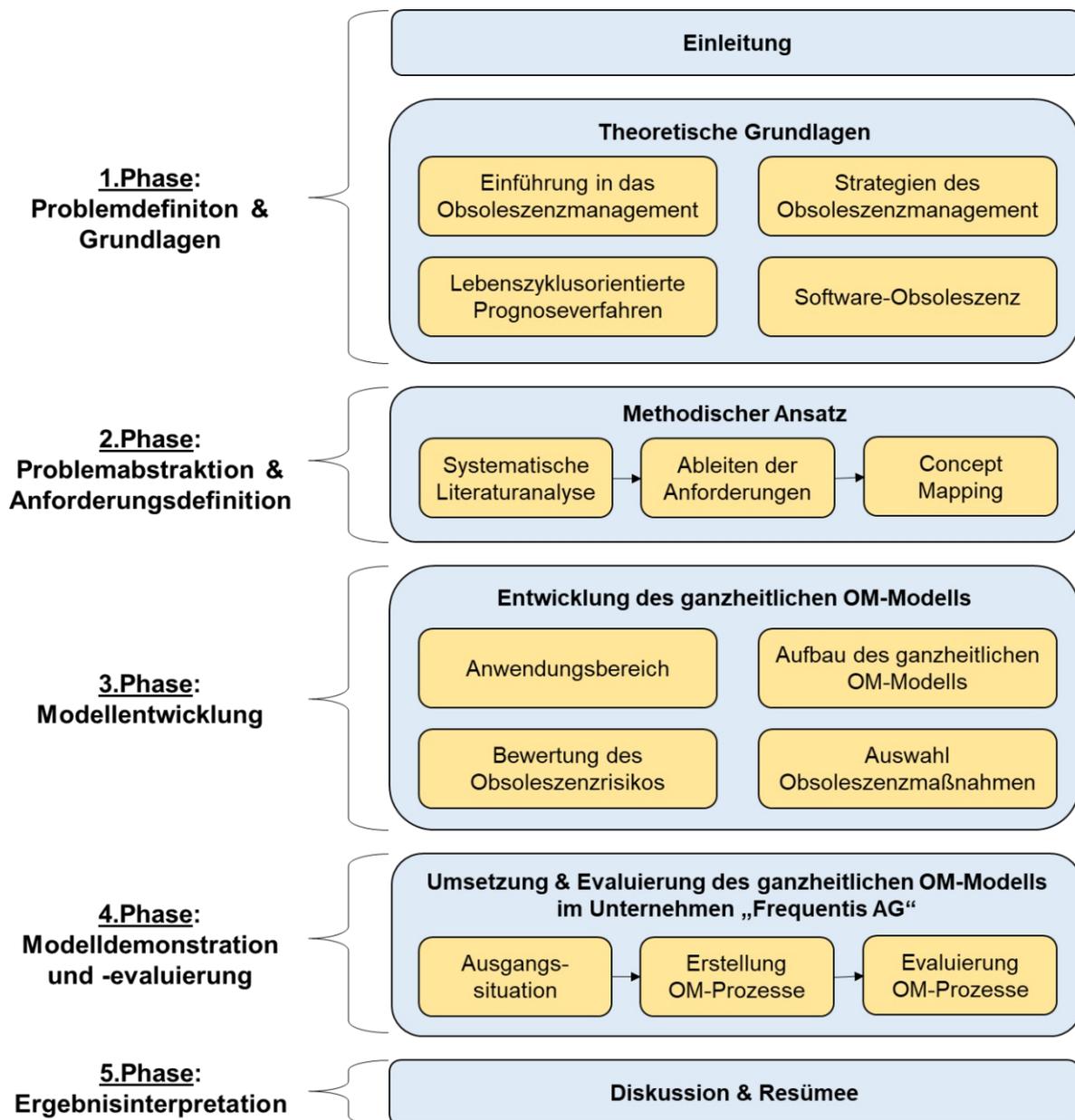


Abbildung 2: Phasen und Aufbau der Diplomarbeit

### 1.Phase: Problemdefinition & Grundlagen

In der initialen Phase der Arbeit wird das zugrundeliegende Forschungsproblem definiert und eine zentrale Forschungsfrage formuliert. Im Anschluss daran werden auf Basis der gesichteten Literatur die theoretischen Grundlagen zum Themenbereich Obsoleszenzmanagement verfasst. Diese beinhalten alle relevanten Aspekte, welche für eine holistische Betrachtungsweise des Problems erforderlich sind.

### 2.Phase: Problemabstraktion & Anforderungsdefinition

Die zweite Phase der Arbeit umfasst die Abstraktion des Forschungsproblems unter Anwendung eines methodischen Ansatzes. Dazu wird zunächst der Stand der Technik mittels einer systematischen Literaturanalyse untersucht. Es werden Strukturen und Zusammenhänge herausgearbeitet, um in weiterer Folge notwendige Anforderungen für ein ganzheitliches Obsoleszenzmanagement-Modell festzulegen. Die Ausarbeitung einer Concept Map liefert schließlich die relevanten Konzepte in kompakter Form, die in das zu erstellende Modell einfließen sollen.

### 3.Phase: Modellentwicklung

Die dritte Phase der Arbeit beschreibt die Entwicklung des ganzheitlichen Obsoleszenzmanagement-Modells. Zu Beginn wird eine Übersicht des entwickelten Modells präsentiert und der Anwendungsbereich erläutert. Anschließend wird der Aufbau hinsichtlich der definierten Ebenen und die darin enthaltenen Attribute näher beleuchtet.

### 4.Phase: Modelldemonstration und -evaluierung

In der vierten Phase der Arbeit wird das entwickelte ganzheitliche Obsoleszenzmanagement-Modell unter gewissen Einschränkungen im Unternehmen Frequentis angewendet. Es werden operative Prozesse zur Umsetzung erarbeitet und dargestellt. Folglich werden diese Prozesse anhand realer Bedingungen und einem Praxisbeispiel evaluiert.

### 5.Phase: Ergebnisinterpretation

Die letzte Phase der Arbeit stellt die Diskussion und Interpretation der ermittelten Ergebnisse im Zuge des Evaluierungsprozesses dar. Der Nutzen des neuen Modells für das Unternehmen wird dargestellt und ein abschließendes Fazit gezogen.

## 2 Theoretische Grundlagen

In diesem Kapitel wird das theoretische Hintergrundwissen erarbeitet, welches für die Entwicklung des ganzheitlichen Obsoleszenzmanagement-Modells entscheidend ist. Zu Beginn wird eine Einführung in das Thema gegeben, um einen guten Überblick zu schaffen. Daraufhin werden die Strategien des Obsoleszenzmanagements vorgestellt und näher beleuchtet. Danach werden Prognoseverfahren für den Lebenszyklus kurz beschrieben und abschließend wird das Thema Software-Obsoleszenz behandelt.

### 2.1 Einführung in das Obsoleszenzmanagement

Verwendung neuester Technologien, kürzere Entwicklungszyklen, sofortige Verfügbarkeit und vor allem geringere Beschaffungskosten sind die größten Treiber für den Einsatz von Commercial-Off-The-Shelf (COTS)-Hardware sowie -Software.<sup>16</sup> COTS-Komponenten bezeichnen Standardprodukte, welche in Serie gefertigt und unverändert eingesetzt werden können, wodurch keine Anpassungskosten entstehen. Dazu zählen beispielsweise Verstärker, Schieberegister, Komparatoren usw. in Bezug auf Hardwarekomponenten sowie Betriebssysteme, Office-Programme, E-Mail-Programme usw. hinsichtlich Softwarekomponenten.<sup>17</sup>

Aufgrund der erzielbaren Kosteneinsparungen findet diese Kategorie von Komponenten zwar einen hohen Einzug in der Implementierung in komplexe Systeme, jedoch sind es gerade diese Komponenten, die am stärksten von Obsoleszenz betroffen sind. Dies stellt vor allem ein großes Problem bei sicherheitskritischen Systemen dar, bei denen die Sicherheit der Systeme an oberster Stelle steht. Systemsicherheit verfolgt das Ziel, Komponentenversagen sowie Systemunfälle in komplexen Systemen zu verhindern oder zu reduzieren.<sup>18</sup> Um die Systemsicherheit allerdings gewährleisten zu können, ist es von zentraler Bedeutung, dass die für den Erhalt der Systeme erforderlichen Komponenten zur Verfügung stehen, sobald diese benötigt werden. Obsoleszenzmanagement stellt sich dieser Herausforderung und versucht durch Strategien sowie Maßnahmen eine Lösung für das Problem zu finden.

#### 2.1.1 Definition und Begriffsbestimmung

Bevor man sich mit dem Thema Obsoleszenzmanagement und allen dazugehörigen Bereichen auseinandersetzen kann, ist es zu Beginn unabdingbar die Begriffe „Obsoleszenz“ sowie „Obsoleszenzmanagement“ näher zu erläutern.

---

<sup>16</sup> vgl. Bil & Mo (2013), S.622

<sup>17</sup> vgl. Platten (2018), Was ist COTS?, <https://www.it-business.de/was-ist-cots-a-750920/>, Stand vom 07.07.2020

<sup>18</sup> vgl. Leveson (2000), S.1ff.

Der Begriff Obsoleszenz leitet sich vom lateinischen Wort *obsolescere* ab und bedeutet so viel wie „sich abnutzen, veralten, Wert verlieren“.<sup>19</sup> Der Duden definiert Obsoleszenz als „die [in seiner Herstellungsweise, seinen Materialien oder Ähnlichem angelegte] Alterung eines Produkts, das dadurch veraltet oder unbrauchbar wird“.<sup>20</sup>

In der DIN EN 62402 wird Obsoleszenz beschrieben als<sup>21</sup>

- Wechsel von der Lieferbarkeit durch den Originalhersteller zur Nicht-Lieferbarkeit sowie
- bleibender Übergang von der Funktionsfähigkeit zur Nicht-Funktionsfähigkeit aufgrund externer Einflüsse.

Obsoleszenz kann demzufolge generell als Verlust oder drohender Verlust der Hersteller oder Lieferanten von Artikeln oder Rohmaterialien aufgefasst werden (siehe Abbildung 3). Eine bessere und praxistauglichere Arbeitsdefinition von Obsoleszenz ist hingegen, wenn ein Bauteil, das für die Herstellung oder Unterstützung eines Produkts oder Systems benötigt wird, nicht im vorhandenen Lagerbestand oder beim ursprünglichen Hersteller des Bauteils verfügbar ist. Das Bauteil ist somit obsolet.<sup>22</sup>

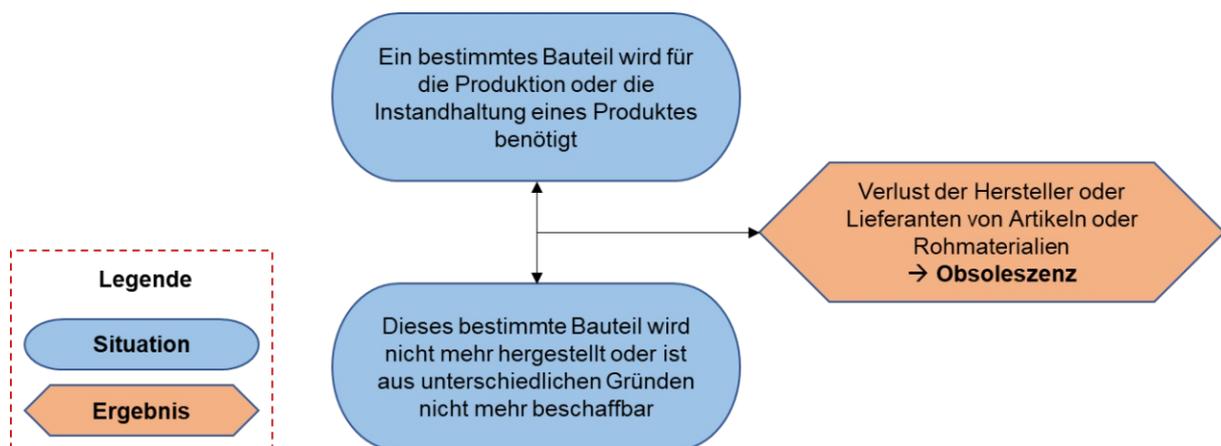


Abbildung 3: Auftreten von Obsoleszenz (In Anlehnung an Bartels et al. (2012), S.2)

Darüber hinaus führt die DIN EN 62402 den Begriff „obsoleszent“ ein. Ein Produkt wird als obsoleszent bezeichnet, nachdem die Information über die Abkündigung veröffentlicht wird, wodurch die Obsoleszenzphase dieses Produktes eingeleitet wird (siehe Abbildung 4).<sup>23</sup>

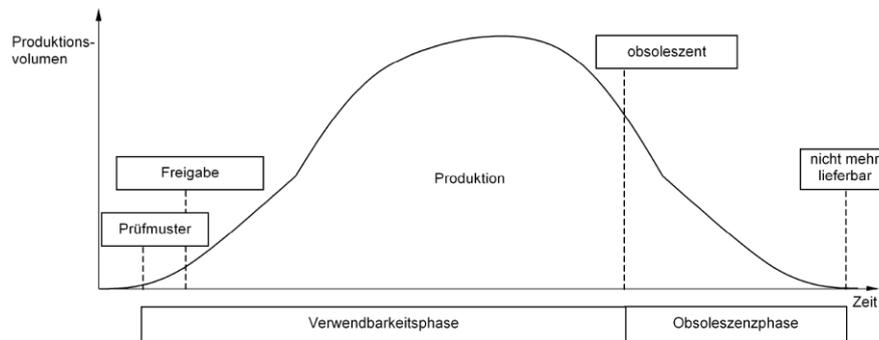
<sup>19</sup> vgl. Pons, Online-Wörterbuch, <https://de.pons.com/%C3%BCbersetzung/latein-deutsch/obsolescere>, Stand vom 07.07.2020

<sup>20</sup> vgl. Duden, <https://www.duden.de/rechtschreibung/Obsoleszenz>, Stand vom 07.07.2020

<sup>21</sup> vgl. DIN EN 62402 (2008), S.8

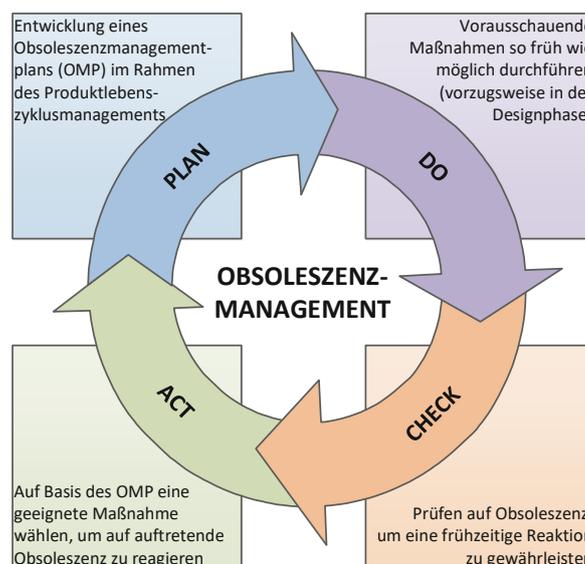
<sup>22</sup> vgl. Bartels et al. (2012), S.2

<sup>23</sup> vgl. DIN EN 62402 (2008), S.10



**Abbildung 4: Einleitung der Obsoleszenzphase durch Produktabkündigung (DIN EN 62402 (2008), S.10)**

Obsoleszenz ist grundsätzlich unvermeidlich, jedoch kann die Unsicherheit angesichts des Eintrittszeitpunkts und der damit verbundenen Konsequenzen im Hinblick auf die Kosten und Auswirkungen durch die Einführung eines geeigneten Obsoleszenzmanagements behandelt werden. Diesen Umstand aufgreifend stellt Obsoleszenzmanagement sicher, dass durch sorgfältige Planung und den Einsatz von Maßnahmen die kostenintensiven Behebungen im Fall einer Obsoleszenz minimiert werden bzw. im Idealfall sogar vermieden werden.<sup>24</sup> Um in Unternehmen eine konstante Qualität bei der Durchführung von Obsoleszenzmanagement zu gewährleisten, ist es ratsam, das Obsoleszenzmanagement kontinuierlich zu verbessern. Folglich sind Unternehmen betreffend sich ändernden Situationen sowie Anforderungen gerüstet. Dies kann beispielsweise durch die Implementierung in einen Plan-Do-Check-Act (PDCA)-Zyklus realisiert werden (siehe Abbildung 5).<sup>25</sup>



**Abbildung 5: Obsoleszenzmanagement im PDCA-Zyklus (In Anlehnung an Bartels et al. (2012), S.5)**

<sup>24</sup> vgl. DIN EN 62402 (2017), S.11

<sup>25</sup> vgl. Bartels et al. (2012), S.4ff.

Folgende Ziele können für das Obsoleszenzmanagement definiert werden:<sup>26</sup>

- Verlängerung der Lebensdauer

Die angesetzte Lebensdauer eines Produkts bzw. Systems darf nicht durch die Obsoleszenz eines oder mehrerer seiner Bauteile gefährdet werden.

- Gewährleistung der Verfügbarkeit von Produkten und Systemen

Kein Produkt bzw. System soll wegen einer fehlenden Komponente aus dem Betrieb genommen werden oder wegen entsprechend langer Zeiten für Entwicklung, Zulassung und Freigaben außer Betrieb bleiben.

- Aufrechterhaltung sicherheitstechnischer Nachweise

Bauteile, welche ersetzt bzw. getauscht werden, müssen bezüglich ihrer Form, Passung und Funktion (Form, Fit and Function [FFF]) identisch sein.

- Minimierung der Kosten

Obsoleszenzbedingte Kosten ergeben sich für den Einkauf. Diese entstehen durch Kapitalbindung in Lagerbeständen als auch im Rahmen weiterer Folgekosten einer Obsoleszenz (beispielsweise für aufwendige Zulassungsprozesse). Daher sollte Obsoleszenzmanagement idealerweise bereits in der Produktentwicklungsphase (Design for Obsolescence) berücksichtigt werden.

Um diese Ziele zu erreichen, werden für das Obsoleszenzmanagement folgende Hauptelemente definiert:<sup>27</sup>

- Kenntnis der Einheiten und anderer Elemente (z.B. Software, Werkzeuge, Fähigkeiten usw.) in einem Produkt oder System
- Kenntnis des aktuellen Obsoleszenzstatus und der zukünftigen Obsoleszenzrisiken
- Umsetzung von Maßnahmen zur Behandlung von Risiken und Behebung von Problemen

An dieser Stelle soll explizit festgehalten werden, dass das in dieser Arbeit beschriebene Obsoleszenzmanagement nicht das Problem der „geplanten Obsoleszenz“ bewältigen soll, welches das bewusste Einbauen von Schwachstellen in Produkten beschreibt, um deren Lebensdauer zu verkürzen.

Zuletzt sei hier erwähnt, dass der Begriff Obsoleszenzmanagement in der englischsprachigen Literatur oft mit der Bezeichnung „*Diminishing Manufacturing*

<sup>26</sup> vgl. Schnieder (2018), S.224

<sup>27</sup> vgl. DIN EN 62402 (2017), S.11

*Sources and Material Shortages*“ (DMSMS) gleichgesetzt wird. DMSMS wird vor allem in der amerikanischen Rüstungsindustrie verwendet und beschreibt das Problem des Verlusts oder drohenden Verlusts von Herstellern bzw. Lieferanten von Bauteilen, Rohmaterialien, Software etc.<sup>28 29</sup>

## 2.1.2 Ursachen von Obsoleszenz

Die Ursachen und Gründe von Obsoleszenz sind vielfältig und können wie folgt zusammengefasst werden:<sup>30 31 32</sup>

- Der Originalgeräte- (Original Equipment Manufacturer [OEM]) oder Originalteilehersteller (Original Component Manufacturer [OCM]) ist nicht mehr auf dem Markt aktiv.
- Der OEM oder OCM ist aus wirtschaftlichen Rentabilitätsgründen nicht bereit, die Produktion einer Komponente oder Baugruppe fortzusetzen (in der Regel durch einen Rückgang der Nachfrage ausgelöst). Es kommt folglich zu einer Abkündigung bzw. Änderung dieser Komponente (Product Discontinuation Notification [PDN], Product Change Notification [PCN], End of Life [EOL], End of Support [EOS]).
- Eine Komponente ist temporär nicht verfügbar oder lieferbar (Allokation).
- Erforderliches Fachwissen ist nicht mehr vorhanden oder verloren gegangen.
- Die Änderungen von nationalen bzw. internationalen Gesetzen und Normungen (z.B. Verbot von Asbest, REACH, RoHS).
- Chemische und physische Alterungsvorgänge machen eingelagerte Bauteile unbrauchbar.

## 2.1.3 Anwendungsfelder von Obsoleszenz

Das Risiko von Komponenten obsolet zu werden, ist in nahezu allen Industriesektoren zu beobachten. Nichtsdestotrotz gibt es Industriesektoren, welche vom Auftreten der Obsoleszenz von Komponenten mehr betroffen sind als andere. Prinzipiell gilt, je länger die Produktlebensdauer ist, desto wahrscheinlicher und häufiger ist das Vorkommen von Obsoleszenz. Die Produktsektoren der Militär- und Luftfahrtindustrie, der Medizintechnik, der Automobilindustrie, der Telekommunikationsindustrie und der Nuklearindustrie sind dabei am stärksten von Obsoleszenz betroffen.<sup>33</sup>

Das Obsoleszenzproblem lässt sich somit auf sog. „*lebenserhaltungsdominante*“ (engl. *sustainment-dominated*) Systeme herunterbrechen. Hierbei handelt es sich um

<sup>28</sup> vgl. Romero Rojo et al. (2009), S.4

<sup>29</sup> vgl. SD-22 (2016), S.4

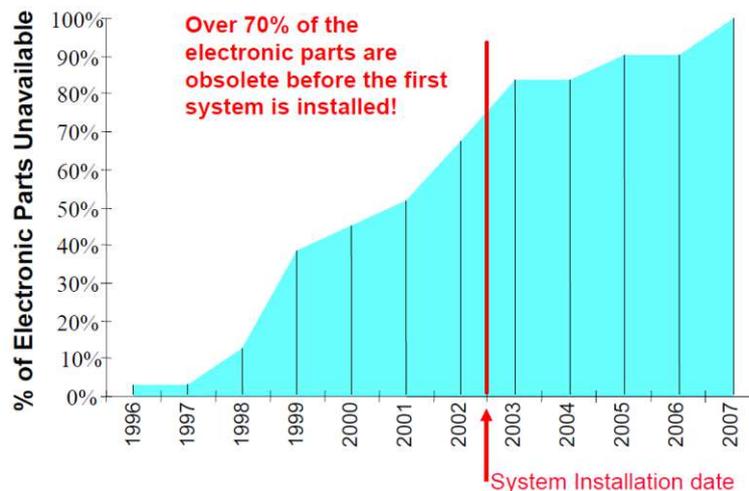
<sup>30</sup> vgl. Bartels et al. (2012), S.2ff.

<sup>31</sup> vgl. Schnieder (2018), S.222

<sup>32</sup> vgl. Bartels & Haeffs (2018), S.182

<sup>33</sup> vgl. Bartels et al. (2012), S.13

Systeme, bei denen die Kosten für die Instandhaltung bzw. Wartung des Systems während seiner Lebensdauer die Kosten für die Herstellung oder Beschaffung des Systems übersteigen. Oftmals sind gerade bei solchen Systemen die Entwicklungszyklen so lange, dass ein Großteil der elektronischen Komponenten obsolet wird, bevor das System überhaupt in Betrieb genommen wird (siehe Abbildung 6).<sup>34</sup>



**Abbildung 6: Prozentualer Anteil der elektronischen Komponenten, die in den ersten 10 Jahren des Lebenszyklus eines Überwasserschiff-Sonarsystems nicht mehr beschaffbar sind (Sandborn (2013), S.2)**

Bei den lebenserhaltungsdominanten Systemen in den vorhin erwähnten Industriesektoren, vor allem der Militär- und Luftfahrtindustrie, wird in der Regel ein mind. 20-jähriger Support bei der Ersatzteilversorgung garantiert. Der typische Lebenszyklus für Bauteile der Logik-Familie beträgt dagegen lediglich drei Jahre und für passive Komponenten acht Jahre.<sup>35</sup>

Zusammenfassend können lebenserhaltungsdominante Systeme folgendermaßen charakterisiert werden:<sup>36 37</sup>

- Hohe Reengineering-Kosten infolge strenger Requalifikations- und Rezertifizierungsanforderungen
- Wenig bis keine Kontrolle über deren Supply Chain aufgrund des geringen Produktionsvolumens
- Lebenserhaltungskosten, die wesentlich höher sind als der ursprüngliche Beschaffungspreis

<sup>34</sup> vgl. Sandborn (2013), S.1

<sup>35</sup> vgl. Meyer et al. (2003), S.125

<sup>36</sup> vgl. Sandborn (2013), S.2

<sup>37</sup> vgl. Romero Rojo et al. (2009), S.2

## 2.1.4 Dimensionen von Obsoleszenz

Auch wenn Obsoleszenz und deren Auswirkungen sich größtenteils auf Bauteile respektive Hardwarekomponenten beziehen, sollte Obsoleszenz mehrdimensional betrachtet werden. Nachfolgend werden die wichtigsten Bereiche zusammengefasst, welche von Obsoleszenz beeinflusst werden:<sup>38 39 40</sup>

- Elektronische Komponenten

Durch das rasante Wachstum der Elektronikindustrie und den damit einhergehenden Geschwindigkeitssteigerungen, Reduzierungen von Eigenschaften wie Größe und Versorgungsspannung sowie Änderungen der Verbindungs- und Verpackungstechnologien, sind elektronische Komponenten jene, welche am stärksten von Obsoleszenz betroffen sind. Sie weisen einen erheblich kürzeren Lebenszyklus auf als die Produkte, in denen sie verbaut sind.

- Mechanische Komponenten (bzw. nichtelektronische Komponenten)

Im Gegensatz zu elektronischen Komponenten weisen mechanische Komponenten einen deutlich längeren Lebenszyklus auf, jedoch treten auch hier, mit Beginn der Alterung der Produkte, diverse Obsoleszenzprobleme auf. Die Prinzipien zum Managen von Obsoleszenz sind wie bei den elektronischen Komponenten anzuwenden.

- Materialien

Durch die Einführung neuer Umweltvorschriften (z.B. RoHS, REACH, WEEE) wird die Menge bzw. Verwendung bestimmter Materialien beschränkt, wodurch ältere Komponenten, die diese Vorschriften nicht mehr erfüllen, obsolet werden.

- Prozesse

Änderungen bzw. Aktualisierungen der Umweltvorschriften haben einen unmittelbaren Einfluss auf die Herstellungsprozesse von Produkten. Dadurch kann die Obsoleszenz eines Herstellungsprozesses die Produktion von Einheiten und Komponenten verhindern, sodass diese obsolet werden.

- Software / Medien

Im Unterschied zu Hardwarekomponenten verschleißten Softwarekomponenten nicht, dennoch kommt es durch den Einsatz neuer Technologien zu regelmäßigen Updates von Medien und Formaten, was oftmals eine Inkompatibilität mit alten Technologien impliziert. Software-Obsoleszenz wird wenig Aufmerksamkeit

<sup>38</sup> vgl. DIN EN 62402 (2017), S.10

<sup>39</sup> vgl. Romero Rojo et al. (2009), S.5ff.

<sup>40</sup> vgl. Bartels et al. (2012), S.13ff

geschenkt und von vielen Organisation zweitrangig behandelt. Im Kapitel 2.4 wird näher auf diese Thematik eingegangen.

- Fähigkeiten und Kenntnisse

Die Verwaltung von verfügbaren Fähigkeiten und Kenntnisse innerhalb einer Organisation sollte nicht vernachlässigt werden, damit diese langfristig zur Verfügung stehen, falls sie zukünftig zum Erhalt der langlebigen Systeme benötigt werden. Sofern die Obsoleszenz von Fähigkeiten nicht entsprechend gesteuert wird, kann dies zu Obsoleszenzproblemen in anderen Bereichen, wie z.B. Software, führen.

- Testausrüstung / Hilfs- und Prüfgeräte

Am Ende der Produktionsphase können Testausrüstungen obsolet werden, da diese u.U. nicht länger benötigt werden. Dennoch kann es beispielsweise bei einem Komponentenaustausch notwendig sein, die neue Komponente auf FFF-Kompatibilität testen zu müssen und damit die Compliance sicherzustellen.

### 2.1.5 Verantwortung innerhalb der Supply Chain

Innerhalb der Supply Chain kann Obsoleszenzmanagement aus der Perspektive zweier Organisationen betrachtet werden, und zwar aus der Perspektive des Abnehmers und des Anbieters. Es besteht eine Verantwortung aller Glieder der Supply Chain ihre Kunden bei der Handhabung von Obsoleszenzproblemen zu unterstützen.<sup>41</sup>

Abbildung 7 zeichnet die Rollen, Verantwortung, Aktivitäten sowie den Informationsfluss innerhalb der Lieferkette auf. In diesem Fall übernimmt Frequentis AG die Rolle des OEM, wobei der OCM durch Hersteller und Zulieferer vertreten wird. OCMs sind für die rechtzeitige Bereitstellung von Komponenten für das Endprodukt verantwortlich. Liegt eine Rahmenvereinbarung zwischen OCM und OEM vor und sollte sich der OCM entscheiden, eine Komponente nicht mehr zu produzieren, so ist dieser grundsätzlich verpflichtet, den OEM mittels einer Produktabkündigung zu informieren.

Ab diesem Zeitpunkt kann der OEM reaktive Maßnahmen (z.B. Verhandlungen mit dem Lieferanten) ergreifen, um die Obsoleszenz entsprechend abzuschwächen. Da das Obsoleszenzrisiko mit der Zeit zunimmt, wäre es vorteilhaft, frühzeitig proaktive Maßnahmen (z.B. Lebenszyklusanalysen) zu ergreifen, um der Obsoleszenz vorzubeugen. Die einzelnen Obsoleszenzstrategien werden im Kapitel 2.2 näher beschrieben. Durch die Umsetzung von Obsoleszenzmaßnahmen werden die

---

<sup>41</sup> vgl. DIN EN 62402 (2008), S.11

Chancen einer Lebensdauerverlängerung der Produktkonfiguration für den Kunden maximiert.

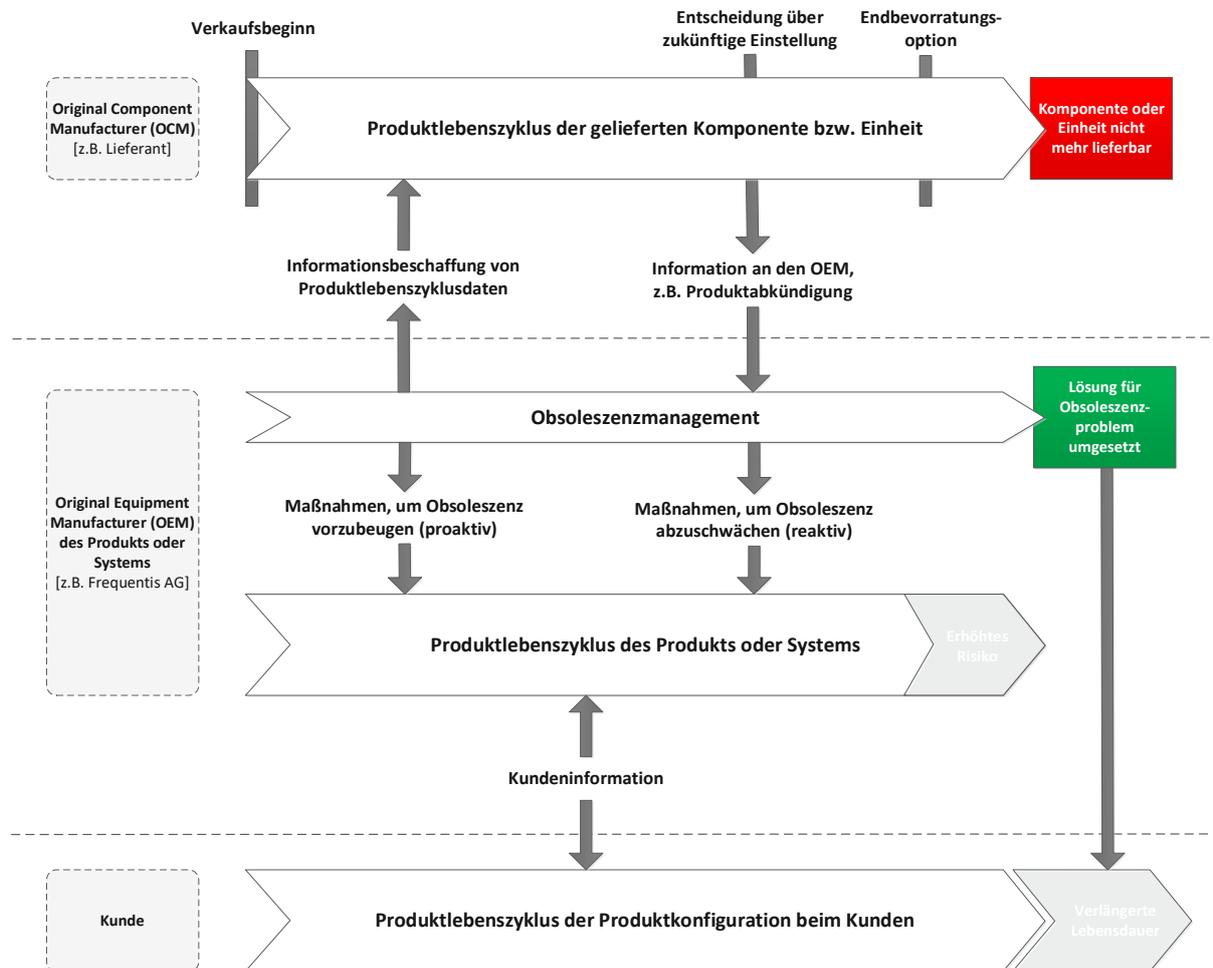


Abbildung 7: Darstellung der Beziehungen zwischen OCM, OEM und Kunde innerhalb der Supply Chain (In Anlehnung an DIN EN 62402 (2008), S.12)

## 2.2 Strategien des Obsoleszenzmanagement

Für die zielgerichtete Umsetzung eines effektiven Obsoleszenzmanagements ist es substantiell, dass eine angemessene Auswahl relevanter Obsoleszenzaktivitäten erfolgt. Dazu können drei unterschiedliche Ansätze verfolgt werden. Jeder dieser Ansätze weist diverse Charakteristika und Methoden auf, jedoch verfolgen alle dasselbe Ziel, und zwar das Problem von Obsoleszenz in den Griff zu bekommen.

In diesem Zusammenhang ist es von zentraler Bedeutung einen Obsoleszenzmanagementplan (OMP) zu verfassen. Der OMP schildert dabei die getroffenen Strategien sowie zugehörigen Aktivitäten zur Identifizierung, Abschwächung und Vorbeugung der Auswirkungen von Obsoleszenz, um einen bestmöglichen Kompromiss zwischen den Lebenszykluskosten für die Leistung der

Einheiten respektive Systeme und deren Verfügbarkeit, Instandhaltbarkeit und Sicherheit zu gewährleisten.<sup>42</sup>

Der Obsoleszenzmanagementplan sollte u.a. folgende Gesichtspunkte einbeziehen und daraus entsprechende Inhalte ableiten:<sup>43</sup>

- Anwendungsbereich (der betroffenen Einheiten)
- Ziele der Obsoleszenzmanagementtätigkeiten
- Rollen und Verantwortlichkeiten innerhalb der Organisation zur Ausführung des Obsoleszenzmanagements
- Kommunikationsprozesse zwischen Organisation, Kunden, Herstellern und ihren Lieferanten
- Berücksichtigung der Notwendigkeit einer Einheitenqualifizierung bzw. -zertifizierung aufgrund der Umsetzung einer Lösung
- Planungsaktivitäten zur Sicherstellung der Obsoleszenzbeständigkeit für den gesamten Produktlebenszyklus
- Obsoleszenzanalyse und -bewertungsmethoden (inkl. periodische Zeitintervalle zur Durchführung der Auswertungen)
- Aktuelle Lebenszyklusphasen der relevanten Komponenten
- Tools für Obsoleszenzmanagement (Datenbanken und Systeme)
- Obsoleszenzbudgetierung und -finanzierung für Aktivitäten und Umsetzung von Lösungen
- Pflege des Plans
- u.v.m.

In den nächsten Unterkapiteln werden nun die drei verschiedenen Strategieoptionen zur Behandlung von Obsoleszenzmanagement näher beschrieben.

### 2.2.1 Reaktives Obsoleszenzmanagement

Reaktives Obsoleszenzmanagement definiert einen spezifischen Problemlösungsprozess für einzelne Komponenten einschließlich der Dokumentation der getroffenen Maßnahmen, bei denen eine Obsoleszenz durch den Originalteilehersteller angekündigt ist.<sup>44</sup> Die Ankündigung kann hierbei in diversen Formen erfolgen:<sup>45 46</sup>

- Produktabkündigungsmitteilung (Product Discontinuation Notification [PDN])
- Produktänderungsmitteilung (Product Change Notification [PCN])
- Mitteilung über die Einstellung des Vertriebs (End of Sale [EOS])

<sup>42</sup> vgl. DIN EN 62402 (2017), S.14

<sup>43</sup> vgl. DIN EN 62402 (2017), S.15

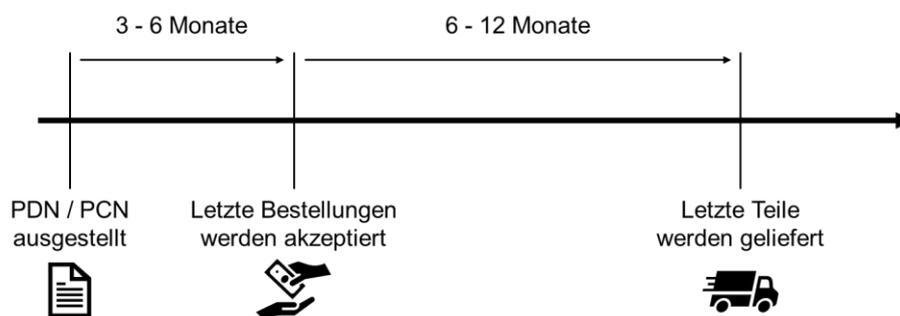
<sup>44</sup> vgl. VDI 2882 (2016), S.11

<sup>45</sup> vgl. DIN EN 62402 (2008), S.10

<sup>46</sup> vgl. VDMA 24903 (2017), S.6

- Mitteilung über die Einstellung der Produktion (End of Life [EOL])
- Mitteilung über die Einstellung von Service, Wartung und Reparatur (End Of Service and Repair [EOSR])
- Endbevorratungsankündigung (Last/Life Time Buy [LTB])

Eine typische Zeitachse von der Ausstellung einer Produktabkündigungs- bzw. Produktänderungsmitteilung durch den Hersteller bis zur letztmaligen Auslieferung der betroffenen Komponenten ist in Abbildung 8 dargestellt. Der Teile-/Systemanwender hat in der Regel drei bis sechs Monate Zeit, um finale Bestellungen für das Originalteil aufzugeben. Die endgültigen Bestellungen können dann in den folgenden sechs bis zwölf Monaten geliefert werden. Ab diesem Zeitpunkt sind vom Hersteller keine Originalteile mehr erhältlich, jedoch ist es in einigen Fällen noch möglich bei den Lieferanten auf dem Anschlussmarkt diese Komponenten weiterhin beziehen zu können.<sup>47</sup>



**Abbildung 8: Beispielhafte Darstellung einer PDN- / PCN-Zeitachse (In Anlehnung an Bartels et al. (2012), S.159)**

Da in vielen Fällen das Zeitfenster, in dem der Geräte-/Systemhersteller Korrekturmaßnahmen ergreifen muss, oft knapp bemessen ist, ist der Zeitpunkt sowie der Inhalt von PDNs und PCNs von entscheidender Bedeutung. Zu den wichtigsten Inhalten solcher Benachrichtigungen zählen:<sup>48</sup>

- Betroffene Teilenummern
- Datum des Inkrafttretens der Benachrichtigung
- Letztes Datum, an dem Bestellungen für das Teil angenommen werden
- Letztes Datum, an dem Lieferungen von Teilen erfolgen

Erstmals mit der 2017 neu eingeführten VDMA 24903 wurden Standards hinsichtlich Inhalt, Format und Begriffen definiert. Dabei wird folgender Mindestinformativumfang im Rahmen von Abkündigungs- und Änderungsmitteilungen vorgesehen:<sup>49</sup>

<sup>47</sup> vgl. Bartels et al. (2012), S.158

<sup>48</sup> vgl. Bartels et al. (2012), S.159

<sup>49</sup> vgl. VDMA 24903 (2017), S.7ff.

- Stammdaten des Herstellers

Titel, Art der Mitteilung (Änderung oder Abkündigung), Firmenbezeichnung, Kontaktdaten, Identifikationsschlüssel (ID), Datum der Veröffentlichung, Revisionsnummer (optional).

- Betroffene Einheiten des Herstellers

Eindeutige Herstellerteilenummer, Typenbezeichnung, Bezeichnung der Einheit, Kategorie der Einheit, Revisionsstand (wenn anwendbar), identifizierende und beschreibende Merkmale der Einheit (z.B. Norm, branchenspezifische Klassifizierung), Zeitliche Informationen (Start of Production [SOP], End of Sale [EOS], End of Production [EOP], Last Time Delivery [LTD], End of Service and Repair [EOSR]), Kategorie der Art der Änderung/Abkündigung, vorgeschlagene Ersatz-Herstellerteilenummer (wenn anwendbar).

- Beschreibung durch den Hersteller

Technische Beschreibung (Ursache der Änderung/Abkündigung, Kompatibilitätsaussagen zur geänderten Einheit, Verweis auf die gesetzliche Bestimmung aufgrund sich ändernder gesetzlicher Rahmenbedingungen, Verweis auf geänderte Normen und Standards), relevante Dokumentationen (z.B. Datenblätter, Stücklisten, Zeichnungen).

Reaktives Obsoleszenzmanagement wird demzufolge eingesetzt, sobald ein Obsoleszenzproblem eintritt oder bewusst dieser Ansatz verfolgt wird. Sollte die Entscheidung auf ein reaktives Handeln beabsichtigt fallen, dann gilt es folgende Punkte zu beachten:<sup>50 51</sup>

- Die Wahrscheinlichkeit einer Obsoleszenz ist sehr gering
- Die Zuverlässigkeit kann als ausreichend hoch bewertet werden
- Die verwendete Komponente wurde für einen zeitlich begrenzten, absehbaren Bedarf beschafft
- Die Ersatzteilversorgung wird für den gesamten Lebenszyklus garantiert bzw. vertraglich zugesichert
- Verlässliche Garantien im Hinblick auf Reparatur und Ersatzteilversorgung sind mit dem OEM/OCM oder einem produktspezialisierten Dienstleister vereinbart
- Ausreichend alternative Hersteller existieren auf dem Markt
- Auswirkungen auf das Gesamtsystem im Obsoleszenzfall einer Komponente sind minimal und infolgedessen vernachlässigbar

<sup>50</sup> vgl. VDI 2882 (2016), S.13ff.

<sup>51</sup> vgl. Bartels & Haeffs (2018), S.185

Die reaktive Strategie wird typischerweise bei nicht systemkritischen Komponenten angewandt, d.h. im Falle der Obsoleszenz einer solchen Komponente ist die Nutzungseinschränkung des Systems nicht signifikant und die Verfügbarkeit kann schnell wiederhergestellt werden. Dazu gehören vor allem Standard- und Normteile wie mechanische Komponenten, Halterungen, Verbindungselemente und Komponenten ohne besondere Anforderungen, für die eine allgemeine Marktverfügbarkeit nach dem FFF-Prinzip erwartet werden kann.<sup>52</sup> Der Schwerpunkt des reaktiven Obsoleszenzmanagements liegt daher ausschließlich auf der umgehenden Lösung von Problemen in individuell auftretenden Obsoleszenzfällen, der Durchführung des Lösungsprozesses sowie der Verfolgung und Dokumentation der ergriffenen Maßnahmen.

Abbildung 9 zeigt die Vorteile des reaktiven Obsoleszenzmanagements auf. Ohne die Implementierung eines Obsoleszenzmanagements wird es früher oder später zu einer eingeschränkten Nutzung bis hin zu einem Totalausfall einer kompletten Baugruppe oder sogar eines kompletten Produktreleases kommen. Aufgrund der Nichtverfügbarkeit von Ersatzteilen wird schließlich eine Neuanschaffung bzw. ein umfassendes Redesign mit hohen Investitionskosten erzwungen. Diesem Problem kann durch geeignete korrektive Maßnahmen entgegengewirkt werden. Bei richtiger Anwendung von Obsoleszenzmanagement können bei der Verfolgung der reaktiven Strategie Kostensenkungen erzielt und eine potentielle Verlängerung der Nutzungs-/Lebensdauer ermöglicht werden.

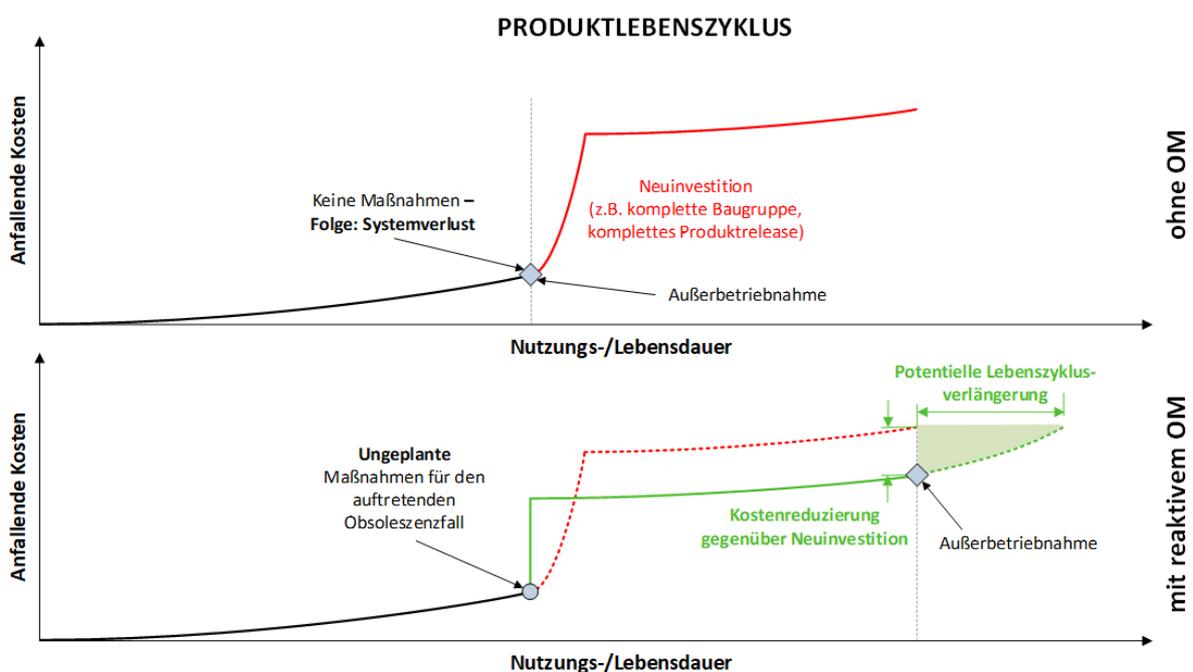


Abbildung 9: Darstellung des Produktlebenszyklus und der Kosten im Falle von reaktivem Obsoleszenzmanagement (In Anlehnung an VDI 2882 (2016), S.12)

<sup>52</sup> vgl. VDI 2882 (2016), S.14

Es existiert eine Reihe von möglichen Maßnahmen und Lösungen für Obsoleszenzprobleme, nachdem diese aufgetreten sind. Die Maßnahmen erstrecken sich hierbei in ihrer Komplexität von dem „einfachen“ Austausch einer Komponente bis hin zu einer umfassenden Neugestaltung einer Baugruppe bzw. eines Produktreleases. Die Auswahl der am besten geeigneten Lösung ist eine komplexe Aufgabe, bei der eine Vielzahl von Faktoren eine Rolle spielen, darunter die zur Verfügung stehende Zeit, die erwartete künftige Produktions- und Supportlebensdauer als auch das erwartete Auftreten künftiger Produktentwicklungen. Im Folgenden werden die Maßnahmen zusammengefasst und näher beschrieben.<sup>53 54 55 56 57 58 59 60</sup>

- Verhandlungen mit dem Hersteller

Die End-of-Life-Entscheidung eines Herstellers bzgl. einer Komponente kann zwar nur selten gestoppt oder hinausgezögert werden, jedoch besteht die Möglichkeit den Hersteller u.U. dazu zu bewegen die Komponente nicht auslaufen zu lassen. Dies kann beispielsweise erreicht werden indem sich der Ausrüstungslieferant mit anderen Endbenutzern (Händlern) zusammenschließt, um eine ausreichende Nachfrage nach der Komponente nachzuweisen oder eine Preiserhöhung zu akzeptieren. Sofern ein hinreichendes Auftragsvolumen garantiert werden kann sowie die Rentabilitäts- und Herstellbarkeitsziele des Herstellers erfüllt werden, ist der Hersteller möglicherweise bereit, die Produktion der Komponente fortzusetzen.

Die Vorteile mit dem Hersteller zu verhandeln liegen auf der Hand. Das Originalteil ist weiterhin verfügbar, es sind keine weiteren Systemänderungen erforderlich und es entstehen keine einmaligen Engineering-Kosten.

- Verwendung vorhandener Lagerbestände

Die Verwendung vorhandener Lagerbestände ist der erste Lösungsansatz, der untersucht werden sollte, da es sich um eine kostengünstige Lösung für das Obsoleszenzproblem handelt. Hierbei ist die Rede von dem Lagerbestand der obsoleten Komponente innerhalb des Unternehmens oder der Organisation, der dem System zugeordnet werden kann. Die Anzahl der verfügbaren Komponenten sollte so groß sein, dass eine Versorgung während des kompletten Lebenszyklus des eigenen Systems sichergestellt wird.

---

<sup>53</sup> vgl. Bartels et al. (2012), S.162ff.

<sup>54</sup> vgl. Schnieder (2018), S.228ff.

<sup>55</sup> vgl. Bartels & Haefls (2018), S.186ff.

<sup>56</sup> vgl. Pecht (2004), S.238ff.

<sup>57</sup> vgl. Romero Rojo et al. (2009), S.13ff.

<sup>58</sup> vgl. Cuculoski (2013), S.346

<sup>59</sup> vgl. Meng et al. (2014), S.1100ff.

<sup>60</sup> vgl. VDI 2882 (2016), S.14ff.

Die einzigen Kosten, die in diesem Zusammenhang entstehen können, sind Funktionstests der Komponenten. Die Funktionstests dienen nicht nur dem Nachweis der Funktionalität, sondern auch dem Schutz vor gefälschten Teilen.

- Bauteilrückgewinnung (Kannibalisierung)

Der Prozess der Bauteilrückgewinnung (auch als Kannibalisierung oder Ausschachtung bekannt) besteht darin, brauchbare Komponenten zu verwenden, die aus anderen unbrauchbaren Systemen gewonnen wurden. Dieser Ansatz ist besonders im letzten Abschnitt der In-Service-Phase bei Altsystemen nützlich. Die gebrauchten Komponenten können allerdings genauso problematisch sein wie die zu Ersetzenden, daher sollten sämtliche ausgeschachtete Komponenten unbedingt auf die noch zu erwartende Lebensdauer und die Zuverlässigkeit beurteilt werden. Des Weiteren besteht oftmals die Notwendigkeit der Prüfung einer Requalifikation für jede rückgewonnene Komponente.

- Bauteilalternativen

Bei einer Bauteilalternative handelt es sich um eine Komponente mit gleicher oder höherer Leistungsfähigkeit als das zu ersetzende Teil. Meist sind damit Nachfolgebauteile gemeint. Alternative Komponenten können dabei von einem anderen Hersteller oder Lieferanten bereitgestellt werden. Diese Komponenten können mit den obsoleten Originalteilen austauschbar sein, sofern eine Prüfung auf gleichwertige Funktionalität durchgeführt wird.

- Bauteilersatz (Substitute)

Der Prozess der Bauteilersatzbeschaffung beschreibt die Suche und Überprüfung nach qualifizierten Substituten. Das Substitut kann physisch unterschiedlich sein oder auch nicht, aber oft ist die Leistungsfähigkeit dieser Komponente geringer als das zu ersetzende Teil. Aufgrund von Zulassungen, Genehmigungen, Zertifizierungen etc. ist es ausschlaggebend, dass das Substitut die geforderten Spezifikationen erfüllt. Deswegen sind Tests auf die FFF-Kompatibilität unabdingbar.

- Das „*Form*“-Kriterium beschreibt mechanische Eigenschaften wie Form, Abmessungen sowie die Fähigkeit dem Montageprozess standzuhalten.
- Das „*Fit*“-Kriterium beschreibt die Eignung zur Erfüllung der Anforderungen auf Systemebene. Dazu zählen Leistungsmerkmale wie z.B. thermische, elektrische und Stabilitätseigenschaften. Darüber hinaus müssen Zuverlässigkeit, Betriebs- und Umgebungsparameter erreicht werden.

- Das „*Function*“-Kriterium beschreibt die Gleichwertigkeit der Leistungsfähigkeit während des Betriebs. In erster Linie steht die Replizierung von Eingangs-, Ausgangs- und Versorgungseigenschaften im Fokus.

Der Prozess der Auswahl von Substituten lässt sich in 6 Schritte einteilen:

1. Recherche nach potentiellen Substituten in Komponentendatenbanken, Datenblättern von Herstellern etc.
2. Durchführung einer Analyse auf die geforderten Funktionsspezifikationen für jedes potentielle Substitut.
3. Bewertung der Beschaffungsdauer, d.h. Lebenszyklusphase sowie die Anzahl der Jahre, die das Teil voraussichtlich kommerziell verfügbar bleibt.
4. Durchführung einer Kosten-Nutzen-Analyse, um festzustellen, ob eine Neugestaltung oder Designauffrischung bessere Lösung sind, als die Verwendung der Substitute.
5. Durchführung von modulasoziierten Integrationstest und Erstellung der Dokumentation zur Genehmigung der Substitute.
6. Zulassung und Einführung der Substitute.

- Leistungserhöhung von Komponenten (Uprating)

Beim Uprating handelt es sich um eine spezielle Art des Komponentenaustausches. Es wird die Fähigkeit einer Komponente bewertet, die Funktions- und Leistungsanforderungen von Anwendungen zu erfüllen, bei denen es notwendig ist, dass die Komponente außerhalb des Spezifikationsbereichs des Herstellers verwendet wird. Thermisches Uprating ist hierbei die häufigste Form. In vielen Fällen kündigen Komponentenhersteller bestimmte Bauteile ab, die für breitere Temperaturbereiche ausgelegt sind, während Bauteile mit der gleichen Funktionalität, jedoch für einen engeren Temperaturbereich ausgelegt, weiterhin erhältlich sind.

- Reparatur von Komponenten

In manchen Fällen besteht die Möglichkeit auch nach Abkündigung die betroffene Komponente/Einheit fachgerecht zu reparieren bzw. instand zu setzen. Die Reparatur kann dabei im Unternehmen oder über spezialisierte Reparaturdienstleister aus dem Industrieservice erfolgen. Gerade bei elektronischen Komponenten sollte darauf geachtet werden, dass die Reparatur mit einer Prüfung unter realitätsnahen Einsatzbedingungen ausgeführt und alle Vorgänge nachhaltig dokumentiert werden.

- Bauteilanschlussmarkt und Aftermarket-Quellen

Nachdem eine Komponente durch den Originalteilehersteller abgekündigt wird, besteht die Option die benötigte Komponente bei Drittanbietern auf dem Bauteilanschlussmarkt zu beschaffen. Diesbezüglich wird zwischen drei Typen von Aftermarket-Quellen unterschieden:

1. Zugelassene Aftermarket-Quellen, die Fertigkomponenten liefern
2. Zugelassene Aftermarket-Quellen, die Komponenten wiederaufbereiten
3. Nicht zugelassene Aftermarket-Quellen für Fertigkomponenten (sog. Broker)

Zugelassene Aftermarket-Quellen verfügen über formelle Vereinbarungen und Genehmigungen von Originalteileherstellern, ihre Komponenten auf dem Bauteilanschlussmarkt weiterzuverkaufen. Die Beschaffung bei nicht zugelassenen Drittanbietern birgt neben einem Kosten- und Qualitätsrisiko insbesondere ein Fälschungsrisiko. Die Wahrscheinlichkeit des Kaufs gefälschter Komponenten (sog. counterfeit components) ist bei der Nutzung dieser Quellen entsprechend hoch. Dies stellt vor allem im sicherheitskritischen Bereich, insbesondere in Sektoren wie der Verteidigung sowie der Luft- und Raumfahrt, ein großes Problem dar, da gerade hier gefälschte Komponenten die Sicherheit von Menschen gefährden können. Darüber hinaus ist es in der Regel schwer möglich und wirtschaftlich nicht rentabel alle Komponenten zu testen, um sicherzustellen, dass es sich nicht um eine Fälschung handelt.

- Bauteilnachbildung (Emulation)

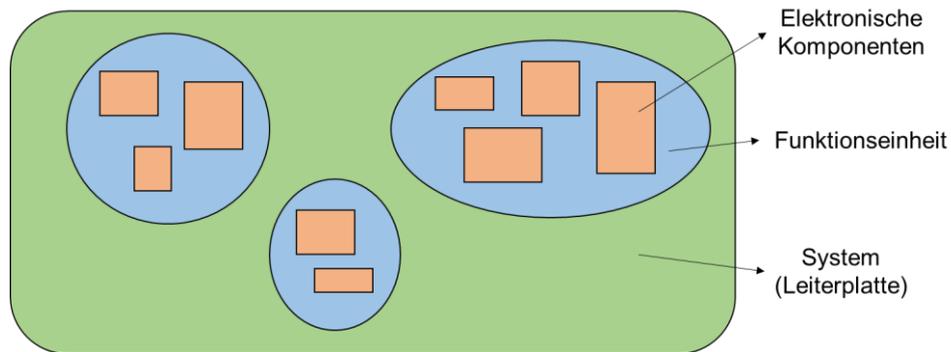
Der Prozess der Bauteilnachbildung (auch als Emulation bekannt) beschreibt die Erstellung nicht verfügbarer Komponenten aus ihren Datenblättern, Testvektoren und anderen Informationen. Zur Unterstützung des Emulationsprozesses sollte die Verfügbarkeit und Eignung der technischen Daten und Spezifikationen der Komponenten, einschließlich der Anforderungen an die Prüfung und Qualifizierung, bewertet werden. Genaue und vollständige Teilespezifikationen sind unerlässlich, um sicherzustellen, dass die nachgebaute Komponente allen Merkmalen des Originalteils entspricht.

Diese Maßnahme kommt primär bei elektronischen Komponenten zum Einsatz. Nachgebaute Komponenten werden manchmal auch als Alternativkomponenten oder Substitute kategorisiert.

- Neukonstruktion (Redesign)

Bei einem Redesign handelt es sich um einen langwierigen Prozess, welcher vollständige System-Engineering-Prozesse einschließlich eines langen Verifikations- und Validierungsplans erfordert. Redesign beschreibt System-

änderungen, die durchgeführt werden müssen, damit die Systemfunktionalität bewahrt wird und die Produktion aufrechterhalten werden kann. Ein Gesamtsystem kann hierbei aus einer oder mehreren Leiterplatten bestehen. Jede Leiterplatte besteht wiederum aus verschiedenen Funktionseinheiten, welche sich aus mehreren elektronischen Komponenten zusammensetzen. Abbildung 10 illustriert hier schematisch die elektronischen Systemelemente. Redesigns können beispielsweise dann sinnvoll sein, wenn mehrere Komponenten einer Einheit obsolet werden.



**Abbildung 10: Schematische Darstellung elektronischer Systemelemente (In Anlehnung an Meng et al. (2014), S.1100)**

Prinzipiell wird zwischen zwei Typen beim Redesign unterschieden:

- *Minor Redesign*: Unter Minor Redesign eines Systems wird die Tätigkeit verstanden, eine Funktionseinheit der Leiterplatte neu zu entwerfen und in einigen Fällen Software-Treiber neu zu schreiben. Die neu entworfene Funktionseinheit besitzt eine neue Schaltung, verwendet jedoch eine Funktion und Schnittstelle, welche der des Originals entspricht.
- *Major Redesign*: Bei einem Major Redesign ist ein System als eine in sich geschlossene Einheit entwickelt worden, mit viel Interdependenz zwischen Hardware und Software. Aus diesem Grund ist der Austausch oder die Modifikation generell genauso schwierig wie der Entwurf eines ganzen Systems, insbesondere für einige kritische Komponenten (z.B. Prozessor).

Die Durchführung von Redesigns ist die komplexeste sowie meist auch kostspieligste aller Maßnahmenoptionen. Redesigns sollten als reaktive Maßnahme nur dann in Erwägung gezogen werden, sofern alle anderen Möglichkeiten geprüft wurden. Die Zielverfolgung von Redesigns sollte folgedessen über die bloße Lösung des unmittelbaren Problems der Nichtverfügbarkeit von Komponenten hinausgehen. Sie sollten als eine langfristige Strategie zur Verwaltung von Obsoleszenz verfolgt sowie eingesetzt werden, wenn Funktionserweiterungen (Technologieeinführung) erforderlich sind. Mehr zum Thema strategisches Obsoleszenzmanagement im Kapitel 2.2.3.

- Reverse-Engineering

Der Prozess des Reverse-Engineerings beschreibt die Entwicklung exakter Replikate durch Überprüfung der verfügbaren technischen Daten, physische Zerlegung und Analyse bestehender Systeme, um die benötigten Komponenten daraus extrahieren zu können. Das Ziel ist die Entwicklung qualifizierter alternativer Quellen. Reverse-Engineering kann als Maßnahme dann sinnvoll sein, wenn nicht ausreichend technische Daten oder Datenrechte zur Unterstützung der Wiederbeschaffung verfügbar sind. Ähnlich wie beim Redesign handelt es sich hierbei um einen teuren Prozess, der spezielles technisches Wissen sowie Infrastruktur benötigt. Darüber hinaus muss die Frage nach den geistigen Eigentumsrechten der ursprünglichen Hersteller miteinbezogen werden. Nur wenn der Kunde (oftmals die Regierung) oder der Lieferant die Rechte an der betreffenden Technologie haben, kann diese Option angewendet werden.

- Bauteilbevorratung

Ein Lösungsansatz, welcher oft als erster in Betracht gezogen wird und sich in der Praxis durchsetzt, ist die Bauteilbevorratung. Hierbei können zwei unterschiedliche Strategien verfolgt werden:

- *Endbevorratung* (Lifetime Buy, Life of Type Buy, Life of Need Buy): Dieser Ansatz beinhaltet den Kauf und die Lagerung von ausreichend Komponenten, um den prognostizierten Lebensdauerbedarf des Systems zu decken. Diese Maßnahme kommt zum Tragen, entweder nachdem durch den Originalteilhersteller die letzte Möglichkeit zum Kauf einer Komponente eingeräumt wird oder wenn noch keine Obsoleszenz vorliegt, jedoch ein lebenslanges Vorratslager für die eigene Produktion sichergestellt werden soll. Der Hauptvorteil der Endbevorratung besteht darin, dass Probleme hinsichtlich der Einsatzbereitschaft von Systemen gemildert und Tests zur Requalifikation vermieden werden. Dennoch bestehen auch Herausforderungen bei dieser Strategie. Aufgrund der Tatsache, dass es schwierig und kompliziert ist die Nachfrage zu prognostizieren und die Kaufmenge über die gesamte Lebensdauer genau zu bestimmen, kommt es nicht selten zu Problemen mit Über- oder Unterbeständen. Des Weiteren bestehen Risiken in Verbindung mit der Langzeitlagerung von Komponenten, da manche spezielle Lagerbedingungen erfordern.
- *Überbrückungsbevorratung* (Bridge Buy): Im Gegensatz zur Endbevorratung handelt es sich bei der Überbrückungsbevorratung um eine kurzfristige Strategie. Dieser Ansatz beschreibt den Kauf und die Lagerung von ausreichend Komponenten, um sich bis zu einem bestimmten Zeitpunkt (Redesign, Technologieaktualisierung etc.) abzusichern oder weil die betroffene

Komponente nach einem Datum nicht mehr benötigt wird. Abbildung 11 zeigt den Zusammenhang zwischen der Zeitperiode, die abgedeckt werden muss und der dafür notwendigen Beschaffungsmenge im Zuge der Überbrückungsbevorratung. Meistens wird dieser Ansatz zusammen mit einer nachfolgenden langfristigeren Lösung geplant.

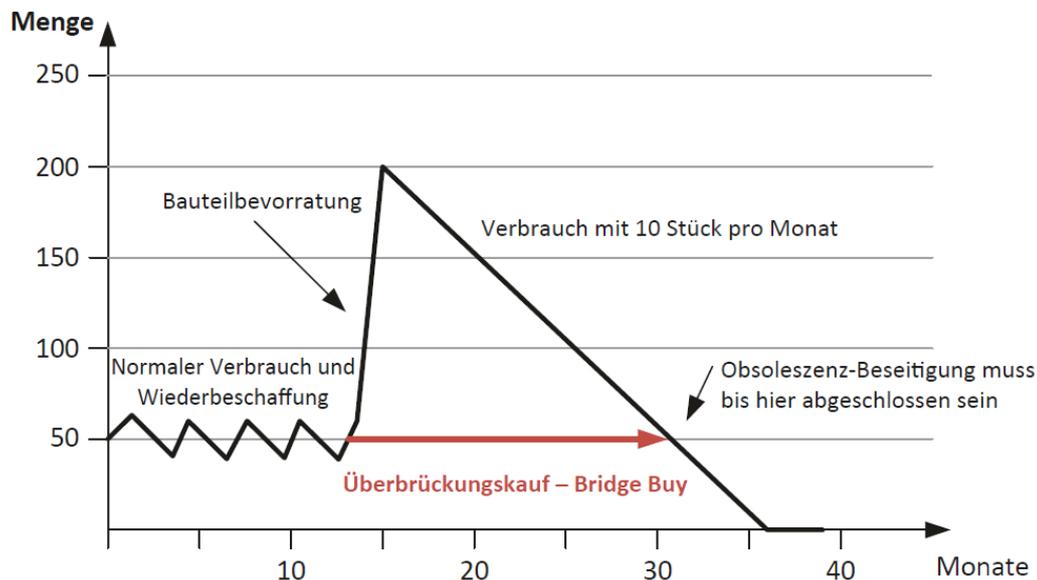


Abbildung 11: Überbrückungskauf als Handlungsoption des reaktiven Obsoleszenzmanagements (Schneider (2018), S.231)

## 2.2.2 Proaktives Obsoleszenzmanagement

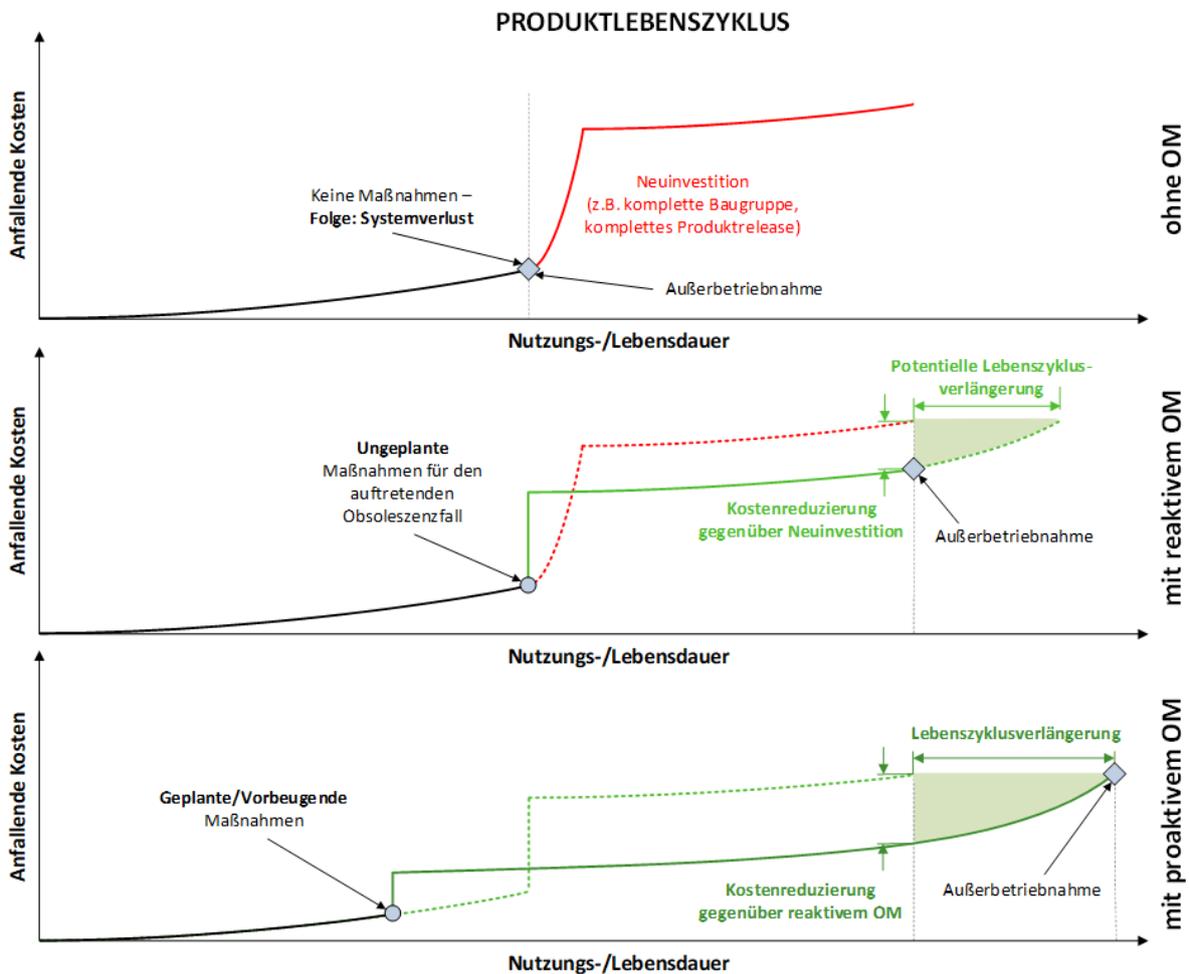
Proaktives Obsoleszenzmanagement definiert einen Analyseprozess, der auf obsoleszenzkritische Komponenten angewendet wird, um festzustellen, in welcher Phase des Produktlebenszyklus sich diese Komponenten befinden, um folglich Prognosen für einen möglichen End-of-Life Zeitpunkt zu erstellen.<sup>61</sup>

Proaktives Obsoleszenzmanagement erweitert das reaktive Obsoleszenzmanagement um zusätzliche vorausschauende Aktivitäten, wodurch eine Vorlaufzeit bis zum Eintreten eines Obsoleszenzproblems geschaffen wird. Diese Vorlaufzeit wird mittels periodisch durchgeführter Analysen des Lebenszyklusstatus von obsoleszenzkritischen Komponenten erreicht (auch als Health-Monitoring bekannt). Diese obsoleszenzkritischen bzw. proaktiv definierten Komponenten sind in der Regel systemkritisch, d.h. im Falle eines Ausfalls oder der Nichtverfügbarkeit einer solchen Komponente hätte dies erhebliche Auswirkungen auf das Gesamtsystem (z.B. Totalausfall, Teilausfall, erhebliche Einschränkung der Funktionalität).<sup>62</sup>

<sup>61</sup> vgl. VDI 2882 (2016), S.11

<sup>62</sup> vgl. VDI 2882 (2016), S.17ff.

Abbildung 12 demonstriert anschaulich die möglichen Kosteneinsparungen im Vergleich zu einem reaktiven Obsoleszenzmanagement sowie das Erwirken einer Lebenszyklusverlängerung des Systems durch den Einsatz von geplanten Maßnahmen.



**Abbildung 12: Darstellung des Produktlebenszyklus und der Kosten im Falle von proaktivem Obsoleszenzmanagement (In Anlehnung an VDI 2882 (2016), S.12)**

Eines der Hauptziele des proaktiven Obsoleszenzmanagements ist es, ein drohendes Obsoleszenzrisiko zu identifizieren, zu analysieren und zu bewerten, um diesen gekonnt entgegenzuwirken. Abbildung 13 skizziert den Produktlebenszyklus in Abhängigkeit von Produktverkäufen und veranschaulicht darüber hinaus die Einteilung der Obsoleszenzmanagement-Strategien in die jeweiligen Lebenszyklusphasen. Auf die einzelnen Lebenszyklusphasen wird in Kapitel 2.3.1 näher eingegangen.

Die Grafik soll das exponentielle Wachstum der Eintrittswahrscheinlichkeit von Obsoleszenz und damit des Obsoleszenzrisikos im Zeitablauf darstellen. Mit einem Rückgang der prognostizierten Nachfrage nach bestehenden Produkten sowie den Auswirkungen technologischer Veränderungen und kontinuierlicher Verbesserung von Komponenten, sind Originalteilhersteller oft gezwungen, die Produktion einer

betroffenen Komponente durch eine Produktabkündigungsmitteilung einzustellen. Wie im vorigen Kapitel beschrieben, kann der Obsoleszenz ab diesem Zeitpunkt nur reaktiv entgegengetreten werden. Falls das Obsoleszenzrisiko für eine Komponente jedoch so gering wie möglich gehalten werden muss, da diese beispielsweise systemkritisch ist, so sollte ein proaktiver Ansatz verfolgt werden.

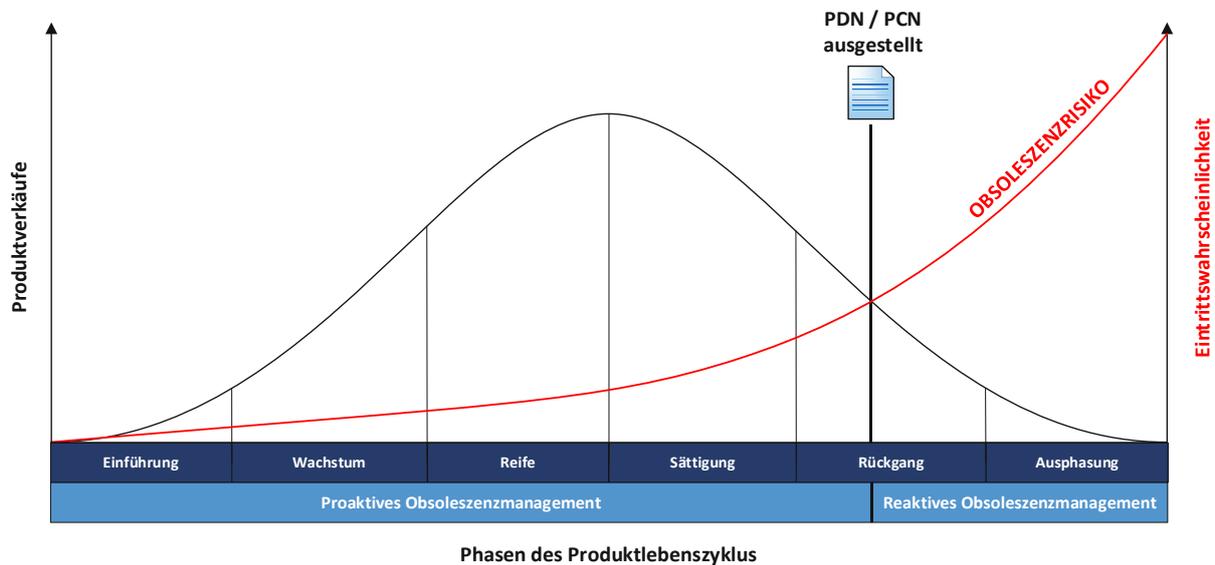


Abbildung 13: Verlauf des Obsoleszenzrisikos über die Phasen des Produktlebenszyklus

Zur Bestimmung des Risikogrades ist es daher ausschlaggebend, proaktives Obsoleszenzmanagement im Kontext von Risikomanagement anzuwenden.

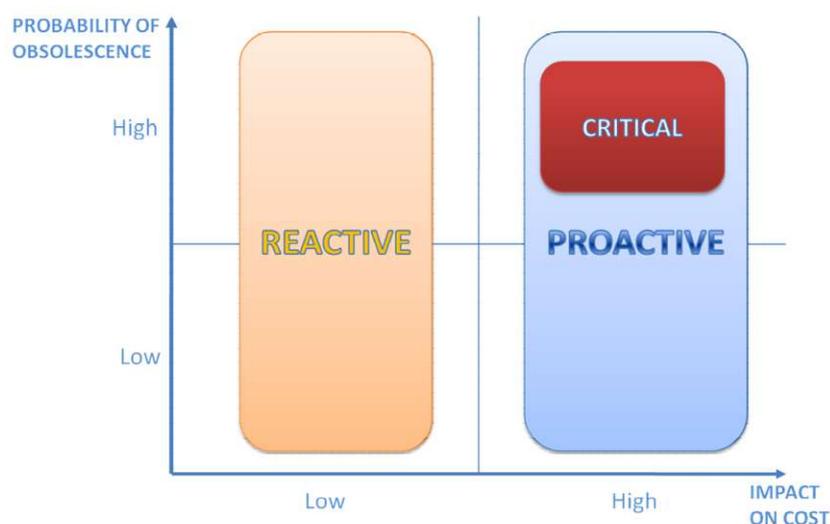
Laut DIN ISO 31000 wird ein Risiko definiert als die „Auswirkung von Unsicherheit auf Ziele“. Eine Auswirkung stellt dabei eine Abweichung vom Erwarteten dar. Ziele können unterschiedliche Aspekte und Kategorien umfassen und auf allen Ebenen angewendet werden. Das Risiko wird in der Regel anhand der Risikoursachen, der potenziellen Ereignisse, ihrer Auswirkungen und ihrer Wahrscheinlichkeit dargestellt.<sup>63</sup>

In Abbildung 14 wird der Risikomanagementprozess nach DIN ISO 31000 dargestellt. Die Risikobeurteilung wird hier als kombinierter Gesamtprozess aus Risikoidentifikation, Risikoanalyse und Risikobewertung definiert. Der Zweck der Risikoidentifikation besteht darin Risiken zu finden, zu erkennen und zu beschreiben. Die Risikoanalyse verfolgt das Ziel, die Art des Risikos, dessen Eigenschaften und ggf. die Risikohöhe zu verstehen. Sie kann mit einem unterschiedlichen Grad an Detaillierung und Komplexität durchgeführt werden sowie qualitative und quantitative Analysetechniken verwenden oder eine Kombination dieser. Die Risikobewertung soll

<sup>63</sup> vgl. DIN ISO 31000 (2018), S.7



Basierend auf der vorhandenen Literatur wird auf die Notwendigkeit hingewiesen, von einem reaktiven zu einem proaktiven Strategieansatz in Bezug auf Obsoleszenz zu wechseln.<sup>67</sup> Hierbei muss jedoch festgehalten werden, dass das Ausmaß der Implementierung eines proaktiven Ansatzes zum einen von der Einschätzung der Wahrscheinlichkeit, mit der eine Komponente obsolet wird, und zum anderen von der Auswirkung, die das Obsoleszenzproblem auf die Kosten haben würde, abhängt (siehe Abbildung 15). Unter bestimmten Voraussetzungen kann es sinnvoll sein sich für eine reaktive Behandlung von obsoleten Komponenten zu entscheiden, z.B. weil eine Ersatzkomponente mit FFF-Kompatibilität leicht zu finden ist. Diese Entscheidung kann allerdings nur nach Durchführung einer Risikobewertung getroffen werden, die wiederum Teil eines proaktiven Obsoleszenzmanagements ist. Wenn die Obsoleszenzwahrscheinlichkeit gering ist, die Obsoleszenz aber eine hohe Kostenauswirkung aufweist, sollten proaktive Maßnahmen ergriffen werden. Wenn sowohl die Obsoleszenzwahrscheinlichkeit als auch Kostenauswirkung hoch sind, wird diese Komponente als "kritisch" eingestuft und es wird als zwingend notwendig angesehen, die proaktive Minderungsstrategie zu fokussieren.<sup>68</sup>



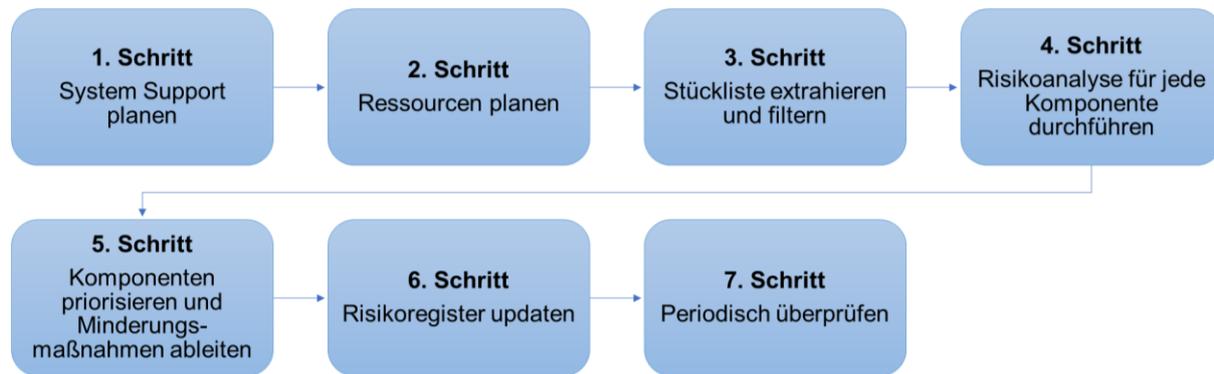
**Abbildung 15: Wahl der reaktiven oder proaktiven Herangehensweise in Abhängigkeit der Obsoleszenzwahrscheinlichkeit und der Kostenauswirkung (Romero Rojo et al. (2009), S.12)**

Die Risikobewertung von obsoleszenzkritischen Komponenten ist ein unverzichtbares Element eines proaktiven Obsoleszenzmanagements. Romero Rojo et al. haben in diesem Kontext einen "Best Practice"-Prozess entwickelt, bei welchem zahlreiche Obsoleszenzexperten und Organisationen involviert waren und diesen durch diverse Case Studies validiert. Er wurde entwickelt, um auf individuelle Projekte und Organisationen angepasst zu werden. Der Prozess setzt sich dabei aus sieben Schritten (siehe Abbildung 16) zusammen, wobei die Schritte drei bis sechs als

<sup>67</sup> vgl. Romero Rojo et al. (2009), S.11

<sup>68</sup> vgl. Romero Rojo et al. (2009), S.11

Kernprozess identifiziert werden können. Im Folgenden werden diese sieben Schritte beschrieben.<sup>69</sup>



**Abbildung 16: Vorgehensweise des "Best Practice"-Prozesses zur Bewertung des Obsoleszenzrisikos (In Anlehnung an Romero Rojo et al. (2012), S.3)**

### 1. System Support planen

Der erste Schritt besteht darin, den Zeitraum zu identifizieren für den das System aufrechterhalten werden muss. Dabei müssen vorgesehene Änderungen oder Upgrades wie auch Komponenten, die von diesen Änderungen betroffen sind, berücksichtigt werden. Daraus lässt sich ableiten, wie lange die jeweiligen Komponenten verfügbar sein müssen.

### 2. Ressourcen planen

Als zweiter Schritt werden die verfügbaren sowie notwendigen Ressourcen für das Obsoleszenzprojekt identifiziert und geplant:

- Personen (z.B. Obsoleszenzmanager)
- Werkzeuge (z.B. Health-Monitoring Tools)
- Budget für das Obsoleszenzmanagement

### 3. Stückliste extrahieren und filtern

Zunächst gilt es das System in überschaubare bzw. bearbeitbare Teile niederzubrechen. Der Detailgrad sollte dem kleinsten praktischen Level entsprechen, was für die meisten Obsoleszenzprobleme die Komponentenebene ist. Danach werden Komponenten mit offensichtlich geringem Risiko gefiltert, um den Aufwand und die Kosten der Risikoanalyse zu reduzieren. Komponenten können bspw. nach folgenden Kriterien gefiltert werden:

- Standarddesigns
- Passive Bauelemente

<sup>69</sup> vgl. Romero Rojo et al. (2012), S.3ff.

- Mechanische Komponenten
- Mehr als 7 YTEOL (Years to End of Life)

Darüber hinaus sollte diese Liste mit den gefilterten Komponenten von internen Spezialisten (z.B. Designverantwortlichen, Personen mit Entscheidungsbefugnis) überprüft werden, um sicherzustellen, dass diese Komponenten weder von einem einzigen Hersteller stammen noch für den Betrieb kritisch sind. In diesem Fall sollte die betroffene Komponente zur weiteren Analyse wieder aufgenommen werden.

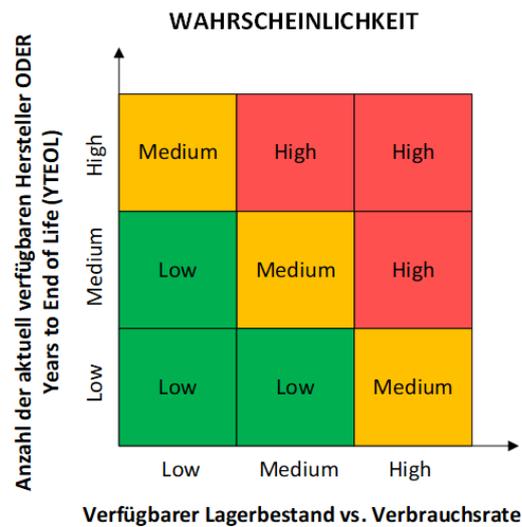
#### 4. Risikoanalyse für jede Komponente durchführen

Die Bewertung des Obsoleszenzrisikos für jede Komponente in der gefilterten Stückliste erfolgt anhand der folgenden Parameter:

- a. *Wahrscheinlichkeit* einer Komponente obsolet zu werden und damit zu einem Obsoleszenzproblem zu werden
  - *Anzahl der aktuell verfügbaren Hersteller*
    - Ein Hersteller → High
    - Zwei Hersteller → Medium
    - Mehr als zwei Hersteller → Low
  - *Years to End of Life (YTEOL)*
    - Weniger als 2 Jahre → High
    - Zwischen 2 und 5 Jahren → Medium
    - Mehr als 5 Jahre → Low
  - *Verfügbarer Lagerbestand vs. Verbrauchsrate*
    - Geringer Lagerbestand & hohe Verbrauchsrate → High
    - Geringer Lagerbestand & geringe Verbrauchsrate oder hoher Lagerbestand & hohe Verbrauchsrate → Medium
    - Hoher Lagerbestand & geringe Verbrauchsrate → Low
- b. *Kritikalitätsauswirkung* des Obsoleszenzproblems auf die Funktions- und Leistungsfähigkeit des Systems
  - Sicherheitskritisch → High
  - Missionskritisch → Medium
  - Nichts von beiden → Low

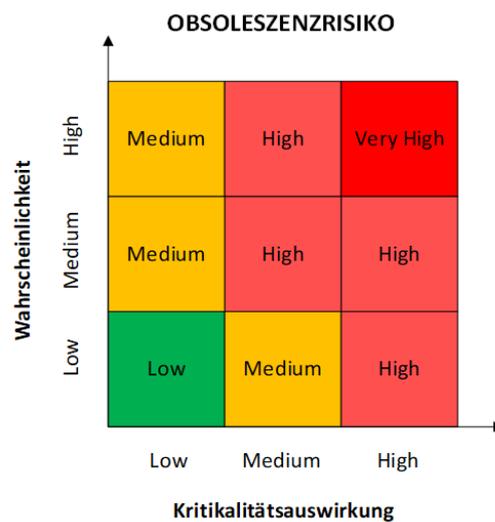
#### 5. Komponenten priorisieren und Minderungsmaßnahmen ableiten

Die Wahrscheinlichkeit eines Obsoleszenzproblems wird für jede Komponente durch die Kombination zwischen der Anzahl der aktuell verfügbaren Hersteller oder YTEOL sowie dem Vergleich zwischen verfügbarem Lagerbestand und Verbrauchsrate definiert, wie in Abbildung 17 dargestellt. Für den Fall, dass beide Indikatoren, die Anzahl der aktuell verfügbaren Hersteller wie auch YTEOL zur Verfügung stehen, ist der kritischere der beiden zu wählen.



**Abbildung 17: Wahrscheinlichkeitsmatrix (In Anlehnung an Romero Rojo et al. (2012), S.6)**

Schließlich kann die ermittelte Wahrscheinlichkeit mit der Kritikalitätsauswirkung kombiniert werden, um das Obsoleszenzrisiko für diese Komponente zu ermitteln, wie in Abbildung 18 dargestellt.



**Abbildung 18: Obsoleszenzrisikomatrix (In Anlehnung an Romero Rojo et al. (2012), S.6)**

Sobald der Prozess für alle Komponenten in der gefilterten Stückliste abgeschlossen ist, wird ein Ranking dieser Elemente auf der Grundlage des Obsoleszenzrisikos erstellt, um entsprechend priorisieren zu können. Die Hauptpriorität bei der Obsoleszenzbehandlung liegt in der Anwendung von Minderungsstrategien für kritische Risikokomponenten ("Very High" und "High"). Hier ein paar Beispiele für Maßnahmen in diesem Zusammenhang:

- Erwägung von alternativen Designs
- Partnerschaften mit Lieferanten
- Obsoleszenz-Monitoring

- Transparente Technologien
- Geplante System Upgrades
- Bauteilbevorratung zur Risikominimierung

#### 6. Risikoregister updaten

Alle gesammelten Daten müssen in einem Risikoregister festgehalten werden. Folgende Informationen sollten dabei für jede Komponente der Stückliste berücksichtigt werden:

- Status
- Zeitraum in dem die Komponente verfügbar sein soll
- Risikolevel
- Details über die weiteren Parameter zur Berechnung des Risikolevels
- Geplante Strategien und Maßnahmen
- Weitere Schritte, falls eine Komponente obsolet ist

#### 7. Periodisch überprüfen

In periodischen Zeitabständen wird die durchgeführte Risikobewertung überprüft und ggf. aktualisiert. Die Entscheidung über die Intervalle ist generell projektspezifisch, jedoch wird für risikobehaftete Komponenten und Projekte in der Herstellungsphase ein Intervall von sechs Monaten empfohlen.

### 2.2.3 Strategisches Obsoleszenzmanagement

Strategisches Obsoleszenzmanagement beschreibt die Anwendung von Maßnahmen auf allen Phasen des Produktlebenszyklus. Die Implementierung dieses Ansatzes erfolgt dabei bereits in der Entwicklungsphase, um bestimmen zu können, welche Komponenten für den beabsichtigten Lebenszyklus der Systeme verwendet werden sollen.<sup>70</sup>

Die Minimierung der Auswirkungen von obsoleten Komponenten kann im Zuge dieser Strategie durch die folgenden Methoden erwirkt werden:<sup>71</sup>

- Einsatz von Obsoleszenzmanagement während dem Prozess der Bauteilauswahl
- Verwendung proaktiver Informationssysteme zur Verbesserung der Vorhersagefähigkeit von Obsoleszenz
- Gewährleistung maximaler Komponentenverfügbarkeit durch Identifizierung, Nutzung und Unterstützung aller verfügbaren Ressourcen für die Beschaffung

<sup>70</sup> vgl. VDI 2882 (2016), S.21

<sup>71</sup> vgl. Bartels et al. (2012), S.199

- Auslegung von Managementprozessen auf Systemebene
- Planung des Lebenszyklusmanagements der Systeme (Mix aus reaktiver Schadensminderung und Designauffrischungen)

Darüber hinaus kann die taktische Vorgehensweise des strategischen Obsoleszenzmanagements auf die typischen Projektmanagementphasen wie folgt überführt und angewendet werden (siehe dazu auch Abbildung 19):<sup>72</sup>

#### 1. Vorbereitung

In dieser Phase wird eine Analyse der aktuellen Situation durchgeführt und eine konsistente Wissensbasis in Bezug auf Obsoleszenz geschaffen.

#### 2. Planung und Design

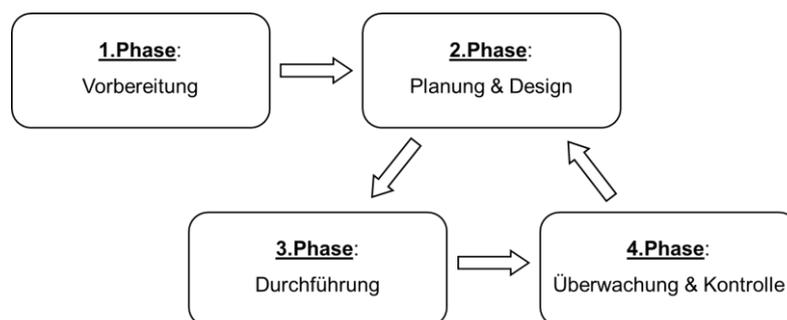
In dieser Phase werden Obsoleszenzmanagementpläne entworfen als auch Schwächen, Risiken und Ursachen der Obsoleszenz ermittelt.

#### 3. Durchführung

Diese Phase verfolgt den Zweck, das Obsoleszenzmanagementsystem strategisch zu betreiben, durchzuführen und zu leiten.

#### 4. Überwachung und Kontrolle

In dieser Phase findet eine Definition, Analyse sowie Bewertung der Obsoleszenzmanagementkosten statt.



**Abbildung 19: Überführung des strategischen Obsoleszenzmanagements auf die Projektmanagementphasen (In Anlehnung an Bartels et al. (2012), S.201)**

Für jede dieser Phasen lassen sich verschiedene Strategien und Vorgehensweisen bestimmen. Im Folgenden findet eine kurze Zusammenfassung der wichtigsten Aktivitäten statt:

<sup>72</sup> vgl. Bartels et al. (2012), S.201

- Auditieren und Bewusstsein schaffen für Obsoleszenz<sup>73</sup>  
(Vorbereitungsphase)

Vor der Einführung eines OM-Ansatzes ist es notwendig, die aktuelle Situation des Obsoleszenzmanagements im Unternehmen zu analysieren und zu bewerten (Wo stehen wir jetzt?). Dies kann z.B. in Form einer Checkliste oder eines Fragebogens erfolgen. Anschließend gilt es einen gewünschten Soll-Zustand zu definieren (Wo wollen wir hin?). Ziel hierbei ist es, die Lücke zwischen Ist- und Soll-Zustand im Laufe der Zeit zu schließen.

- Durchführen von Prozessanalysen in Bezug auf Obsoleszenz<sup>74</sup>  
(Planungs- und Designphase)

Während der Planungs- und Designphase neuer Produkte soll die Anwendung verschiedener Prozessanalysen (z.B. Ishikawa-Diagramm, Fehlerbaumanalyse, Fehlermöglichkeits- und Einflussanalyse [FMEA]) auf Obsoleszenzprobleme die möglichen Ursachen für einen unerwünschten Zustand eines Systems (d.h. Obsoleszenz einer Komponente) aufdecken. Der Zweck der Durchführung solcher Prozessanalysen besteht darin, die Qualität und Tragfähigkeit von Produkten und Prozessen zu verbessern und zu erhöhen.

- Bereitstellen von Gestaltungsrichtlinien zur Vermeidung von Obsoleszenz (Design for Obsolescence)<sup>75 76 77</sup>  
(Planungs- und Designphase)

Produktdesigner sollten Pläne für ihre Produkte im Hinblick auf zu erwartende Komponentenänderungen über den gesamten Lebenszyklus eines Produktes entwickeln. Daher ist es unabdingbar, einen Werkzeugsatz von Entwurfsrichtlinien und -strategien (z.B. Modularität, Transparenz, offene Systemarchitektur, Verwendung von Komponenten aus mehreren Quellen, Verwendung von Komponenten mit geringem Risiko usw.) bereitzustellen, um das Risiko zu verringern, frühzeitig mit Obsoleszenzproblemen konfrontiert zu werden.

- Vorhersagen von Markttrends<sup>78</sup>  
(Planungs- und Designphase)

Der Zweck besteht darin, neue technologische Entwicklungen zu beobachten und die Entwicklungen zu verfolgen, die für die Ziele einer Organisation relevant sind.

<sup>73</sup> vgl. Bartels et al. (2012), S.202ff.

<sup>74</sup> vgl. Bartels et al. (2012), S.206ff.

<sup>75</sup> vgl. Bartels et al. (2012), S.205

<sup>76</sup> vgl. DIN EN 62402 (2017), S.16

<sup>77</sup> vgl. Romero Rojo et al. (2009), S.14

<sup>78</sup> vgl. Romero Rojo et al. (2009), S.15

Darüber hinaus ist es wichtig, die Zukunft dieser Technologien zu projizieren und Pläne für ihre Nutzung und Anpassung zu entwickeln.

- Planen von langfristigen Partnerschaftsvereinbarungen mit Lieferanten<sup>79</sup>  
(Planungs- und Designphase)

Da elektronische Komponenten immer schneller obsolet werden, ist es ratsam, langfristige Partnerschaftsvereinbarungen mit Lieferanten abzuschließen, um die kontinuierliche Unterstützung und Bereitstellung kritischer Komponenten sicherzustellen.

- Technology Roadmapping<sup>80 81</sup>  
(Durchführungsphase)

Das Ziel von Technology Roadmapping ist es, die Auswahl von Technologien zu erleichtern, die unter Berücksichtigung spezifisch definierter Zeitrahmen zum Einsatz kommen sollen. Technology Roadmaps ermöglichen die Identifizierung, Bewertung und Auswahl verschiedener Technologiealternativen und helfen bei der Bestimmung von Technologielücken innerhalb der Organisation.

- Lieferantenmanagement<sup>82 83</sup>  
(Durchführungsphase)

Das Ziel von Lieferantenmanagement ist es, durch Schaffung von möglichst ausgeglichenen Verhältnissen innerhalb der Supply Chain, die negativen Auswirkungen der Obsoleszenz unter Kontrolle zu halten. Es sollte ein klarer prozessualer Ablauf definiert und vereinbart werden, um sicherzustellen, dass alle relevanten PCNs und PDNs die Organisation rechtzeitig erreichen.

- Vertragsmanagement<sup>84 85</sup>  
(Durchführungsphase)

Um das Risiko von Obsoleszenz zu mindern, ist es unerlässlich, auf beiden Seiten der Lieferkette Verträge mit Lieferanten und Kunden abzuschließen. Diese Verträge sollten die Rahmenbedingungen für den Fall einer Obsoleszenz klären (d.h. Welche Art von Komponenten sind abgedeckt? Welche Art von Maßnahmen sollten ergriffen werden? Wer muss die Verantwortung für die Lösung des Problems übernehmen?).

<sup>79</sup> vgl. Romero Rojo et al. (2009), S.14

<sup>80</sup> vgl. Romero Rojo et al. (2009), S.15

<sup>81</sup> vgl. Sandborn & Myers (2008), S.100

<sup>82</sup> vgl. Bartels et al. (2012), S.213

<sup>83</sup> vgl. VDI 2882 (2016), S.21ff.

<sup>84</sup> vgl. Bartels et al. (2012), S.214

<sup>85</sup> vgl. VDI 2882 (2016), S.23ff.

- Personalmanagement<sup>86 87</sup>  
(Durchführungsphase)

Zusätzlich zu den bekannten Obsoleszenzrisiken, wie z.B. die Abkündigung der Ersatzteilversorgung von Komponenten, besteht auch das Risiko der für den Betrieb und/oder die Wartung von Altsystemen (sog. legacy systems) erforderlichen personellen Fachkompetenzen. Daher sollte der Zweck eines strategischen Personalmanagements darin bestehen, sicherzustellen, dass alle für den Betrieb und die Wartung dieser Altsysteme erforderlichen Kompetenzen in der eigenen Belegschaft ausreichend und verfügbar sind.

- Design Refresh Planning (DPR)<sup>88 89 90 91</sup>  
(Durchführungsphase)

Design Refresh Planning ist der am meisten verbreitete Ansatz beim strategischen Obsoleszenzmanagement. Bei lebenserhaltungsdominanten Systemen kommt es aufgrund der langen Lebens-/Nutzungsdauer regelmäßig vor, dass ein oder mehrere Redesigns bzw. Designauffrischungen durchgeführt werden müssen, damit die Funktionalität erhalten bleibt und Obsoleszenzfälle gelöst werden können.

Das Ziel von Design Refresh Planning ist es, die Lebenszykluskosten eines Produkts/Systems zu minimieren, indem folgende Punkte bestimmt werden:

- Optimaler Zeitpunkt für Designauffrischungen (oder die optimale Häufigkeit von Designauffrischungen)
- Welche obsoleten Systemkomponenten sollen bei einer bestimmten Designauffrischung ersetzt werden (versus Fortfahren mit anderen Obsoleszenz-Minderungsstrategien)
- Welche nicht-obsoleten Systemkomponenten sollen bei einer bestimmten Designauffrischung ersetzt werden

Bekannte Modelle in diesem Zusammenhang sind das „Porter Model for Refresh Planning“ und „MOCA Refresh Planning Model“.

Abbildung 20 zeigt die verschiedenen Ereignisse und Maßnahmen im Laufe der Zeit, welche es bei einer Designauffrischung zu berücksichtigen gilt. Hierbei wird der Einfachheit halber jedoch nur die Zeitachse für eine Komponente dargestellt.

<sup>86</sup> vgl. Sandborn & Prabhakar (2015), S.361

<sup>87</sup> vgl. VDI 2882 (2016), S.25ff

<sup>88</sup> vgl. Bartels et al. (2012), S.217ff.

<sup>89</sup> vgl. Sandborn (2013), S.5ff.

<sup>90</sup> vgl. Sandborn & Myers (2008), S.92ff.

<sup>91</sup> vgl. Singh & Sandborn (2006), S.120ff.

In Wirklichkeit existieren jedoch gekoppelte parallele Zeitlinien für mehrere Komponenten.

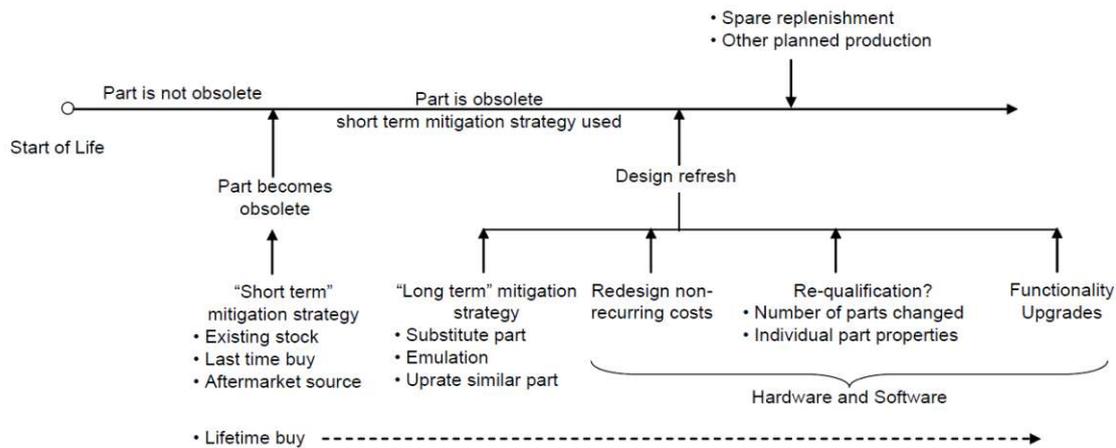


Abbildung 20: Zeitachse der Design Refresh Planning Analyse (Sandborn (2013),S.6)

- Durchführen einer Kosten-Nutzen-Analyse<sup>92 93</sup>  
(Überwachungs- und Kontrollphase)

Eine Entscheidung über die Wahl einer Obsoleszenzmaßnahme sollte auf der Grundlage der Auswirkungen auf die Lebenszykluskosten, hinsichtlich der Einführung und Umsetzung dieser Maßnahme, getroffen werden. Daher besteht der Zweck einer Kosten-Nutzen-Analyse darin, mögliche Alternativen miteinander zu vergleichen und die am besten geeignete (höchster Nutzen vs. niedrigste Kosten) Obsoleszenzmaßnahme zu finden.

- Messen der Leistungsfähigkeit und Durchführen von Reviews<sup>94</sup>  
(Überwachungs- und Kontrollphase)

Die Leistungsfähigkeit des implementierten OM-Ansatzes sollte anhand definierter Metriken verfolgt werden (z. B. Prozentsatz der proaktiv gegenüber reaktiv verfolgten Komponenten, Prozentsatz der PDNs, die nicht innerhalb des entsprechenden Zeitrahmens empfangen und bearbeitet wurden, Abschlussrate von Obsoleszenzproblemen usw.). Die Durchführung regelmäßiger Überprüfungen dieser Metriken sollte aufzeigen, ob der OM-Ansatz die erklärten Ziele erreicht sowie dabei helfen, Verbesserungsbereiche innerhalb des Prozesses zu identifizieren.

In Abbildung 21 werden abschließend noch einmal die auftretenden Kosten und Lebenszyklusverlängerungen für alle drei Obsoleszenzmanagement-Strategien gegenübergestellt. Für das strategische Obsoleszenzmanagement fallen zwar vor

<sup>92</sup> vgl. Bartels et al. (2012), S.228ff.

<sup>93</sup> vgl. DIN EN 62402 (2017), S.21

<sup>94</sup> vgl. DIN EN 62402 (2017), S.25

Beginn der Nutzungs-/Lebensdauer der Systeme Kosten für die Planung aller Obsoleszenzmaßnahmen an, dennoch können aber langfristig die höchsten Kosteneinsparungen erzielt werden.

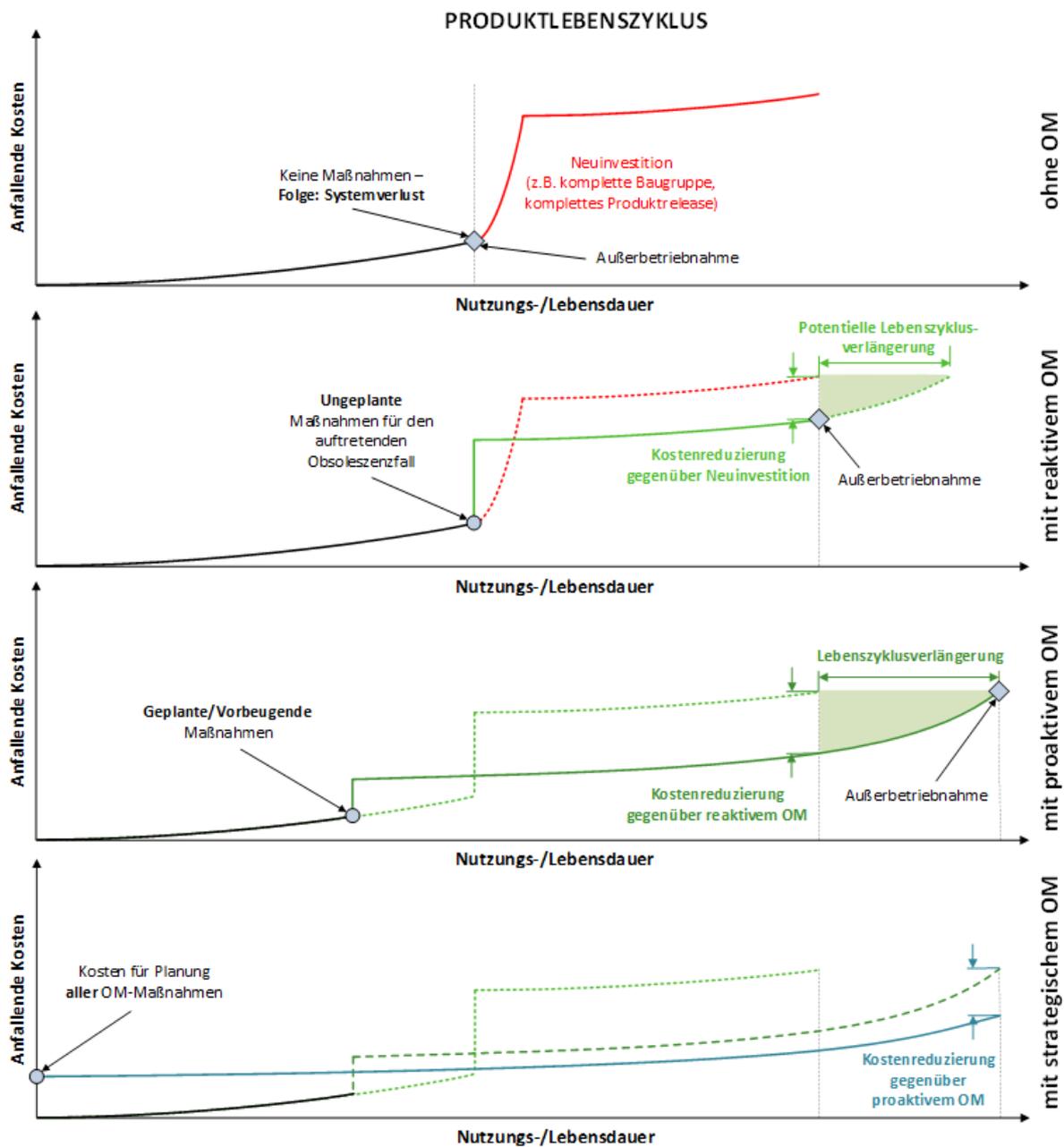


Abbildung 21: Darstellung des Produktlebenszyklus und der Kosten im Falle von strategischem Obsoleszenzmanagement (In Anlehnung an VDI 2882 (2016), S.12)

## 2.2.4 Zusammenfassende Schlussfolgerung zu den Strategien

Abbildung 21 suggeriert, dass der Ansatz eines strategischen Obsoleszenzmanagements die beste Wahl darstellt, wenn es darum geht, das Problem von Obsoleszenz zu meistern. Es muss an dieser Stelle jedoch festgehalten werden, dass für eine ganzheitliche Betrachtung alle drei Strategien in Erwägung gezogen werden müssen. Reaktives und proaktives Obsoleszenzmanagement behandeln das Obsoleszenzproblem auf Komponentenebene, wohingegen strategisches Obsoleszenzmanagement dieses auf Systemebene erweitert.

Es kann festgehalten werden, dass es sinnvoll sein kann bestimmte nicht-systemrelevante Komponenten nur reaktiv zu behandeln, da der Aufwand und die Kosten einer ständigen proaktiven Risikoanalyse schlichtweg zu hoch wären. Andererseits stellt die regelmäßige Bewertung und Überwachung des Obsoleszenzrisikos ein entscheidendes Hilfsmittel dar, wobei die Ergebnisse dieser Beurteilung beispielsweise in zukünftige Design Refresh Planning Maßnahmen des strategischen Obsoleszenzmanagements einfließen.

Tabelle 1 gibt einen Überblick über die wichtigsten Maßnahmen, welche zur Abschwächung und Vorbeugung von Obsoleszenz zum Einsatz kommen.

<b>Maßnahmen zur Abschwächung und Vorbeugung von Obsoleszenz</b>		
<i>Reaktive Vorgehensweise</i>	<i>Proaktive Vorgehensweise</i>	<i>Strategische Vorgehensweise</i>
Verhandlungen mit dem Hersteller	Health/Obsoleszenz-Monitoring	Auditieren und Bewusstsein schaffen
Verwendung vorhandener Lagerbestände	Beurteilung des Obsoleszenzrisikos	Durchführen von Prozessanalysen
Bauteilrückgewinnung	Erwägung alternativer Designs	Design for Obsolescence
Bauteilalternativen	Partnerschaften mit Lieferanten	Vorhersagen von Markttrends
Bauteilersatz	Transparente Technologien	Partnerschaften mit Lieferanten
Leistungserhöhung von Komponenten	Geplante System Upgrades	Technology Roadmapping
Reparatur von Komponenten	Bauteilbevorratung (Risikominimierung)	Lieferantenmanagement
Bauteilanschlussmarkt und Aftermarket-Quellen		Vertragsmanagement
Bauteilnachbildung		Personalmanagement
Redesign		Design Refresh Planning
Reverse-Engineering		Kosten-Nutzen-Analyse
Überbrückungsbevorratung/ Endbevorratung		Messen der Leistungsfähigkeit und Reviews

**Tabelle 1: Zusammenfassende Gegenüberstellung der Maßnahmen zur Abschwächung und Vorbeugung von Obsoleszenz**

## 2.3 Lebenszyklusorientierte Prognoseverfahren

### 2.3.1 Phasen des Produktlebenszyklus

Um zu verstehen, wie lebenszyklusorientierte Prognoseverfahren aufgebaut sind respektive funktionieren, ist es wichtig den Produktlebenszyklus zu verstehen und zu wissen wodurch sich die einzelnen Phasen charakterisieren. Die Phase des Produktlebenszyklus, in welcher sich eine Komponente befindet, beschreibt den aktuellen Beschaffungsstatus und dient als Grundlage für die Vorhersage des Obsoleszenzzeitpunkts dieser Komponente.<sup>95</sup> In Abbildung 22 wird die Lebenszykluskurve für ausgelieferte Komponenten pro Zeiteinheit dargestellt. Unter Verwendung einer Gaußschen Glockenkurve wird der Höchststand der Verkäufe durch den Mittelwert geschätzt (als  $\mu$  bezeichnet). Die Lebenszyklusphasen werden dann auf Basis der Standardabweichungen (als  $\sigma$  bezeichnet) vom Mittelwert definiert. Die Obsoleszenzzone wird hierbei als geordnetes Paar  $(\mu+2,5\sigma, \mu+3,5\sigma)$  definiert und gibt die untere und obere Grenze der Zeitintervalle an, in denen eine Komponente obsolet sein wird.<sup>96</sup>

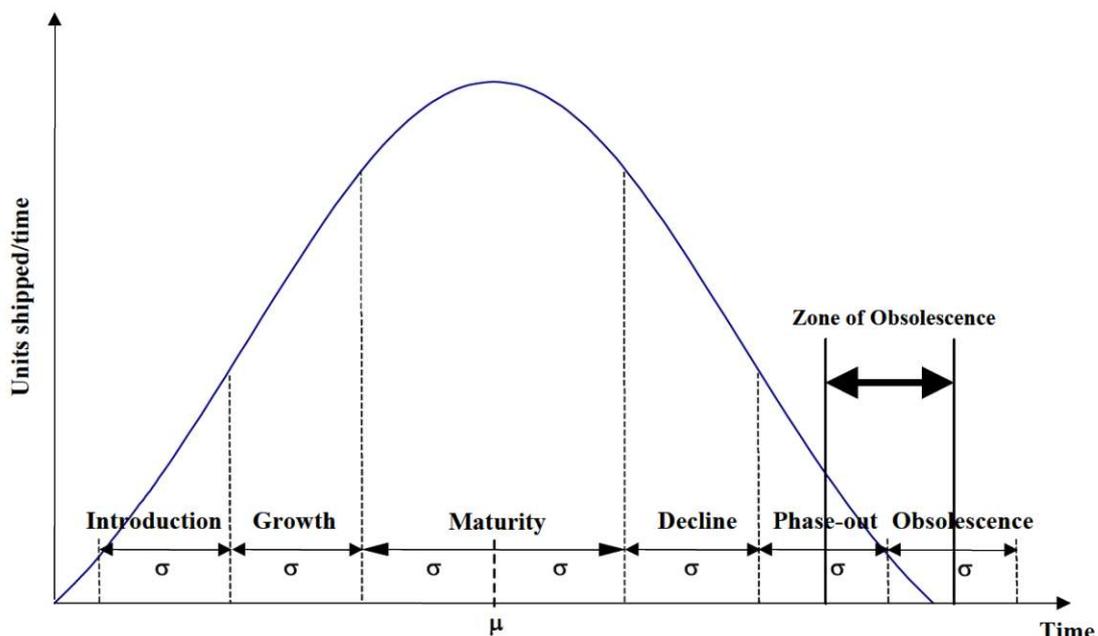


Abbildung 22: Darstellung einer standardisierten Lebenszykluskurve (Solomon et al. (2000), S.3)

Die Phasen des in Abbildung 22 dargestellten Lebenszyklus werden in den folgenden Punkten kurz beschrieben:<sup>97</sup>

<sup>95</sup> vgl. Bartels et al. (2012), S.40

<sup>96</sup> vgl. Solomon et al. (2000), S.7

<sup>97</sup> vgl. Solomon et al. (2000), S.2ff.

- Einführung ( $\mu-3\sigma, \mu-2\sigma$ )

Die Einführungsphase zeichnet sich gewöhnlich durch hohe Produktions- und Marketingkosten für die Einheit aus. Die hohen Produktionskosten werden durch häufige Modifikationen, geringe oder unvorhersehbare Produktionsvolumen sowie fehlende spezialisierte Produktionsanlagen verursacht.

- Wachstum ( $\mu-2\sigma, \mu-\sigma$ )

Die Wachstumsphase zeichnet sich durch gesteigerte Verkäufe und somit durch Marktakzeptanz aus. Dies erlaubt die Entwicklung und den Einsatz von Spezialausrüstung, wodurch Massenproduktion und in weiterer Folge Massenvertrieb und -marketing ermöglicht werden. Diese Phase weist die größte Anzahl an Konkurrenten am Markt auf.

- Reife ( $\mu-\sigma, \mu+\sigma$ )

Die Reifephase zeichnet sich durch Verkäufe mit dem höchsten Volumen aus. Neue Wettbewerber mit niedrigeren Produktionskosten können in den Markt eintreten oder bestehende Wettbewerber können zur Reduzierung der Kosten, ihre Produktionsanlagen an kostengünstigere Standorte verlagern. In der Literatur wird die Reifephase manchmal auch in Reife- und Sättigungsphase eingeteilt.

- Rückgang ( $\mu+\sigma, \mu+2\sigma$ )

Die Rückgangsphase zeichnet sich durch eine Verringerung der Nachfrage sowie Einbußen in den Gewinnen der Hersteller aus. Gegen Ende dieser Phase befinden sich entweder nur wenige spezialisierte Hersteller auf dem Markt bzw. verkaufen manche Hersteller ihr Wissen an andere Wettbewerber.

- Ausphasung ( $\mu+2\sigma, \mu+3\sigma$ )

Das Stadium der Ausphasung ist erreicht, sobald die Hersteller ein Datum zur Einstellung der Produktion einer Komponente festgesetzt haben. Die Information an die Kunden erfolgt dabei generell in Form einer Abkündigungsmitteilung. Der Hersteller bietet ein letztes Datum zum Kauf an und verweist auf alternative Komponenten oder sonstige Aftermarket-Quellen.

- Obsoleszenz ( $\mu+3\sigma, \mu+4\sigma$ )

In der Obsoleszenzphase ist die Produktion einer Komponente durch die Hersteller eingestellt. Sofern die Produktionslinie oder die Lagerbestände dieser Komponente von einer Aftermarket-Quelle gekauft wurden, ist die Komponente am Markt noch beschaffbar. Auf Technologieebene ist Obsoleszenz eingetreten, sobald die Technologie nicht mehr implementiert wird, welche die Komponente definiert.

In Tabelle 2 werden die Charakteristika der jeweiligen Lebenszyklusphase zusammengefasst dargestellt.

Merkmale	Phasen des Produktlebenszyklus					
	<i>Einführung</i>	<i>Wachstum</i>	<i>Reife</i>	<i>Rückgang</i>	<i>Ausphasung</i>	<i>Obsoleszenz</i>
<i>Verkäufe</i>	langsam, aber zunehmend	schnell zunehmend	hoch	abnehmend	Endbevorratung wird angeboten	Verkäufe nur durch Aftermarket-Quellen
<i>Preis</i>	am höchsten	abfallend	niedrig	am niedrigsten	niedrig	sehr hoch (falls von Aftermarket-Quellen verfügbar)
<i>Verwendung</i>	gering	zunehmend	hoch	abnehmend	abnehmend	gering
<i>Komponenten-Modifikation</i>	Regelmäßige Modellformen schwinden	Regelmäßige Modellformen schwinden	Regelmäßige Modellformen schwinden	wenige oder keine	keine	keine
<i>Wettbewerber</i>	wenige	viele	viele	abfallend	abfallend	wenige
<i>Profit für Hersteller</i>	gering	zunehmend	hoch	abnehmend	abnehmend	abnehmend

**Tabelle 2: Typische Charakteristika für die Phasen des Produktlebenszyklus (In Anlehnung an Solomon et al. (2000), S.4)**

### 2.3.2 Prognosen für Komponenten mit evolutionären parametrischen Treibern

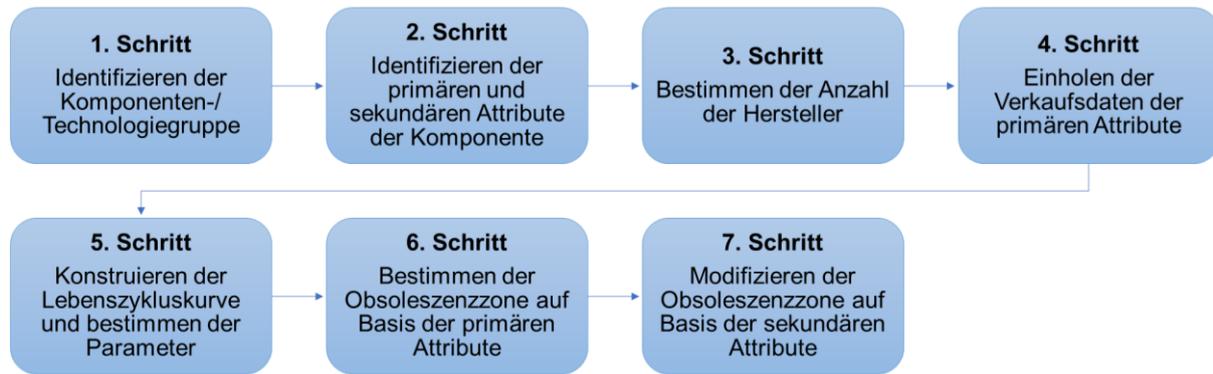
Für die Vorhersage des Lebenszyklus wird grundsätzlich zwischen Komponenten mit evolutionären und nicht-evolutionären parametrischen Treibern differenziert. Unter einem eindeutig identifizierbaren evolutionären parametrischen Treiber ist ein Parameter (oder eine Kombination von Parametern) zu verstehen, welcher eine Komponente beschreibt, die sich mit der Zeit weiterentwickelt. Für Flash-Speicherchips wäre ein evolutionärer parametrischer Treiber zum Beispiel die Speichergröße, während bei Mikroprozessoren traditionell die Taktfrequenz als Parameter herangezogen wird (obwohl dieser Parameter immer häufiger durch den Stromverbrauch ersetzt wird).<sup>98</sup>

Solomon et al. haben eine Prognosemethode entwickelt, welche bestimmte Merkmale wie Verkaufszahlen, Preis, Verwendung, Modifikation von Komponenten, Anzahl der Wettbewerber sowie Gewinne der Hersteller verwendet, um die Lebenszyklusphase einer Komponente zu identifizieren. Durch eine Kombination dieser Parameter lässt sich vorhersagen, ob der Komponente eine Obsoleszenz bevorsteht oder nicht.

Die Prognosemethode wird in sieben Schritte eingeteilt, wie in Abbildung 23 ersichtlich. Nachfolgend werden diese sieben Schritte kurz erläutert.<sup>99</sup>

<sup>98</sup> vgl. Bartels et al. (2012), S.42

<sup>99</sup> vgl. Solomon et al. (2000), S.6ff.



**Abbildung 23: Vorgehensweise bei der Lebenszyklusprognose für Komponenten mit evolutionären parametrischen Treibern (In Anlehnung an Solomon et al. (2000), S.6)**

### 1. Identifizieren der Komponenten-/Technologiegruppe

Unter einer Komponenten-/Technologiegruppe wird eine Familie von Einheiten verstanden, die gemeinsame technologische und funktionelle Merkmale aufweisen, unabhängig von ihren Herstellern (z.B. DRAM, SRAM, Flash, Mikroprozessoren).

### 2. Identifizieren der primären und sekundären Attribute der Komponente

Ein Primärattribut bezeichnet ein Merkmal, welches eine Komponenten-/Technologiegruppe definiert (z.B. Speicherdichte oder Datenbusbreite). Ein Sekundärattribut hingegen beschreibt ein Merkmal einer Komponenten-/Technologiegruppe, welches die Lebenszyklusphase oder den Bereich der Jahre bis zur Obsoleszenz verändern kann (z.B. Spannung, Mikroprozessor-Architektur, Frequenz, Verpackungstyp).

### 3. Bestimmen der Anzahl der Hersteller

Sofern keine Hersteller gefunden werden können, ist die Einheit bereits obsolet oder wurde noch nicht hergestellt.

### 4. Einholen der Verkaufsdaten der primären Attribute

Verkaufsdaten, in Form von ausgelieferten Einheiten, stellen einen direkten Indikator für den Lebenszyklus der Komponenten-/Technologiegruppe dar. Sollten keine Verkaufsdaten ausfindig gemacht werden, können prozentuelle Marktanteile verwendet werden, sofern der Gesamtmarkt im Laufe der Zeit nicht merklich zunimmt.

### 5. Konstruieren der Lebenszykluskurve und bestimmen der Parameter

Anhand der gewonnen Verkaufsdaten und unter Verwendung der Gaußschen Normalverteilung wird eine Lebenszykluskurve konstruiert. Jede Phase des

Lebenszyklus wird dabei in Bezug auf ihren Abstand vom Mittelwert ( $\mu$ ) definiert, welcher in Standardabweichungen ( $\sigma$ ) gemessen wird.

#### 6. Bestimmen der Obsoleszenzzone auf Basis der primären Attribute

Die Obsoleszenzzone beschreibt den Zeitraum, in welchem die Komponenten-/Technologiegruppe mit hoher Wahrscheinlichkeit obsolet sein wird. Wie in Kapitel 2.3.1 erwähnt, wird die Obsoleszenzzone durch das geordnete Paar ( $\mu+2,5\sigma$ ,  $\mu+3,5\sigma$ ) definiert.

#### 7. Modifizieren der Obsoleszenzzone auf Basis der sekundären Attribute

Falls die Jahre bis zur Obsoleszenz für eines der Sekundärattribute innerhalb der Lebensspanne ( $\pm 3\sigma$  Jahre) der Primärattribute liegen, so muss die Obsoleszenzzone entsprechend modifiziert werden.

Eine Erweiterung dieses Prognoseverfahrens ist der von Sandborn et al. eingeführte Ansatz, bei dem die Vorhersage der Lebenszykluskurve mit der Bestimmung von anbieterspezifischen Zeitfenstern für die Obsoleszenz von elektronischen Komponenten kombiniert wird. Dies erfolgt unter Zuhilfenahme von historischen Daten der letzten Bestellungen und letzten Auslieferungen.<sup>100</sup>

### 2.3.3 Prognosen für Komponenten mit nicht-evolutionären parametrischen Treibern

Die im vorangegangenen Kapitel beschriebenen Verfahren zur Vorhersage des Lebenszyklus und folglich der Obsoleszenz haben sich als gut funktionierend erwiesen, sofern es sich um Komponenten mit evolutionären parametrischen Treibern handelt. Diese Data-Mining Ansätze lassen sich allerdings nicht auf Komponenten anwenden, bei denen keine evolutionären parametrischen Treiber eindeutig identifiziert werden können. Dies trifft auf den Großteil der elektronischen Komponenten zu.

Sandborn et al. haben diesbezüglich eine Methodik entwickelt, die Vorhersagealgorithmen erzeugt, ohne dabei von evolutionär parametrischen Treibern abhängig zu sein. Diese Methode berechnet die Beschaffungslebensdauer unter Verwendung von Datenbanken mit bereits eingetretenen Obsoleszenzereignissen sowie Komponenten, welche noch nicht obsolet sind. Die Beschaffungslebensdauer wird hier wie folgt definiert:<sup>101</sup>

$$L_P = D_O - D_I$$

<sup>100</sup> vgl. Sandborn et al. (2007), S.1

<sup>101</sup> vgl. Sandborn et al. (2011), S.8

- wobei  $L_p$  = Beschaffungslebensdauer (Zeitraum, in dem die Komponente für die Beschaffung vom Originalhersteller verfügbar war oder sein wird)
- $D_o$  = Obsoleszenzdatum (Datum, an dem der Originalhersteller die Komponente abgekündigt hat oder abkündigen wird)
- $D_e$  = Einführungsdatum (Datum, an dem der Originalhersteller die Komponente eingeführt hat)

Auf die mathematischen bzw. statistischen Modelle im Zusammenhang mit dieser Prognosemethode wird an dieser Stelle nicht näher eingegangen, da diese für die Erstellung des generischen Obsoleszenzmanagement-Modells nicht erforderlich sind und den Rahmen dieser Diplomarbeit sprengen würden.

Eine weitere Methode zum Prognostizieren von Obsoleszenz wurde von Jennings et al. eingeführt. Es wurde eine auf maschinellem Lernen basierende Methodik entwickelt, welche in der Lage ist, den Produktlebenszyklus und das Obsoleszenzrisiko akkurat vorherzusagen und dabei die Instandhaltung und Pflege des Vorhersagesystems zu minimieren. Die Methode folgt dem Prinzip des überwachten Lernens (engl. *supervised learning*) (siehe Abbildung 24). Hierbei handelt es sich um ein Teilgebiet des maschinellen Lernens, wobei drei maschinelle Lernalgorithmen zum Einsatz kommen, und zwar Artificial Neural Networks (ANNs), Support Vector Machines (SVMs), und Random Forest (RF).<sup>102</sup>

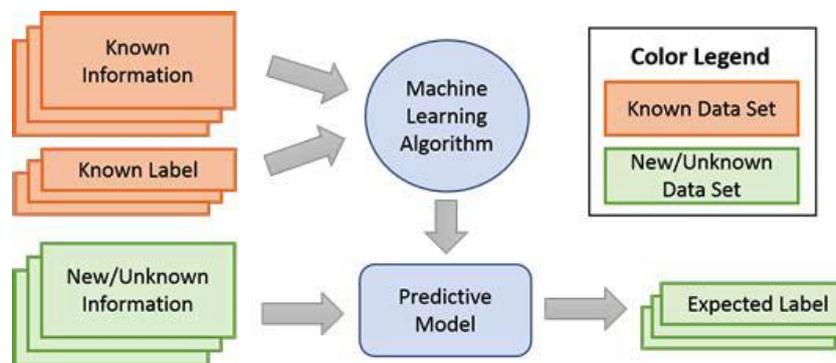


Abbildung 24: Prozess des überwachten Lernens (Jennings et al. (2016), S.1431)

### 2.3.4 Prognosen ohne Datenbanken

Für die Durchführung der vorgestellten Prognoseverfahren ist es notwendig, dass historische Daten der zu untersuchenden Komponenten vorliegen. Dies ist zwar bei elektronischen Komponenten oft der Fall, jedoch müssen teilweise Vorhersagen für nicht-elektronische Komponenten durchgeführt werden, bei welchen die erforderlichen Daten nicht immer zur Verfügung stehen. Anstelle der vorrangigen Verwendung von

<sup>102</sup> vgl. Jennings et al. (2016), S.1431

statistischen Daten, müssen in diesem Fall die Informationen der Komponenten direkt bei den Herstellern gesammelt und strukturiert ausgewertet werden.<sup>103</sup>

Der Ansatz der Vorhersage ohne Datenbanken lässt sich grob in drei Schritte gliedern, wie Abbildung 25 aufzeigt. Im Weiteren werden diese drei Schritte beschrieben:<sup>104</sup>



**Abbildung 25: Vorgehensweise bei der Lebenszyklusprognose ohne Datenbanken (In Anlehnung an Bartels et al. (2012), S.70)**

### 1. Identifizieren der Komponenten-/Technologiegruppe

Wie beim ersten Schritt der Prognosemethode von Solomon et al. besteht auch hier der erste Schritt darin, die Komponenten-/Technologiegruppe anhand der Hauptmerkmale der Komponente zu bestimmen.

### 2. Einholen der Prognosedaten

Der zweite Schritt zeichnet sich dadurch aus, dass möglichst viele Informationen mit einer hohen Datenqualität gesammelt werden müssen. Dieser Prozess ist zwar zeitintensiv sowie aufwendig, jedoch unverzichtbar, um den Lebenszyklus prognostizieren zu können. In diesem Kontext ist die direkte Kontaktaufnahme mit den entsprechenden Herstellern sowie Distributoren der einfachste und effizienteste Weg zur Sammlung von Daten. Das Feedback der unterschiedlichen Datenquellen sollte konsistent sein, um in den Vorhersageprozess berücksichtigt werden zu können.

In Tabelle 3 werden erforderliche Informationen für die Obsoleszenzvorhersage aufgelistet, wobei diese Informationen in Daten von niedriger, mittlerer und hoher Qualität eingeteilt werden.

Erforderliche Daten für die Prognose ohne Datenbanken			
Information	Niedrige Qualität	Mittlere Qualität	Hohe Qualität
Marktanteil des Herstellers	✓	✓	✓
Technologie-Trends	✓	✓	✓
Typische Anwendung der Komponente	✓	✓	✓
Komponenten-Lebenszykluscode gemäß EIA 724 <sup>105</sup>	✓	✓	✓

<sup>103</sup> vgl. Bartels et al. (2012), S.70

<sup>104</sup> vgl. Bartels et al. (2012), S.70ff.

<sup>105</sup> Dieses Dokument definiert ein Produktlebenszyklus-Kurvenmodell zur Verwendung in der Elektronikindustrie, um die Begriffe und Definitionen zu standardisieren, die zur Beschreibung des Lebenszyklusstatus eines Produkts verwendet werden.

Ersatz der Komponente durch denselben Hersteller	✓	✓	✓
Ersatz der Komponente durch anderen Hersteller	✓	✓	✓
Anzahl der autorisierten Händler einer Komponente	✓	✓	✓
Roadmap der Komponente	✓	✓	✓
Aktuellstes Datenblatt	✓	✓	✓
Empfehlungen	✓	✓	✓
„Langzeit“-Programm der Komponente	✓	✓	✓
Roadmap für Prozesstechnologie	✓	✓	✓
Fokussierte Marktsegmente der Hersteller	✓	✓	✓
Letztes Revisionsänderungsdatum der Komponente	✓	✓	✓
Anzahl, Daten und Gründe für Änderungen	✓	✓	✓
Tatsächliches oder geschätztes Produktionsende	✓	✓	✓
Aktualisierungen der Roadmap	x	✓	✓
Anzahl der Revisionsänderungen der Komponente	x	✓	✓
Datum der Markteinführung der Komponente	x	✓	✓
Anteil der Komponente am Umsatz des Händlers	x	x	✓
Verkaufsdaten der Komponente des Herstellers	x	x	✓
Verkaufsdaten der Komponente des Händlers	x	x	✓
Anteil der Komponente am Umsatz des Herstellers	x	x	✓

**Tabelle 3: Erforderliche Daten für die Prognose ohne Datenbanken (In Anlehnung an Bartels et al. (2012), S.72)**

### 3. Schätzen des End-of-Life Datums und Obsoleszenzrisikos

Nachdem alle Daten gesammelt wurden, müssen diese im letzten Schritt auf ihre Aussagekraft geprüft werden. Dazu werden die Angaben der Hersteller und Distributoren gegengeprüft und analysiert. Falls wesentliche Diskrepanzen im Informationsgehalt bestehen, sollte eine weitere Erhebungsiteration in Betracht gezogen werden.

Sobald die Daten validiert wurden, werden diese ausgewertet, die Lebenszyklusphase bestimmt und abschließend ein mögliches Obsoleszenzrisiko abgeleitet.

#### 2.3.5 Zusammenfassende Schlussfolgerung zu den Prognoseverfahren

Der Einsatz von Prognoseverfahren stellt einen Eckpfeiler für ein realisierbares Obsoleszenzmanagement dar. Gerade in Bezug auf ein proaktives Health-Monitoring ist die Kenntnis der YTEOL ausschlaggebend, um die Wahrscheinlichkeit und somit das Risiko eines Obsoleszenzaufkommens besser einschätzen zu können. In der Design-Phase sind die Ergebnisse der Obsoleszenzprognosen, in Form von Lebenszykluskurven wichtig, damit die Entwickler wissen, welche Komponenten noch eine längere Lebensdauer aufweisen und diese somit eher bei Neuentwicklungen oder Redesigns strategisch berücksichtigen werden können.

Alle vorgestellten Prognoseverfahren verfolgen ein gemeinsames Ziel und haben ihren spezifischen Anwendungsbereich. Die Wahl des richtigen bzw. passenden Prognoseverfahrens ist in erster Linie von der Komplexität der Systeme sowie der Umsetzbarkeit im Unternehmen oder der Organisation abhängig. Da es bei komplexen Systemen mit einer Unmenge an individuellen Komponenten notwendig ist große Datensätze auszuwerten, kann es sinnvoll sein in entsprechende Software-Tools zur Lebenszyklusprognose zu investieren. Auf der anderen Seite kann es bei kleinen Unternehmen mit einem überschaubaren Produktportfolio ausreichend sein, die essentiellen Lebenszyklusdaten direkt bei den Herstellern zu erfragen.

Zahlreiche Dienstleister haben in den vergangenen Jahren das große Potential von Kosteneinsparungen für Organisationen durch die Prognose von Obsoleszenzen erkannt. Diese Dienstleister besitzen Datenbanken mit Informationen (z.B. Komponenten ID, Spezifikationen, Zertifizierungsstandards) für Millionen von elektronischen Komponenten und bieten Obsoleszenzprognosen und -management als einen Service an. Zu den führenden Dienstleistern in diesem Bereich zählen Unternehmen wie SiliconExpert, IHS, Total Parts Plus, AVCOM und QTEC Solutions.<sup>106</sup>

## 2.4 Software-Obsoleszenz

In komplexen Systemen müssen sowohl Hardware als auch Software gleichzeitig aufrechterhalten werden, jedoch tragen oftmals die Software-Lebenszykluskosten, aufgrund von Redesign, Rehosting und Requalifizierung genauso viel oder sogar mehr zu den Gesamtlebenszykluskosten bei. Hardware und Software haben in der COTS-Welt eine symbiotische Lieferkettenbeziehung entwickelt. Das bedeutet, dass Verbesserungen in der Hardware Software-Hersteller zwingt die dazugehörige Software zu erneuern, was wiederum dazu führt, dass die bestehende Hardware dadurch obsolet wird (siehe Abbildung 26).<sup>107</sup>

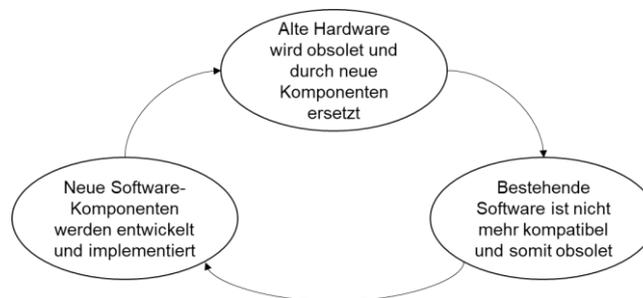


Abbildung 26: Hardware-Software-Beziehung als Teufelskreis im Obsoleszenzmanagement

<sup>106</sup> vgl. Jennings et al. (2016), S.1431

<sup>107</sup> vgl. Sandborn (2007), S.1f.

Ein wesentlicher Unterschied von Software zu Hardware ist, dass COTS-Software sowohl ein End-of-Sales Datum als auch ein End-of-Support Datum besitzen, wobei zwischen diesen ein langer Zeitraum liegen kann. Gerade bei Anwendungen, die eine Verbindung zum öffentlichen Netz aufweisen (z.B. Server und Kommunikationssysteme), ist das relevante Software-Obsoleszenzdatum häufig das End-of-Support Datum. Dies gilt sowohl für den Einsatz neuer Systeme als auch für die fortgesetzte Verwendung des im Einsatz befindlichen Systems. Der Grund dafür ist, dass das End-of-Support Datum jenes Datum repräsentiert, an welchem Sicherheitspatches für die Software beendet werden, wodurch die Nutzung dieser Software zu einem erheblichen Sicherheitsrisiko wird.<sup>108</sup>

Software-Obsoleszenz tritt somit ein, sobald ursprüngliche Entwickler sowie autorisierte Drittanbieter entweder den Support mit regelmäßigen Updates, Upgrades und Korrekturen einstellen oder Änderungen in der Zielumgebung, dem System oder der Hardware vornehmen, wodurch die Software schlichtweg unbrauchbar wird.<sup>109</sup>

### 2.4.1 Ursachen und Bereiche von Software-Obsoleszenz

Software-Obsoleszenz lässt sich auf eine der folgenden Hauptursachen zurückführen:<sup>110</sup>

- Funktionale Obsoleszenz

Die Funktionalität von Software wird aufgrund von Hardware-, Anforderungs- oder anderen Softwareänderungen am System obsolet. Dazu zählt auch durch Hardware-Obsoleszenz ausgelöste Software-Obsoleszenz.

- Technologische Obsoleszenz

Der Verkauf und/oder Support für COTS-Software wird eingestellt, weil

- der ursprüngliche Entwickler oder Anbieter die Software nicht mehr als neu verkauft (End-of-Sale),
- Lizenzvereinbarungen nicht mehr verlängert oder erneuert werden können (rechtlich nicht beschaffbar) oder
- der ursprüngliche Entwickler oder Anbieter die Software nicht mehr unterstützt (End-of-Support).

- Logistische Obsoleszenz

Obsoleszenz, Formatierung oder Degradierung von digitalen Medien beschränkt oder beendet den Zugang zu Software.

<sup>108</sup> vgl. Sandborn (2007), S.2

<sup>109</sup> vgl. Rajagopal et al. (2014), S.76

<sup>110</sup> vgl. Sandborn (2007), S.1

Sofern von Software-Obsoleszenz gesprochen wird, sollte zwischen den Softwareumgebungen differenziert werden. Software-Obsoleszenz kann sowohl in der Entwicklungsumgebung (ausgelöst durch externe Faktoren wie bspw. den Supportverlust des Anbieters) als auch in der Zielumgebung (ausgelöst durch externe und interne Faktoren wie bspw. Verlust von personellen Fähigkeiten) auftreten, wie in Abbildung 27 dargestellt. Die Software-Entwicklungsumgebung (engl. *software development environment* [SDE]) beschreibt dabei die gesamte Umgebung, sprich Anwendungen, Server und Netzwerke, die den Programmierern umfassende Möglichkeiten zur Entwicklung und zum Testen von Software bietet. Die Software-Zielumgebung (engl. *software target environment* [STE]) stellt hingegen das endgültige System dar, in welchem die entwickelte Software ausgeführt wird.<sup>111</sup>

Infolgedessen müssen Organisationen Software-Obsoleszenz auf zwei Ebenen verwalten. Für Zielumgebungen erfolgt das Software-Obsoleszenzmanagement auf Projektebene, gemäß den in den jeweiligen Verfügbarkeitsverträgen vereinbarten Bedingungen. Für Entwicklungsumgebungen erfolgt das Management auf Organisationsebene. Probleme in der Entwicklungsumgebung können sich auf die Tragfähigkeit der Zielumgebung auswirken, sodass hier die Handhabung der Obsoleszenz mit den Verfügbarkeitsverträgen abgestimmt werden muss.<sup>112</sup>

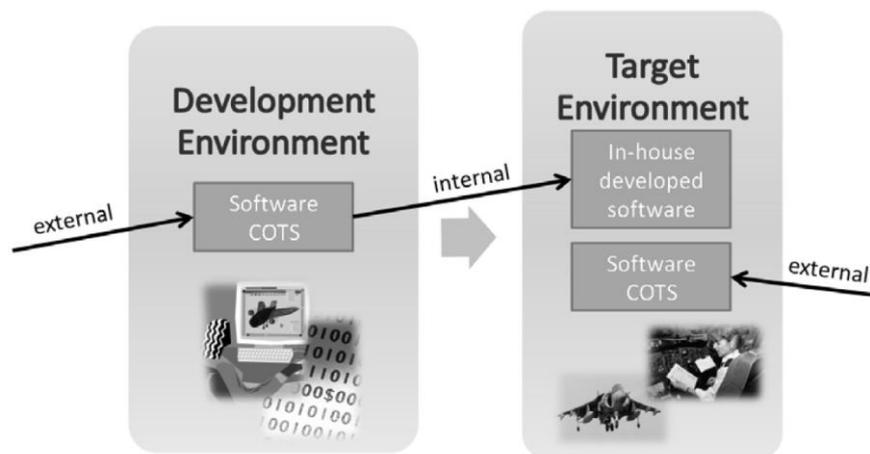


Abbildung 27: Softwareumgebungen (Romero Rojo et al. (2010), S.394)

Des Weiteren kann Software-Obsoleszenz in drei verschiedenen Bereichen auftreten (siehe Abbildung 28):<sup>113</sup>

- Fähigkeiten

Unter Fähigkeiten werden alle Informationen und das Wissen verstanden, welche zur Entwicklung, Unterstützung oder Modifizierung von Software erforderlich sind, die intern oder von Dritten entwickelt wurde. Der Verlust der erforderlichen

<sup>111</sup> vgl. Romero Rojo et al. (2010), S.394

<sup>112</sup> vgl. Romero Rojo et al. (2010), S.394f.

<sup>113</sup> vgl. Romero Rojo et al. (2010), S.395

Fähigkeiten verhindert die Wartung der Software sowie die Nutzung von Entwicklungsumgebungen zur Unterstützung intern entwickelter Software, die in Zielumgebungen gehostet werden.

- COTS-Software

Als COTS-Software wird jedes kommerzielle Betriebssystem, jedes Programm, jede Anwendung, jedes Werkzeug, jeder Compiler oder jede Programmiersprache bezeichnet, welches einerseits in der Entwicklungsumgebung verwendet wird, um eigene Software zu erstellen und andererseits direkt in der Zielumgebung eingesetzt wird.

- Medien

Medien bezeichnen hier die Datenspeichermaterialien und -formate, die zur Aufbewahrung der Softwareinformationen verwendet werden.

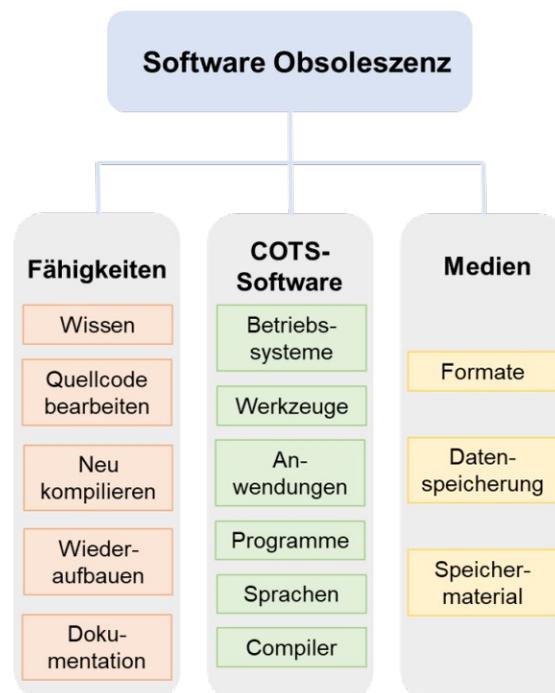


Abbildung 28: Bereiche von Software-Obsoleszenz (In Anlehnung an Romero Rojo et al. (2010), S.395)

## 2.4.2 Herausforderungen und Treiber von Software-Obsoleszenz

Muñoz et al. haben zwölf Schlüsselherausforderungen im Zusammenhang mit Software-Obsoleszenz identifiziert:<sup>114</sup>

- Probleme mit der Datenqualität (Daten werden nicht im geeigneten Format erfasst oder wurden nicht korrekt gespeichert)

<sup>114</sup> vgl. Muñoz et al. (2015b), S.26

- Standort der Daten (Daten sind auf verschiedene isolierte Quellen verteilt)
- Unterschiedliche Prozesse und Wege zur Verwaltung der Daten in verschiedenen Abteilungen bzw. Organisationen
- Bestehen langlebiger Projekte ohne zuvor definierter Obsoleszenzstrategien
- Hohe Anzahl versteckter Abhängigkeiten und Interaktionen zwischen verschiedenen Teilen des Systems (Software, die von anderer Software abhängt oder Software, die von bestimmter Hardware abhängt)
- Abnehmende Kontrolle über den Qualifikationspool der Organisation (zunehmende Auslagerung von Tätigkeiten, Anstieg des Durchschnittsalters der Mitarbeiter, niedrige Einstellungsrate)
- Sicherheitsprobleme aufgrund obsoleter Software, die noch in Gebrauch ist
- Hohe Abhängigkeit von Software-Anbietern und dem bereitgestellten Support
- Lebenszyklus von Software-Komponenten ist wesentlich kürzer als der System-Lebenszyklus
- Neue Funktionalitäten außerhalb des ursprünglichen Anwendungsbereichs sind erforderlich
- Änderungen in der Gesetzgebung sowie in Normen innerhalb der Branche
- Kompatibilität und zeitliche Verfügbarkeit von Daten bzw. Dateiformaten (Daten und die Fähigkeit, mit ihnen zu arbeiten, soll verfügbar bleiben)

Eine Befragung unter zahlreichen Experten hat ergeben, dass die Herausforderung, welche am meisten Achtsamkeit für Software-Obsoleszenz hervorruft, die hohe Zahl versteckter Abhängigkeiten und Interaktionen zwischen verschiedenen Teilen des Systems ist, gefolgt von der Ungleichheit der Prozesse innerhalb verschiedener Abteilungen.<sup>115</sup>

Durch weitere Forschungsarbeiten sowie Industrieworkshops mit IT- und Obsoleszenz-Experten ist es Muñoz et al. gelungen, insgesamt 25 Treiber von Software-Obsoleszenz zu identifizieren und in einer übersichtlichen „Software-Obsoleszenz Landkarte“ abzubilden (siehe Abbildung 29).<sup>116</sup>

<sup>115</sup> vgl. Muñoz et al. (2015b), S.28

<sup>116</sup> vgl. Muñoz et al. (2017), S.963

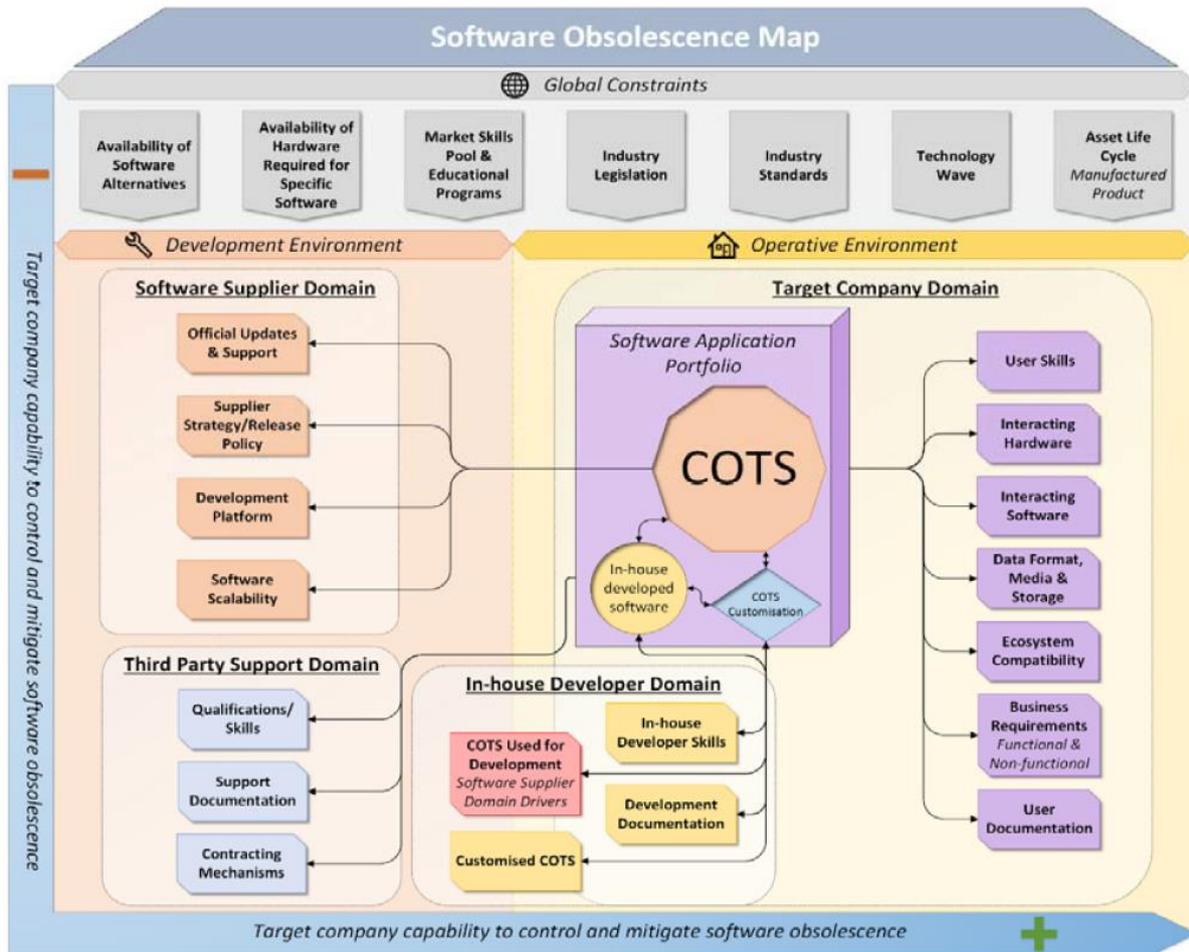


Abbildung 29: Software-Obsoleszenz Landkarte (Muñoz et al. (2017), S.963)

Die „Software-Obsoleszenz Landkarte“ umfasst drei Hauptbereiche:<sup>117</sup>

- Entwicklungsumgebung

Innerhalb der Entwicklungsumgebung werden Softwareanwendungen entwickelt, gewartet und verbessert. Die Entwicklungsumgebung unterscheidet dabei zwei Bereiche:

- **Software-Anbieter** – hiermit sind die ursprünglichen Entwickler und Verkäufer der COTS-Software gemeint. In diesem Bereich können vier Obsoleszenztreiber identifiziert werden:
  - Offizielle Updates und Support
  - Lieferantenstrategie/Freigabepolitik
  - Entwicklungsplattform
  - Skalierbarkeit der Software
- **Support durch Drittanbieter** – hiermit sind die Auftragnehmer gemeint, die das Unternehmen mit dem Ziel der Unterstützung bei Aktivitäten im

<sup>117</sup> vgl. Muñoz et al. (2017), S.963ff.

Zusammenhang mit der Verwaltung des Anwendungsportfolios beauftragt. Dabei kann es sich um den ursprünglichen Entwickler der Software handeln oder auch nicht. In diesem Bereich können drei Obsoleszenztreiber gefunden werden:

- Qualifikationen/Kenntnisse
  - Support-Dokumentation
  - Vertragsmechanismen
- Operativ-/Zielumgebung

Innerhalb der Operativ-/Zielumgebung werden Softwareanwendungen eingesetzt und Dienstleistungen erbracht. Die Anwendungen werden vom Zielunternehmen wiederum in einem Portfolio gruppiert. Das Portfolio klassifiziert dabei drei Haupttypen von Software, nämlich COTS-Software, selbst entwickelte Software und kundenspezifische COTS-Software.

- Das *Zielunternehmen* repräsentiert den Hauptbereich der Operativ-/Zielumgebung und stellt die Organisation dar, welche die Softwareanwendungen zur Entwicklung, Unterstützung und/oder Bereitstellung von Dienstleistungen verwendet. Dieser Bereich umfasst sieben Obsoleszenztreiber:
  - Anwenderkenntnisse
  - Aufeinander wirkende Hardware
  - Aufeinander wirkende Software
  - Datenformat, Medien und Speicherung
  - Kompatibilität jeder der Anwendungen mit der gesamten Umgebung
  - Funktional und nicht-funktionale Geschäftsanforderungen
  - Benutzerdokumentation
- Der Bereich der *internen Entwickler* liegt zwischen der Operativ-/Zielumgebung und der Entwicklungsumgebung, da dieser sowohl an der Entwicklung als auch an der Nutzung der Software im Zielunternehmen aktiv beteiligt ist. Innerhalb des Zielunternehmens sind die internen Entwickler dafür zuständig, neue Software von Grund auf zu entwickeln oder bestehende COTS-Software anzupassen, um die funktionalen Geschäftsanforderungen zu erfüllen. In diesem Bereich gibt es vier Obsoleszenztreiber:
  - Interne Entwickler-Fähigkeiten
  - Für die Entwicklung verwendete COTS-Software (abhängig vom *Software-Anbieter* Bereich)
  - Dokumentation zur Entwicklung (z.B. Architektur/Design)
  - Kundenspezifische COTS-Software

- Globale Beschränkungen

Unter den globalen Beschränkungen werden alle Treiber verstanden, welche auf das Branchenumfeld einwirken und außerhalb der Organisation liegen. Sie betreffen alle Unternehmen innerhalb eines Industriebereichs und besitzen ein weites Anwendungsspektrum. Auf dieser Ebene existieren sieben Obsoleszenztreiber:

- Verfügbarkeit von Software-Alternativen
- Verfügbarkeit der für bestimmte Software erforderlichen Hardware
- Pool von Marktkenntnissen sowie Bildungsprogramme
- Industriegesetzgebung
- Industriestandards
- Technologie-Welle (Fortschritt in der Technologie)
- Anlagenlebenszyklus (hergestelltes Produkt/System)

Die Fähigkeit von Unternehmen auf Software-Obsoleszenz zu reagieren, hängt schließlich von der jeweiligen Umgebung und dem Bereich ab.

### 2.4.3 Ansätze und Strategien zur Minderung und Vorbeugung von Software-Obsoleszenz

Der größte Teil der verfügbaren Literatur über Strategien bezüglich Software-Obsoleszenz befasst sich mit Maßnahmen, welche ergriffen werden müssen, um bereits eingetretene Software-Obsoleszenz in der In-Service Phase zu behandeln. Es besteht ein großes Wissensdefizit darüber, wie die Software-Obsoleszenz in anderen Projektphasen bekämpft werden kann.<sup>118</sup>

Nachfolgend werden die wichtigsten Maßnahmen zur Minderung sowie Vorbeugung von Software-Obsoleszenz zusammengefasst:<sup>119 120 121</sup>

- Software-Lizenz-Downgrade  
Diese Maßnahme ist mit dem jeweiligen Softwareanbieter zu verhandeln und berechtigt den Anwender durch den Kauf von Lizenzen einer neueren Version zur Nutzung eines älteren Produkts.
- Kauf des Quellcodes  
Hier besteht die Möglichkeit den Quellcode beim ursprünglichen Anbieter oder Patentinhaber zu erwerben.
- Support durch Dritte

<sup>118</sup> vgl. Rajagopal et al. (2014), S.77

<sup>119</sup> vgl. Sandborn (2007), S.3

<sup>120</sup> vgl. Romero Rojo et al. (2010), S.396

<sup>121</sup> vgl. Erkoyuncu et al. (2014), S.84

Eine dritte Partei wird dazu beauftragt und autorisiert eine überholte Software-Anwendung weiterhin zu unterstützen sowie zu supporten.

- Redevelopment  
Bei dieser Maßnahme wird die Software so adaptiert, dass sie in Kombination mit neuer Hardware oder Software genutzt werden kann. Hierbei muss eine erneute Testung des Systems erfolgen.
- Requalifying  
Mittels Prüfung und Requalifizierung werden veraltete Softwarepakete im Zusammenhang mit ihrer Funktionsfähigkeit validiert.
- Rehosting  
Bei einem Rehosting erfolgt eine Anpassung der bestehenden Software an eine neue Entwicklungsumgebung, um so die Funktionalität gewährleisten zu können. Diese Vorgehensweise wird auch Technologie-Portierung genannt.
- Medienverwaltung  
Von der Art des Mediums, der Speichermethode und der Versionskontrolle sind Probleme und folglich Kosten abhängig, daher ist die Wartung sowie Speicherung des Mediums, auf welchem die Software-Archivierung liegt, ein kritisches Element.
- Fallaufklärung  
Bei der Eruiierung der Kosten für die Behebung bzw. Vorbeugung von Software-Obsoleszenzfällen sind folgende Faktoren zu berücksichtigen: Auflösungskennzahlen, Versionskontrolle und Datenbankverwaltung.
- Entkopplung  
Eine Verminderung der Abhängigkeiten binnen Software und Hardware kann erfolgen, indem Standardschnittstellen sowie Middleware in der Systemarchitektur zum Einsatz kommen und in die Systemlandschaft integriert werden. Mittels dieses Vorgehens können Konsequenzen durch etwaige Obsoleszenz von Komponenten minimiert und die betroffenen Bestandteile abgelöst werden.
- Flexible Entwicklungsumgebung  
Mittels flexiblen Entwicklungsumgebungen können etwaige Adaptionen in der Zielumgebung unterstützt werden.
- Technologie-Roadmaps  
Folgende Elemente sind im Zusammenhang mit dem Einsatz von Technologie-Roadmaps zu berücksichtigen:
  - Entwicklung der Technologie (Reifegrad, Bewertung der Technologiestabilität)

- Entwicklung der Anbieter am Markt
- Entwicklung der Kundenanforderungen

Um einer drohenden Software-Obsoleszenz vorzeitig entgegenzuwirken, haben Muñoz et al. einen Ansatz vorgestellt, bei welchem die Überwachung von Softwareanforderungen im Fokus steht. Bei diesem Ansatz sollen Softwareanwendungen anhand von drei Hauptaspekten überwacht und bewertet werden (siehe Abbildung 30):<sup>122</sup>

- Reifegrad im Laufe der Zeit

Der Reifegrad soll hinsichtlich der Benutzerfreundlichkeit der Anwendung, der Einfachheit der Wartung, der Anzahl der von der Anwendung verursachten Zwischenfälle und dem Sicherheitsniveau bewertet werden.

- Obsoleszenzrisiko

Das Obsoleszenzrisiko soll durch eine Lieferanteanalyse, die erforderlichen Fähigkeiten zur Unterstützung der Anwendung, die Änderung der Geschäftsanforderungen und das Format der Daten überwacht werden.

- Komplexität und Abhängigkeiten

Die Komplexität soll anhand der Anzahl der interagierenden Software und Hardware, der Anzahl der Benutzer und der Anzahl der Subkomponenten innerhalb der Anwendungen bewertet werden.

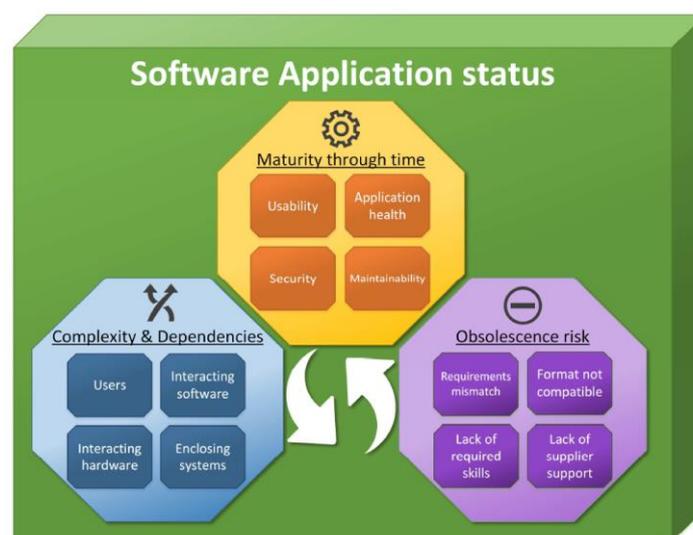


Abbildung 30: Monitoring-Ansatz für Softwareanwendungen (vgl. Muñoz et al. (2015a), S.45)

Eine weitere Möglichkeit Obsoleszenz vorbeugend zu behandeln, ist laut Robinson et al. der Einsatz von Hardware Abstraction Layer (HAL), Measurement Abstraction

<sup>122</sup> vgl. Muñoz et al. (2015a), S.45

Layer (MAL) und virtuellen Instrumenten innerhalb einer Testsystem-Architektur. Wenn aufgrund eines Obsoleszenz-Ereignisses neue Testanforderungen entstehen, muss oftmals die Funktionalität des gesamten Testsystem revalidiert werden. Der Grund hierfür ist, dass die Softwarefunktionalität nicht in kleinere, leichter identifizierbare Teile mit klar definierten Schnittstellen zerlegt wurde. Zwar besitzt jedes Testsystem grundsätzlich irgendeine Form von Hardwareabstraktion, jedoch wird durch die Implementierung dieser Schichten in den Code die Flexibilität geschaffen, Instrumente zu ersetzen, ohne den Code für die Messanalyse, die Benutzeroberfläche des Testers oder die gesamte Teststruktur zu ändern. Darüber hinaus sollten virtuelle Instrumente, wo es möglich ist, in das Testsystem integriert werden, um Leistung, Flexibilität und Wiederverwendung bereitzustellen.<sup>123</sup>

#### 2.4.4 Ansätze und Kriterien zur Risikobeurteilung von Software-Obsoleszenz

Bei der Software ist es ebenso relevant wie bei der Hardware das Obsoleszenzrisiko durch entsprechende Kriterien sinnvoll beurteilen zu können, um sich der Lösung des Obsoleszenzproblems proaktiv anzunähern.

Schmid et al. haben sich hierfür an dem bestehenden „Best Practice“-Prozess von Romero Rojo et al. orientiert und einen Ansatz vorgestellt, um das Problem des Software-Obsoleszenzmanagements für das ALMA-Observatorium anzugehen.

Die Bewertung des Obsoleszenzrisikos erfolgt in diesem Fall anhand der folgenden Parameter (siehe auch Abbildung 31):<sup>124</sup>

- a. Die *Obsoleszenzwahrscheinlichkeit* setzt sich hier aus dem „Liveliness“-Risiko (neu eingeführter Begriff der Autoren) der Software-Komponente und den Wachstumsanforderungen an das ALMA-Observatorium zusammen. Da es sich bei den Wachstumsanforderungen um Kriterien handelt, die spezifisch für das Observatorium ausgelegt wurden und diese somit für den sicherheitskritischen Bereich keine Bedeutung aufweisen, wird auf diese nicht näher eingegangen. Laut den Autoren können prinzipiell auch nur die „Liveliness“-Risikofaktoren zur Bestimmung der Obsoleszenzwahrscheinlichkeit herangezogen werden:
  - - *Anzahl der Provider oder Quellen einer Komponente bzw. Technologie*
    - Ein Provider/Quelle → High
    - Zwei Provider/Quellen → Medium
    - Mehr als zwei Provider/Quellen → Low
  - *Years to End of Life (YTEOL) oder Years to End of Support (YTEOS) durch den Provider*
    - Weniger als 2 Jahre → High

<sup>123</sup> vgl. Robinson et al. (2015), S.2f.

<sup>124</sup> vgl. Schmid et al. (2016), S.6ff.

- Zwischen 2 und 5 Jahren → Medium
- Mehr als 5 Jahre → Low
- *-Anzahl von verfügbaren Updates (in der Form von Bug Fix Releases, Service Releases)*
  - Kein Update → High
  - Ein oder zwei Updates pro Jahr → Medium
  - Drei oder mehr Updates pro Jahr → Low
- *User Community*
  - Sinkende User Community → High
  - Stabile User Community → Medium
  - Wachsende User Community → Low

b. Die Kriterien für die *Kritikalitätsauswirkung* sind ebenso wie die der Wachstumsanforderungen auf das ALMA-Observatorium ausgelegt und daher weder geeignet noch ausgelegt für den sicherheitskritischen Bereich.

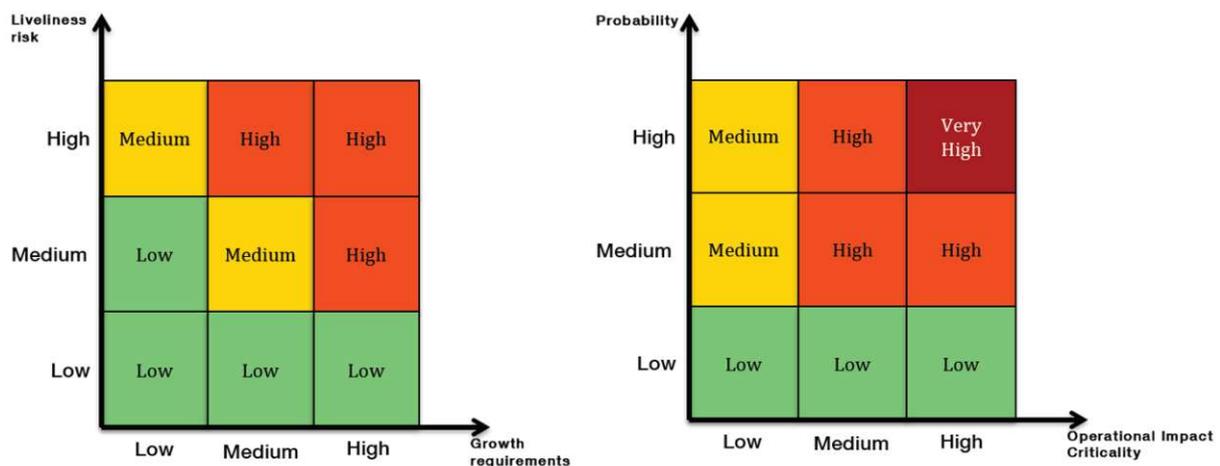


Abbildung 31: Software-Obsoleszenzwahrscheinlichkeit und -Obsoleszenzrisiko (Schmid et al. (2016), S.8f.)

Ein anderer Ansatz, welcher auf fast jede Hardware/Software-Umgebung anwendbar ist, sich jedoch am besten für eine Umgebung eignet in der Anwendungssoftware routinemäßigen Erweiterungen sowie Korrekturen unterzogen wird, ist der von Bowlds et al. beschriebene Ansatz zur Bewertung des Software-Obsoleszenzrisikos mittels MCDM (Multicriteria Decision-Making). Im Folgenden werden die wichtigsten Aspekte dieses Ansatzes beschrieben:<sup>125</sup>

Der MCDM-Ansatz eignet sich besonders aufgrund der zahlreichen Elemente, die auf Software-Obsoleszenz einwirken sowie der Subjektivität bei der Bestimmung, wann eine Softwareanwendung obsolet ist. Als MCDM-Methodik kommt hierbei TOPSIS (Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution) zum Tragen. Zu den Anwendungsbereichen von TOPSIS gehören Supply Chain Management, Engineering

<sup>125</sup> vgl. Bowlds et al. (2018), S.2ff.

und Fertigungssysteme. Anstatt Optionen zu gewichten, werden bei dieser Methode Scores für das Risiko im Laufe der Zeit abgeleitet.

Zu den Inputfaktoren für TOPSIS gehören:

- Kriterien, die sich auf die Obsoleszenz auswirken
- Gewichtung durch Experten, die mit der Softwareumgebung vertraut sind
- Status der Kriterien über den Lebenszyklus der Anwendungssoftware

Elemente, welche die Risikobewertung der Software-Obsoleszenz beeinflussen, können in zwei Kategorien eingeteilt werden:

- *Externe Abhängigkeiten* – diese liegen außerhalb der Kontrolle einer Organisation oder eines Anwendungsentwicklers, da ein externer Anbieter die Verfügbarkeit von Support bestimmt. Dazu zählen:
  - Hardware
  - Kommerzielle Betriebssysteme
  - COTS-Software
- *Interne Abhängigkeiten* – diese werden durch den Software-Lebenszyklusmanagement-Ansatz einer Organisation definiert. Dazu zählen:
  - Software-Wartungsaufwand
  - Anzahl der Erweiterungen oder Änderungen
  - Kenntnisstand oder Dokumentation der in der Software eingebetteten Geschäftsregeln
  - Mit der Zeit zunehmende Komplexität

Die Bewertung des Software-Obsoleszenzrisikos wird in drei Schritten durchgeführt:

1. Definieren des Lebenszyklusstatus der verschiedenen technischen Elemente zu verschiedenen Zeitpunkten
2. Priorisieren der technischen Elemente unter Verwendung von Beiträgen verschiedener Fachexperten
3. Verwenden dieser Daten als Input für ein MCDM, wobei das Ergebnis ein Score ist, welcher die Höhe des Obsoleszenzrisikos über den Lebenszyklus einer Software-Anwendung darstellt.

In Abbildung 32 wird die Beziehung zwischen den internen und externen Elementen veranschaulicht, die sich auf die Software-Obsoleszenz auswirken. In Summe können sechs Elemente identifiziert werden:

- *Intern gesteuerte Elemente* – bestimmen den für die Wartung der Softwareanwendung erforderlichen Erhaltungsaufwand.
  - Anzahl der Fehlerbehebungen
  - Anzahl der Verbesserungen

- Wert der zyklomatischen Komplexität (am weitesten verbreitete Metrik zur Bestimmung der Software-Komplexität)
- *Extern gesteuerte Elemente* – Lebenszyklusdaten bestimmen die Verfügbarkeit der erforderlichen Support-Infrastruktur.
  - Tage bis zum EOS der Hardware
  - Tage bis zur EOS des Betriebssystems
  - Tage bis zum EOS der COTS-Software

Kumuliert ergibt der Wert dieser sechs Elemente den Obsoleszenzrisikostatus zu einem bestimmten Zeitpunkt.

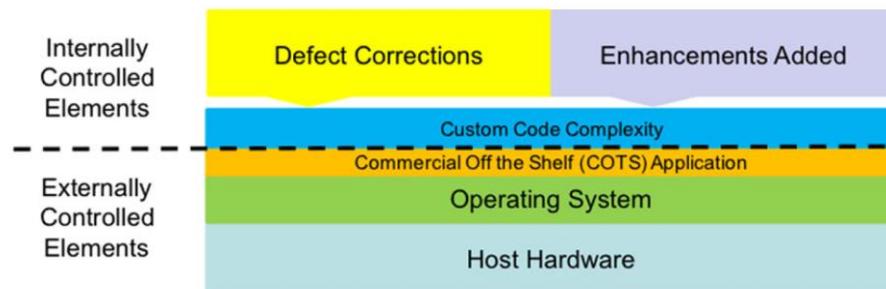


Abbildung 32: Software-Obsoleszenz Elementstruktur (Bowlds et al. (2018), S.6)

## 2.4.5 Zusammenfassende Schlussfolgerung zu Software-Obsoleszenz

Durch den vermehrten Einsatz von Software in Systemen als auch der spezifischen Hardware-Software-Implementierung in Form von Embedded Systems, wird das Obsoleszenzproblem um eine neue Dimension erweitert und auf einer weitaus komplexeren Ebene behandelt. Im Vergleich zum Hardware-Obsoleszenzmanagement müssen beim Software-Obsoleszenzmanagement eine wesentlich höhere Anzahl von Faktoren bei der Lösung eines Problems berücksichtigt werden. Dies ist durch die Menge an vorliegenden, nicht immer transparenten Interdependenzen zwischen den Teilsystemen begründet. Dadurch resultierend ist nur selten eine isolierte Betrachtung von einzelnen Software-Komponenten möglich.

Es existieren zwar Maßnahmen zur Behandlung von Software-Obsoleszenz, allerdings gibt es aktuell kaum erprobte Ansätze, die das Problem auf einer proaktiven Ebene behandeln. Es fehlt an Vorgehensweisen sowie konkreten spezifischen Metriken, die es ermöglichen, die zur Verfügung stehenden Daten zuverlässig auszuwerten. Dies resultiert in einem Folgeproblem. Die Daten sind oftmals nicht bzw. in einer Qualität vorliegend, welche eine Bearbeitung nicht ermöglicht. Nichtsdestotrotz muss das Thema Software-Obsoleszenz für eine ganzheitliche Betrachtung miteinbezogen werden, denn gerade im sicherheitskritischen Bereich ist es besonders relevant, dass die eingesetzte Software nicht veraltet ist und somit ein potentielles Sicherheitsrisiko darstellt.

### 3 Abgrenzung zum Stand der Technik

Dieses Kapitel dient der Erläuterung der methodischen Vorgehensweise bei der Konzeptionierung und Entwicklung des ganzheitlichen Obsoleszenzmanagement-Modells. Hierzu wird der Stand der Technik im Bereich Obsoleszenzmanagement analysiert, indem untersucht sowie verglichen wird, welche Obsoleszenzmanagement-Ansätze bereits existieren und welche Faktoren für ein ganzheitliches Modell fehlen bzw. zu berücksichtigen sind. Folglich wird eine systematische Literaturanalyse durchgeführt, um spezifische Anforderungen für das Modell abzuleiten. Zum anderen wird eine Concept Map erstellt, um die gesammelten Informationen zusammenhängend darzustellen.

#### 3.1 Systematische Literaturanalyse

Um die in Kapitel 1.1 formulierte Forschungsfrage zu fokussieren und in entsprechenden Kontext zu bringen, wird in dieser Arbeit auf einen methodischen Ansatz zurückgegriffen, welcher einem strukturierten, dokumentierten als auch wiederholbaren Weg folgt – der systematischen Literaturanalyse.

Da es sich beim Obsoleszenzmanagement um ein vielschichtiges Thema handelt, welches Anknüpfungspunkte zu unterschiedlichen Anwendungsbereichen aufweist, ist es wesentlich, die Breite der Forschung in diesem Feld kritisch zu betrachten. Die Literaturanalyse dient hierbei der Bereitstellung der theoretischen Grundlagen des Forschungsthemas sowie der Identifikation von Forschungslücken, um einen Rahmen zur angemessenen Positionierung neuer Forschungsaktivitäten zu schaffen.<sup>126 127</sup>

##### 3.1.1 Nutzen und Bedeutung der systematischen Literaturanalyse

Die schrittweise und sorgfältige Durchführung der systematischen Literaturanalyse weist folgende Vorteile auf:<sup>128</sup>

- Verbesserung der methodischen Transparenz der Untersuchung
- Reduzierung von Verzerrungen aufgrund subjektiver Betrachtung der Literatur
- Sicherstellung einer vollständigen Erfassung der vorhandenen Literatur auf dem definierten Gebiet
- Einbeziehung von Studien und Ergebnissen jenseits bekannter Themen
- Gewährleistung des tatsächlichen Nachweises, dass der wissenschaftliche Beitrag auf die Forschungslücke abzielt

<sup>126</sup> vgl. Okoli & Schabram (2010), S.1

<sup>127</sup> vgl. Kitchenham (2004), S.1ff.

<sup>128</sup> vgl. Mallett et al. (2012), S.447f.

### 3.1.2 Vorgehensweise bei der systematischen Literaturanalyse

Nach eingehender Recherche hinsichtlich möglicher Vorgehensweisen für eine systematische Literaturanalyse wurden fünf geeignete Literaturquellen identifiziert.<sup>129</sup>  
<sup>130</sup> <sup>131</sup> <sup>132</sup> <sup>133</sup> Basierend auf diesen Quellen wurde ein angemessener Prozess für diese Arbeit abgeleitet, welcher den erforderlichen Grad zur Beantwortung der Forschungsfrage gewährleistet und eine systematische sowie praktikable Literaturanalyse erlaubt. Die abgeleitete Vorgehensweise lässt sich in folgende fünf Hauptschritte einteilen:

#### 1. Definition des Untersuchungsthemas

Im ersten Schritt wird das Thema, für welches relevante Literatur gefunden werden soll, festgelegt. Weiters wird das zu behandelnde Forschungsproblem näher konkretisiert.

#### 2. Angabe des Ziels der Literaturanalyse

Der Zweck sowie die beabsichtigten Ziele der Literaturanalyse werden im zweiten Schritt klar identifiziert und folglich die Beantwortung der Forschungsfrage mittels des Analyseverfahrens erläutert.

#### 3. Suche und Identifikation relevanter Literatur

Nach der Auswahl des Themas und der Darlegung der Absicht besteht der nächste Schritt darin, auf strukturierte Weise die geeigneten und verwandten Informationen zu ermitteln. Für eine umfassende Recherche ist es notwendig unterschiedliche Ressourcen zu berücksichtigen als auch Literatur in verschiedenen Sprachen zu akzeptieren.

#### 4. Überprüfung, Bewertung sowie Zusammenfassung der Ergebnisse

Die gefundenen Ergebnisse werden in weiterer Folge gelesen und auf ihre Relevanz sowie Verwendbarkeit für die Problemstellung überprüft als auch bewertet. Um eine bessere Strukturierung der Ergebnisse zu gewährleisten, wird empfohlen eine Skala zu verwenden, mit welcher die Ergebnisse nach ihrer Relevanz eingeteilt werden.

<sup>129</sup> vgl. Okoli (2015), S.884ff.

<sup>130</sup> vgl. Rhamdhani et al. (2014), S.50ff.

<sup>131</sup> vgl. Crossan & Apaydin (2010), S.1158ff.

<sup>132</sup> vgl. Cronin et al. (2008), S.39ff.

<sup>133</sup> vgl. Kitchenham (2004), S.3ff.

Nachdem alle relevanten Studien identifiziert und für die weitere Verwendung überprüft wurden, sind systematisch die zutreffenden Informationen aus diesen Studien zu extrahieren und die notwendigen Inhalte zu konkludieren.

### 5. Analyse der finalen Ergebnisse

Abschließend werden die finalen und zusammengefassten Ergebnisse hinsichtlich der definierten Fragestellung analysiert, um Anforderungen für das Management-Modell ableiten zu können.

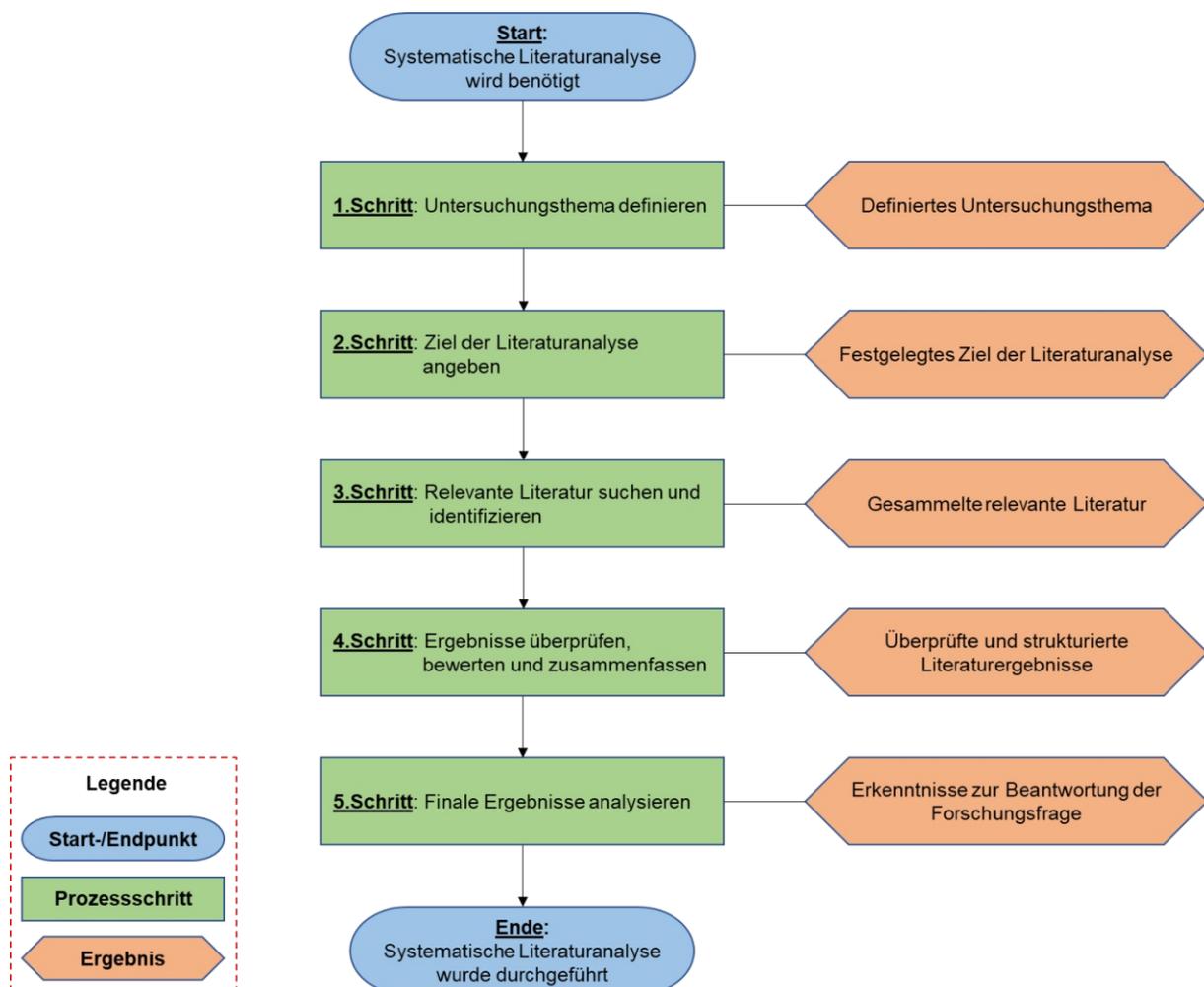


Abbildung 33: Vorgehensweise bei der Durchführung der systematischen Literaturanalyse (dargestellt als Prozess)

### 3.1.3 Durchführung der systematischen Literaturanalyse

Nachfolgend wird die im vorangegangenen Kapitel beschriebene Vorgehensweise zur Durchführung der systematischen Literaturanalyse schrittweise angewendet:

#### 1. Definition des Untersuchungsthemas

In Kapitel 1.1 wurde die Problemstellung als auch die zu beantwortende Forschungsfrage für diese Arbeit angeführt. Da das Forschungsproblem darin besteht, ein ganzheitliches Obsoleszenzmanagement-Modell für den sicherheitskritischen Bereich zu entwickeln, ist es erforderlich dieses in mehrere Themenbereiche aufzugliedern. Daraus resultierend ergeben sich folgende Hauptthemen für die Untersuchung mittels der systematischen Literaturanalyse:

- Hardware-Obsoleszenzmanagement
- Software-Obsoleszenzmanagement
- Obsoleszenzmanagement-Modelle/Ansätze
- Obsoleszenzmanagement-Strategien
- Obsoleszenzmanagement im sicherheitskritischen (bzw. lebenserhaltungsdominanten) Bereich

#### 2. Angabe des Ziels der Literaturanalyse

Das Hauptziel der Literaturanalyse ist es den aktuellen Stand der Forschung im Bereich Obsoleszenzmanagement (sowohl Hardware als auch Software), mit Fokus auf vorhandene Ansätze und Strategien sowie im Kontext sicherheitskritischer Systeme, zu erfassen.

Um dieses Ziel zu erreichen, die Literatursuche zu strukturieren und den Fokus auf die Analyse der Erkenntnisse zu legen, werden Kontrollfragen zu den Subthemen definiert:

- Hardware-Obsoleszenzmanagement
  - „Welche Ursachen existieren für das Auftreten von Obsoleszenz bei Hardwarekomponenten?“
  - „Welche Anwendungsfelder bestehen für Hardware-Obsoleszenz?“
  - „Welche Faktoren werden bei der Umsetzung von Obsoleszenzmanagement bei Hardwarekomponenten berücksichtigt?“
- Software-Obsoleszenzmanagement
  - „Welche Ursachen existieren für das Auftreten von Obsoleszenz bei Softwarekomponenten?“
  - „Welche Anwendungsfelder bestehen für Software-Obsoleszenz?“
  - „Welche Faktoren werden bei der Umsetzung von Obsoleszenzmanagement bei Softwarekomponenten berücksichtigt?“

- Obsoleszenzmanagement-Modelle/Ansätze
  - „Welche Modelle bzw. Ansätze existieren zum Managen von Obsoleszenz?“
  - „Was sind Parameter zur Bewertung eines Obsoleszenzrisikos?“
  - „Wie werden Risikolevel ausgedrückt und angegeben?“
- Obsoleszenzmanagement-Strategien
  - „Welche Anwendungsstrategien werden beim Obsoleszenzmanagement verfolgt?“
  - „Welche Maßnahmen gibt es innerhalb der Strategien?“
  - „Wie sehen Prozesse für die Umsetzung der Strategien aus?“
- Obsoleszenzmanagement im sicherheitskritischen (bzw. lebenserhaltungsdominanten) Bereich
  - „Was sind generelle Merkmale von sicherheitskritischen (bzw. lebenserhaltungsdominanten) Industrie-sektoren?“
  - „Welche Faktoren müssen im sicherheitskritischen (bzw. lebenserhaltungsdominanten) Bereich hinsichtlich Obsoleszenz berücksichtigt werden?“

### 3. Suche und Identifikation relevanter Literatur

Um einen entsprechenden Umfang sowie einen systematischen Ansatz zu gewährleisten, werden bestimmte Kriterien für die Literaturrecherche festgelegt:

- Webbasierte Suche unter Verwendung folgender elektronischer Datenbanken:
  - SpringerLink<sup>134</sup>
  - ScienceDirect<sup>135</sup>
  - IEEE Xplore<sup>136</sup>
  - Google Scholar<sup>137</sup>
  - CatalogPlus<sup>138</sup> (Datenbank der Technischen Universität Wien)
- 1. Grad der Auswahl-/Ausschlusskriterien:
  - Zeitraum der Veröffentlichungen: 2000 – 2020
  - Sprache der Publikationen: Englisch (primär) und Deutsch (sekundär)
  - Berücksichtigte Art der Literatur: Forschungsartikel (Zeitschrift oder Konferenz), Bücher, Dissertationen, Normen, VDI-Richtlinien
  - Erforderliche Textmenge: Volltext erforderlich
  - Verwendete Schlüsselwörter und Suchbegriffe: siehe Tabelle 4

<sup>134</sup> <https://link.springer.com/>

<sup>135</sup> <https://www.sciencedirect.com/>

<sup>136</sup> <https://ieeexplore.ieee.org/Xplore/home.jsp>

<sup>137</sup> <https://scholar.google.com/>

<sup>138</sup> <https://catalogplus.tuwien.at/>

Nr.	Schlüsselwörter /Suchbegriffe
1	Obsolescence Management
2	Obsolescence Management AND Hardware
3	Obsolescence Management AND Software
4	Obsolescence Management AND Model
5	Obsolescence Management AND Approach
6	Obsolescence Management AND Strategies
7	Obsolescence AND Assessment
8	Obsolescence AND Process
9	Obsolescence AND Forecasting
10	Obsolescence AND Safety-Critical
11	Obsolescence AND Sustainment-Dominated
12	Diminishing Manufacturing Sources And Material Shortages
13	DMSMS
14	Hardware Obsolescence
15	Software Obsolescence
16	Obsoleszenzmanagement

**Tabelle 4: Verwendete Schlüsselwörter und Suchbegriffe für die Literaturrecherche**

Der systematische Ansatz schließt Publikationen verschiedener Anwendungsfelder ein, womit eine umfassende und multiperspektivische Sichtweise auf die Konzepterstellung des Management-Modells sichergestellt wird. Dadurch kann ein neues Management-Modell besser abgeleitet werden, welches die Anwendung von Obsoleszenzmanagement für sicherheitskritische Hardware- und Softwarekomponenten näher beschreibt.

- 2.Grad der Auswahl-/Ausschlusskriterien:
  - Bezug zu den Hauptthemen des Forschungsproblems: Ja/Nein
  - Geeignet zur Beantwortung der Kontrollfragen: Ja/Nein
  - Ausreichende Qualität der Literatur: Ja/Nein

Die Beurteilung dieser Kriterien erfolgt durch die Einschätzung bzw. das Urteil des Rezensenten nach Durchsicht der Titel und Abstracts.

Nach einer Vorprüfung der angeführten Datenbanken wurde festgestellt, dass die Relevanz der Literatur zur Beantwortung der Kontrollfragen ab einem gewissen Suchergebnis wesentlich abnimmt. Aus diesem Grund wurde eine weitere Parametrierung der Suche hinsichtlich der Anzahl der berücksichtigten Ergebnisseiten vorgenommen.

Die Ergebnisse der Suchvorgänge für alle Datenbanken sowie die zugehörigen Suchparameter sind im Anhang in Tabelle 9 bis Tabelle 13 vollständig dokumentiert.

#### 4. Überprüfung, Bewertung sowie Zusammenfassung der Ergebnisse

Die nach dem 2.Grad der Auswahl-/Ausschlusskriterien verbliebenen Ergebnisse wurden entsprechend den definierten Themengebieten der theoretischen Grundlagen eingeteilt und lokal auf dem Computer nach ihrer Relevanz strukturiert.

Nach weiterer Durchsicht und Analyse der Volltexte wurden schließlich 24 Literaturquellen identifiziert, welche für die Entwicklung des ganzheitlichen Obsoleszenzmanagement-Modells berücksichtigt werden. In Abbildung 34 werden diese Literaturquellen in einer Ergebnismatrix den jeweiligen Themenbereichen des Obsoleszenzmanagements gegenübergestellt.

Modelle/Ansätze			Strategien			THEMENBEREICH  LITERATUR
Hardware- und Software-Obsoleszenz (Kombination)	Software-Obsoleszenz	Hardware-Obsoleszenz	Strategisches Obsoleszenzmanagement	Proaktives Obsoleszenzmanagement	Reaktives Obsoleszenzmanagement	
		x	x	x	x	Bartels et al. (2012)
		(x)	x	x	x	Bartels & Haefls (2018)
	x			x		Bowlds et al. (2018)
		(x)			x	Cuculoski (2013)
	(x)	(x)	x	x	x	DIN EN 62402 (2017)
	(x)		x	x	x	Erkoyuncu et al. (2014)
		(x)		x		Jennings et al. (2016)
	(x)		x	x	x	Muñoz et al. (2015a)
	(x)		x	x		Muñoz et al. (2017)
		(x)			x	Meng et al. (2014)
		(x)	x		x	Romero Rojo et al. (2009)
	(x)		x	x	x	Romero Rojo et al. (2010)
		x		x	x	Romero Rojo et al. (2012)
	(x)		x	x	x	Sandborn (2007)
		(x)	x			Sandborn (2013)
		(x)		x		Sandborn et al. (2007)
		(x)		x		Sandborn et al. (2011)
		(x)	x			Sandborn & Myers (2008)
		(x)	x			Sandborn & Prabhakar (2015)
	x			x		Schmid et al. (2016)
		(x)	x	x	x	Schnieder (2018)
		(x)	x			Singh & Sandborn (2006)
		(x)		x		Solomon et al. (2000)
		(x)	x	x	x	VDI 2882 (2016)

Abbildung 34: Ergebnismatrix der analysierten Literatur in Bezug auf die entsprechenden Themenbereiche

In der Ergebnismatrix bedeute ein „x“, dass die Literaturquellen thematisch zu den jeweiligen Bereichen einen Mehrwert liefern. Hingegen bedeutet ein „(x)“, dass die Literaturquelle zwar den Bereich Hardware- oder Software-Obsoleszenz umfasst, allerdings keine konkreten Modelle bzw. Ansätze mit entsprechenden Parametern anführt. Des Weiteren zeigt die Matrix auf, dass eine Forschungslücke hinsichtlich vorhandener Modelle, welche das Obsoleszenzproblem holistisch betrachten, besteht.

Aufgrund der Tatsache, dass keine ganzheitlichen Management-Modelle bzw. Ansätze im Bereich des Obsoleszenzmanagements in der Literatur gefunden wurden respektive existieren, wird auf theoretische Rahmenkonzepte als auch bestehende Modelle zur Ableitung und Entwicklung des neuen Modells zurückgegriffen.

### 5. Analyse der finalen Ergebnisse

Im letzten Schritt wurden die zusammengefassten Literaturergebnisse in Bezug auf die Forschungsfrage analysiert. Die relevanten Ergebnisse und Erkenntnisse der systematischen Literaturanalyse sind in Kapitel 3.1.4 ersichtlich. Diese dienen als Grundlage zur Erstellung der Concept Map und in weiterer Folge zur Entwicklung des ganzheitlichen Obsoleszenzmanagement-Modells.

### 3.1.4 Ergebnisse und Erkenntnisse der systematischen Literaturanalyse

Im Zuge der Ausarbeitung der theoretischen Grundlagen sowie der Analyse der relevanten Literaturergebnisse wurden bestimmte Anforderungen für das ganzheitliche Obsoleszenzmanagement-Modell abgeleitet und formuliert. In Tabelle 5 werden diese Anforderungen übersichtlich zusammengefasst.

<b>Abgeleitete Anforderungen für das ganzheitliche Obsoleszenzmanagement-Modell</b>			
<i>Nr.</i>	<i>Bezeichnung der Anforderung</i>	<i>Kapitel</i>	<i>Literatur</i>
A1	Ein Obsoleszenzmanagementplan soll als zentrales Dokument dienen	2.2	DIN EN 62402 (2017)
A2	Der Obsoleszenzmanagementplan soll einem kontinuierlichen Verbesserungsprozess unterliegen	2.1.1	Bartels et al. (2012)
A3	Ein reaktiver Prozess zum Umgang mit Abkündigungs- bzw. Änderungsmitteilungen soll erstellt werden	2.2.1	DIN EN 62402 (2017), VDI 2882 (2016), Bartels et al. (2012), Romero Rojo et al. (2009), Cuculoski (2013), Meng et al. (2014)

A4	Ein proaktiver Prozess zur Beurteilung des Obsoleszenzrisikos soll erstellt werden	2.2.2	VDI 2882 (2016), DIN ISO 31000 (2018), DIN 62402 (2017), Romero Rojo et al. (2009), Romero Rojo et al. (2012)
A5	Reaktive Maßnahmen zum Umgang mit eingetretenen Obsoleszenzen sollen definiert werden	2.2.1	DIN EN 62402 (2017), VDI 2882 (2016), Bartels et al. (2012), Romero Rojo et al. (2009), Cuculoski (2013), Meng et al. (2014), Bartels & Haeffs (2018), Schnieder (2018)
A6	Eine geeignete Methode zur Lebenszyklusprognose soll gewählt werden	2.3	Bartels et al. (2012), Solomon et al. (2000), Sandborn et al. (2007), Sandborn et al. (2011), Jennings et al. (2016)
A7	Ein Risikobewertungsschema für obsoleszenzkritische HW-Komponenten soll entwickelt werden	2.2.2	Romero Rojo et al. (2012)
A8	Strategische Maßnahmen zur Obsoleszenzbehandlung sollen für die unterschiedlichen Projektphasen festgelegt werden	2.2.3	VDI 2882 (2016), Bartels et al. (2012), DIN EN 62402 (2017), Romero Rojo et al. (2009), Sandborn & Myers (2008), Sandborn & Prabhakar (2015), Sandborn (2013), Singh & Sandborn (2006), Bartels & Haeffs (2018), Schnieder (2018)
A9	Software-Obsoleszenz soll auf zwei Ebenen (Entwicklungs- und Zielumgebung) berücksichtigt werden	2.4.1	Romero Rojo et al. (2010), Muñoz et al. (2017)
A10	Software-Obsoleszenztreiber sollen definiert und analysiert werden	2.4.2	Muñoz et al. (2017)
A11	Strategien und Maßnahmen zur Bekämpfung von Software-Obsoleszenz sollen ausgearbeitet werden	2.4.3	Sandborn (2007), Romero Rojo et al. (2010), Erkoyuncu et al. (2014), Muñoz et al. (2015a)
A12	Kriterien zur Risikobeurteilung von Software-Obsoleszenz sollen bestimmt werden	2.4.4	Schmid et al. (2016), Bowlds et al. (2018)

Tabelle 5: Abgeleitete Anforderungen für das ganzheitliche Obsoleszenzmanagement-Modell

## 3.2 Concept Mapping

Die Organisation und Abbildung von Wissen erfolgt durch die Verwendung eines grafischen Werkzeugs, der sogenannten „Concept Map“. Der Begriff des Konzepts wird wie folgt definiert: „*as a perceived regularity in events or objects, or records of events or objects, designated by a label*“.<sup>139</sup>

Das Prinzip der Concept Map hat seinen Ursprung im Jahre 1972 im Forschungsfeld der Kindererziehung und wurde von Novak aus der Notwendigkeit heraus entwickelt, eine bessere Möglichkeit zu realisieren, um das konzeptuelle Verständnis von Kindern visuell darzustellen.<sup>140</sup>

Um die gewonnenen Ergebnisse und Erkenntnisse der systematischen Literaturanalyse in das ganzheitliche Obsoleszenzmanagement-Modell zu überführen, wird eine Concept Map erstellt. Angesichts der Vielzahl an relevanten Aspekten für ein ganzheitliches Modell soll durch die Concept Map gewährleistet werden, dass die substantiellen Inhalte entsprechend strukturiert und logisch verknüpft werden.

### 3.2.1 Einführung in das Concept Mapping

Der semantische Aufbau von Concept Maps lässt sich grundsätzlich in drei Basiselemente einteilen: Konzepte, Querverbindungen sowie Propositionen. Die Konzepte bilden die Knotenpunkte der visuellen Darstellung und werden durch wahrgenommene Regelmäßigkeiten sowie Muster beschrieben, zwischen denen eine Beziehung besteht. Die Beziehung wird durch Querverbindungen realisiert und der Einsatz von Propositionen zwischen zwei oder mehr Konzepten schafft einen aussagekräftigen Zusammenhang.

Die Erstellung der Concept Map folgt dabei bestimmten Charakteristiken:<sup>141 142</sup>

- Die Concept Map wird in Referenz zu einer „Fokusfrage“ konstruiert, welche es zu beantworten gilt.
- Konzepte werden in einer hierarchischen Struktur in Form von Kästchen und/oder Kreisen angeordnet (allgemein zu spezifisch).
- Die Elemente der hierarchischen Struktur werden grundsätzlich von oben nach unten hin verzweigt.
- Die Einbeziehung von Querverbindungen bzw. die Darstellung der Beziehungen zwischen den Konzepten erfolgt durch die Verwendung von Verbindungslinien.

<sup>139</sup> vgl. Novak & Cañas (2008), S.1

<sup>140</sup> vgl. Novak & Cañas (2008), S.3

<sup>141</sup> vgl. Novak & Cañas (2008), S.1ff.

<sup>142</sup> vgl. Chou (2014) S.443

- Die Beziehungen zwischen den Konzepten werden durch Verbindungsworte oder Phrasen (z.B. „schließt ein“, „zwischen“, „resultiert in“, „sollte kombiniert werden mit“ etc.) artikuliert.

Der entscheidende Vorteil bei der Verwendung von Concept Maps ist die umfassende Abbildung von komplexen Informationen auf einen Blick, wodurch die Aufnahme von Wissen erleichtert und gefördert wird. Concept Maps stellen nicht nur ein leistungsfähiges Werkzeug zur Erfassung, Darstellung und Archivierung von Wissen dar, sondern sind ein praktisches Hilfsmittel zur Schaffung neuen Wissens.

### 3.2.2 Vorgehensweise beim Concept Mapping

Die Concept Map der vorliegenden Arbeit dient der Darstellung der konzeptuellen Beziehungen der Forschungsthemen als auch der zusammenfassenden, visuellen Aufbereitung der Ergebnisse der systematischen Literaturanalyse.

Die Vorgehensweise beim Erstellen der Concept Map wird durch die folgenden vier Schritte beschrieben:<sup>143</sup>

#### 1. Definition der Fokusfrage

Im ersten Schritt wird der relevante Wissensbereich identifiziert, um in weiterer Folge den Kontext, in welchem die Konzepte organisiert werden, festzulegen. In diesem Zusammenhang erfolgt die praktische Umsetzung durch die Formulierung einer sogenannten „Fokusfrage“. Das Ziel der Concept Map stellt die Beantwortung dieser Fokusfrage, durch geeignete Verwendung von hierarchischen Strukturen und Querverbindungen zwischen den Konzepten, dar.

In dieser Arbeit wird folgende Fokusfrage definiert:

*„Was sind die Charakteristika eines ganzheitlichen Obsoleszenzmanagement-Modells im sicherheitskritischen Bereich?“*

#### 2. Identifikation der Schlüsselkonzepte

Bezogen auf die Fokusfrage werden in diesem Schritt die Schlüsselkonzepte identifiziert. Die konkrete Definition der Schlüsselkonzepte wird u.a. mittels einer Durchsicht der Literatur wie auch Workshops respektive Besprechungen mit Experten in diesem Bereich durchgeführt.

#### 3. Identifikation der Subkonzepte

Umfassendere Forschung in dem definierten Kontext ermöglicht die Identifikation von Subkonzepten, welche in Beziehung zu den Schlüsselkonzepten stehen und

<sup>143</sup> vgl. Novak & Cañas (2008), S.11ff.

die hierarchische Struktur der Concept Map bilden. Die Anzahl an Ebenen hängt hierbei von der Komplexität der Thematik und dem erforderlichen Detailgrad ab.

#### 4. Definition der Beziehungen und Finalisierung

Die vorläufige Concept Map wird im letzten Schritt durch die Implementierung von Querverbindungen und Propositionen in Form von Verbindungslinien und -wörtern in unterschiedliche Cluster gegliedert. Darauf folgend wird die Concept Map durch mehrmalige Überarbeitung „finalisiert“. Konzepte werden neu positioniert, wodurch mehr Klarheit und eine bessere Gesamtstruktur geschaffen wird.

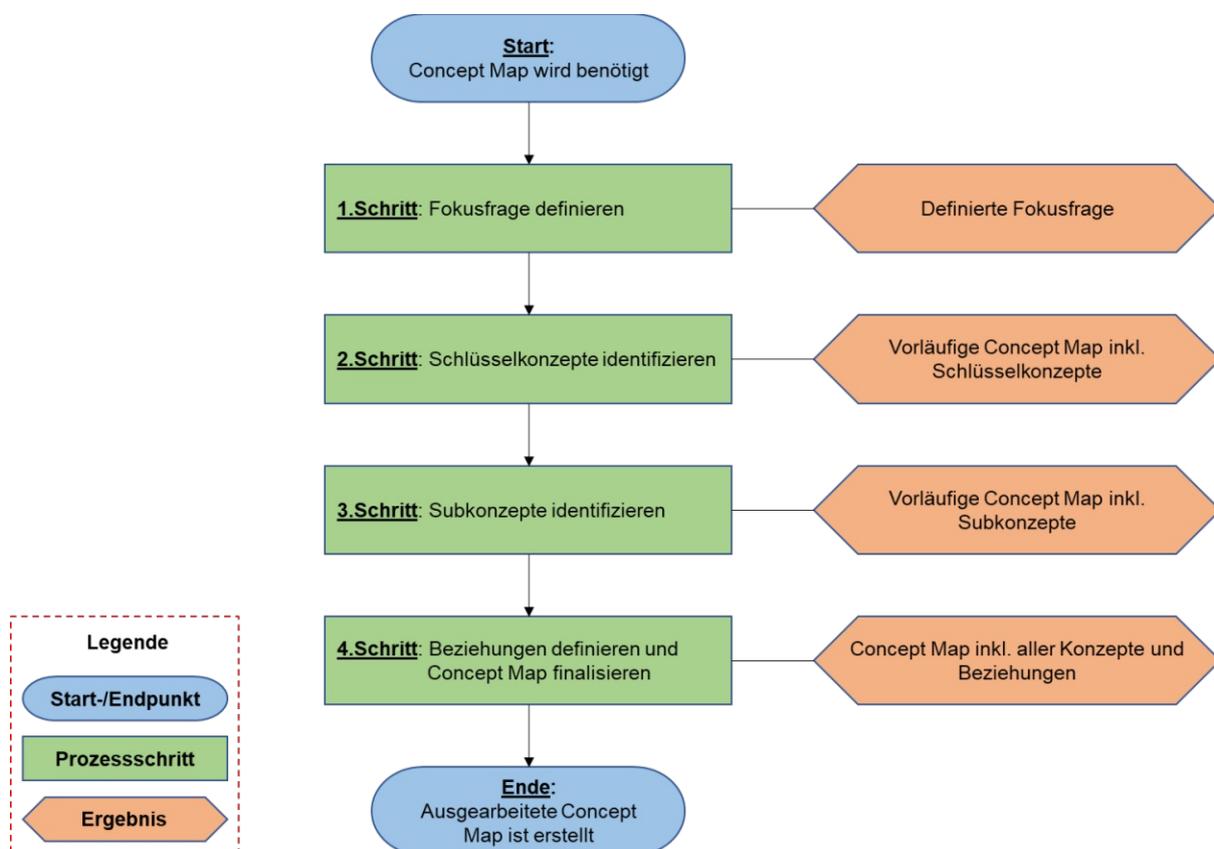


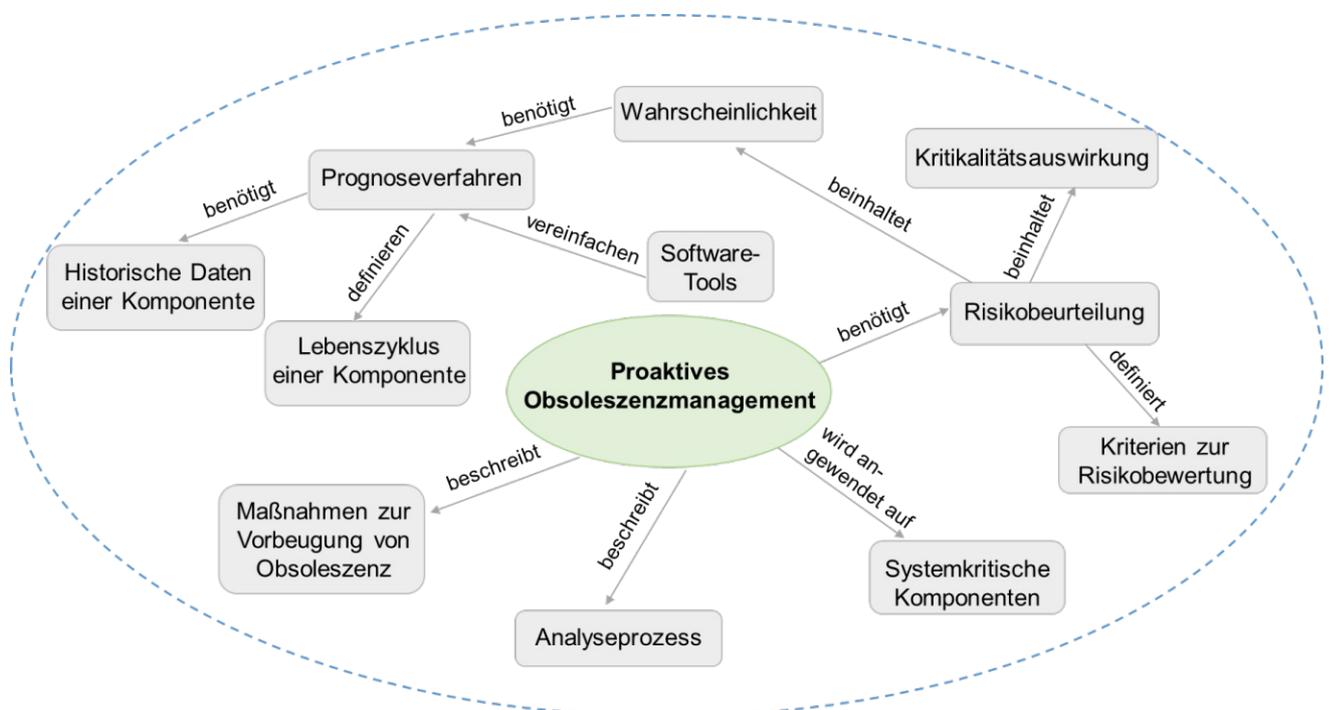
Abbildung 35: Vorgehensweise bei der Erstellung der Concept Map (dargestellt als Prozess)

### 3.2.3 Resultierende Concept Map für diese Arbeit

Anhand der dargelegten Vorgehensweise sowie unter Zuhilfenahme des theoretischen Hintergrundwissen und der daraus abgeleiteten Anforderungen, wurde eine Concept Map für ein ganzheitliches Obsoleszenzmanagement erarbeitet. Dabei wurde das Ziel verfolgt, die für ein Modell relevanten Konzepte gedanklich zu ordnen, zu visualisieren und durch Setzen von Beziehungen ein Netzwerk zu spannen. Das Ergebnis der ausgearbeiteten Concept Map ist im Anhang in Abbildung 55 ersichtlich.

Es konnten sechs Schlüsselkonzepte identifiziert werden: Hardware- und Software-Obsoleszenz, reaktives, proaktives und strategisches Obsoleszenzmanagement sowie Obsoleszenzmanagementplan. Bei der Erfassung der zugehörigen Subkonzepte sowie der Bestimmungen der Beziehungen wurde explizit auf eine möglichst übersichtliche Darstellung Rücksicht genommen. Die Concept Map sollte dabei nicht jedes kleine Merkmal des Obsoleszenzmanagement abbilden, sondern als Gedankenstütze und Orientierungshilfe bei der Erstellung des ganzheitlichen Obsoleszenzmanagement-Modells dienen.

In Abbildung 36 wird zur Verdeutlichung das Schlüsselkonzept „Proaktives Obsoleszenzmanagement“ inklusive der zugehörigen Subkonzepte exemplarisch veranschaulicht.



**Abbildung 36: Beispielhafte Darstellung des Schlüsselkonzepts „Proaktives Obsoleszenzmanagement“**

## 4 Entwicklung des ganzheitlichen Obsoleszenzmanagement-Modells

In diesem Kapitel wird das ganzheitliche Obsoleszenzmanagement-Modell vorgestellt. Zunächst wird kurz die Vorgehensweise bei der Entwicklung des Modells erläutert, dann die Struktur des Modells begründet und im Anschluss wird das Modell mit seinen Eigenschaften näher beschrieben.

### 4.1 Übersicht des ganzheitlichen Obsoleszenzmanagement-Modells

Die Entwicklung des ganzheitlichen Obsoleszenzmanagement-Modells wurde anhand der Methodik des Design-Science-Paradigmas durchgeführt, wie bereits in Kapitel 1.2 beschrieben. Ausschlaggebend bei der Konzeptionierung war eine vertiefende Auseinandersetzung mit der zugrundeliegenden Theorie in dem Themenbereich Obsoleszenzmanagement. Hier wurde das notwendige Hintergrundwissen erlangt sowie alle relevanten Aspekte näher beleuchtet. Daraus konnten schließlich zwölf Anforderungen abgeleitet und sechs Schlüsselkonzepte bzw. Cluster im Zuge der Concept Map erarbeitet werden. Diese Anforderungen sowie Hauptkonzepte fließen in das ganzheitliche Obsoleszenzmanagement-Modell ein und spiegeln sich in der Darstellung als auch dem Aufbau des Modells wider.

Einerseits wurde auf bereits bestehende Modelle bzw. Methoden zurückgegriffen, andererseits wurden die gewonnenen Erkenntnisse im Zuge der Auswertung bei Frequentis AG verwendet. Basierend darauf wurde ein neues Managementmodell induziert, welches das Obsoleszenzmanagement ganzheitlich abdecken soll. Durch eine iterative Vorgehensweise bei der Entwicklung konnte ein generisches Modell abgeleitet werden. Das Endresultat des ganzheitlichen Obsoleszenzmanagement-Modells wird in Abbildung 37 dargestellt.

Die Struktur des ganzheitlichen Obsoleszenzmanagement-Modells orientiert sich hierbei an einem Zwiebelmodell. Dadurch soll gewährleistet werden, dass die erforderlichen Dimensionen in Relation zueinander abgebildet sind. Das Modell setzt sich aus drei Hauptebenen bzw. -schichten zusammen:

1. Ebene:

Obsoleszenzmanagementplan inkl. reaktivem, proaktivem und strategischem Obsoleszenzmanagement

2. Ebene:

Hardware-Obsoleszenzmanagement inkl. der zugehörigen Attribute

3. Ebene:

Software-Obsoleszenzmanagement inkl. der zugehörigen Attribute

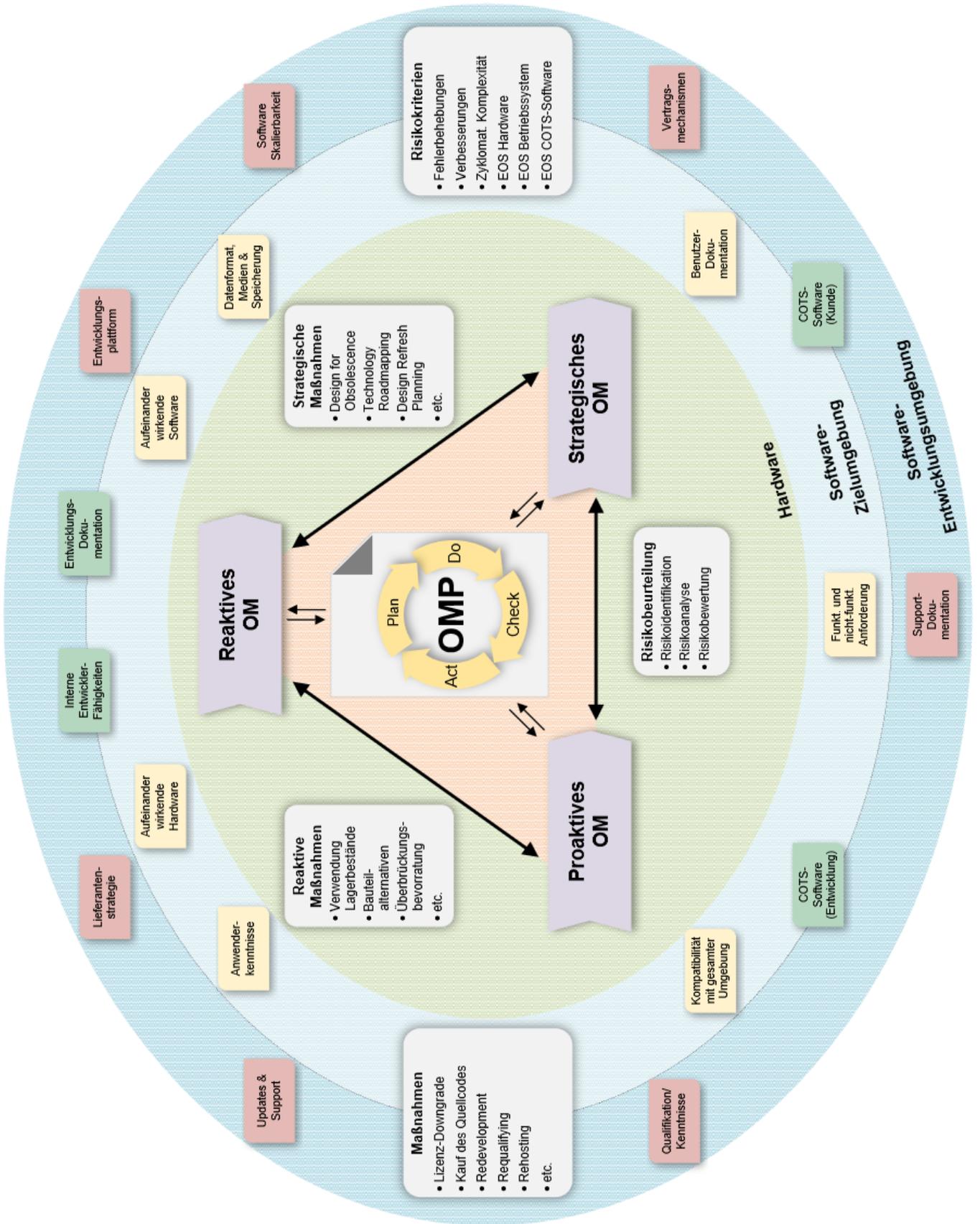


Abbildung 37: Ganzheitliches Obsoleszenzmanagement-Modell

## 4.2 Das ganzheitliche Obsoleszenzmanagement-Modell

Das ganzheitliche Obsoleszenzmanagement-Modell liefert einen umfassenden Überblick über das komplexe Themenfeld Obsoleszenzmanagement, welches an Relevanz in der Industrie gewinnt. Das hier entwickelte Modell zielt darauf ab, den vorliegenden Sachverhalt in einer möglichst einfachen und strukturierten Form abzubilden. Beim Aufbau des ganzheitlichen Obsoleszenzmanagement-Modells wurde darauf geachtet, dass ausschließlich relevante Aspekte miteinbezogen werden und die Anzahl dieser bewusst beschränkt ist. Durch diese Herangehensweise soll sichergestellt werden, dass die wichtigen Zusammenhänge für den Anwender leicht verständlich sind.

### 4.2.1 Anwendungsbereich des ganzheitlichen Obsoleszenzmanagement-Modells

Grundsätzlich ist jedes Management-Modell in einem definierten Kontext zu verwenden sowie für einen bestimmten Anwendungsbereich ausgelegt. Das ganzheitliche Obsoleszenzmanagement-Modell legt den Fokus auf sicherheitskritische und lebenserhaltungsdominante Systeme, bei welchen eine Supportdauer sowie Komponentenversorgung für 15-30 Jahre (je nach dem zugrunde liegenden Vertrag) gewährleistet wird. Das Modell wurde so konzipiert, dass es weitgehend auf andere Bereiche und Branchen anwendbar ist, bei denen eine Nichtverfügbarkeit von Komponenten einen negativen Einfluss auf die Sicherheit des Systems darstellen würde.

Der Anwendungsbereich des generischen Management-Modells beschränkt sich zudem nicht auf Hardware-Komponenten, sondern berücksichtigt wichtige Aspekte im Zusammenhang mit Software-Komponenten.

### 4.2.2 Aufbau des ganzheitlichen Obsoleszenzmanagement-Modells

Wie eingangs beschrieben, besteht das ganzheitliche Obsoleszenzmanagement-Modell aus drei Hauptebenen und ist dabei von der Mitte nach außen hin zu lesen bzw. zu verwenden.

Die erste Ebene bildet den Kern des ganzheitlichen Obsoleszenzmanagement-Modells (siehe Abbildung 38). Im Mittelpunkt steht hierbei der Obsoleszenzmanagementplan. Dieser ist das zentrale Dokument bei der Verwaltung aller essentiellen Angelegenheiten in Bezug auf Obsoleszenz. Der OMP enthält und beschreibt u.a.

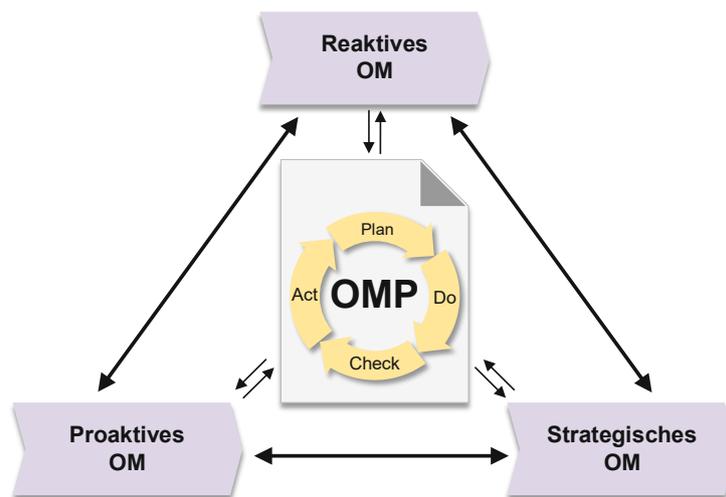
- die Ziele im Umgang mit Obsoleszenzmanagement,
- setzt Rollen sowie Verantwortlichkeiten innerhalb der Organisation fest,
- definiert Planungsaktivitäten,

- erläutert die Vorgehensweise bei der Obsoleszenzanalyse und Risikobeurteilung und
- kalkuliert das Budget sowie allfällige Finanzierungen.

Der OMP liefert alle relevanten Informationen, die für eine erfolgreiche Ausführung der Obsoleszenzmanagement-Prozesse unerlässlich sind.

Der Obsoleszenzmanagementplan kann einerseits als ein rein internes Dokument genutzt werden oder für unterschiedliche Projekte einzeln geführt werden. Zweiteres macht insbesondere dann Sinn, sobald Projekte eine gewisse Dimension erreichen, sodass ein allgemeiner OMP nicht ausreichend ist. Um auf das dynamische Umfeld und die wechselnden Anforderungen im sicherheitskritischen Bereich einzugehen, wird der OMP durch die Integration in einen PDCA-Zyklus regelmäßig aktualisiert sowie kontinuierlich optimiert.

Durch die Nutzung eines Obsoleszenzmanagementplans und seine kontinuierliche Verbesserung werden die Anforderungen A1 und A2 abgedeckt.



**Abbildung 38: 1. Ebene des ganzheitlichen Obsoleszenzmanagement-Modells**

Die Eckpfeiler der ersten Ebene stellen die drei Obsoleszenzmanagement-Prozesse dar. Im Zuge der Ausarbeitung der theoretischen Grundlagen wurde festgestellt, dass für eine ganzheitliche Betrachtung des Obsoleszenzproblems alle drei Strategien verfolgt werden müssen.

Der reaktive Obsoleszenzmanagement-Prozess ist in Abbildung 39 dargestellt und besteht aus drei Hauptprozessschritten. Ausgelöst wird der Prozess durch eine Abkündigungs- bzw. Änderungsmitteilung oder durch eine Absage seitens des Herstellers im Zuge einer Bestellung. Der erste Schritt liegt darin, die erhaltenen Informationen zu verarbeiten und für den konkreten Fall zu bewerten. In weiterer Folge gilt es Erkenntnisse hinsichtlich der obsoleten Komponente zu sammeln und

zusammenzutragen, um daraus Maßnahmen ableiten und eine Entscheidung treffen zu können. Abschließend werden die Informationen an die entsprechenden Stellen weitergeleitet und der Lösungsansatz für die betroffene Komponente umgesetzt.

Mit der Einführung eines reaktiven Prozesses wird die Anforderung A3 erfüllt.

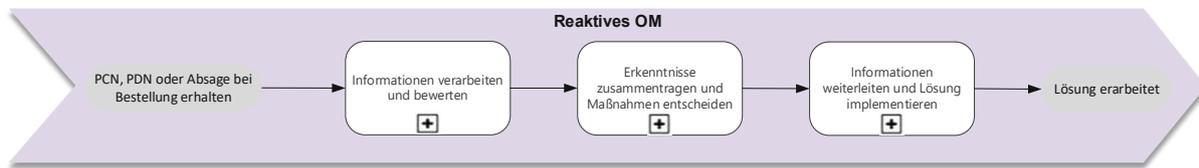


Abbildung 39: Reaktiver Obsoleszenzmanagement-Prozess

Der proaktive Obsoleszenzmanagement-Prozess ist in Abbildung 40 veranschaulicht und umfasst vier Hauptprozessschritte. Der Auslöser für diesen Prozess ist die Notwendigkeit einer Beurteilung des Obsoleszenzrisikos. Dabei werden im ersten Schritt die zu analysierenden Komponenten aus den jeweiligen Stücklisten extrahiert und nach ihrer Systemrelevanz gefiltert. Daraufhin wird für jede dieser Komponenten eine Risikoanalyse durchgeführt und infolgedessen die Komponenten basierend auf ihrem Risiko priorisiert sowie passende Maßnahmen abgeleitet. Danach wird das Risikoregister aktualisiert. Der Prozess wird iterativ durchgeführt, sobald eine neue Analyse erforderlich ist respektive ein periodisches Update ansteht.

Mit der Einführung eines proaktiven Prozesses wird die Anforderung A4 erfüllt.

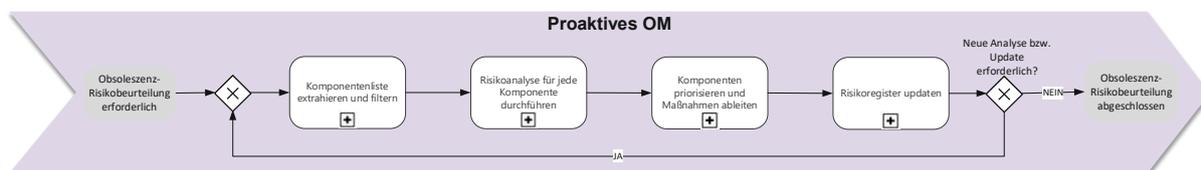
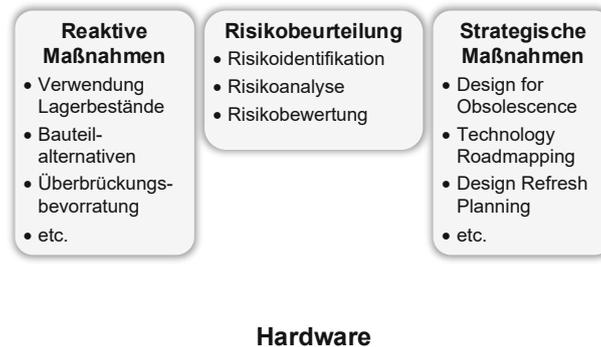


Abbildung 40: Proaktiver Obsoleszenzmanagement-Prozess

Der reaktive und proaktive Obsoleszenzmanagement-Prozess werden im Kapitel 5 im operativen Kontext bei Frequentis AG umgesetzt und die Hauptprozessschritte im Detail beschrieben.

Im Gegensatz zu den beschriebenen Prozessen, lässt sich für den strategischen Obsoleszenzmanagement-Prozess kein allgemeingültiger Ablauf ableiten. Der strategische Ansatz erstreckt sich über mehrere Projektphasen und für jede dieser Projektphasen liegen unterschiedliche Maßnahmen vor. Aus diesem Grund ist zunächst eine Entscheidung über die zu verfolgenden Maßnahmen zu treffen, bevor in weiterer Folge ein Prozess zur Umsetzung in der jeweiligen Phase definiert wird.

Die zweite Ebene des ganzheitlichen Obsoleszenzmanagement-Modells wird durch das Hardware-Obsoleszenzmanagement sowie den dazugehörigen Attributen beschrieben, wie in Abbildung 41 dargestellt.



**Abbildung 41: 2. Ebene des ganzheitlichen Obsoleszenzmanagement-Modells**

Diese Ebene definiert konkrete Maßnahmen und Ansätze zur Behandlung von Obsoleszenzproblemen, die Hardware-Komponenten betreffen. Die zweite Ebene beinhaltet dabei drei Attribute.

Beim Umgang mit bereits aufgetretenen Obsoleszenzen ist es entscheidend einen Pool an klar definierten Maßnahmen vorliegend zu haben, um möglichst zeitnah auf das Problem reagieren zu können. Zu diesen Maßnahmen zählen u.a. die Verwendung vorhandener Lagerbestände, die Suche nach Bauteilalternativen, die Durchführung einer Überbrückungsbevorratung usw. Eine komplette Auflistung und Beschreibung der wichtigsten reaktiven Maßnahmen wurden in Kapitel 2.2.1 erarbeitet. Durch dieses Attribut wird die Anforderung A5 erfüllt.

Das nächste unverzichtbare Attribut ist die Risikobeurteilung von systemkritischen Komponenten. Diesbezüglich ist es ratsam sich an dem Risikomanagementprozess nach DIN ISO 31000 zu orientieren, welcher sich in Risikoidentifikation, Risikoanalyse und Risikobewertung aufteilt. Im Zuge der Risikoanalyse wird die Wahrscheinlichkeit und Kritikalitätsauswirkung für die Komponenten durchleuchtet. Für die Bewertung der Wahrscheinlichkeit ist es notwendig den Lebenszyklus zu prognostizieren, um dadurch das verbleibende Komponentenleben abschätzen zu können. Durch diesen Schritt wird die Anforderung A6 erfüllt. Im Zuge der Risikobewertung gilt es ein Schema mit spezifischen Kriterien festzulegen, wodurch die Anforderung A7 eingehalten wird. Eine konkrete Beschreibung des Risikobewertungsschemas für Hardwarekomponenten erfolgt in Kapitel 4.2.3.

Das dritte Attribut dieser Ebene wird durch strategische Maßnahmen zur Bekämpfung von Obsoleszenz beschrieben. Diese Maßnahmen sollen sicherstellen, dass Obsoleszenz in allen Phasen berücksichtigt wird. Einen zusammenfassenden Überblick gibt die Tabelle 6. Die Beschreibung dieser Maßnahmen wurde in Kapitel 2.2.3 durchgeführt. Damit wird der Anforderung A8 nachgekommen.

<b>Einteilung der strategischen Maßnahmen nach den Projektphasen</b>			
<i>Vorbereitungsphase</i>	<i>Planungs- und Designphase</i>	<i>Durchführungsphase</i>	<i>Überwachungs- und Kontrollphase</i>
Auditieren und Bewusstsein schaffen	Durchführen von Prozessanalysen	Technology Roadmapping	Kosten-Nutzen-Analyse
	Design for Obsolescence	Lieferantenmanagement	Messen der Leistungsfähigkeit und Reviews
	Vorhersagen von Markttrends	Vertragsmanagement	
	Partnerschaften mit Lieferanten	Personalmanagement	
		Design Refresh Planning	

**Tabelle 6: Einteilung der strategischen Maßnahmen nach den Projektphasen**

Die dritte und letzte Hauptebene des ganzheitlichen Obsoleszenzmanagement-Modells wird durch das Software-Obsoleszenzmanagement sowie den dazugehörigen Attributen und Obsoleszenztreibern beschrieben, wie in Abbildung 42 veranschaulicht.

Diese Ebene determiniert Maßnahmen sowie Risikokriterien zur Behandlung von Obsoleszenzproblemen, die auf Software-Komponenten anzuwenden sind. Die dritte Ebene beinhaltet dabei zwei Attribute und 18 Obsoleszenztreiber.

Basierend auf den theoretischen Grundlagen, muss im Rahmen des Software-Obsoleszenzmanagements zwischen der Entwicklungs- und Zielumgebung differenziert werden. Aus diesem Grund wurde im ganzheitlichen Obsoleszenzmanagement-Modell die dritte Ebene in zwei Unterebenen aufgeteilt, womit die Anforderung A9 erfüllt wird.

Anhand der „Software-Obsoleszenz Landkarte“ von Muñoz et al. wurden die wichtigsten Obsoleszenztreiber identifiziert und entsprechend der jeweiligen Umgebung in das Modell implementiert. Die rot dargestellten Obsoleszenztreiber wirken auf die Entwicklungsumgebung, die gelb dargestellten Obsoleszenztreiber auf die Zielumgebung und die grün dargestellten Obsoleszenztreiber an der Schnittstelle der beiden Umgebungen. Hierbei wurden die Software-Obsoleszenztreiber, welche die globalen Beschränkungen beschreiben, bewusst im Modell nicht berücksichtigt, da diese außerhalb der Organisation liegen und die Organisation somit keinen direkten Einfluss auf diese Treiber hat. Die Einbindung der Obsoleszenztreiber im Management-Modell soll dem Anwender vor Augen führen, welche Aspekte es im komplexeren Teilgebiet des Software-Obsoleszenzmanagements zu beachten gilt. Somit wird die Anforderung A10 ebenfalls abgedeckt.

Auf der zweiten Ebene müssen ebenfalls Maßnahmen zur Obsoleszenzbehandlung berücksichtigt werden. Aufgrund der mangelnden Verfügbarkeit von Maßnahmen in den verschiedenen Phasen, wird auf eine Unterteilung der Maßnahmen verzichtet und

die Maßnahmen als Summe im Modell abgebildet. Die Auflistung sowie Beschreibung der wichtigsten Maßnahmen wurden bereits in Kapitel 2.4.3 durchgeführt. Durch dieses Attribut wird die Anforderung A11 erfüllt.

Abschließend ist es relevant, spezifische Risikokriterien für die Software-Obsoleszenz zu definieren und diese nach einem festzulegenden Prinzip auszuwerten. Praktikable Beispiele für Risikokriterien sind die Anzahl der Fehlerbehebungen und Verbesserungen, der Wert der zyklomatischen Komplexität sowie die jeweiligen End-of-Support Daten der Hardware, des Betriebssystems und der COTS-Software. Mit der Berücksichtigung dieses Attributs im Management-Modell wird die letzte Anforderung A12 erfüllt.

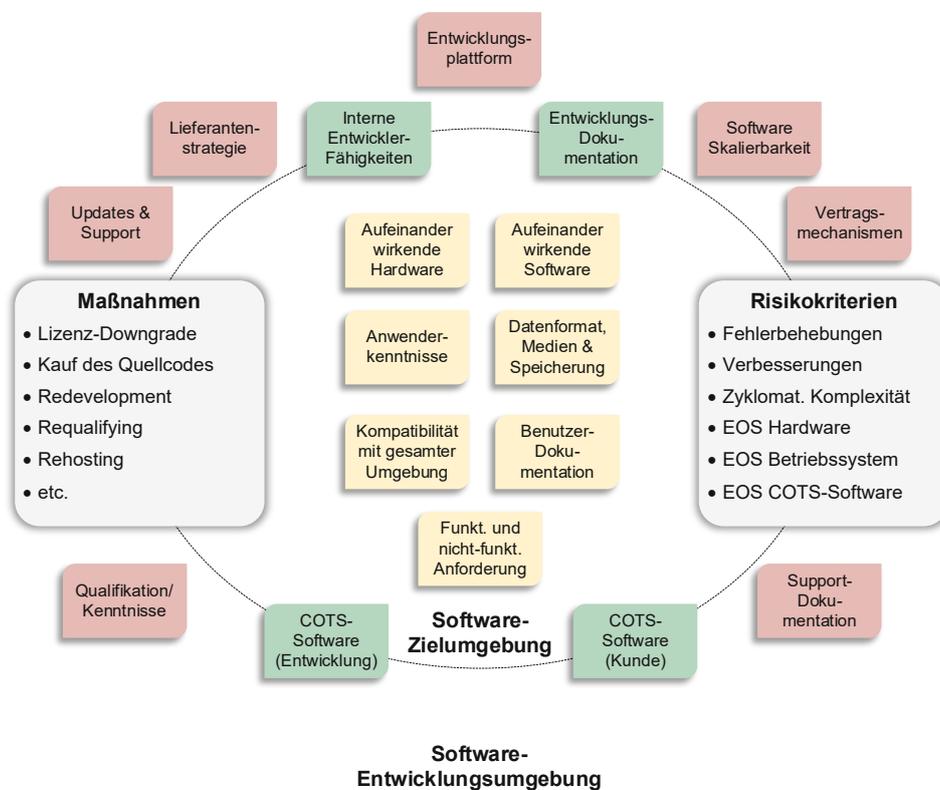


Abbildung 42: 3. Ebene des ganzheitlichen Obsoleszenzmanagement-Modells

Zusammenfassend kann festgehalten werden, dass ausschließlich unter globaler Ansicht aller drei Hauptebenen des ganzheitlichen Obsoleszenzmanagement-Modells eine optimierte Reduzierung der Lebenszykluskosten erwirkt werden kann.

#### 4.2.3 Beurteilungskriterien zur Bewertung des Obsoleszenzrisikos

Das für das ganzheitliche Obsoleszenzmanagement-Modell auf Hardware-Ebene benötigte Risikomodell knüpft an das Bewertungsschema von Romero Rojo et al. an, bei welchem sich das Obsoleszenzrisiko durch die Kombination aus

Obsoleszenzwahrscheinlichkeit und Obsoleszenzkritikalitätsauswirkung berechnet, wie in Abbildung 43 dargestellt.

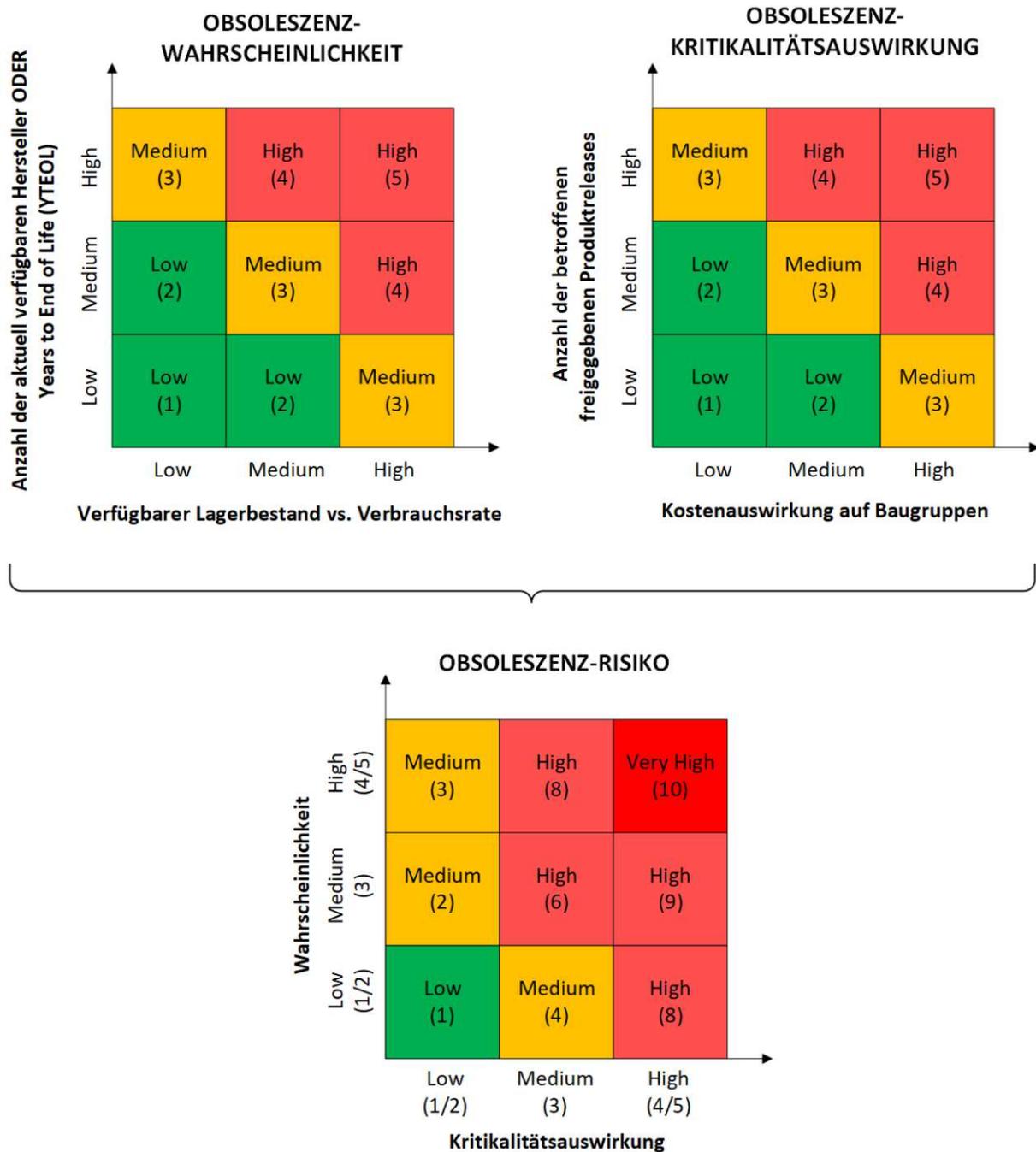


Abbildung 43: Vorgehensweise bei der Beurteilung des Obsoleszenzrisikos

Die Obsoleszenzwahrscheinlichkeit setzt sich wie bei Romero Rojo et al. aus den folgenden Parametern zusammen:

- Anzahl der aktuell verfügbaren Hersteller oder YTEOL (je nachdem welcher der beiden Parameter verfügbar ist, sind beide verfügbar wird derjenige Parameter mit der höheren Einstufung gewählt)
- Verfügbarer Lagerbestand vs. Verbrauchsrate

Für die Obsoleszenzkritikalitätsauswirkung im sicherheitskritischen Bereich ist es allerdings nicht ausreichend allein eine Unterscheidung zwischen sicherheitskritisch, missionskritisch und keines von beidem durchzuführen. Aus diesem Grund wird für die Obsoleszenzkritikalitätsauswirkung eine eigene Matrix entwickelt, welche sich aus den folgenden Parametern zusammensetzt:

- Anzahl der betroffenen freigegebenen Produktreleases

Dieser Parameter gibt an, wie viele Produktreleases von der Obsoleszenz der untersuchten Komponenten betroffen wären. Je mehr Produktreleases betroffen sind, umso höher ist die Komponente in der Skala (Low, Medium, High) einzustufen. Prinzipiell weist nicht jedes Produkt im Produktportfolio die gleiche Relevanz hinsichtlich des Unternehmenserfolgs auf, daher könnte eine zusätzliche Gewichtung der Produktreleases in Erwägung gezogen werden. Es hat sich im untersuchten Anwendungsbereich der sicherheitskritischen Systeme als nicht praktikabel erwiesen eine weitere Gewichtung durchzuführen, da für alle Produktreleases eine gleichermaßen langfristige Komponentenversorgung garantiert wird.

- Kostenauswirkung auf Baugruppen

Dieser Parameter berechnet sich aus der Summe des Baugruppenbedarfs pro Jahr (in Stück) mal dem Herstellkostenpreis (in Euro). Dies resultiert in einem monetären Wert, welcher die Auswirkungen der Obsoleszenz einer Komponente betreffend der Kosten widerspiegelt. Je höher dieser Wert ist, desto höher ist die Komponente in der Skala (Low, Medium, High) einzustufen.

In diesem Zusammenhang ist es relevant explizit anzumerken, dass die Auswertung der Obsoleszenzkritikalitätsauswirkung entkoppelt von den Baugruppen erfolgen muss, da die Bewertung einen globalen Wert für das Obsoleszenzrisiko je Komponente liefern soll.

Darüber hinaus wird jedem Level (Low, Medium, High) in allen drei Matrizen eine Prioritätsstufe hinterlegt, um eine Gewichtung der jeweiligen Level zu ermöglichen. Durch Multiplikation der zutreffenden Level über alle Matrizen wird die Gesamtprioritätskennzahl für das Obsoleszenzrisiko berechnet. Das Ziel ist, dass dadurch eine feinere Granularität in der Unterscheidung der Risikostufen bewerkstelligt

wird. Das Obsoleszenzrisiko kann dabei folgenden Wertebereich der Gesamtprioritätskennzahl annehmen:

- Low: 1, 2, 4
- Medium: 6, 9, 12, 15, 18, 24, 30
- High: 32, 40, 54, 64, 80, 96, 108, 120, 135
- Very High: 160, 200, 250

Zur Verdeutlichung der Vorgehensweise wird ein kurzes Beispiel beschrieben. „Komponente A“ wird anhand des vorgestellten Risikobewertungsschemas analysiert. Bei der Analyse werden für die „Komponente A“ folgende Level für die Parameter ausgewertet:

- Anzahl der aktuell verfügbaren Hersteller: Low
- YTEOL: Medium
- Verfügbarer Lagerbestand vs. Verbrauchsrate: High  
→ *Obsoleszenzwahrscheinlichkeit*: High (4)
- Anzahl der betroffenen freigegebenen Produktreleases: High
- Kostenauswirkung auf Baugruppen: Low  
→ *Obsoleszenzkritikalitätsauswirkung*: Medium (3)  
→ **Obsoleszenzrisiko**: High (8) → **Gesamtprioritätskennzahl**:  $4 * 3 * 8 = 96$

Die Grenzen des jeweiligen Levels der einzelnen Parameter, vor allem jene der Obsoleszenzkritikalitätsauswirkung, müssen unternehmensspezifisch definiert werden. In Kapitel 5 werden die spezifischen Grenzen für Frequentis AG vorgestellt, die im Rahmen der Evaluierung des Risikobewertungsmodells festgelegt wurden.

#### 4.2.4 Auswahl der geeigneten Obsoleszenzmaßnahmen

Die Auswahl der geeigneten Maßnahmen zur Behandlung eines Obsoleszenzproblems gestaltet sich oftmals schwieriger, als es auf den ersten Blick erscheint. Es ist schwer eine allgemeine Vorgehensweise bei der Auswahl der Maßnahmen vorzugeben, da der Lösungsansatz meistens für den Einzelfall bestimmt werden muss. Auch wenn die Verwendung des vorhandenen Lagerbestands oder eine Überbrückungsbevorratung die augenscheinlich praktikabelste Lösung darstellt, bedeutet dies nicht zwingend, dass es sich dabei um die beste Lösung handelt.

Aus diesem Grund ist es empfehlenswert sich einen Maßnahmenkatalog zu erstellen, welcher alle relevanten Lösungsoptionen auflistet und diese in Relation zueinander stellt. Dabei kann unter Zuhilfenahme einer Kosten-Nutzen-Analyse, die für das Unternehmen wirtschaftlich rentabelste Lösung berechnet werden. Hierbei werden die kalkulierten Kosten für die Umsetzung der entsprechenden Maßnahme dem erwarteten Nutzen gegenübergestellt.

## 5 Umsetzung und Evaluierung des ganzheitlichen Obsoleszenzmanagement-Modells im Unternehmen Frequentis AG

In diesem Kapitel werden zentrale Aspekte des ganzheitlichen Obsoleszenzmanagement-Modells in einem realen Beispiel bei dem Unternehmen Frequentis AG umgesetzt und evaluiert. Zu Beginn wird ein kleiner Einblick in den Tätigkeitsbereich und die Systeme von Frequentis AG gegeben. Es wird die Ausgangssituation hinsichtlich Obsoleszenzmanagement vorgestellt und die zur Verfügung stehende Informationslandschaft erläutert. In weiterer Folge werden die auf Basis des generischen Modells definierten Prozesse im operativen Kontext umgesetzt sowie das festgelegte Bewertungsschema zur Risikobeurteilung von Obsoleszenz anhand konkreter Daten ausgewertet sowie näher untersucht. Abschließend werden Voraussetzungen für eine erfolgreiche Implementierung dieser Prozesse diskutiert und die Evaluierung dieser erläutert.

### 5.1 Einblick in das Unternehmen Frequentis AG

Frequentis ist ein österreichisches Unternehmen und agiert als international tätiger Anbieter von Kommunikations- und Informationssystemen für Leitzentralen mit sicherheitskritischen Aufgaben. Der Konzern entwickelt und vertreibt individualisierte Control Center Solutions in den Bereichen Air Traffic Management (für zivile und militärische Flugsicherung) sowie Public Safety & Transport (für Polizei, Feuerwehr, Rettung, Schifffahrt und Bahn), wie in Abbildung 44 veranschaulicht wird. Global beschäftigt Frequentis rund 1.850 MitarbeiterInnen, welche über 500 Kunden in ca. 140 Ländern betreuen.<sup>144</sup>



Abbildung 44: Übersicht des Produktportfolios von Frequentis AG

<sup>144</sup> vgl. Frequentis, Investor Relations, <https://www.frequentis.com/de/IR>, Stand vom 15.08.2020

Seit mehr als siebzig Jahren hat sich Frequentis auf die Entwicklung und Bereitstellung von Kommunikationslösungen für das Flugverkehrsmanagement spezialisiert und ist zum Weltmarktführer in diesem Bereich gewachsen. Im Zuge dessen hat das Unternehmen tiefes Wissen und umfassende Erfahrungswerte auf dem Gebiet der Flugsicherung gesammelt. Die starke Position am Markt wird durch den Einsatz von über 22.000 VSC3020X-Arbeitsplätzen in mehr als 80 Ländern bestätigt. Bei VSC3020X handelt es sich um sicherheitskritische Luft/Boden- und Boden/Boden-Kommunikationssysteme, in Form eines kombinierten Sprach- und Daten-Switch. Darunter ist eine integrierte Sprachkommunikation für Funk, Telefon und Intercom mit unbegrenzten Konferenzmöglichkeiten zu verstehen.<sup>145 146</sup>

### 5.1.1 Beschreibung der Ausgangssituation

Analyse der bestehenden Prozesse, Erarbeitung von Prozessoptimierungen sowie die Umsetzung der gewonnenen Erkenntnisse in einem neuen Prozessmodell wurden als Ziele seitens Frequentis AG im Zusammenhang mit der Diplomarbeit gesetzt. Des Weiteren sollten im Zuge der Ausarbeitung die Datenquellen analysiert und für das Obsoleszenzmanagement erforderliche Parameter abgeleitet werden.

Um die festgelegten Ziele zu erfüllen, war es zu Beginn des Projekts ein Erfordernis den IST-Zustand im Unternehmen bzgl. des Obsoleszenzmanagements zu erfassen. Frequentis AG besitzt keine eigene Abteilung, die sich rein dem Obsoleszenzmanagement widmet. Verantwortlich für die Bearbeitung zentraler Obsoleszenzthemen ist die Abteilung Frequentis Technology Management (FTM). Zu deren Kernaufgaben zählt die Definition von Standardkomponenten, die Betreuung des Frequentis Technology Catalogue (FTC) sowie die Pflege und Aufrechterhaltung der verantworteten Komponenten des FTC. Darunter fällt das Spezifizieren, Evaluieren, Testen der Komponenten sowie die Durchführung von Life Cycle Management.

FTM hat zu Projektbeginn bislang ausschließlich mit reaktiven Maßnahmen auf eingetretene Obsoleszenzfälle geantwortet, wobei der reaktive Prozess nicht im Prozessmodell abgebildet war. Ein proaktiver und strategischer Obsoleszenzmanagement-Prozess bestand bis zu diesem Zeitpunkt nicht (weder abgebildet noch gelebt). Um die Wichtigkeit eines ganzheitlichen Obsoleszenzmanagementansatzes zu demonstrieren, wird kurz ein realer Obsoleszenzfall in diesem Zusammenhang vorgestellt.

---

<sup>145</sup> vgl. Frequentis, Air Traffic Management, <https://www.frequentis.com/de/air-traffic-management>, Stand vom 15.08.2020

<sup>146</sup> vgl. Frequentis, VCS3020X, [https://www.frequentis.com/sites/default/files/support/2018-05/FRQ\\_ATM\\_VCS3020X\\_E.pdf](https://www.frequentis.com/sites/default/files/support/2018-05/FRQ_ATM_VCS3020X_E.pdf), Stand vom 15.08.2020

Der Hersteller Micron Technology hatte eine Reihe seiner Flash-Speicher abgekündigt mit der Option eines Last Time Buy. Frequentis AG hat daraufhin gleich eine Bestellung von 2.600 Stück getätigt und vier Monate später die Bestellung auf 10.800 Stück erweitert. Frequentis AG war jedoch nicht in der Lage die benötigte Menge der erforderlichen Komponente zu erhalten. Von Seiten Micron Technology wurde kein Lieferdatum genannt. Im Bauteilanschlussmarkt konnte die betroffene Komponente nur in einer sehr limitierten Stückzahl bei Brokern für 100€ pro Stück erworben werden. Der ursprüngliche Stückpreis lag bei 3€. Betroffen von dieser Komponente waren eine Vielzahl an Baugruppen sowie Subbaugruppen im Produktportfolio. Aus diesem Grund wurde nach einer Bauteilalternative gesucht und diese auch gefunden. Allerdings musste der Linux Kernel in den Systemen erneuert werden, damit die neue Hardware mit der korrespondierenden Software kompatibel bleibt. Schließlich mussten die betroffenen Boards einem Redesign unterzogen werden, indem neue Varianten entwickelt wurden. Dieses Beispiel zeigt auf, dass die Verfolgung einer einzelnen Obsoleszenzstrategie (reaktiv) weitreichende Auswirkungen auf das System haben kann.

Bei Frequentis AG ist das Obsoleszenzmanagement ein Teil der unterstützenden Prozesse und dem Supply Chain Management untergeordnet (→ *Manage Obsolescences*), wie in Abbildung 45 dargestellt. Die neu zu definierenden Prozesse sollen letztendlich an dieser Stelle im Intranet hinterlegt und beschrieben werden.

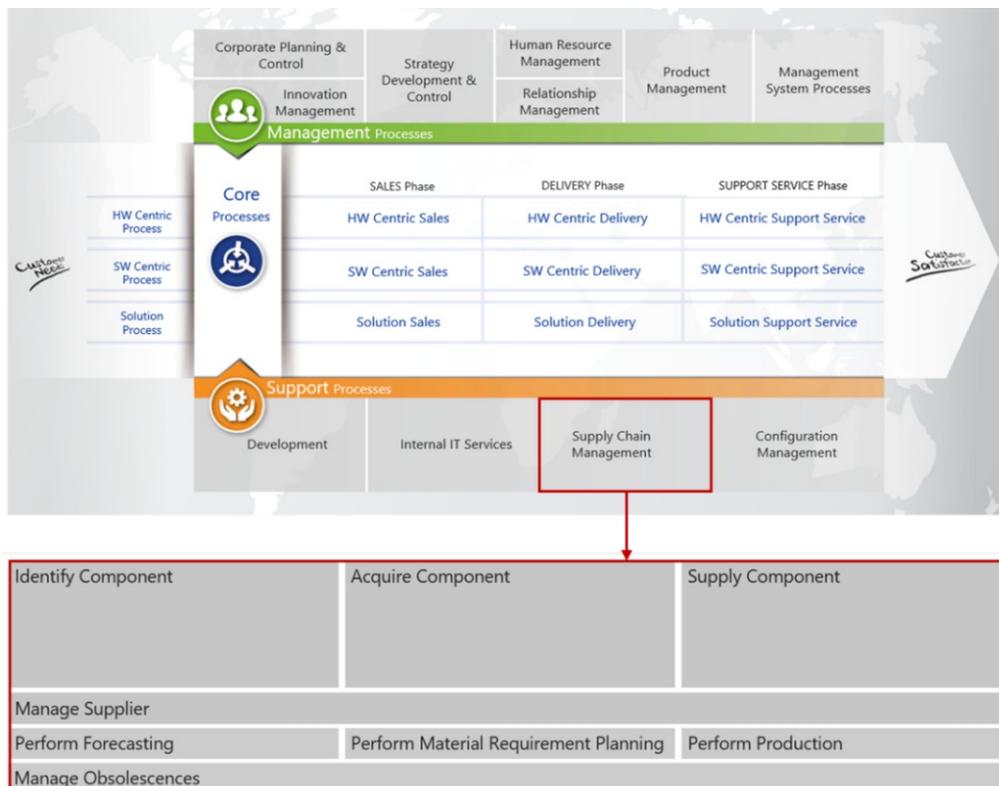


Abbildung 45: Frequentis Prozesslandkarte und Supply Chain Management Prozess

### 5.1.2 Informationslandschaft

Bei der Erstellung der Obsoleszenzmanagement-Prozesse ist es unausweichlich sich einen Überblick der vorhandenen Informationslandschaft zu verschaffen, um Klarheit über die entsprechenden Datenquellen zu erlangen. Bei der Auswertung werden primär die folgenden Datenbanken herangezogen:

- **SAP:** Datenbank zur Bestimmung der komponentenspezifischen Informationen (z.B. Lagerbestand, Preis etc.).
- **PRODIS:** Datenbank zur Bestimmung der Produktreleases sowie deren Status
- **Silicon Expert:** Datenbank zur Bestimmung lebenszyklusspezifischer Informationen (z.B. YTEOL, RoHS, aber auch Bauteilalternativen etc.).
- **FTC:** Der Frequentis Technology Catalogue dient als Suchmaschine für Hardware- und Softwarekomponenten, die von Frequentis entwickelt werden, sowie für COTS-Komponenten. Der Katalog liefert übersichtlich eine Vielzahl an Informationen (z.B. Begin of Support, End of Support, verantwortliche Ansprechpersonen etc.). Er bezieht dabei seine Daten sowohl von SAP als auch von PRODIS (siehe Abbildung 46).

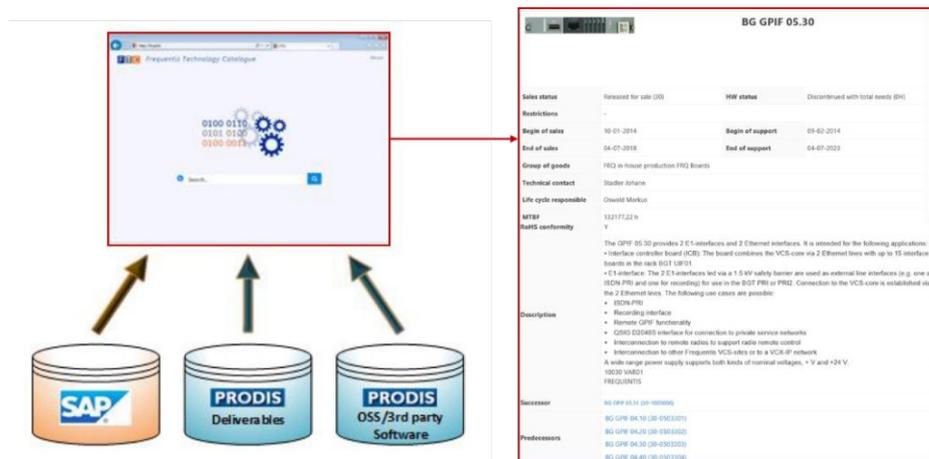


Abbildung 46: Frequentis Technology Catalogue

## 5.2 Erstellung der Obsoleszenzmanagement-Prozesse

Der Fokus bei der Prozesserstellung liegt auf der 1. und 2. Ebene des ganzheitlichen Obsoleszenzmanagement-Modells, siehe Abbildung 47. Auf Basis der in Kapitel 4.2.2 beschriebenen Prozesse (Abbildung 39 und Abbildung 40), wird der reaktive sowie proaktive Hardware-Obsoleszenzmanagement-Prozess im operativen Kontext angewendet und modelliert.

Da für das strategische Obsoleszenzmanagement kein allgemeingültiger Prozess abgeleitet werden kann, wird für diesen auch keine detaillierte Prozessmodellierung durchgeführt.

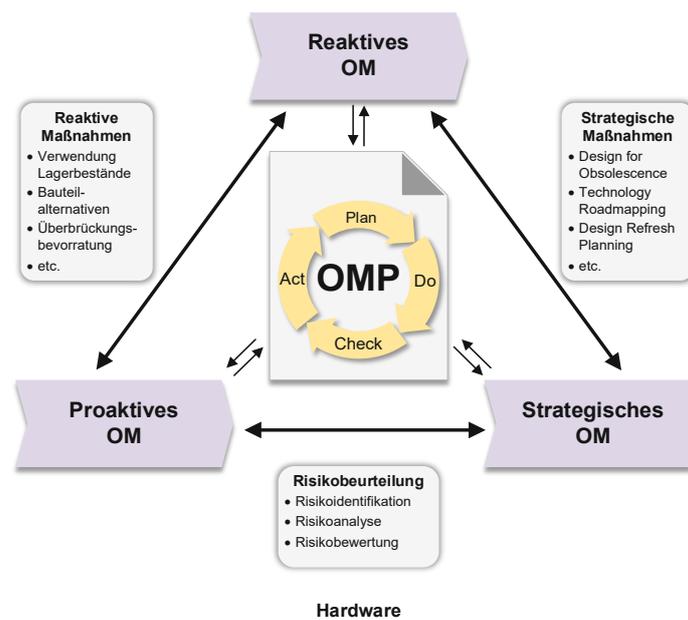


Abbildung 47: 1. und 2. Ebene des ganzheitlichen Obsoleszenzmanagement-Modells

### 5.2.1 Vorgehensweise bei der Prozessmodellierung

Um eine klar strukturierte Erstellung und Beschreibung der Prozesse zu gewährleisten, war es erforderlich, eine Momentaufnahme der gelebten Prozesse durchzuführen. Im Falle des reaktiven Prozesses bedeutet dies den Austausch mit allen verantwortlichen Personen und betroffenen Abteilungen. Durch regelmäßig stattfindende Diskussionen wurden die einzelnen Aktivitäten gesammelt zusammengetragen, analysiert und schließlich mögliche Optimierungspotenziale abgeleitet. Bei dem im Anschluss beschriebenen reaktiven HW-OM-Prozess handelt es sich um einen SOLL-Prozess. Ein Teil der Aktivitäten innerhalb des Prozesses entsprechen zwar dem IST-Zustand, wurden allerdings um weitere Aspekte optimiert, wie z.B. der zukünftigen Implementierung einer Obsoleszenz-Datenbank in SAP zur vereinfachten Nachverfolgung von Obsoleszenztätigkeiten. Der proaktive HW-OM-Prozess hingegen stellt einen komplett neu erarbeiteten SOLL-Prozess dar.

Als Prozesssprache zur Modellierung der Obsoleszenzmanagement-Prozesse wurde BPMN (Business Process Model and Notation) 2.0 gewählt. Ausschlaggebend bei der Entscheidung hinsichtlich dieser Prozesssprache war, dass es sich um einen Industriestandard zur grafischen Repräsentation von Geschäftsprozessen handelt. Darüber hinaus wurde BPMN 2.0 im Zuge des Studiums gelehrt und bei Frequentis AG kommt diese Prozesssprache bei einer detaillierten Prozessbeschreibung zum Einsatz. In Abbildung 48 werden die wichtigsten Basiselemente dargestellt.

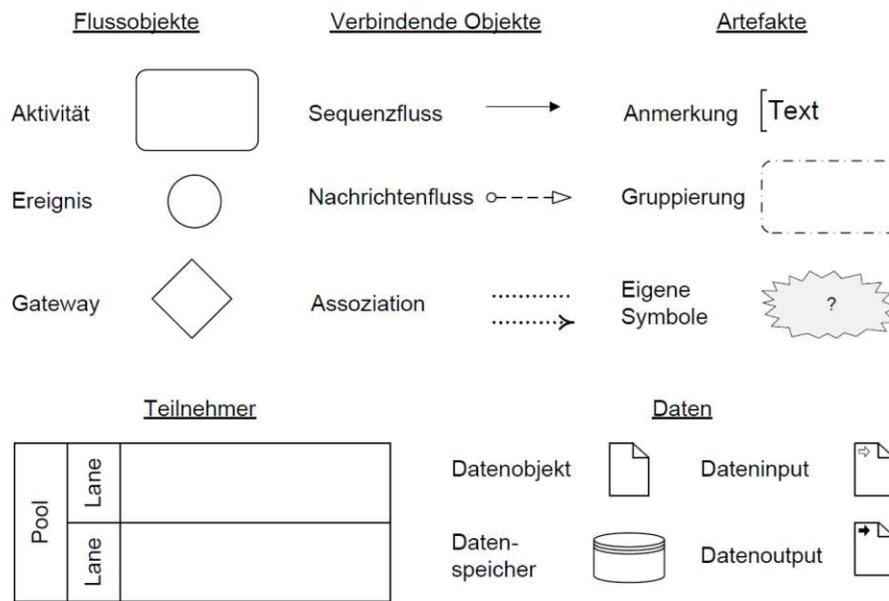


Abbildung 48: BPMN Basiselemente (Freund & Rücker (2012), S.21)

## 5.2.2 Umsetzung und Ergebnisse der Prozesserstellung

Eine komplette Abbildung des reaktiven und proaktiven Obsoleszenzmanagement-Prozesses wird im Anhang beigefügt (siehe Abbildung 58 und Abbildung 59).

Nachfolgend werden die drei Hauptprozessschritte des **reaktiven HW-OM-Prozesses** beschrieben:

### 1. Informationen verarbeiten und bewerten

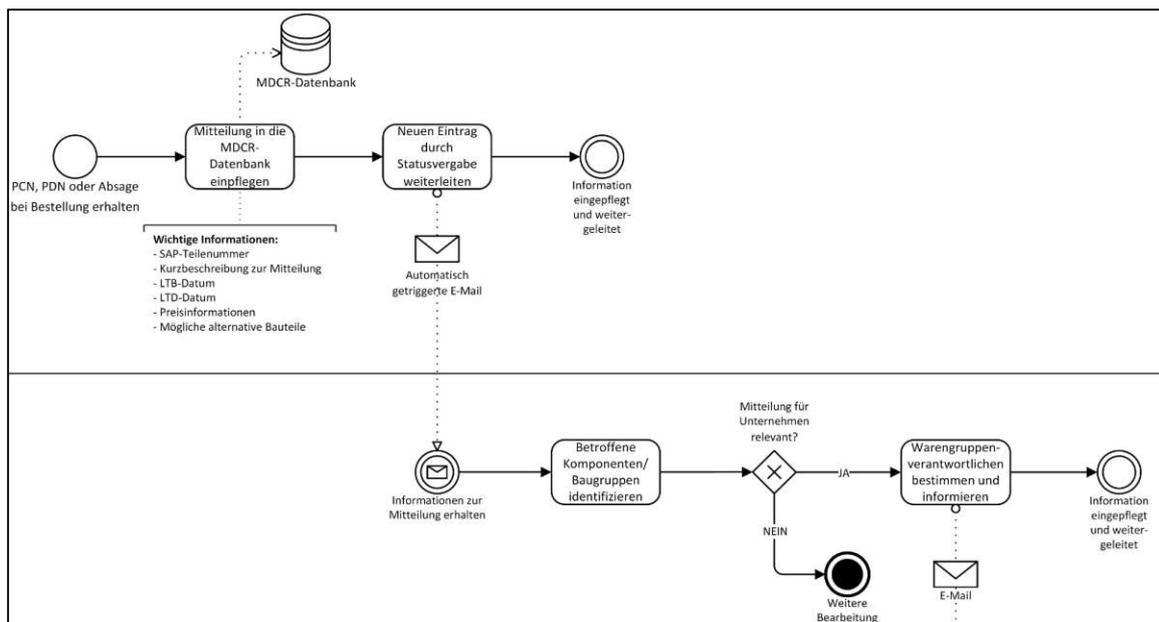


Abbildung 49: 1. Prozessschritt des reaktiven HW-OM-Prozesses

Der reaktive HW-OM-Prozess wird durch den Erhalt einer PDN, PCN oder einer Absage bei Bestellung durch den Einkauf ausgelöst. Der Einkauf pflegt alle relevanten

Informationen (d.h. SAP-Teilenummer, Kurzbeschreibung zur Mitteilung, LTB-Datum usw.) in die interne MDCR (Material Data Change Request) -Datenbank ein. Durch eine Statusvergabe im System wird ein neuer Eintrag angelegt und automatisch eine E-Mail an die Abteilung „Qualitätsmanagement Produktion“ versendet. Nachdem die Informationen eingepflegt und die E-Mail ausgelöst wurden, endet der Prozess hier für den Einkauf. „Qualitätsmanagement Produktion“ analysiert nun die erhaltenen Informationen und identifiziert die betroffenen Komponenten bzw. Baugruppen. Nachdem eine Bewertung hinsichtlich der Relevanz dieser Mitteilung für das Unternehmen stattfindet, wird die weitere Bearbeitung entweder abgebrochen oder ein Warengruppenverantwortlicher bestimmt und per E-Mail informiert. Damit ist der erste Prozessschritt abgeschlossen.

## 2. Erkenntnisse zusammentragen und Maßnahmen entscheiden

Der zweite Prozessschritt des reaktiven HW-OM-Prozesses wird im Anhang in Abbildung 56 dargestellt.

Sobald der Warengruppenverantwortliche (in der Regel ein Technical Lifecycle Manager) die Information erhält, untersucht dieser die betroffene Komponente in der Obsoleszenzmanagement-Datenbank. Er prüft ob für diese Komponente bereits eine Risikobewertung durchgeführt und proaktive Maßnahmen ergriffen wurden. Sofern dies der Fall ist, endet der Prozess an dieser Stelle. Anderenfalls werden die Informationen in die JIRA-Datenbank eingepflegt und die Auswirkungen der Mitteilung technisch analysiert. Falls es sich bei der Mitteilung um eine PCN handelt, wird zunächst geprüft ob die Änderungen an der Komponente das FFF-Kriterium erfüllen. Wenn dies zutrifft, wird das geänderte Bauteil verwendet und der Prozess endet. Sollte die Komponente allerdings nicht der FFF-Kompatibilität genügen, wird die PCN wie eine PDN behandelt und die Komponente auf diverse Parameter (aktueller Lagerbestand, zukünftiger Bedarf etc.) überprüft.

Die nächste Unterscheidung, die hier getroffen werden muss, ist, ob es sich bei der Komponente um ein 3<sup>rd</sup>-Party Produkt handelt oder ein Frequentis Produkt. Ist die Komponente ein 3<sup>rd</sup>-Party Produkt, wird die Maßnahmencheckliste für 3<sup>rd</sup>-Party Produkte herangezogen und diese abgearbeitet, bis ein Lösungsansatz gefunden wird. Handelt es sich allerdings um ein Frequentis Produkt, wird zunächst geprüft, ob der vorhandene Lagerbestand den zukünftigen Bedarf abdeckt. Falls ja, dann wird dieser verwendet und der Prozess endet. Ansonsten wird im nächsten Schritt nach alternativen Bauteilen, unter Verwendung von SAP und Silicon Expert, gesucht. Falls ein alternatives Bauteil gefunden wird, wird dieses bestellt und nach den geforderten Anforderungen getestet. Erfüllt es die Anforderungen, so wird das neue Bauteil verwendet und der Prozess endet. Falls kein Alternativbauteil gefunden wird oder die Anforderungen nicht erfüllt werden, wird die Maßnahmencheckliste für Frequentis

Produkte herangezogen und ein anderer Lösungsansatz erarbeitet. Hiermit ist dann der zweite Prozessschritt abgeschlossen.

### 3. Informationen weiterleiten und Lösung implementieren

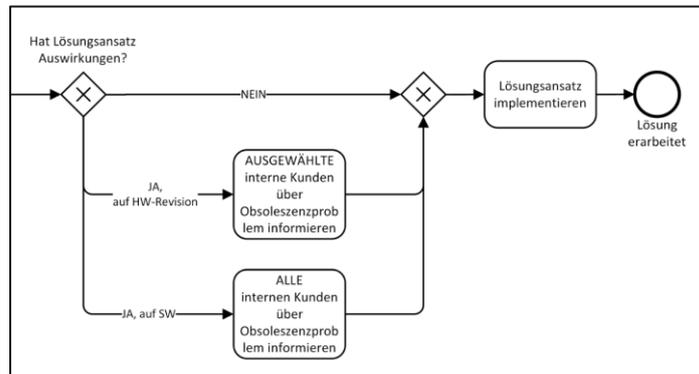


Abbildung 50: 3. Prozessschritt des reaktiven HW-OM-Prozesses

Nachdem ein geeigneter Lösungsansatz gefunden wurde, wird geprüft ob dieser Auswirkungen auf die restliche Hardware oder Software hat. Falls der Lösungsansatz Auswirkungen auf die Hardware-Revision hat, werden ausgewählte interne Kunden über das Obsoleszenzproblem informiert. Falls der Lösungsansatz jedoch Auswirkungen auf die Software aufweist, müssen alle Kunden über das Obsoleszenzproblem informiert werden. Sobald eine Informationsweiterleitung an entsprechender Stelle stattfindet, wird abschließend der getroffene Lösungsansatz implementiert und der reaktive HW-OM-Prozess endet.

Nachfolgend werden die vier Hauptprozessschritte des **proaktiven HW-OM-Prozesses** beschrieben:

#### 1. Komponentenliste extrahieren und filtern

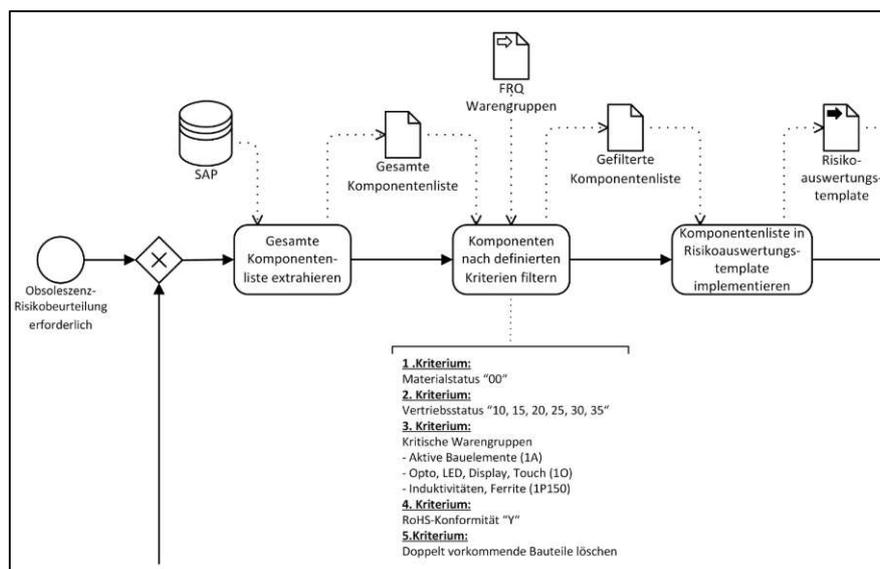


Abbildung 51: 1. Prozessschritt des proaktiven HW-OM-Prozesses

Der proaktive HW-OM-Prozess wird durch die Notwendigkeit einer Risikobeurteilung systemkritischer Komponenten ausgelöst und liegt im Verantwortungsbereich der Abteilung „Frequentis Technology Management“. Der erste Schritt liegt darin, eine komplette Liste aller zu untersuchenden Komponenten aus SAP zu extrahieren. Diese zusammengestellte Liste muss dann nach bestimmten Kriterien (Materialstatus, Vertriebsstatus, Definition der kritischen Warengruppen, RoHS-Konformität, doppelte Bauteile) gefiltert werden, da nicht alle Komponenten für die weitere Analyse in Erwägung gezogen werden sollen. Eine Untersuchung aller Komponenten würde nur eine Verschwendung von Ressourcen bedeuten und den Analyseprozess wesentlich verlängern. In Abbildung 52 wird beispielhaft ein Frequentis Hardware Board inkl. der dazugehörigen Komponenten dargestellt.

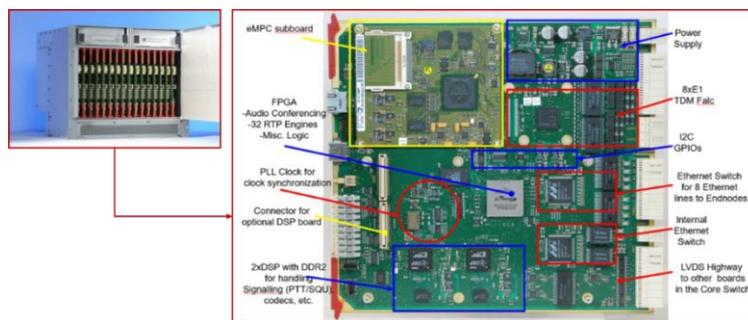


Abbildung 52: Überblick eines JDIF Hardware Boards inkl. der Komponenten

Nachdem die Liste hinsichtlich den definierten Kriterien gefiltert wurde, werden die systemkritischen Komponenten in das erstellte Risikoauswertungstemplate implementiert. Eine Vorstellung des Risikoauswertungstemplates erfolgt im Kapitel 6. Hiermit ist der erste Prozessschritt abgeschlossen.

## 2. Risikoanalyse für jede Komponente durchführen

Der zweite Prozessschritt des proaktiven HW-OM-Prozesses wird im Anhang in Abbildung 57 dargestellt.

Sobald alle relevanten Komponenten vorliegen, werden diese anhand der in Kapitel 4.2.3 festgelegten Obsoleszenzparameter und dem zugehörigen Risikobewertungsschema analysiert. Die zugehörigen Grenzwerte für die einzelnen Level sind durch gemeinsame Bestimmung mit internen Fachexperten folgendermaßen gesetzt:

- *Anzahl der aktuell verfügbaren Hersteller*
  - Ein Hersteller → High
  - Zwei Hersteller → Medium
  - Mehr als zwei Hersteller → Low
- *Years to End of Life (YTEOL)*
  - Weniger als 2 Jahre → High
  - Zwischen 2 und 5 Jahren → Medium
  - Mehr als 5 Jahre → Low

- *Verfügbare Lagerbestand vs. Verbrauchsrate*
  - Geringer Lagerbestand & hohe Verbrauchsrate (Verhältnis kleiner 1) → High
  - Geringer Lagerbestand & geringe Verbrauchsrate oder hoher Lagerbestand & hohe Verbrauchsrate (Verhältnis zwischen 1 und 2) → Medium
  - Hoher Lagerbestand & geringe Verbrauchsrate (Verhältnis größer 2) → Low
- *Anzahl der betroffenen freigegebenen Produktreleases*
  - Mehr als 50% der freigegeb. Produktreleases (Mehr als fünf Produktrel.) → High
  - Zwischen 25% – 50% der freigegeb. Produktreleases (Zwischen drei und fünf Produktrel.) → Medium
  - Weniger als 25% der freigegeb. Produktreleases (Weniger als drei Produktrel.) → Low
- *Kostenauswirkung auf Baugruppen*
  - Mehr als 500.000€ → High
  - Zwischen 100.000€ – 500.000€ → Medium
  - Weniger als 100.000€ → Low

An dieser Stelle ist wichtig zu erwähnen, dass gewisse Komponenten eine Auswirkung auf die Software haben und somit auf potenziell entstehende Kosten. Dies wurde insofern berücksichtigt, dass bei den folgenden Komponenten der Parameter der Kostenauswirkung auf das nächste Level erhöht wird:

- Interface Treiber IC
- Microcontroller & Prozessoren
- Speicher IC
- Programmierbare Logik IC
- Telekom IC

Nachdem alle Komponenten hinsichtlich jedes Parameters analysiert und das Obsoleszenzrisiko bestimmt wurde, endet dieser Prozessschritt.

### 3. Komponenten priorisieren und Minderungsmaßnahmen ableiten

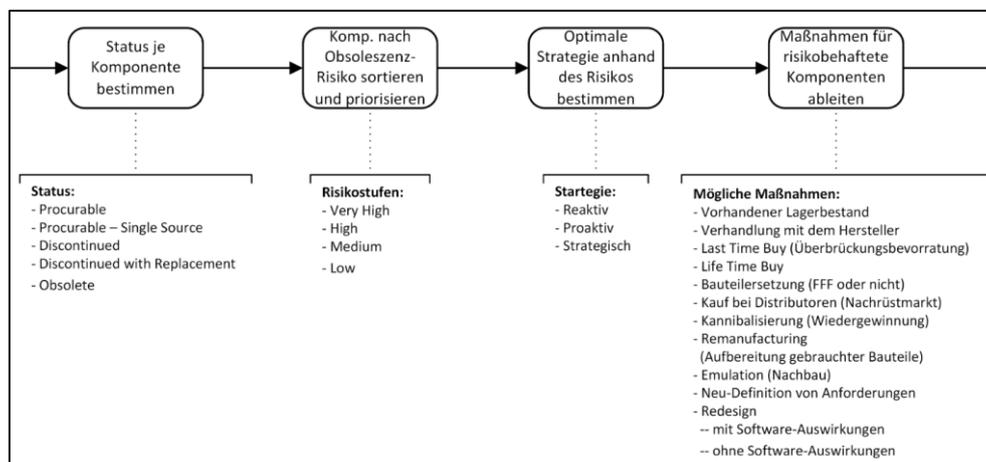


Abbildung 53: 3. Prozessschritt des proaktiven HW-OM-Prozesses

Nach der Durchführung der Risikoanalyse ist der nächste Schritt, den Status der Komponenten zu hinterlegen (beschaffbar, abgekündigt, obsolet) und die Komponenten anhand der ausgewerteten Risikostufen zu sortieren und priorisieren. In weiterer Folge wird dann, auf Basis der bis dahin gesammelten Erkenntnisse, eine Entscheidung über die zu verfolgende Strategie getroffen. Entsprechend der gewählten Strategie werden schließlich geeignete Maßnahmen abgeleitet. Folglich ist dieser Prozessschritt abgeschlossen.

#### 4. Risikoregister updaten

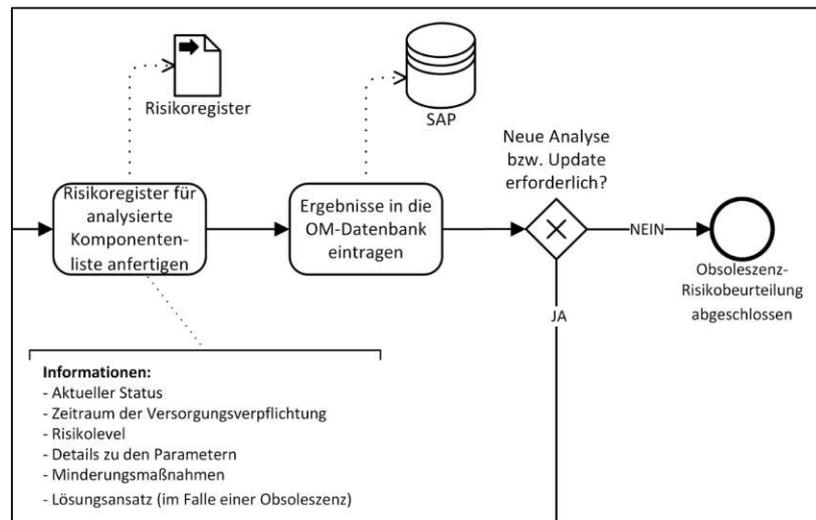


Abbildung 54: 4. Prozessschritt des proaktiven HW-OM-Prozesses

Im letzten Schritt wird ein Risikoregister für die analysierten und ausgewerteten Komponenten angefertigt. Das Risikoregister beschreibt eine Liste mit relevanten Informationen zu den Komponenten. Dazu zählen der aktuelle Status, der Zeitraum der Versorgungsverpflichtung, das Risikolevel sowie Details zu den Parametern und die getroffenen Maßnahmen bzw. Lösungsansätze. Infolgedessen werden alle ermittelten Ergebnisse in die OM-Datenbank eingetragen. Hiermit endet prinzipiell der proaktive HW-OM-Prozess. Da es sich jedoch um einen iterativen Prozess handelt, wird im Falle einer weiteren benötigten Analyse oder eines Updates der Prozess erneut durchlaufen.

### 5.2.3 Voraussetzungen zur Implementierung der Obsoleszenzmanagement-Prozesse

Für eine erfolgreiche Implementierung der vorgestellten Obsoleszenzmanagement-Prozesse ist ein ausgeprägtes Engagement und Bewusstsein der Stakeholder von zentraler Bedeutung. Da es sich bei Obsoleszenzmanagement um dynamische Prozesse handelt, müssen diese an die Bedürfnisse und Kultur der Organisation angepasst werden. Hierfür sollte zu Beginn ein Plan erarbeitet werden, welcher den Zeitrahmen und die erforderlichen Ressourcen für die Umsetzung festlegt.

Darüber hinaus muss eine regelmäßige und effektive Kommunikation mit den Zielgruppen stattfinden. Nur wenn alle betroffenen Fachbereiche an einem gemeinsamen Strang ziehen, lässt sich eine Implementierung realisieren. Für ein nutzbringendes Obsoleszenzmanagement ist ein strukturiertes Team mit eindeutig definierten Rollen erforderlich. Aus diesem Grund muss in gut ausgebildetes Personal investiert werden. Hierfür empfiehlt es sich Schulungen und Workshops einzuführen, in denen die Prozesse sowie etwaige Tätigkeiten und Aktivitäten rund um das Thema Obsoleszenzmanagement durchgenommen werden.

Der vielleicht wichtigste Faktor für die Implementierung der Obsoleszenzmanagement-Prozesse ist allerdings die Sicherstellung der Verfügbarkeit aller notwendigen Daten und Dokumente in entsprechender Qualität. Ein realisierbares Obsoleszenzmanagement lebt von zugänglichen und hochwertigen Daten. Aus diesem Grund sollte in entsprechende Software-Tools bzw. eine Erweiterung der bestehenden Informationslandschaft investiert werden, wodurch eine effizientere Auswertung der relevanten Daten ermöglicht wird.

### **5.3 Evaluierung der Obsoleszenzmanagement-Prozesse**

Nachdem der reaktive und proaktive HW-OM-Prozess im operativen Kontext bei Frequentis AG erarbeitet und modelliert wurde, lag der nächste Schritt in der Bewertung dieser Prozesse anhand von realen Anwendungsfällen.

Für den reaktiven HW-OM-Prozess bedeutete dies konkret, dass Abkündigungsmitteilungen von bestimmten Komponenten herangezogen und diese mittels des zugrundeliegenden Prozessflusses analysiert wurden. Dabei wurde überprüft, ob die Logik der Prozessabfolge sowie die Durchführbarkeit der einzelnen Schritte gegeben ist.

Da es sich bei dem proaktiven HW-OM-Prozess um einen Analyseprozess handelt, war es in diesem Fall erforderlich einen Satz an definierten und ausgewählten Baugruppen des Produktportfolios zu beleuchten. Dies erfolgte unter Zuhilfenahme des entwickelten Bewertungsschemas. Die Ergebnisse der Risikoanalyse werden im nächsten Kapitel angeführt und diskutiert.

Die seitens der Frequentis AG gesetzten Anforderungen und Ziele im Zusammenhang mit dem Obsoleszenzmanagement-Modell wurden durch diese Anwendungsfälle umgesetzt und bestätigt. Die Evaluierung ist somit abgeschlossen und es kann festgehalten werden, dass das entwickelte Obsoleszenzmanagement-Modell unter gewissen Einschränkungen funktioniert. Um welche Einschränkungen es sich hierbei handelt, wird in Kapitel 6.2 erläutert.

## 6 Diskussion und Ergebnisinterpretation

### 6.1 Zusammenfassung der Ergebnisse

Im Rahmen dieser Diplomarbeit wurde ein ganzheitliches Obsoleszenzmanagement-Modell für sicherheitskritische Hardware- und Softwarekomponenten entwickelt. Unter der Durchführung einer systematischen Literaturrecherche wurden die benötigten theoretischen Grundlagen ausgearbeitet, aus welchen zwölf Anforderungen für die Konzipierung des Modells abgeleitet werden konnten. Des Weiteren wurden mittels einer Concept Map sechs Schlüsselkonzepte identifiziert und in Beziehung zueinander gesetzt. Die Anforderungen sowie Schlüsselkonzepte dienen als Input bei der Modellerstellung und spiegeln sich in dessen Aufbau wider. Das ganzheitliche Obsoleszenzmanagement-Modell setzt sich aus drei Ebenen zusammen. Die erste Ebene wird durch den OMP sowie den reaktiven, proaktiven und strategischen Prozess repräsentiert. Die zweite Ebene bildet das Hardware-Obsoleszenzmanagement und die damit in Verbindung stehenden Attribute. Die dritte Ebene wird durch das Software-Obsoleszenzmanagement mit den zugehörigen Attributen als auch Obsoleszenztreibern beschrieben. Diese setzt sich aus den beiden Unterebenen der Entwicklungs- und Zielumgebung zusammen. Das ganzheitliche Obsoleszenzmanagement-Modell stellt ein Abbild aller relevanten Aspekte des Obsoleszenzmanagements dar.

Darüber hinaus wurde der im generischen Modell definierte reaktive und proaktive Obsoleszenzmanagement-Prozess auf Hardware-Ebene bei Frequentis AG im operativen Kontext umgesetzt und folglich evaluiert. Im Zuge der Erarbeitung des proaktiven Prozesses wurde zudem ein neues Risikobewertungsschema mit spezifischen Kriterien für den sicherheitskritischen Bereich ausgearbeitet. Zur vereinfachten Auswertung wurde an dieser Stelle ein Excel-Tool (siehe Abbildung 60 im Anhang) entwickelt, welches eine automatisierte Auswertung ermöglicht. Das Excel-Tool folgt der Logik des entwickelten Bewertungsschemas. Als Input dienen sowohl die Parameter der Obsoleszenzwahrscheinlichkeit als auch der Obsoleszenzkritikalitätsauswirkung. Die erforderlichen Daten in diesem Zusammenhang werden aus den entsprechenden Datenbanken (SAP, PRODIS, Silicon Expert) entnommen. Eine Übersicht der im Risikoauswertungstemplate dargestellten Parameter bzw. Kenngrößen lässt sich aus Tabelle 7 entnehmen.

<i>Parameter bzw. Kenngröße</i>	<i>Beschreibung</i>	<i>Datenquelle</i>
Komponentennummer	Numerischer Identifikator zur eindeutigen Bestimmung einer Komponente im Warenwirtschafts-system	SAP
Objektkurztext	Text, welcher Informationen über die Komponente enthält (z.B. Name, Abmessungen, Spannung etc.)	SAP

Warengruppe	Zusammenfassung einzelner Komponenten anhand gemeinsamer Merkmale (z.B. Aktive Komponente: Dioden, Transistoren usw.)	SAP
Anzahl der Hersteller	Angabe der aktuell verfügbaren Hersteller am Markt für die Komponente	SAP
Anzahl der Hersteller >LEVEL<	Bestimmung des Levels (Low, Medium, High) für die Anzahl der Hersteller auf Basis der Obsoleszenz-Wahrscheinlichkeits-Matrix	OW-Matrix
YTEOL	Prognostizierte Zeitspanne (in Jahren) bis zur Nichtverfügbarkeit der Komponente	Silicon Expert
YTEOL >LEVEL<	Bestimmung des Levels (Low, Medium, High) für die YTEOL auf Basis der Obsoleszenz-Wahrscheinlichkeits-Matrix	OW-Matrix
Anzahl der Hersteller / YTEOL >LEVEL<	Bestimmung des kritischeren Levels zwischen Anzahl der Hersteller und YTEOL	OW-Matrix
Verfügbare Lagerbestand (in Stück)	Angabe des aktuell verfügbaren Lagerbestands der Komponente	SAP
Verbrauchsrate (Ø pro Jahr)	Berechnung der durchschnittlichen Verbrauchsrate (Warenausgänge) der Komponente pro Jahr (bezogen auf die letzten vier Jahre)	SAP
Lagerbestand vs. Verbrauchsrate	Berechnung des Verhältnisses des verfügbaren Lagerbestands und der durchschnittlichen Verbrauchsrate einer Komponente	SAP
Lagerbestand vs. Verbrauchsrate >LEVEL<	Bestimmung des Levels (Low, Medium, High) für das Verhältnis zwischen Lagerbestand und Verbrauchsrate auf Basis der Obsoleszenz-Wahrscheinlichkeits-Matrix	OW-Matrix
<b>Obsoleszenz-Wahrscheinlichkeit</b>	Bestimmung des Levels (Low, Medium, High) für die Obsoleszenz-Wahrscheinlichkeit einer Komponente	OW-Matrix
<b>Obsoleszenz-Wahrscheinlichkeit &gt;PRIORITÄTSSTUFE&lt;</b>	Bestimmung der Prioritätsstufe (1-5) für die Obsoleszenz-Wahrscheinlichkeit einer Komponente	OW-Matrix
Anzahl der betroffenen freigegebenen Produktreleases	Auswertung und Angabe der Produktreleases, in welchen die Komponente enthalten ist	PRODIS
Anzahl der betroffenen freigegebenen Produktreleases >LEVEL<	Bestimmung des Levels (Low, Medium, High) für die Anzahl der betroffenen freigegebenen Produktreleases auf Basis der Obsoleszenz-Kritikalitätsauswirkungs-Matrix	OKA-Matrix
Kostenauswirkung auf Baugruppen (in Euro)	Berechnung der Kostenauswirkung der Komponente unter Zuhilfenahme des Baugruppenbedarfs sowie des Herstellkostenpreises	SAP
Kostenauswirkung auf Baugruppen >LEVEL<	Bestimmung des Levels (Low, Medium, High) für die Kostenauswirkung auf Baugruppen auf Basis der Obsoleszenz-Kritikalitätsauswirkungs-Matrix	OKA-Matrix
Software-Einfluss	Bestimmung des Software-Einflusses (Ja/Nein) anhand definierter Warengruppen (z.B. Microcontroller, Programmierbare Logik etc.)	Warengruppe
Kostenauswirkung auf Baugruppen (inkl. Software-Einfluss) >LEVEL<	Erhöhung des Levels für die Kostenauswirkung auf Baugruppen bei Komponenten mit Software-Einfluss	OKA-Matrix
<b>Obsoleszenz-Kritikalitätsauswirkung</b>	Bestimmung des Levels (Low, Medium, High) für die Obsoleszenz-Kritikalitätsauswirkung einer Komponente	OKA-Matrix

<b>Obsoleszenz-Kritikalitätsauswirkung</b> >PRIORITÄTSSTUFE<	Bestimmung der Prioritätsstufe (1-5) für die Obsoleszenz-Kritikalitätsauswirkung einer Komponente	OKA-Matrix
<b>Obsoleszenz-Risiko</b>	Bestimmung des Levels (Low, Medium, High, Very High) für das Obsoleszenz-Risiko einer Komponente	OR-Matrix
<b>Obsoleszenz-Risiko</b> >PRIORITÄTSSTUFE<	Bestimmung der Prioritätsstufe (1-10) für das Obsoleszenz-Risiko einer Komponente	OR-Matrix
<b>Obsoleszenz-Risiko</b> >PRIORITÄTSKENNZAHLE<	Berechnung der Gesamtprioritätskennzahl (1-250) unter Berücksichtigung aller Prioritätsstufen	OW-Matrix OKA-Matrix OR-Matrix

**Tabelle 7: Übersicht der Parameter bzw. Kenngrößen im Risikoauswertungstemplate**

Die komplette Bauteilliste, die für den Evaluierungsprozess in Betracht gezogen wurde, umfasste insgesamt 16.650 unterschiedliche Komponenten. Nach schrittweiser Filterung der Komponenten hinsichtlich Materialstatus, Vertriebsstatus, Definition der kritischen Warengruppen, RoHS-Konformität sowie doppelte Bauteile, wurden 233 Komponenten als systemrelevant identifiziert und eingestuft. Diese systemrelevanten Komponenten wurden folglich für die Risikoanalyse herangezogen.

Die Ergebnisse der durchgeführten Auswertung werden in Tabelle 8 dargestellt.

<b>Ergebnisse der Auswertung bei der Bestimmung des Obsoleszenzrisikos</b>							
<i>Parameter</i>	<i>k.A.</i>	<i>LOW</i>	<i>MED</i>	<i>HIGH</i>	<i>VERY HIGH</i>	<i>Ob-solet</i>	<i>Summe</i>
Anzahl der Hersteller		2%	7%	91%			100%
YTEOL	15%	70%	13%	0%		2%	100%
Anzahl der Hersteller / YTEOL		2%	7%	91%			100%
Lagerbestand vs. Verbrauchsrate		66%	5%	29%			100%
<b>Obsoleszenz-Wahrscheinlichkeit</b>		7%	60%	33%			100%
Kostenauswirkung auf Baugruppen		79%	7%	15%			100%
Kostenauswirkung auf Baugruppen (inkl. Software-Einfluss)		45%	38%	16%			100%
Anzahl der betroffenen freigegebenen Produktreleases		85%	6%	9%			100%
<b>Obsoleszenz-Kritikalitätsauswirkung</b>		79%	7%	14%			100%
<b>Obsoleszenz-Risiko</b>		5%	76%	6%	13%		100%
<i>In Summe wurden 233 systemrelevante Komponenten untersucht</i>							

**Tabelle 8: Ergebnisse der Auswertung bei der Bestimmung des Obsoleszenzrisikos**

Die Risikobewertung stellt dar, welche der analysierten Komponenten ein hohes Obsoleszenzrisiko aufweisen und folglich als kritisch einzustufen sind. Komponenten mit einem hohen Obsoleszenzrisiko sind genauer zu betrachten sowie priorisiert zu behandeln. Im Zuge der Ergebnisinterpretation innerhalb des Unternehmens wurde festgestellt, dass bei der Entwicklung von neuen Baugruppen bzw. Systemen nicht allein das Obsoleszenzrisiko als globaler Parameter herangezogen werden darf. Im Fall von Neuentwicklungen spielt der Parameter „YTEOL“ eine wichtige Rolle, da grundsätzlich keine Komponenten mit einem YTEOL < 5 Jahre verwendet werden. Wenn dieser Parameter laut Matrix als „High“ eingestuft wird, jedoch die anderen drei Parameter „Low“ sind, dann beträgt das Obsoleszenzrisiko „Medium“. Die isolierte Betrachtung des Obsoleszenzrisikos könnte bei der Verwendung von neuen Bauteilen zu einem Trugschluss führen. Aus diesem Grund ist es je nach Verwendungskontext von hoher Wichtigkeit, alle Parameter heranzuziehen und daraus geeignete Maßnahmen abzuleiten.

Bei der Betrachtung der Auswertungsergebnisse lassen sich insbesondere zwei Auffälligkeiten identifizieren. Bei 91% der untersuchten Komponenten wird der Parameter „Anzahl der Hersteller“ als „High“ eingestuft. Das bedeutet, dass für 212 von 233 Komponenten lediglich ein Hersteller am Markt verfügbar ist. Dieses Verhältnis sollte als Warnsignal aufgefasst werden und zur Maßnahmensetzung aufrufen.

Der zweite Bruch innerhalb der Statistik wird bei dem Parameter „YTEOL“ beobachtet. Hier kann festgestellt werden, dass für keines der 233 Komponenten ein YTEOL < 2 Jahre vorliegt, jedoch 2% der untersuchten Komponenten zum Zeitpunkt der Analyse bereits obsolet sind. In diesem Fall ist eingangs zu klären, wie es möglich war, dass diese Information nicht frühzeitig durch eine Abkündigungsmitteilung an das Unternehmen kommuniziert wurde.

Die Analyse der Risikobewertungsergebnisse verdeutlicht den Nutzen respektive Mehrwert, welchen das entwickelte Obsoleszenzmanagement-Modell sowie die darin zugrundeliegenden Prozesse für das Unternehmen darstellen. Ohne den umgesetzten proaktiven Ansatz wäre es für Frequentis AG nicht möglich gewesen, kritische Systemkomponenten frühzeitig zu identifizieren und einen geeigneten Maßnahmenplan aufzustellen. Durch die Kenntnis der betroffenen obsoleten Komponenten lässt sich beispielsweise eine vergleichbare Situation vermeiden, wie sie bei dem Flash-Speicher von Micron Technology eingetreten ist (Beschreibung hierzu in Kapitel 5.1.1).

Die Implementierung der bestmöglichen Lösungsstrategie unter Verwendung des ganzheitlichen Obsoleszenzmanagement-Modells ermöglicht für Frequentis AG die Reduzierung von Produktionsausfällen sowie die Gewährleistung einer intakten Wertschöpfungskette. Die Nutzung des Risikobewertungs-Modells liefert dem

Unternehmen ein Werkzeug zur Orientierung sowie strukturierten Abarbeitung von Obsoleszenzproblemen. Dadurch werden signifikante Kostenersparnisse erzielt. Weitere Nutzenfaktoren sind die Senkung von Reklamationsfällen, die Vermeidung von kosten- sowie zeitintensiven Requalifikations- und Rezertifizierungsprozessen als auch die Aufrechterhaltung der Kundenzufriedenheit durch langfristige Sicherstellung der Komponentenversorgung.

## **6.2 Limitationen und mögliche Weiterentwicklungsschritte des ganzheitlichen Obsoleszenzmanagement-Modells**

Die Entwicklung eines allgemeingültigen Modells für ein ganzheitliches Obsoleszenzmanagement erweist sich als komplexes Unterfangen, da es sich bei diesem Themenfeld um einen Querschnittsbereich handelt, welcher unterschiedliche Aspekte sowie Prozesse umfasst. Während der Hardwarebereich im Obsoleszenzmanagement ausreichend in der Forschungsliteratur behandelt wird, hat der Softwarebereich erst mit dem Aufkommen der Digitalisierung an Relevanz gewonnen. Werden heutige Anlagen und Systeme betrachtet, kann rasch festgestellt werden, dass eine Entkoppelung von Hardware- und Softwarekomponenten, aufgrund bestehender Interdependenzen, kaum realisierbar ist. Aus diesem Grund wurde das entwickelte Management-Modell als Ebenen-Modell konzipiert. Damit wird gewährleistet, dass alle relevanten Attribute für ein ganzheitliches Obsoleszenzmanagement vollständig im Modell abgebildet werden.

Da es sich um ein konzeptionelles Modell handelt, ist zu berücksichtigen, dass Erkenntnisse aus dem praktischen Kontext punktuell und bedingt einfließen können. Gerade im Bereich von Hardware-Obsoleszenz existieren in der Praxis etablierte Prozesse und Methoden, die für den definierten Anwendungsfall aufgegriffen sowie entsprechend angepasst werden können. Das in dieser Arbeit entwickelte Management-Modell wurde anhand der von Frequentis AG definierten Ziele für den sicherheitskritischen Bereich ausgelegt. Die Verwendung des Modells ist jedoch nicht auf diesen spezifischen Anwendungsbereich limitiert, sondern kann auf andere lebenserhaltungsdominante Bereiche angewendet werden. Eine Einschränkung besteht allerdings in der Wahl und Definition der Parameter sowie der zugehörigen Grenzen zur Bewertung des Obsoleszenzrisikos. Diese können für Hardwarekomponenten prinzipiell übernommen werden, müssen jedoch mit hoher Wahrscheinlichkeit unternehmens- bzw. branchenspezifisch angepasst werden.

Im Bereich der Software-Obsoleszenz sind Einschränkungen in der Nutzung des Management-Modells zu vermerken. Es existieren Ansätze und Maßnahmen zur Behandlung des Problems, jedoch sind diese aufgrund der Komplexität der Thematik schwer in der Praxis realisierbar. Die Bewertung von Softwarekomponenten nach

global gültigen Kriterien hinsichtlich eines Obsoleszenzeintritts ist nicht trivial. Hierfür müssen zukünftig konkrete Methoden sowie praktikable Parameter konzipiert als auch evaluiert werden.

Ein Aspekt, welcher bei einer Weiterentwicklung des Management-Modells berücksichtigt werden sollte, ist die Erarbeitung sowie Implementierung eines Kosten-Nutzen-Analyseprozesses zur Optimierung der Lebenszykluskosten. Die Auswahl der für den Individualfall optimalen Obsoleszenzmaßnahme gestaltet sich oftmals schwierig. Dieser Problematik würde ein geregelter Prozess entgegenwirken.

Zusammenfassend kann festgehalten werden, dass das ganzheitliche Obsoleszenzmanagement-Modell, trotz etwaiger Limitationen in der Praxisanwendung, ein umfassendes Modell darstellt, welches für zukünftige Management-Modelle als Basis zur Weiterentwicklung herangezogen werden kann.

## 7 Resümee

In der vorliegenden Diplomarbeit wurde analysiert und beschrieben, wie der Obsoleszenzproblematik von Hardware- und Softwarekomponenten im sicherheitskritischen Bereich holistisch entgegengewirkt werden kann. Dabei wird zu Beginn der Arbeit die Relevanz des Themenfeldes für die Industrie erläutert. Anschließend wird die Problemstellung definiert und eine konkrete Forschungsfrage formuliert. Das Ziel dieser Arbeit liegt in der Beantwortung folgender Forschungsfrage:

*Wie muss ein ganzheitliches Obsoleszenzmanagement für den sicherheitskritischen Bereich aufgebaut sein, um eine Optimierung der Lebenszykluskosten zu gewährleisten?*

Die Zielsetzung wurde erreicht, indem ein konzeptionelles Obsoleszenzmanagement-Modell entwickelt wurde, welches alle relevanten Aspekte für eine ganzheitliche Betrachtung des Problems abbildet. Für die Entwicklung des neuen Modells wurde das Design-Science-Paradigma von Hevner et al. als methodischer Forschungsansatz gewählt, wodurch eine vollständige als auch wissenschaftlich fundierte Zielerreichung ermöglicht wurde. Um erforderliche Ansätze und Faktoren für das neue ganzheitliche Obsoleszenzmanagement-Modell zu ermitteln, wurde eine systematische Literaturanalyse durchgeführt. Im Zuge der Literaturanalyse wurde festgestellt, dass mit aktuellem Forschungsstand kein Management-Modell existiert, welches Strategien und Prozesse für Hardware als auch Software in Verbindung setzt. Damit wurde bewiesen, dass eine Forschungslücke für diesen Bereich besteht, welcher durch das ganzheitliche Obsoleszenzmanagement-Modell geschlossen wird.

Mittels einer umfassenden Erarbeitung des theoretischen Hintergrundwissens im Themenbereich Obsoleszenzmanagement, konnten konkrete Anforderungen für das neue Modell abgeleitet werden. Basierend auf diesen Anforderungen wurde im nächsten Schritt eine Concept Map erstellt, welche den Zweck hatte, die ermittelten Schlüsselkonzepte zu strukturieren sowie zu verknüpfen. Durch diese Vorgehensweise ist es gelungen einen logischen und übersichtlichen Aufbau aller erforderlichen Aspekte im generischen Management-Modell umzusetzen.

Um die Anwendbarkeit des entwickelten Management-Modells zu validieren, wurde das Modell in nächster Instanz in einen praktischen Kontext gesetzt und im Unternehmen Frequentis AG anhand realer Anwendungsfälle evaluiert. Aufgrund der beschränkten Projektdauer wurde bei der Evaluierung der Fokus auf den reaktiven sowie proaktiven Obsoleszenzmanagement-Prozess auf Hardware-Ebene gelegt.

Der Evaluierungsprozess, sprich die Erfassung, Lösungserarbeitung, Durchführung und Dokumentation der erforderlichen Tätigkeiten im Unternehmen, erwies sich als äußerst aufwendig. Da Obsoleszenzmanagement ein komplexes Querschnittsthema

darstellt, welches umfassendes Fach-, Methoden- sowie Prozesswissen voraussetzt, war es unabdingbar fachliche Experten in den Prozess einzubinden. Durch das gesammelte Know-How wurde die Festlegung der erforderlichen Grenzen bei der Bestimmung des Obsoleszenzrisikos entsprechend erleichtert. Des Weiteren wurde im Zuge der Evaluierung festgestellt, dass das Thema Konfigurations- und Stammdatenmanagement eine substantielle Rolle bei der Datenerfassung für die Berechnung der Obsoleszenzparameter spielt. Die Berechnung sowie übersichtliche Darstellung der Obsoleszenzdaten wurden durch eine selbst erstellte Excel-Lösung realisiert. Mit dieser Lösung konnte das Obsoleszenzrisiko für die zuvor ermittelten systemrelevanten Komponenten erfolgreich berechnet werden. Sobald jedoch die Anzahl der Komponenten und Systeme ein bestimmtes Maß übersteigt, ist es empfehlenswert, in eine speziell für diesen Zweck programmierte Datenbank zu investieren. Durch die erfolgreiche Evaluierung im Unternehmen, wurde die Funktionsfähigkeit sowie der Nutzen des Management-Modells bestätigt.

Ein Bereich, welcher im entwickelten Management-Modell im Rahmen dieser Arbeit nicht validiert werden konnte, sind die Obsoleszenzmanagement-Prozesse auf Software-Ebene. Im Hinblick auf die wachsende Digitalisierung in der Industrie und die Verwendung von Embedded Systems, ist es zu empfehlen weiterführende Forschung auf diesem Gebiet zu betreiben. Das Ziel neuer Forschungsvorhaben könnte die konkrete Ableitung sowie Umsetzung von Methoden und Konzepten zur Berechnung des Obsoleszenzrisikos für Softwarekomponenten darstellen.

Im Rahmen dieser Arbeit ist mit der Entwicklung des ganzheitlichen Obsoleszenzmanagement-Modells ein neuartiger Ansatz gelungen, welcher nicht nur Frequentis AG und dem sicherheitskritischen Bereich einen Mehrwert liefert, sondern von allen Unternehmen, welche mit Obsoleszenzproblemen zu kämpfen haben, in angepasster Form implementiert sowie verwendet werden sollte.

## 8 Anhang

### 8.1 Dokumentation der Literaturrecherche

#### 8.1.1 Dokumentation der Literaturrecherche in SpringerLink

Eigenschaften der Datenbank und gewählte Parameter:

- Name der Datenbank: SpringerLink
- URL der Datenbank: <https://link.springer.com/>
- Zeitraum der Veröffentlichungen: 2000 – 2020
- Sprache der Publikationen: Englisch (primär) und Deutsch (sekundär)
- Eingestellte Suchergebnisse pro Suchanfrage und Seite: 20
- Betrachtung der ersten 4 Seiten

Nr.	Schlüsselwörter/Suchbegriffe	Ergebnis (1. Grad der Kriterien)	Ergebnis (2. Grad der Kriterien)
1	Obsolescence Management	84	1
2	Obsolescence Management AND Hardware	45	0
3	Obsolescence Management AND Software	63	1
4	Obsolescence Management AND Model	74	0
5	Obsolescence Management AND Approach	75	0
6	Obsolescence Management AND Strategies	62	1
7	Obsolescence AND Assessment	5.006	3
8	Obsolescence AND Process	11.468	2
9	Obsolescence AND Forecasting	2.333	0
10	Obsolescence AND Safety-Critical	142	0
11	Obsolescence AND Sustainment-Dominated	6	0
12	Diminishing Manufacturing Sources And Material Shortages	16	0
13	DMSMS	25	1
14	Hardware Obsolescence	50	1
15	Software Obsolescence	50	1
16	Obsoleszenzmanagement	12	2

**Tabelle 9: Verwendete Suchbegriffe und Ergebnisse der Literaturrecherche in SpringerLink**

## 8.1.2 Dokumentation der Literaturrecherche in ScienceDirect

Eigenschaften der Datenbank und gewählte Parameter:

- Name der Datenbank: ScienceDirect
- URL der Datenbank: <https://www.sciencedirect.com/>
- Zeitraum der Veröffentlichungen: 2000 – 2020
- Sprache der Publikationen: Englisch (primär) und Deutsch (sekundär)
- Eingestellte Suchergebnisse pro Suchanfrage und Seite: 25
- Betrachtung der ersten 5 Seiten

Nr.	Schlüsselwörter/Suchbegriffe	Ergebnis (1. Grad der Kriterien)	Ergebnis (2. Grad der Kriterien)
1	Obsolescence Management	6.200	6
2	Obsolescence Management AND Hardware	1.263	2
3	Obsolescence Management AND Software	2.832	5
4	Obsolescence Management AND Model	5.410	3
5	Obsolescence Management AND Approach	5.324	0
6	Obsolescence Management AND Strategies	4.544	2
7	Obsolescence AND Assessment	3.767	1
8	Obsolescence AND Process	7.691	8
9	Obsolescence AND Forecasting	2	0
10	Obsolescence AND Safety-Critical	1.737	1
11	Obsolescence AND Sustainment-Dominated	1.067	0
12	Diminishing Manufacturing Sources And Material Shortages	3.799	5
13	DMSMS	132	2
14	Hardware Obsolescence	1.524	4
15	Software Obsolescence	3.480	6
16	Obsoleszenzmanagement	0	0

**Tabelle 10: Verwendete Suchbegriffe und Ergebnisse der Literaturrecherche in ScienceDirect**

### 8.1.3 Dokumentation der Literaturrecherche in IEEE Xplore

Eigenschaften der Datenbank und gewählte Parameter:

- Name der Datenbank: IEEE Xplore
- URL der Datenbank: <https://ieeexplore.ieee.org/Xplore/home.jsp>
- Zeitraum der Veröffentlichungen: 2000 – 2020
- Sprache der Publikationen: Englisch (primär) und Deutsch (sekundär)
- Eingestellte Suchergebnisse pro Suchanfrage und Seite: 25
- Betrachtung der ersten 4 Seiten

Nr.	Schlüsselwörter/Suchbegriffe	Ergebnis (1. Grad der Kriterien)	Ergebnis (2. Grad der Kriterien)
1	Obsolescence Management	206	4
2	Obsolescence Management AND Hardware	30	2
3	Obsolescence Management AND Software	61	3
4	Obsolescence Management AND Model	64	4
5	Obsolescence Management AND Approach	48	0
6	Obsolescence Management AND Strategies	42	1
7	Obsolescence AND Assessment	30	0
8	Obsolescence AND Process	176	2
9	Obsolescence AND Forecasting	22	1
10	Obsolescence AND Safety-Critical	5	0
11	Obsolescence AND Sustainment-Dominated	1	0
12	Diminishing Manufacturing Sources And Material Shortages	10	0
13	DMSMS	12	0
14	Hardware Obsolescence	137	4
15	Software Obsolescence	200	1
16	Obsoleszenzmanagement	0	0

Tabelle 11: Verwendete Suchbegriffe und Ergebnisse der Literaturrecherche in IEEE Xplore

### 8.1.4 Dokumentation der Literaturrecherche in Google Scholar

Eigenschaften der Datenbank und gewählte Parameter:

- Name der Datenbank: Google Scholar
- URL der Datenbank: <https://scholar.google.com/>
- Zeitraum der Veröffentlichungen: 2000 – 2020
- Sprache der Publikationen: Englisch (primär) und Deutsch (sekundär)
- Eingestellte Suchergebnisse pro Suchanfrage und Seite: 10
- Betrachtung der ersten 10 Seiten

Nr.	Schlüsselwörter/Suchbegriffe	Ergebnis (1. Grad der Kriterien)	Ergebnis (2. Grad der Kriterien)
1	Obsolescence Management	1.710	14
2	Obsolescence Management AND Hardware	909	6
3	Obsolescence Management AND Software	1.190	8
4	Obsolescence Management AND Model	1.340	3
5	Obsolescence Management AND Approach	1.390	3
6	Obsolescence Management AND Strategies	1.320	2
7	Obsolescence AND Assessment	40.600	10
8	Obsolescence AND Process	70.800	12
9	Obsolescence AND Forecasting	17.500	6
10	Obsolescence AND Safety-Critical	1.980	1
11	Obsolescence AND Sustainment-Dominated	248	0
12	Diminishing Manufacturing Sources And Material Shortages	2	0
13	DMSMS	803	2
14	Hardware Obsolescence	977	4
15	Software Obsolescence	1.260	7
16	Obsoleszenzmanagement	52	3

**Tabelle 12: Verwendete Suchbegriffe und Ergebnisse der Literaturrecherche in Google Scholar**

### 8.1.5 Dokumentation der Literaturrecherche in CatalogPlus

Eigenschaften der Datenbank und gewählte Parameter:

- Name der Datenbank: CatalogPlus
- URL der Datenbank: <https://catalogplus.tuwien.at/>
- Zeitraum der Veröffentlichungen: 2000 – 2020
- Sprache der Publikationen: Englisch (primär) und Deutsch (sekundär)
- Eingestellte Suchergebnisse pro Suchanfrage und Seite: 10
- Betrachtung der ersten 10 Seiten

Nr.	Schlüsselwörter/Suchbegriffe	Ergebnis (1. Grad der Kriterien)	Ergebnis (2. Grad der Kriterien)
1	Obsolescence Management	404	5
2	Obsolescence Management AND Hardware	125	0
3	Obsolescence Management AND Software	200	2
4	Obsolescence Management AND Model	188	0
5	Obsolescence Management AND Approach	208	1
6	Obsolescence Management AND Strategies	202	1
7	Obsolescence AND Assessment	10.448	3
8	Obsolescence AND Process	25.864	6
9	Obsolescence AND Forecasting	2.734	9
10	Obsolescence AND Safety-Critical	229	3
11	Obsolescence AND Sustainment-Dominated	22	0
12	Diminishing Manufacturing Sources And Material Shortages	101	0
13	DMSMS	395	2
14	Hardware Obsolescence	132	1
15	Software Obsolescence	170	3
16	Obsoleszenzmanagement	13	2

Tabelle 13: Verwendete Suchbegriffe und Ergebnisse der Literaturrecherche in CatalogPlus



### 8.3 Prozessdarstellungen

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar  
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

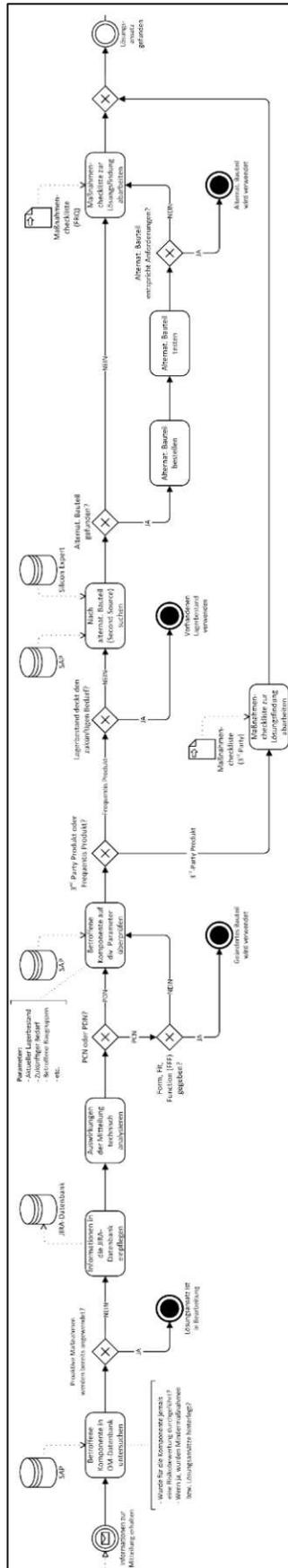


Abbildung 56: 2. Prozessschritt des reaktiven HW-OM-Prozesses

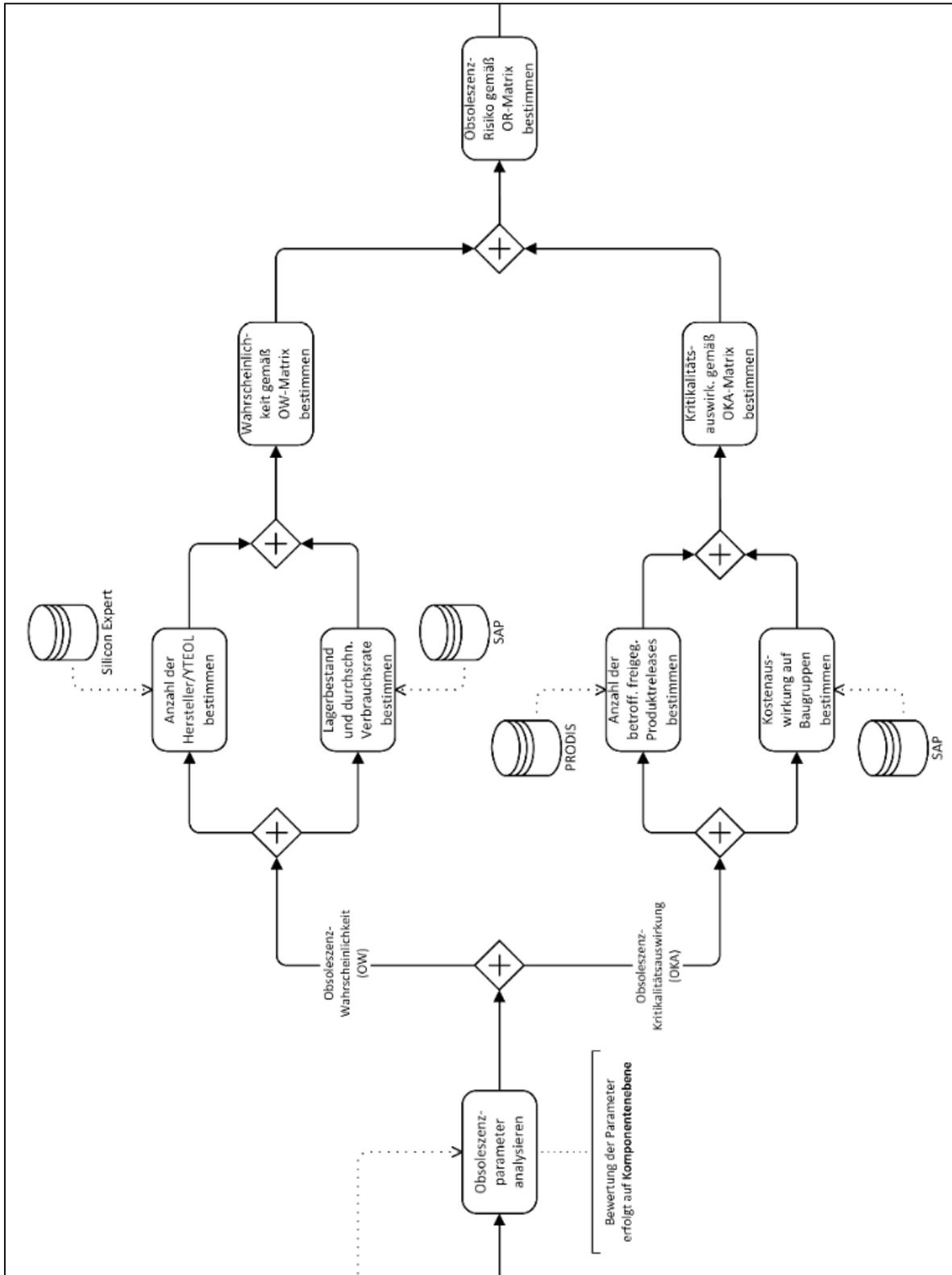


Abbildung 57: 2. Prozessschritt des proaktiven HW-OM-Prozesses

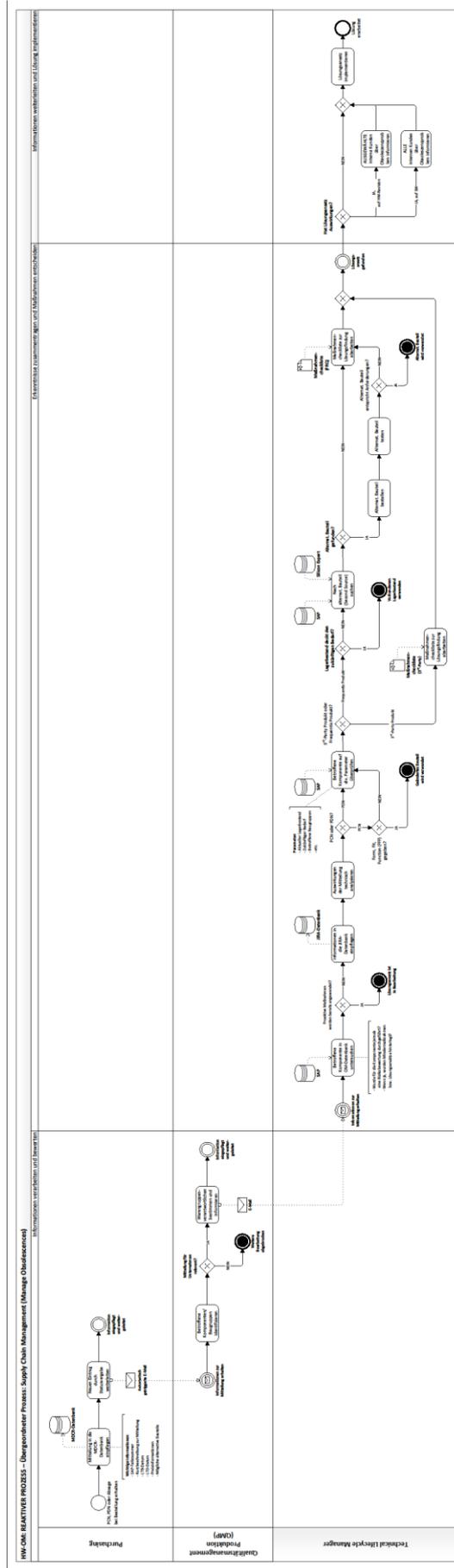


Abbildung 58: Kompletter Prozess des reaktiven HW-OM-Prozesses

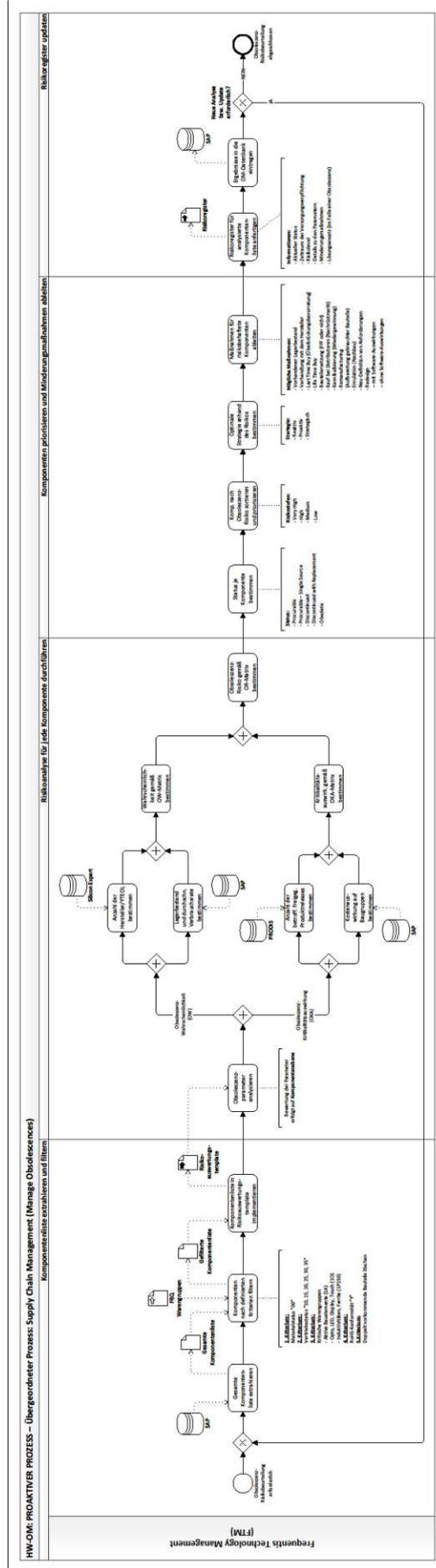


Abbildung 59: Kompletter Prozess des proaktiven HW-OM-Prozesses

# 8.4 Template zur Auswertung des Obsoleszenzrisikos

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar  
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.



Komponentennummer	Objekturztext	Warengruppe	Anzahl der freigegebenen Produktreleases >LEVEL<	SAP Kostenwirkung auf Baugruppen (in Euro)	OKA-Matrix Kostenwirkung auf Baugruppen >LEVEL<	Warengruppe Software-Einfluss	Kritisches LEVEL (inkl. Software-Einfluss)	OKA-Matrix OBSOLEZENSKRITIKALITÄTSAUSWIRKUNG	OKA-Matrix OBSOLEZENSKRITIKALITÄTSAUSWIRKUNG >PRIORITÄTSTUFEN<	OR-Matrix OBSOLEZENZRISIKO	OR-Matrix OBSOLEZENZRISIKO >PRIORITÄTSTUFEN<
15-0002989	FLASH CONTR 2V3-5V5 8bit P1C16F1526-/PT	1A330	LOW	310.850,00	MEDIUM	Ja	HIGH	MEDIUM	3	HIGH	6
15-0002997	MC Bb1100MHZ128K C8051F130 TQFP100	1A330	MEDIUM	533.122,00	HIGH	Ja	HIGH	HIGH	4	VERY HIGH	10
15-0003007	GRAPHIC/O CONTROLLER SM502 BGA257	1A320	MEDIUM	1.423.980,00	HIGH	Ja	HIGH	HIGH	4	VERY HIGH	10
15-0003017	IC SMD 4-time PCIe Clockbuffer 9DBL4118	1A320	LOW	528.370,00	HIGH	Ja	HIGH	MEDIUM	3	HIGH	6
15-0003027	LED rdm 3.0x2.5 mm DUAL SMD	10120	HIGH	569.204,00	HIGH	Nein	HIGH	HIGH	5	VERY HIGH	10
15-0003028	LED Vjlm 3.0x2.5 mm DUAL SMD	10120	HIGH	569.204,00	HIGH	Nein	HIGH	HIGH	5	VERY HIGH	10
15-0003037	IC FPGA STRATIX II EP25K600-3 FBGA780	1A350	LOW	48.300,00	LOW	Nein	MEDIUM	LOW	2	VERY HIGH	3
15-0003057	IC REG DDR TERMINATION TP551200 SON-10	1A210	MEDIUM	1.433.595,00	HIGH	Nein	HIGH	HIGH	4	VERY HIGH	10
15-0003087	IC ANALOG SWITCH SOT23-6 SMD TSSA5159	1A210	LOW	-	LOW	Nein	LOW	LOW	1	MEDIUM	2
15-0003089	IC HDMI LED Protection TSSOP38	1A310	LOW	-	LOW	Nein	LOW	LOW	1	MEDIUM	2
15-0003097	IC DSP TMS320C674682W3 86A861 SMD	1A330	LOW	-	LOW	Nein	MEDIUM	LOW	2	MEDIUM	2
15-0003098	IC TRANSM TERA10PAP TQFP64 SMD	1A330	LOW	17.670,00	LOW	Ja	MEDIUM	LOW	2	MEDIUM	2
15-0003107	IC EEPROM 256K IPOS 02 BOOT S08 PROG SMD	1A340	LOW	-	LOW	Ja	MEDIUM	LOW	2	MEDIUM	2
15-0003108	IC EEPROM 256K IPOS 01 BOOT S08 PROG SMD	1A340	LOW	3.735,00	LOW	Ja	MEDIUM	LOW	2	MEDIUM	2
15-0003109	IC EEPROM 256K IPOS 02 BOOT S08 PROG SMD	1A340	LOW	13.540,00	LOW	Ja	MEDIUM	LOW	2	MEDIUM	2
15-0003110	IC EEPROM 256K IPOS 03 BOOT S08 PROG SMD	1A340	MEDIUM	1.416.620,00	HIGH	Ja	HIGH	HIGH	4	VERY HIGH	10
15-0003114	IC TRCV R Blueooth CC2541 VQFN40 SMD	1A510	LOW	-	LOW	Ja	MEDIUM	LOW	2	MEDIUM	2
15-0003119	FERRITE EMI-S 600R@100MHZ 02A 0402 SMD	1P150	LOW	63.100,00	LOW	Nein	LOW	LOW	1	MEDIUM	2
15-0003120	IC DC CONV/PS62730 P65 2.1V Fixed SMD	1A210	LOW	-	LOW	Nein	LOW	LOW	1	MEDIUM	2
15-0003122	IC PRESSURE SENSOR MPL115A2 SMD	1A120	LOW	-	LOW	Nein	LOW	LOW	1	MEDIUM	2
15-0003123	FET NMOS 25V O 68A SOT23 SMD	1A320	LOW	41.665,00	LOW	Nein	LOW	LOW	2	LOW	1
15-0003123	IC SMD DRIVER 8x UN2803A SOIC18	1A320	LOW	-	LOW	Ja	MEDIUM	LOW	2	MEDIUM	2
15-0003126	Bandpass Filter Balun 2.45GHz	1A510	LOW	-	LOW	Ja	MEDIUM	LOW	2	MEDIUM	2
15-0003127	DIODE SUPP BI 30V 31A SMCJ30CA SMD	1A110	LOW	-	LOW	Nein	LOW	LOW	1	MEDIUM	2
15-0003147	IC VOLTREG PROG TL431CD S08 SMD	1A210	LOW	80,00	LOW	Nein	LOW	LOW	1	MEDIUM	2
15-0003148	DIODE SUPP UNI SM6T56A SMB SMD	1A110	LOW	80,00	LOW	Nein	LOW	LOW	1	MEDIUM	2
15-0003149	DIODE SY 2A 60V PMEG6020R SOD123W SMD	1A110	LOW	40.580,00	LOW	Nein	LOW	LOW	1	MEDIUM	2
15-0003186	IC ETHERNET 10/100 LAN8740A1 S0FN32 SMD	1A320	LOW	66.530,00	LOW	Ja	MEDIUM	LOW	2	MEDIUM	2

Abbildung 60: Auszug des Risikoauswertungstemplates

## 9 Literaturverzeichnis

### 9.1 Verwendete Literatur

Bartels, B., Ermel, U., Pecht, M., Sandborn, P. (2012). *Strategies to the Prediction, Mitigation and Management of Product Obsolescence*. John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, NJ, USA. <https://doi.org/10.1002/9781118275474>

Bartels, B., Haeffs, J. (2018). Obsoleszenzmanagement, in: Reichel, J., Müller, G., Haeffs, J. (Hrsg.), *Betriebliche Instandhaltung*, VDI-Buch. Springer Berlin Heidelberg, Berlin, Heidelberg, S. 181-197. <https://doi.org/10.1007/978-3-662-53135-8>

Bartels, B., Poppe, E. (2019). Obsoleszenz als Managementthema, in: Poppe, E., Longmuß, J. (Hrsg.), *Geplante Obsoleszenz*. transcript-Verlag, pp. 123–142. <https://doi.org/10.14361/9783839450048-007>

Bil, C., Mo, J. (2013). Obsolescence Management of Commercial-Off-The-Shelf (COTS) in Defence Systems. In: Stjepandić J., Rock G., Bil C. (Hrsg.) *Concurrent Engineering Approaches for Sustainable Product Development in a Multi-Disciplinary Environment*. Springer, London. [https://doi.org/10.1007/978-1-4471-4426-7\\_53](https://doi.org/10.1007/978-1-4471-4426-7_53)

Bowlds, T.F., Fossaceca, J.M., Iammartino, R. (2018). *Software obsolescence risk assessment approach using multicriteria decision-making*. Syst Eng 21, 455–465. <https://doi.org/10.1002/sys.21446>

Chou, J.-R., (2014). *An ideation method for generating new product ideas using TRIZ, concept mapping, and fuzzy linguistic evaluation techniques*. Advanced Engineering Informatics 28, 441–454. <https://doi.org/10.1016/j.aei.2014.06.006>

Cronin, P., Ryan, F., Coughlan, M. (2008). *Undertaking a literature review: a step-by-step approach*. British Journal of Nursing 17, 38–43. <https://doi.org/10.12968/bjon.2008.17.1.28059>

Crossan, M.M., Apaydin, M. (2010). *A Multi-Dimensional Framework of Organizational Innovation: A Systematic Review of the Literature*. Journal of Management Studies 47, 1154–1191. <https://doi.org/10.1111/j.1467-6486.2009.00880.x>

Cuculoski, V. (2013). *Obsolescence management of electronic and control systems*, in: 2013 Australian Control Conference. Presented at the 2013 3rd Australian Control Conference (AUCC), IEEE, Fremantle, WA, Australia, pp. 342–347. <https://doi.org/10.1109/AUCC.2013.6697296>

- DIN EN 62402:2008-01. *Anleitung zum Obsoleszenzmanagement* (IEC 62402:2007); Deutsche Fassung EN 62402:2007.
- DIN EN 62402:2017-09 (Entwurf). *Obsoleszenzmanagement* (IEC 56/1716/CD:2016).
- DIN ISO 31000:2018-05 (Entwurf). *Risikomanagement – Leitlinien* (ISO 31000:2018).
- Duden, <https://www.duden.de/rechtschreibung/Obsoleszenz>, Stand vom 07.07.2020.
- Erkoyuncu, J.A., Ononiwu, S., Roy, R. (2014). *Mitigating the Risk of Software Obsolescence in the Oil and Gas Sector*. *Procedia CIRP* 22, 81–86. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2014.07.133>
- Freund, J., Rücker, B. (2013). *Praxishandbuch BPMN 2.0*. 3. Auflage, Carl Hanser Verlag GmbH & Co. KG.
- Frequentis, Air Traffic Management, <https://www.frequentis.com/de/air-traffic-management>, Stand vom 15.08.2020.
- Frequentis, Investor Relations, <https://www.frequentis.com/de/IR>, Stand vom 15.08.2020
- Frequentis, VCS3020X, [https://www.frequentis.com/sites/default/files/support/2018-05/FRQ\\_ATM\\_VCS3020X\\_E.pdf](https://www.frequentis.com/sites/default/files/support/2018-05/FRQ_ATM_VCS3020X_E.pdf), Stand vom 15.08.2020
- Heinbach, W. (2019). Obsoleszenz: Reagieren statt Ignorieren – aber wie?, in: Henke, M. (Hrsg.), Tagungsband des 18. InstandhaltungsForums. S. 62-70.
- Heinbach, W. (2020). *Digital obsolescence management for the automotive industry*. VDE-Verlag GmbH, Gesellschaft Mikroelektronik, M.F. (Hrsg.), 2020. AmE 2020 Automotive meets electronics: Beiträge der 11. GMM-Fachtagung, 10.-11. März 2020 in Dortmund.
- Hevner, A.R., March, S.T., Park, J., Ram, S. (2004). *Design Science Research in Information Systems*. *Management Information Systems Quarterly* 28, 75–105.
- Jennings, C., Wu, D., Terpenney, J. (2016). *Forecasting Obsolescence Risk and Product Life Cycle With Machine Learning*. *IEEE Trans. Compon., Packag. Manufact. Technol.* 6, 1428–1439. <https://doi.org/10.1109/TCPMT.2016.2589206>
- Kitchenham, B. (2004). *Procedures for Performing Systematic Reviews*.
- Leveson, N.G. (2000). *Using COTS Components in Safety-Critical Systems*. In RTO Meeting on COTS in Defense Applications.
- Mallett, R., Hagen-Zanker, J., Slater, R., Duvendack, M. (2012). *The benefits and challenges of using systematic reviews in international development research*.

- Journal of Development Effectiveness, 4:3, 445–455.  
<https://doi.org/10.1080/19439342.2012.711342>
- Marx, J. (2015). *Obsoleszenzmanagement in deutschen Unternehmen*. Studienarbeit an der Dualen Hochschule Baden-Württemberg. [https://www.amsys.com/app/uploads/2019/10/Ergebnisse\\_Empirische-Analyse-zum-Obsoleszenzmanagement.pdf](https://www.amsys.com/app/uploads/2019/10/Ergebnisse_Empirische-Analyse-zum-Obsoleszenzmanagement.pdf)
- Meng, X., Thornberg, B., Olsson, L. (2014). *Strategic Proactive Obsolescence Management Model*. IEEE Trans. Compon., Packag. Manuf. Technol. 4, 1099–1108. <https://doi.org/10.1109/TCPMT.2014.2316212>
- Meyer, A., Pretorius, L., Pretorius, J.H.C. (2003). *A management approach to component obsolescence in the military electronic support environment*. South African Journal of Industrial Engineering 14, 121–136. <https://doi.org/10.7166/14-2271>
- Muñoz, R.G., Shehab, E., Weinitzke, M., Bence, R., Fowler, C., Baguley, P. (2015a). *Towards Software Performance Monitoring: An Approach for the Aerospace Industry*. Procedia CIRP 38, 41–46. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2015.07.068>
- Muñoz, R.G., Shehab, E., Weinitzke, M., Bence, R., Fowler, C., Tothill, S., Baguley, P. (2015b). *Key Challenges in Software Application Complexity and Obsolescence Management within Aerospace Industry*. Procedia CIRP 37, 24–29. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2015.08.013>
- Muñoz, R.G., Shehab, E., Weinitzke, M., Fowler, C., Baguley, P. (2017). *Software Obsolescence Drivers in Aerospace: An Industry Analysis*. International Journal of Computer and information Engineering, Vol. 11, No. 9.
- Novak, J.D., Cañas, A.J. (2008). *The Theory Underlying Concept Maps and How to Construct and Use Them*. Technical Report IHMC CmapTools 2006-01 Rev 01-2008, Institute for Human and Machine Cognition.
- Okoli, C. (2015). *A Guide to Conducting a Standalone Systematic Literature Review*. Communications of the Association for Information Systems: Vol. 37, Article 43. <https://doi.org/10.17705/1CAIS.03743>
- Okoli, C., Schabram, K. (2010). *A Guide to Conducting a Systematic Literature Review of Information Systems Research*. Sprouts: Working Papers on Information Systems, 10(26). <https://doi.org/10.2139/ssrn.1954824>
- Pecht, M. (2004). *Parts selection and management*. John Wiley, Hoboken, NJ.
- Peppers, K., Tuunanen, T., Rothenberger, M.A., Chatterjee, S. (2007). *A Design Science Research Methodology for Information Systems Research*. Journal of

- Management Information Systems 24, 45–77. <https://doi.org/10.2753/MIS0742-1222240302>
- Platten (2018). Was ist COTS?, <https://www.it-business.de/was-ist-cots-a-750920/>, Stand vom 07.07.2020.
- Pons, Online-Wörterbuch, <https://de.pons.com/%C3%BCbersetzung/latein-deutsch/obsolescere>, Stand vom 07.07.2020.
- Rajagopal, S., Erkoyuncu, J.A., Roy, R. (2014). *Software Obsolescence in Defence*. Procedia CIRP 22, 76–80. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2014.07.121>
- Ramdhani, A., Ramdhani, M.A., Amin, A.S. (2014). *Writing a Literature Review Research Paper: A step-by-step approach*. International Journal of Basic and Applied Science 03, 10.
- Robinson, B., Hughes, B., Bauer, R., Harnack, J. (2015). *Proactively managing obsolescence with test system architecture*, in: 2015 IEEE AUTOTESTCON. Presented at the 2015 IEEE AUTOTESTCON, IEEE, National Harbor, MD, USA, pp. 87–92. <https://doi.org/10.1109/AUTEST.2015.7356471>
- Robles, M. (2019). Obsoleszenz-Risiken richtig einschätzen und minimieren, in: *Productonic*, S. 14-16.
- Romero Rojo, F.J., Roy, R., Kelly, S. (2012). *Obsolescence Risk Assessment Process Best Practice*. Journal of Physics: Conference Series 364, 012095. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/364/1/012095>
- Romero Rojo, F.J., Roy, R., Shehab, E. (2009). *Obsolescence management for long-life contracts: state of the art and future trends*. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology 49, 1235–1250. <https://doi.org/10.1007/s00170-009-2471-3>
- Romero Rojo, F.J., Roy, R., Shehab, E., Cheruvu, K., Blackman, I., Rumney, G.A. (2010). *Key Challenges in Managing Software Obsolescence for Industrial Product-Service Systems (IPS2)*. CIRP IPS2 Conference.
- Sandborn, P. (2007). *Software Obsolescence – Complicating the Part and Technology Obsolescence Management Problem*. IEEE Trans. Comp. Packag. Technol., Vol. 30, No. 4, 886-888.
- Sandborn, P. (2008). *Strategic Management of DMSMS in Systems*. DSP Journal 24–30.
- Sandborn, P. (2013). *Design for Obsolescence Risk Management*. Procedia CIRP 11, 15–22. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2013.07.073>

- Sandborn, P., Mauro, F., Knox, R. (2007). *A Data Mining Based Approach to Electronic Part Obsolescence Forecasting*. IEEE Trans. Comp. Packag. Technol. 30, 397–401. <https://doi.org/10.1109/TCAPT.2007.900058>
- Sandborn, P., Myers, J. (2008). Designing Engineering Systems for Sustainability, in: Misra, K.B. (Hrsg.), *Handbook of Performability Engineering*. Springer London, London, S. 81–103. [https://doi.org/10.1007/978-1-84800-131-2\\_7](https://doi.org/10.1007/978-1-84800-131-2_7)
- Sandborn, P., Prabhakar, V.J. (2015). *The Forecasting and Impact of the Loss of Critical Human Skills Necessary for Supporting Legacy Systems*. IEEE Trans. Eng. Manage. 62, 361–371. <https://doi.org/10.1109/TEM.2015.2438820>
- Sandborn, P., Prabhakar, V., Ahmad, O. (2011). *Forecasting electronic part procurement lifetimes to enable the management of DMSMS obsolescence*. Microelectronics Reliability 51, 392–399. <https://doi.org/10.1016/j.microrel.2010.08.005>
- SD-22:2016-01, *Diminishing Manufacturing Sources and Material Shortages, A Guidebook of Best Practices and Tools for Implementing a Proactive DMSMS Management Program*, Defense Standardization Program Office.
- Schmid, E., Kosugi, G., Ibsen, J., Griffith, M. (2016). *Don't get taken by surprise: planning for software obsolescence management at the ALMA Observatory*, in: Chiozzi, G., Guzman, J.C. (Hrsg.). Presented at the SPIE Astronomical Telescopes+Instrumentation, Edinburgh, United Kingdom, p. 99131A. <https://doi.org/10.1117/12.2231189>
- Schnieder, L. (2018). *Strategisches Management von Fahrzeugflotten im öffentlichen Personenverkehr*. Springer Berlin Heidelberg, Berlin, Heidelberg. <https://doi.org/10.1007/978-3-662-56608-4>
- Singh, P., Sandborn, P. (2006). *Obsolescence Driven Design Refresh Planning for Sustainment-Dominated Systems*. The Engineering Economist 51, 115–139. <https://doi.org/10.1080/00137910600695643>
- Solomon, R., Sandborn, P., Pecht, M. (2000). *Electronic Part Life Cycle Concepts and Obsolescence Forecasting*. IEEE Trans. Comp. Packag. Technol. 23, 707–717. <https://doi.org/10.1109/6144.888857>
- VDI 2882:2016-08 (Entwurf). *Obsoleszenzmanagement*.
- VDMA 24903:2017-12. *Obsoleszenzmanagement – Informationsaustausch zu Änderungen und Abkündigungen von Produkten und Einheiten*.

## 9.2 Weiterführende Literatur

- Carney, D., Hissam, S.A., Plakosh, D. (2000). *Complex COTS-based software systems: practical steps for their maintenance*. J. Softw. Maint: res. Pract. 2000; 12:357-376.
- Dinesh Kumar, U., Saranga, H. (2010). *Optimal selection of obsolescence mitigation strategies using a restless bandit model*. European Journal of Operational Research 200, 170–180. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2008.12.018>
- Gerasimou, S., Kolovos, D., Paige, R., Standish, M. (2018). Technical Obsolescence Management Strategies for Safety-Related Software for Airborne Systems, in: Seidl, M., Zschaler, S. (Hrsg.), *Software Technologies: Applications and Foundations, Lecture Notes in Computer Science*. Springer International Publishing, Cham, pp. 385–393. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-74730-9\\_34](https://doi.org/10.1007/978-3-319-74730-9_34)
- Guzman-Miranda, H., Sterpone, L., Violante, M., Aguirre, M.A., Gutierrez-Rizo, M. (2011). *Coping With the Obsolescence of Safety- or Mission-Critical Embedded Systems Using FPGAs*. IEEE Trans. Ind. Electron. 58, 814–821. <https://doi.org/10.1109/TIE.2010.2050291>
- Jenab, K., Noori, K., D. Weinsier, P., Khoury, S. (2014). *A dynamic model for hardware/software obsolescence*. Int J Qual & Reliability Mgmt 31, 588–600. <https://doi.org/10.1108/IJQRM-03-2013-0054>
- Kleyner, A., Sandborn, P. (2008). *Minimizing life cycle cost by managing product reliability via validation plan and warranty return cost*. International Journal of Production Economics 112, 796–807. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2007.07.001>
- Nelson III, R., Sandborn, P., Terpenney, J.P., Zheng, L. (2011). *Modeling Constraints in Design Refresh Planning*, in: Volume 9: 23rd International Conference on Design Theory and Methodology; 16th Design for Manufacturing and the Life Cycle Conference. Presented at the ASME 2011 International Design Engineering Technical Conferences and Computers and Information in Engineering Conference, ASMEDC, Washington, DC, USA, pp. 939–949. <https://doi.org/10.1115/DETC2011-47644>
- Prabhakar, V.J., Sandborn, P. (2012). *A part total cost of ownership model for long life cycle electronic systems*. International Journal of Computer Integrated Manufacturing 25, 384–397. <https://doi.org/10.1080/0951192X.2010.531293>
- Romero Rojo, F.J., Roy, R., Shehab, E., Cheruvu, K., Mason, P. (2012). *A cost estimating framework for electronic, electrical and electromechanical (EEE) components obsolescence within the use-oriented product–service systems contracts*. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part B: Journal

of Engineering Manufacture 226, 154–166.  
<https://doi.org/10.1177/0954405411406774>

Sandborn, P. (2015). *A Real Options Approach to Quantity and Cost Optimization for Lifetime and Bridge Buys of Parts*.

Weerasuriya, G.T., Wijayanayake, W.M.J.I. (2014). *An Evaluation of Factors Affecting Information Systems Obsolescence*. Journal of Emerging Trends in Computing and Information Sciences, Vol. 5, No. 3.

Zheng, L., Terpenney, J., Nelson III, R., Sandborn, P. (2011). *Ontology-Based Knowledge Representation for Product Life Cycle Concepts and Obsolescence Forecasting*, in: IIE Annual Conference. Proceedings. Institute of Industrial and Systems Engineers (IISE), p. 1.

Zolghadri, M., Addouche, S.-A., Boissie, K., Richard, D. (2018). *Obsolescence prediction: a Bayesian model*. Procedia CIRP 70, 392–397.  
<https://doi.org/10.1016/j.procir.2018.02.037>

## 10 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Vorgehensweise bei der Modellentwicklung (dargestellt als Prozess)...	6
Abbildung 2: Phasen und Aufbau der Diplomarbeit .....	7
Abbildung 3: Auftreten von Obsoleszenz (In Anlehnung an Bartels et al. (2012), S.2) .....	10
Abbildung 4: Einleitung der Obsoleszenzphase durch Produktabkündigung (DIN EN 62402 (2008), S.10).....	11
Abbildung 5: Obsoleszenzmanagement im PDCA-Zyklus (In Anlehnung an Bartels et al. (2012), S.5).....	11
Abbildung 6: Prozentualer Anteil der elektronischen Komponenten, die in den ersten 10 Jahren des Lebenszyklus eines Überwasserschiff-Sonarsystems nicht mehr beschaffbar sind (Sandborn (2013), S.2).....	14
Abbildung 7: Darstellung der Beziehungen zwischen OCM, OEM und Kunde innerhalb der Supply Chain (In Anlehnung an DIN EN 62402 (2008), S.12).....	17
Abbildung 8: Beispielhafte Darstellung einer PDN- / PCN-Zeitachse (In Anlehnung an Bartels et al. (2012), S.159).....	19
Abbildung 9: Darstellung des Produktlebenszyklus und der Kosten im Falle von reaktivem Obsoleszenzmanagement (In Anlehnung an VDI 2882 (2016), S.12).....	21
Abbildung 10: Schematische Darstellung elektronischer Systemelemente (In Anlehnung an Meng et al. (2014), S.1100).....	26
Abbildung 11: Überbrückungskauf als Handlungsoption des reaktiven Obsoleszenzmanagements (Schnieder (2018), S.231).....	28
Abbildung 12: Darstellung des Produktlebenszyklus und der Kosten im Falle von proaktivem Obsoleszenzmanagement (In Anlehnung an VDI 2882 (2016), S.12).....	29
Abbildung 13: Verlauf des Obsoleszenzrisikos über die Phasen des Produktlebenszyklus.....	30
Abbildung 14: Risikomanagementprozess (DIN ISO 31000 (2018), S.16).....	31
Abbildung 15: Wahl der reaktiven oder proaktiven Herangehensweise in Abhängigkeit der Obsoleszenzwahrscheinlichkeit und der Kostenauswirkung (Romero Rojo et al. (2009), S.12).....	32
Abbildung 16: Vorgehensweise des "Best Practice"-Prozesses zur Bewertung des Obsoleszenzrisikos (In Anlehnung an Romero Rojo et al. (2012), S.3).....	33
Abbildung 17: Wahrscheinlichkeitsmatrix (In Anlehnung an Romero Rojo et al. (2012), S.6).....	35
Abbildung 18: Obsoleszenzrisikomatrix (In Anlehnung an Romero Rojo et al. (2012), S.6).....	35
Abbildung 19: Überführung des strategischen Obsoleszenzmanagements auf die Projektmanagementphasen (In Anlehnung an Bartels et al. (2012), S.201).....	37
Abbildung 20: Zeitachse der Design Refresh Planning Analyse (Sandborn (2013), S.6) .....	41

Abbildung 21: Darstellung des Produktlebenszyklus und der Kosten im Falle von strategischem Obsoleszenzmanagement (In Anlehnung an VDI 2882 (2016), S.12)	42
Abbildung 22: Darstellung einer standardisierten Lebenszykluskurve (Solomon et al. (2000), S.3).....	44
Abbildung 23: Vorgehensweise bei der Lebenszyklusprognose für Komponenten mit evolutionären parametrischen Treibern (In Anlehnung an Solomon et al. (2000), S.6) .....	47
Abbildung 24: Prozess des überwachten Lernens (Jennings et al. (2016), S.1431)..	49
Abbildung 25: Vorgehensweise bei der Lebenszyklusprognose ohne Datenbanken (In Anlehnung an Bartels et al. (2012), S.70).....	50
Abbildung 26: Hardware-Software-Beziehung als Teufelskreis im Obsoleszenzmanagement.....	52
Abbildung 27: Softwareumgebungen (Romero Rojo et al. (2010), S.394).....	54
Abbildung 28: Bereiche von Software-Obsoleszenz (In Anlehnung an Romero Rojo et al. (2010), S.395).....	55
Abbildung 29: Software-Obsoleszenz Landkarte (Muñoz et al. (2017), S.963) .....	57
Abbildung 30: Monitoring-Ansatz für Softwareanwendungen (vgl. Muñoz et al. (2015a), S.45).....	61
Abbildung 31: Software-Obsoleszenzwahrscheinlichkeit und -Obsoleszenzrisiko (Schmid et al. (2016), S.8f.).....	63
Abbildung 32: Software-Obsoleszenz Elementstruktur (Bowlds et al. (2018), S.6) ...	65
Abbildung 33: Vorgehensweise bei der Durchführung der systematischen Literaturanalyse (dargestellt als Prozess).....	68
Abbildung 34: Ergebnismatrix der analysierten Literatur in Bezug auf die entsprechenden Themenbereiche .....	72
Abbildung 35: Vorgehensweise bei der Erstellung der Concept Map (dargestellt als Prozess) .....	77
Abbildung 36: Beispielhafte Darstellung des Schlüsselkonzepts „Proaktives Obsoleszenzmanagement“.....	78
Abbildung 37: Ganzheitliches Obsoleszenzmanagement-Modell.....	80
Abbildung 38: 1. Ebene des ganzheitlichen Obsoleszenzmanagement-Modells.....	82
Abbildung 39: Reaktiver Obsoleszenzmanagement-Prozess.....	83
Abbildung 40: Proaktiver Obsoleszenzmanagement-Prozess.....	83
Abbildung 41: 2. Ebene des ganzheitlichen Obsoleszenzmanagement-Modells.....	84
Abbildung 42: 3. Ebene des ganzheitlichen Obsoleszenzmanagement-Modells.....	86
Abbildung 43: Vorgehensweise bei der Beurteilung des Obsoleszenzrisikos.....	87
Abbildung 44: Übersicht des Produktportfolios von Frequentis AG .....	90
Abbildung 45: Frequentis Prozesslandkarte und Supply Chain Management Prozess .....	92
Abbildung 46: Frequentis Technology Catalogue .....	93

Abbildung 47: 1. und 2. Ebene des ganzheitlichen Obsoleszenzmanagement-Modells .....	94
Abbildung 48: BPMN Basiselemente (Freund & Rücker (2012), S.21).....	95
Abbildung 49: 1. Prozessschritt des reaktiven HW-OM-Prozesses .....	95
Abbildung 50: 3. Prozessschritt des reaktiven HW-OM-Prozesses .....	97
Abbildung 51: 1. Prozessschritt des proaktiven HW-OM-Prozesses .....	97
Abbildung 52: Überblick eines JDIF Hardware Boards inkl. der Komponenten .....	98
Abbildung 53: 3. Prozessschritt des proaktiven HW-OM-Prozesses .....	99
Abbildung 54: 4. Prozessschritt des proaktiven HW-OM-Prozesses .....	100
Abbildung 55: Concept Map zum ganzheitlichen Obsoleszenzmanagement .....	115
Abbildung 56: 2. Prozessschritt des reaktiven HW-OM-Prozesses .....	116
Abbildung 57: 2. Prozessschritt des proaktiven HW-OM-Prozesses .....	117
Abbildung 58: Kompletter Prozess des reaktiven HW-OM-Prozesses .....	118
Abbildung 59: Kompletter Prozess des proaktiven HW-OM-Prozesses .....	119
Abbildung 60: Auszug des Risikoauswertungstemplates .....	120

## 11 Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Zusammenfassende Gegenüberstellung der Maßnahmen zur Abschwächung und Vorbeugung von Obsoleszenz .....	43
Tabelle 2: Typische Charakteristika für die Phasen des Produktlebenszyklus (In Anlehnung an Solomon et al. (2000), S.4).....	46
Tabelle 3: Erforderliche Daten für die Prognose ohne Datenbanken (In Anlehnung an Bartels et al. (2012), S.72).....	51
Tabelle 4: Verwendete Schlüsselwörter und Suchbegriffe für die Literaturrecherche	71
Tabelle 5: Abgeleitete Anforderungen für das ganzheitliche Obsoleszenzmanagement-Modell.....	74
Tabelle 6: Einteilung der strategischen Maßnahmen nach den Projektphasen .....	85
Tabelle 7: Übersicht der Parameter bzw. Kenngrößen im Risikoauswertungstemplate .....	104
Tabelle 8: Ergebnisse der Auswertung bei der Bestimmung des Obsoleszenzrisikos .....	104
Tabelle 9: Verwendete Suchbegriffe und Ergebnisse der Literaturrecherche in SpringerLink .....	110
Tabelle 10: Verwendete Suchbegriffe und Ergebnisse der Literaturrecherche in ScienceDirect .....	111
Tabelle 11: Verwendete Suchbegriffe und Ergebnisse der Literaturrecherche in IEEE Xplore .....	112
Tabelle 12: Verwendete Suchbegriffe und Ergebnisse der Literaturrecherche in Google Scholar .....	113
Tabelle 13: Verwendete Suchbegriffe und Ergebnisse der Literaturrecherche in CatalogPlus .....	114

## 12 Abkürzungsverzeichnis

ANN	Artificial Neural Network
BPMN	Business Process Model and Notation
bspw.	beispielsweise
bzw.	beziehungsweise
COTS	Commercial Off-The-Shelf
d.h.	das heißt
DIN	Deutsches Institut für Normung
DMSMS	Diminishing Manufacturing Sources and Material Shortages
DRP	Design Refresh Planning
DVD	Digital Versatile Disc
€ (EUR)	Euro
engl.	englisch
EOL	End of Life
EOP	End of Production
EOS	End of Support / End of Sale
EOSR	End of Service and Repair
etc.	et cetera
ff.	folgende
FFF	Form, Fit and Function
FMEA	Fehlermöglichkeits- und Einflussanalyse
freigeg.	freigegeben
FTC	Frequentis Technology Catalogue
FTM	Frequentis Technology Management
ggf.	gegebenenfalls
HAL	Hardware Abstraction Layer
Hrsg.	Herausgeber
inkl.	inklusive
ISO	International Organization for Standardization
LTB	Last/Life Time Buy
LTD	Last Time Delivery
MAL	Measurement Abstraction Layer
MDCR	Material Data Change Request
MCDM	Multicriteria Decision-Making
OCM	Original Component Manufacturer
OEM	Original Equipment Manufacturer
OKA-Matrix	Obsoleszenzkritikalitätsauswirkung-Matrix

OM	Obsoleszenzmanagement
OMP	Obsoleszenzmanagementplan
OR-Matrix	Obsoleszenzrisiko-Matrix
OW-Matrix	Obsoleszenzwahrscheinlichkeit-Matrix
PCN	Product Change Notification
PDN	Product Discontinuation Notification
REACH	Registration, Evaluation, Authorisation and Restriction of Chemicals
RF	Random Forest
RoHS	Restriction of Hazardous Substances
S.	Seite
SDE	Software Development Environment
sog.	sogenannt
SOP	Start of Production
STE	Software Target Environment
SVM	Support Vector Machine
theor.	theoretisch
TOPSIS	Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution
u.a.	unter anderem
usw.	und so weiter
u.U.	unter Umständen
u.v.m.	und vieles mehr
VDI	Verein Deutscher Ingenieure
VDMA	Verband Deutscher Maschinen- und Anlagenbau
vgl.	vergleiche
VHS	Video Home System
WEEE	Waste of Electrical and Electronic Equipment
YTEOL	Years to End of Life
YTEOS	Years to End of Support
z.B.	zum Beispiel