

# **Einführung einer risikobasierten Instandhaltung in einem Industrieunternehmen**

Masterarbeit  
von  
Philipp Lang, BSc.

**Technische Universität Graz**

Fakultät für Maschinenbau und Wirtschaftswissenschaften

Institut für Betriebswirtschaftslehre und Betriebssoziologie

O.Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr.techn. Ulrich Bauer

Graz, im Februar 2016

In Kooperation mit:

**Hoerbiger Kompressortechnik GmbH**



## EIDESSTATTLICHE ERKLÄRUNG

Ich erkläre an Eides statt, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig verfasst, andere als die angegebenen Quellen/Hilfsmittel nicht benutzt und die den benutzten Quellen wörtlich und inhaltlich entnommene Stellen als solche kenntlich gemacht habe. Das in TUGRAZonline hochgeladene Textdokument ist mit der vorliegenden Masterarbeit identisch.

Graz, am 15.02.2016.....



.....  
(Unterschrift)

## STATUTORY DECLARATION

I declare that I have authored this thesis independently, that I have not used other than the declared sources / resources, and that I have explicitly marked all material which has been quoted either literally or by content from the used sources. The text document uploaded to TUGRAZonline is identical to the present master's thesis.

Graz, 02/15/2016.....  
date



.....  
(signature)

## Kurzfassung

Die Hoerbiger Kompressortechnik vertreibt Schlüsselkomponenten für Kompressoren in der Öl-, Gas- und Prozessindustrie. In den Instandhaltungsabteilungen des Unternehmens fehlt eine klare und transparente Grundlage zur Ableitung von konkreten Instandhaltungsmaßnahmen und zur schnellen Identifikation von wartungsintensiven Anlagen. Aufgrund eines fehlenden Konzepts lagen die Instandhaltungskosten in der Vergangenheit über den definierten Zielwerten. Die risikobasierte Instandhaltung ist ein geeignetes Konzept, um Kosten unter Wahrung eines erforderlichen Sicherheitsniveaus zu senken und den gestiegenen Anforderungen der Anlagenwirtschaft adäquat zu begegnen. Ziel dieser Arbeit ist es, eine Methode zur Risikobewertung von Produktionsmaschinen und zur Ableitung von konkreten Maßnahmen, eingebettet im zukünftigen Instandhaltungsprozess des Unternehmens, zu entwickeln.

Zunächst wurde eine umfassende Literaturrecherche über das Risikomanagement in der Instandhaltung und über Instandhaltungskonzepte durchgeführt. Anschließend wurden qualitative teilstandardisierte Experteninterviews im Unternehmen geführt, um das notwendige Material für eine qualitative Inhaltsanalyse zu erheben. Der zukünftige, SAP unterstützte Instandhaltungsprozess wurde anhand des ARIS Konzepts modelliert und die einzelnen Sichten mittels eines Entity-Relationship Modells, einer ereignisgesteuerten Prozesskette, einer Funktionshierarchie und eines Organigramms dargestellt. Aufbauend auf diesen Ergebnissen wurde ein normierter Risikomanagementprozess sukzessive abgearbeitet, die Instandhaltungsziele definiert, eine Risikomatrix aufgestellt und zugehörige Risikoklassen abgeleitet. Die entwickelte Methode wurde schließlich in einem softwarebasierten Tool technisch umgesetzt.

Im Zuge dieser Arbeit wurde eine SAP unterstützte Methode zur Bewertung von qualitativen Risikoszenarien und zur Ableitung von geeigneten Instandhaltungsgrundstrategien und –maßnahmen in Abhängigkeit einer Risikoklasse entwickelt. Maßgeblich für die Risikobewertung einer Anlage sind hierbei die Gesamtanlageneffektivität, die Instandhaltungskosten, die Stellung im Wertstrom, der Einfluss eines Ausfalls auf das Produktionssystem und Qualitäts-, Umwelt-, Gesundheits- und Sicherheitsaspekte. Die vorgeschlagenen Maßnahmen umfassen u.a. Basisstrategien der Instandhaltung und Tätigkeiten des Total Productive Maintenance Konzepts (TPM), so dass eine flächendeckende Implementierung des TPM Ansatzes möglich wird.

In Zukunft ist es für die Instandhaltungsleitung möglich, auf der Basis einer transparenten und klaren Entscheidungsgrundlage, geeignete Maßnahmen zur Risikominimierung zu treffen und Instandhaltungskosten gezielt zu senken.

## Abstract

Hoerbiger Compression Technology is a supplier for key components of compressors in the oil, gas and process industry. There is no clear and transparent method to determine appropriate maintenance strategies and measures in the maintenance departments. Due to missing concepts, maintenance costs have recently been above the company's target values. Risk based maintenance is a suitable concept to encounter previously increased requirements in the production industries and maintenance. This paper's objective is to develop a method for risk determination of production machines and countermeasures assignment, based on risk classification of each specific object, as an essential part of the future maintenance process.

In order to gain knowledge in the field of risk management in maintenance and maintenance concepts, a literature review was executed. Based on the results of the literature research, partly standardized qualitative interviews with company experts were conducted and all necessary material was gathered for the following qualitative content analysis. As next step, the future SAP supported maintenance process was analyzed and modeled based on the ARIS concept. Therefore, ERM, EPC, a functional hierarchy diagram and an organization chart was used to display all necessary sights. A standardized process for risk management built the basis for all of the following steps. Therefore goals of the maintenance departments were defined, a risk matrix was developed and appropriate risk classes were derived. The developed method was finally implemented in a software based tool.

Result of this paper is a specific SAP supported method for qualitative risk determination of scenarios and counter measure assignment depending on determined risk class. The derived class depends on equipment's efficiency, maintenance costs, its position in the value chain, its influence on the production system and quality, environment, safety and health aspects. Counter measures are based on the recommended maintenance strategies and on Total Productive Maintenance in order to implement the concept throughout the company.

In future the maintenance manager is able to assign appropriate maintenance strategies for the production machines based on a clear and transparent method in order to reduce costs systematically.

## **Vorwort**

An erster Stelle möchte ich ganz herzlich meiner Familie danken. Sie stand mir stets mit Rat und Tat zur Seite und hat mir dieses Studium erst ermöglicht. Vielen Dank auch meiner lieben Freundin Theresa, die mich jederzeit unterstützte.

Ein ganz besonderer Dank geht an Herrn Mag. Nicolaus Stadler und Herrn DI Manfred Rudolf, die mit ihren Inputs, ihrem Fachwissen und hohem Engagement einen wesentlichen Beitrag zum Erfolg dieser Arbeit leisteten. Sie halfen mir jederzeit und haben mir einen spannenden Einblick in die Instandhaltungsabteilungen eines globalen Konzerns ermöglicht. Außerdem möchte ich die großartige Unterstützung aller Hoerbiger Kollegen nicht unerwähnt lassen. Es war stets eine angenehme und konstruktive Atmosphäre, die mich während meines Praktikums und der Diplomarbeit begleitete.

Auch DI Jochen Kerschenbauer gebührt an dieser Stelle mein herzlichster Dank, der mir jederzeit bei wissenschaftlichen Fragestellungen helfend zur Seite stand.

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Einleitung.....</b>	<b>1</b>
1.1	Unternehmen .....	1
1.2	Ausgangssituation.....	1
1.3	Ziel .....	2
1.4	Aufgabenstellung .....	3
1.5	Untersuchungsbereich .....	3
<b>2</b>	<b>Instandhaltung.....</b>	<b>4</b>
2.1	Instandhaltungsbegriff .....	4
2.1.1	Inspektion.....	5
2.1.2	Instandsetzung.....	6
2.1.3	Wartung .....	6
2.1.4	Verbesserung.....	6
2.2	Ziele der Instandhaltung .....	6
2.3	Kosten der Instandhaltung.....	8
2.4	Instandhaltungsstrategien .....	8
2.5	Zuverlässigkeit .....	11
2.6	Instandhaltungscontrolling.....	15
2.6.1	Bildung von Kennzahlen in der Instandhaltung.....	17
2.6.2	Overall Equipment Effectiveness (OEE) .....	18
2.6.3	Verfügbarkeitskenngrößen .....	20
2.6.4	Instandhaltungsrate.....	21
2.7	Instandhaltungskonzepte.....	22
2.7.1	Lean Maintenance System .....	22
2.7.2	Total Productive Maintenance (TPM) .....	25
2.7.3	Reliability Centered Maintenance (RCM).....	27
2.7.4	Risikobasierte Instandhaltung .....	28
<b>3</b>	<b>Risikomanagement.....</b>	<b>29</b>
3.1	Risikobegriff .....	29
3.2	Bedeutung des Risikomanagements .....	31
3.3	Prozess des Risikomanagements .....	34
3.4	Rahmenbedingungen .....	36
3.5	Risikoidentifikation.....	36

---

3.6	Risikoanalyse .....	37
3.7	Risikobewertung.....	37
3.7.1	Failure Mode and Effects Analysis (FMEA) .....	38
3.7.2	Szenarioanalyse.....	39
3.7.3	Ereignisbaumanalyse .....	42
3.8	Risikobewältigung .....	43
<b>4</b>	<b>Risikobasierte Instandhaltung.....</b>	<b>44</b>
4.1	Zunehmende Bedeutung der Anlagenwirtschaft .....	44
4.2	Zunehmende Bedeutung der Instandhaltung.....	46
4.3	Risikobasiertes Instandhaltungskonzept.....	47
4.4	Risk Based Maintenance Procedures for European Industry (RIMAP) – Prozess...	49
4.5	Strategiefindung .....	51
<b>5</b>	<b>Geschäftsprozessmodellierung.....</b>	<b>53</b>
5.1	Architektur integrierter Informationssysteme (ARIS) .....	53
5.2	Business Process Model Notification (BPMN) .....	57
<b>6</b>	<b>Praktische Problemlösung.....</b>	<b>59</b>
6.1	Vorgehensweise.....	59
6.2	Forschungsmethode.....	60
6.3	Empirische Untersuchung .....	61
6.4	Abbildung des Geschäftsprozesses .....	69
6.4.1	Daten .....	69
6.4.2	Funktion .....	72
6.4.3	Organisation.....	74
6.4.4	Steuerung .....	75
6.4.5	ARIS Haus .....	80
6.5	Dominierende Begriffsdefinitionen.....	80
6.6	Risikobewertung und -bewältigung von Instandhaltungsobjekten .....	81
6.6.1	Rahmenbedingungen .....	81
6.6.2	Risikoidentifikation und Risikoanalyse .....	83
6.6.3	Risikobewertung.....	83
6.6.4	Risikobewältigung .....	90
6.7	Technische Implementierung .....	92
6.7.1	Toolunterstützter Risikobewertungsprozess .....	92



---

6.7.2	Hoerbiger Risk Classification Tool (HRCT).....	94
6.8	Kennzahlen für das Instandhaltungscontrolling .....	99
<b>7</b>	<b>Zusammenfassung und Ausblick.....</b>	<b>101</b>
	<b>Literaturverzeichnis .....</b>	<b>103</b>
	<b>Abbildungsverzeichnis .....</b>	<b>109</b>
	<b>Tabellenverzeichnis .....</b>	<b>111</b>
	<b>Abkürzungsverzeichnis .....</b>	<b>112</b>
	<b>Anhang.....</b>	<b>114</b>

# 1 Einleitung

Das folgende einleitende Kapitel dient der Veranschaulichung der Ausgangssituation, der Ziele und der Aufgabenstellung dieser Arbeit. Es wird der Untersuchungsbereich festgelegt und die verwendete Forschungsmethode erläutert.

## 1.1 Unternehmen

Die drei Unternehmensbereiche des Hoerbiger Konzerns besetzen Nischenmärkte in der Kompressor-, Antriebstechnik und Hydraulik. Der Unternehmensbereich der Kompressortechnik bildet das strategische Rückgrat des Konzerns und vertreibt Schlüsselkomponenten für Kompressoren in der Öl-, Gas- und Prozessindustrie. Diese Arbeit legt den Fokus auf die Produktionswerke der Hoerbiger Kompressortechnik in Wien und Fort Lauderdale (USA). Die beiden Werke sind von strategischer Bedeutung für den im Wandel und vor neuen Herausforderungen stehenden Unternehmensbereich.

## 1.2 Ausgangssituation

Langfristig stehen die Signale für die Hoerbiger Kompressortechnik auf Wachstum. Zur positiven Geschäftsentwicklung tragen der weltweit steigende Bedarf an Energie und der wachsende Erdgasanteil am globalen Energieträgermix bei. In den USA ist die große Verfügbarkeit von Schiefergas und die wirtschaftlichen Vorteile der Stromerzeugung durch Erdgas der Treiber dieser Entwicklung.<sup>1</sup> Ebenso spielen geopolitische Überlegungen und der Drang nach Energieunabhängigkeit eine wichtige Rolle.<sup>2</sup> China hat eine ergiebige Anzahl an Schiefergasvorkommen, die in Zukunft mit großer Wahrscheinlichkeit genutzt werden. Von der Förderung, dem Transport und der Verteilung von Erdgas profitiert die Hoerbiger Kompressortechnik.<sup>3</sup>

Um der prognostizierten steigenden Nachfrage und den Anforderungen der kommenden Jahre vorbereitet begegnen zu können, wird das Unternehmen in vielen Bereichen radikal verändert. Veralterte Produktionsanlagen werden laufend ersetzt und die weltweiten Geschäftsprozesse werden geschäftsfeldübergreifend standardisiert. Diese Prozesslandschaft soll durch eine neugestaltete SAP Landschaft unterstützt werden. Es ergibt sich daher die Möglichkeit einer frühzeitigen Definition von Anforderungen, die bei der Prozessentwicklung berücksichtigt werden können.

Politische Ereignisse und volkswirtschaftliche Entscheidungen führten 2014 zu neuen Herausforderungen in der Kompressortechnik. Zu Beginn des Jahres wurden bedeutende lateinamerikanische Währungen kontinuierlich abgewertet. Mitte des Jahres eskalierte der Ukraine Konflikt und die als Folge des Konflikts verhängten Sanktionen gegen Russland,

---

<sup>1</sup> Vgl. Hipfl, J. (2014), S.63

<sup>2</sup> <http://energy.gov/articles/president-obama-talks-energy-state-union-2013> (2.12.2015)

<sup>3</sup> Vgl. Hipfl, J. (2014), S.64

brachten einen Währungsverfall des russischen Rubels mit sich. Im dritten und vierten Quartal führte ein globales Überangebot an Rohöl zu einer erheblichen Senkung des Weltmarktpreises. Der durch Schiefergas- und Schieferölgewinnung erlebte Boom der vergangenen Jahre nahm ein Ende. Dieser Umstand führt bei Kunden der Hoerbiger Kompressortechnik in den Vereinigten Staaten zu großen wirtschaftlichen Schwierigkeiten, sodass die gestiegenen wirtschaftlichen Herausforderungen für die Hoerbiger Kompressortechnik den Bedarf an Exzellenz- und Verbesserungsinitiativen zur Kostensenkung steigern.<sup>4</sup>

Die Instandhaltungskosten der Werke in Fort Lauderdale und Wien liegen über den definierten Unternehmenszielen. Ein fehlendes Instandhaltungskonzept, mangelnde Regeln zur Ableitung von geeigneten Instandhaltungsstrategien und eine verbesserungswürdige Transparenz von Instandhaltungsabteilungen und -objekten führen zu einer geringen Kontrolle über Effektivität und Effizienz und damit letztlich zu einer ineffizienten Ressourcenverteilung. Beleg- und messbare Kennzahlen für die Instandhaltung sind kaum vorhanden und so beruhen die Entscheidungen oft auf der Basis von subjektiven Wahrnehmungen.

Es fehlt somit eine transparente und klare Grundlage zur Ableitung von konkreten Instandhaltungsmaßnahmen und zur Identifikation von wartungsintensiven Anlagen für Investitionsentscheidungen. Allgemein ist festzustellen, dass die Bedeutung der Instandhaltung aufgrund von betriebs-, volkswirtschaftlichen und technologischen Faktoren zugenommen hat.<sup>5</sup> Trotzdem fehlt es in vielen Unternehmen an transparenten Entscheidungskriterien und klaren Handlungsdirektiven.<sup>6</sup>

### 1.3 Ziel

Ziel dieser Arbeit ist es, eine Risikobewertung von Instandhaltungsobjekten zur Ableitung konkreter Instandhaltungsmaßnahmen zu entwickeln. Im Mittelpunkt der Betrachtung steht dabei das Risiko bezüglich des Ausfalls einer Produktionsmaschine. Die Risikobewertung soll eine möglichst schnelle Bewertung durch den Instandhaltungsleiter<sup>7</sup> ermöglichen und im zukünftigen Instandhaltungsprozess integriert sein. Dabei soll der Mehraufwand für den Instandhaltungsleiter so gering wie möglich gehalten werden. Deshalb müssen Kennzahlen und Informationen aus dem SAP System oder Maschinendatenerfassungssystemen (MES) verwendet und standardisierte Fragen definiert werden. Diese Risikobewertung soll eine transparente und verständliche Grundlage für die Ableitung von konkreten Maßnahmen für die Instandhaltungsleiter bilden und für Kontrolle von Effektivität und Effizienz der Instandhaltungsobjekte und –abteilungen sorgen. Die Produktion soll auf diese Art einen

---

<sup>4</sup> Vgl. Hipfl, J. (2014), S.64f

<sup>5</sup> Vgl. Prüß, H.; Nebel, T. (2006), S.729

<sup>6</sup> Vgl. Diehl, H. (2009), S.120ff

<sup>7</sup> Im Text wird auf eine Auflistung der weiblichen Form weitgehend verzichtet. Hiermit wird klargestellt, dass der Verfasser keine weiblichen Leserinnen diskriminieren möchte. Die Entscheidung beruht aus Gründen der besseren Lesbarkeit dieser Arbeit.

schnellen Überblick über die wartungsintensiven Anlagen und Information für Investitionsentscheidungen gewinnen.

## **1.4 Aufgabenstellung**

Zur Erreichung der festgelegten Ziele soll zunächst eine umfassende Literaturrecherche über Instandhaltungskonzepte und das Risikomanagement in der Instandhaltung durchgeführt werden. Anschließend sollen die so gewonnen Erkenntnisse mit Hilfe einer empirischen Untersuchung erweitert und vertieft werden. Basierend auf den Ergebnissen der Literaturrecherche und der empirischen Untersuchung soll eine maßgeschneiderte Methode zur Risikobewertung von Produktionsanlagen und zur Ableitung konkreter Instandhaltungsmaßnahmen entwickelt werden.

Diese Methode muss im zukünftigen Instandhaltungsprozess integriert sein und auf SAP oder MES Daten, sowie standardisierten Fragen basieren. Zur Klärung der Anforderungen und der Rahmenbedingungen muss der SOLL-Prozess vollständig und verständlich abgebildet werden. Die Schnittstellen mit anderen SOLL-Prozessen von nahestehenden funktionalen organisatorischen Einheiten müssen eruiert und berücksichtigt werden. Anschließend soll der dominierende Risikobegriff der Arbeit definiert und die Methode zur Risikobewertung gemäß der oben aufgezeigten Zielsetzung entwickelt werden. Die geeigneten Instandhaltungsmaßnahmen zur Risikobewältigung sollen bestimmt und den Risiken zugeordnet werden.

Einmal jährlich soll der Instandhaltungsleiter konkrete Instandhaltungsmaßnahmen schnell und einfach ableiten können. Ein transparenter Überblick von wartungsintensiven Produktionsanlagen soll so ermöglicht werden.

## **1.5 Untersuchungsbereich**

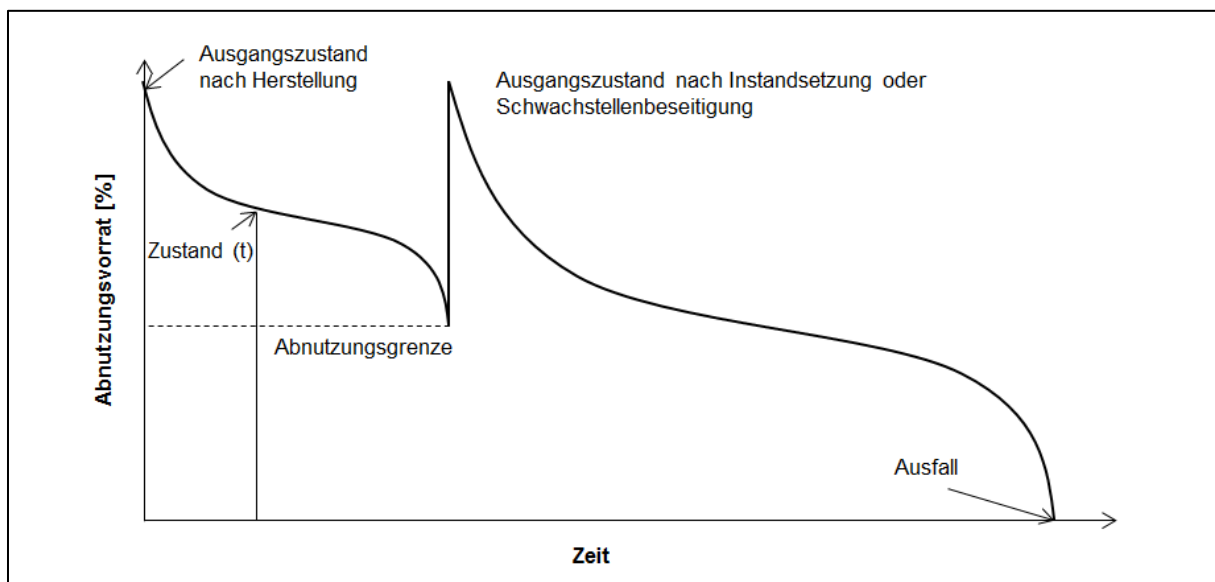
Der Untersuchungsbereich umfasst das Risikomanagement in der Instandhaltung, Instandhaltungskonzepte und -kennzahlen, die Instandhaltungsabteilungen der Hoerbiger Ventilwerke in Wien, der Hoerbiger Corporation of America in Fort Lauderdale und der Hoerbiger Antriebstechnik, sowie das erhobene Material der empirischen Untersuchung.

## 2 Instandhaltung

Das folgende Kapitel beschreibt die theoretischen Grundlagen der Instandhaltung. Zunächst werden der Begriff sowie Ziele der Instandhaltung, die Basisstrategien der Instandhaltung und relevante Kennzahlen beschrieben. Anschließend werden geeignete Methoden zur Abbildung von Geschäftsprozessen und wesentliche Instandhaltungskonzepte erläutert.

### 2.1 Instandhaltungsbegriff

Es existiert eine Vielzahl von Begriffen und Definitionen für Instandhaltungsmaßnahmen. Sie variieren dabei bezüglich ihrer Bedeutung, des Inhalts und der Anwendbarkeit für technische Systeme. Ergänzend gibt es viele Normen, die sich teilweise hinsichtlich ihrer Begriffsdefinitionen voneinander unterscheiden und widersprechen. Grundsätzlich empfiehlt es sich daher, um Probleme bei der Begrifflichkeit zu vermeiden, nur eine Quelle bzw. eine Norm zu verwenden. Die DIN 31051 wurde anfänglich für technische Systeme entwickelt und ist aufgrund ihrer Überarbeitung für die Instandhaltung von Objekten und Systemen jeglicher Art geeignet.<sup>8</sup> Sie bietet eine klare Begriffsdefinition und findet hohe Akzeptanz in der Wissenschaft und Praxis.<sup>9</sup> Wesentliche Grundlage für die Norm bildet das Abnutzungsvorratskonzept.<sup>10</sup> Dies bedeutet, dass eine Einheit nach der Herstellung über einen vollen Nutzungsvorrat verfügt. Nach der Inbetriebsetzung schmälert sich dieser Vorrat durch Abnutzung, die durch chemische oder physikalische Vorgänge wie Korrosion oder Reibung hervorgerufen wird. Dies führt zu einem unweigerlichen Absinken des Abnutzungsvorrats.<sup>11</sup> Abbildung 2.1 veranschaulicht dieses Konzept.



**Abbildung 2.1** Verlauf des Abnutzungsvorrates einer Einheit<sup>12</sup>

<sup>8</sup> Vgl. Schröder, M. (2005) S.20f

<sup>9</sup> Vgl. Behrenbeck, K. (1994) S.4

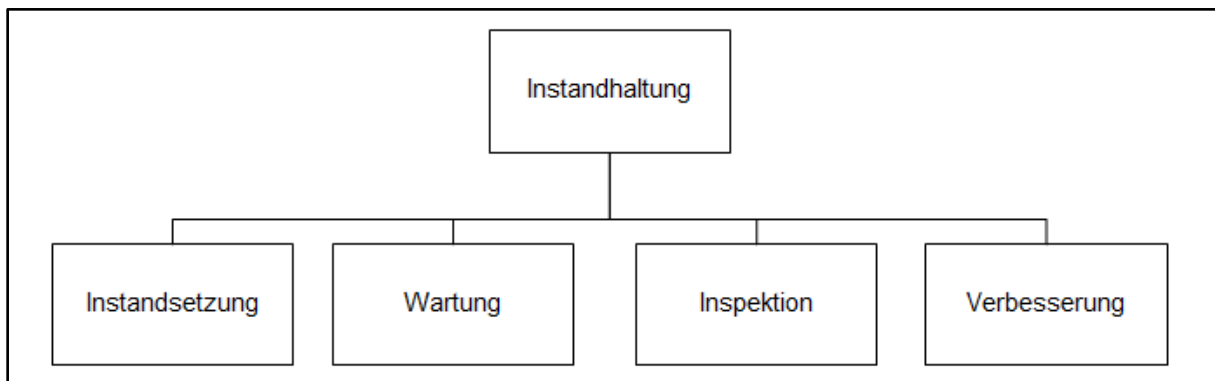
<sup>10</sup> Vgl. Niekisch, T. (2001) S.82

<sup>11</sup> Vgl. Matyas, K. (2008) S.30

<sup>12</sup> In Anlehnung an Matyas, K. (2008) S.31

Gemäß DIN 31051 ist die Instandhaltung definiert als:

„Kombination aller technischen und administrativen Maßnahmen sowie Maßnahmen des Managements während des Lebenszyklus einer Einheit, die dem Erhalt oder Wiederherstellung ihres funktionsfähigen Zustands dient, sodass sie die geforderte Funktion erfüllen kann“<sup>13</sup>. Der Begriff der Einheit bezeichnet ein „Gerät, Teilsystem, Funktionseinheit, Betriebsmittel oder System, das/die für sich allein beschrieben und betrachtet werden kann“<sup>14</sup>. Wie aus Abbildung 2.2 ersichtlich, gliedert sich die Instandhaltung in vier Grundmaßnahmen.<sup>15</sup>



**Abbildung 2.2** Die vier Grundmaßnahmen der Instandhaltung<sup>16</sup>

### 2.1.1 Inspektion

Gemäß DIN 31051 umfasst die Inspektion „Maßnahmen zur Feststellung und Beurteilung des Istzustands einer Einheit, einschließlich der Bestimmung der Ursachen der Abnutzung und dem Ableiten der notwendigen Konsequenzen für künftige Nutzung“<sup>17</sup>. Der Zustand wird über Mess- und Prüfvorgänge ausfindig gemacht. Dabei wird ein spezieller Wert einer physikalischen Größe ermittelt und mit den geforderten Bedingungen bezüglich Toleranz- und Fehlergrenzen verglichen. Die Aufgabe der Inspektion ist es, Fehler vor dem Ausfall einer Einheit zur Vermeidung von Folgeschäden zu identifizieren. Die generellen Ziele sind hierbei die rechtzeitige Instandsetzung, die Reduzierung der Kosten eines Ausfalls und die Vermeidung von Ausfallverlusten aufgrund eines geeigneten Durchführungszeitpunkts der Instandsetzungsmaßnahmen.<sup>18</sup>

<sup>13</sup> DIN 31051 (2012)

<sup>14</sup> DIN 31051 (2012)

<sup>15</sup> Vgl. DIN 31051 (2012)

<sup>16</sup> In Anlehnung an DIN 31051 (2012)

<sup>17</sup> Vgl. DIN 31051 (2012)

<sup>18</sup> Vgl. Strunz, M. (2012), S.46ff

### 2.1.2 Instandsetzung

Die Instandsetzung bezeichnet gemäß DIN 30151 eine „physische Maßnahme, die ausgeführt wird, um die Funktion einer fehlerhaften Einheit wiederherzustellen“<sup>19</sup>. Instandsetzungsmaßnahmen dienen in erster Linie der Erhöhung des Abnutzungsvorrats.<sup>20</sup> Die Instandsetzung war früher unter der Reparatur bekannt und wird durch ein Bearbeiten oder Ersetzen der fehlerhaften Einheit durchgeführt.<sup>21</sup> Maßnahmen werden grundsätzlich in Abhängigkeit eines Intervalls, z.B. der Betriebszeit oder Stückzahl, aufgrund des im Zuge der Inspektion festgestellten Zustands oder nach Eintritt eines Fehlers eingeleitet.<sup>22</sup>

### 2.1.3 Wartung

Die Wartung umfasst gemäß DIN 30151 „Maßnahmen zur Verzögerung des Abbaus des vorhandenen Abnutzungsvorrats“<sup>23</sup>. Ziel ist die Aufrechterhaltung des Ausgangszustands und letztlich die Sicherstellung der Arbeitssicherheit durch geeignete Maßnahmen. Zu den relevanten Teilmaßnahmen zählen das Reinigen, Konservieren, Nachstellen, Schmieren, Ergänzen und Auswechseln von Einheiten. Die verzögerte Geschwindigkeit der Abnutzung soll schließlich zu einer verlängerten Lebensdauer führen.<sup>24</sup> So umfasst die Wartung u.a. auch die routinemäßige Pflege von Anlagen.<sup>25</sup>

### 2.1.4 Verbesserung

Nach DIN 31051 ist die Verbesserung definiert, als die „Kombination aller technischen und administrativen Maßnahmen, sowie Maßnahmen des Managements zur Steigerung der Zuverlässigkeit und/oder Instandhaltbarkeit und/oder Sicherheit einer Einheit, ohne ihre ursprüngliche Funktion zu ändern“<sup>26</sup>.

## 2.2 Ziele der Instandhaltung

Die Instandhaltung hat für die Verlangsamung der Abnutzungsgeschwindigkeit und der Vermeidung von Schaden und Abnutzung Sorge zu tragen. Auch wenn sich die Abnutzung per se nicht verhindern lässt, so liegt die Hauptaufgabe in der Werterhaltung und Wahrung des funktionstüchtigen Zustands. Die primäre Aufgabe der Instandhaltung ist somit die Sicherstellung eines störungsfreien Betriebs mit möglichst geringem Aufwand. Im betrieblichen Verständnis sichert die Instandhaltung die Funktionsfähigkeit aller direkt und indirekt am Prozess beteiligter Sachelemente. Produktionsanlagen haben aber als Wertschöpfungskernelement oberste Priorität.<sup>27</sup>

---

<sup>19</sup> DIN 31051 (2012)

<sup>20</sup> Vgl. Schröder, M. (2005) S.37

<sup>21</sup> Vgl. Matyas, K. (2008), S.35

<sup>22</sup> Vgl. Strunz, M. (2012), S.68

<sup>23</sup> DIN 31051 (2012)

<sup>24</sup> Vgl. Matyas, K. (2008), S.35

<sup>25</sup> Vgl. Kern, W. (1980), S.191

<sup>26</sup> DIN 31051 (2012)

<sup>27</sup> Vgl. Strunz, M. (2012) S.2ff

In Produktionsbetrieben ist die Instandhaltung für einen sicheren und zuverlässigen Betrieb sowie die Verfügbarkeit von Anlagen verantwortlich. Die Maschine darf keine Gefahr für die Gesundheit und Sicherheit der Mitarbeiter darstellen und der Wert der Objekte muss erhalten bleiben.<sup>28</sup>

Die Instandhaltung vermittelt oftmals das Bild eines unangenehmen Kostenverursachers, der keinen wesentlichen Beitrag zum wertschöpfenden Prozess leistet. Tatsächlich ist die Instandhaltung aber der Dienstleister für die Produktion, dem essentiellen Teil der Wertschöpfung und somit für eine stabile, prozesssichere und qualitative Produktion verantwortlich.<sup>29</sup>

Abbildung 2.3 zeigt einen Überblick über die Ziele der Instandhaltung.

Hauptziele	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Zuverlässigkeits- und Sicherheitsmaximierung</li> <li>• Kostenminimierung bzw. Gewinnmaximierung</li> </ul>	
Unterziele	
<b>Technisch organisatorische Ziele</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Verbesserung des technischen Zustands der Einheit</li> <li>• Reduzierung von Folgeschäden</li> <li>• Reduzierung von Maschinenausfällen</li> <li>• Reduzierung des Instandhaltungsumfangs</li> <li>• Vereinheitlichung der Aufbau- und Ablauforganisation</li> <li>• Verbesserung der Kommunikation mit anderen Betriebsstellen</li> </ul>
<b>Wirtschaftliche Ziele</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Reduzierung der Personalkosten</li> <li>• Reduzierung der Personalkosten</li> <li>• Reduzierung von Ausfall und Ausfallfolgekosten</li> <li>• Erhöhung der Maschinenverfügbarkeit</li> <li>• Werterhaltung der Betriebseinrichtung</li> </ul>
<b>Sonstige Ziele</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Erhöhung der Arbeitssicherheit</li> <li>• Verringerung der Personalfuktuation</li> </ul>

**Abbildung 2.3** Haupt- und Unterziele der Instandhaltung<sup>30</sup>

<sup>28</sup> Vgl. Leidinger, B. (2014) S.15

<sup>29</sup> Vgl. Wiegand, B. et al (2011), S.12

<sup>30</sup> In Anlehnung an Matyas, K (2008), S.28



## 2.3 Kosten der Instandhaltung

Die zentrale Aufgabe der Instandhaltung ist die Sicherung von Sicherheit, Zuverlässigkeit, Verfügbarkeit und die Werterhaltung von Anlagen mit möglichst geringem Aufwand.<sup>31</sup>

Direkte und indirekte Kosten bilden die Instandhaltungsgesamtkosten. Die direkten Kosten der Instandhaltung beinhalten jene für die eigene und fremde Instandhaltung und zusätzlich anfallende Kosten. Die eigenen Instandhaltungskosten setzen sich aus Kosten für Lohn, Material, Arbeitsmittel, Ersatzteile und Kapitalbindung aufgrund der Lagerung von erforderlichen Materialien zusammen. Wird aufgrund der Unternehmensvergabepolitik ein externer Dienstleister beauftragt, fallen diese Kosten unter die Kategorie der fremden Instandhaltungskosten. Sie umfassen alle Aufwendungen, die dem Betrieb im Zuge der externen Dienstleistung in Rechnung gestellt werden. Zusätzlich treten Verluste aufgrund des Abstellens der Anlage, der Freigabe für die Instandhaltungstätigkeiten und der Wiederindienststellung der Maschine auf.<sup>32</sup>

Die indirekten Kosten entstehen infolge von Anlagenstillständen und werden als Stillstandskosten oder Verluste bezeichnet. Diese setzen sich aus verlorenen Deckungsbeiträgen, sonstigen aus dem Stillstand resultierenden Verlusten wie Strafzahlungen, Maschinenstundenkosten sowie notwendigen Mehraufwendungen, wie z.B. Überstunden zusammen.<sup>33</sup> Diese Ausfälle können der Instandhaltungsabteilung und -objekten nicht direkt zugeordnet werden, sondern betreffen auch andere Kostenträger, wie z.B. die Produktion.

$$\text{Indirekte Instandhaltungskosten} = \text{Stillstandskosten} \quad 2.1$$

$$\text{Direkte Instandhaltungskosten} = \text{Eigene Kosten} + \text{Fremde Kosten} + \text{Zusatzkosten} \quad 2.2$$

$$\text{Instandhaltungskosten} = \text{Indirekte Instandhaltungskosten} + \text{Direkte Instandhaltungskosten} \quad 2.3$$

## 2.4 Instandhaltungsstrategien

Die zuvor beschriebenen Kosten können abhängig von der gewählten Instandhaltungsstrategie beeinflusst werden. Mit zunehmender Planbarkeit von Instandhaltungsmaßnahmen sinken die Stillstandskosten. Die Planung von Maßnahmen ermöglicht es den Stillstand und Aktionen zur Verringerung der Ausfallszeit gezielt zu bestimmen. So können sich Produktion und Instandhaltung besser aufeinander abstimmen und Ressourcen effektiver genutzt werden. Mit zunehmendem Planungsgrad der Anlagenstillstände sinken die Stillstandskosten.<sup>34</sup>

---

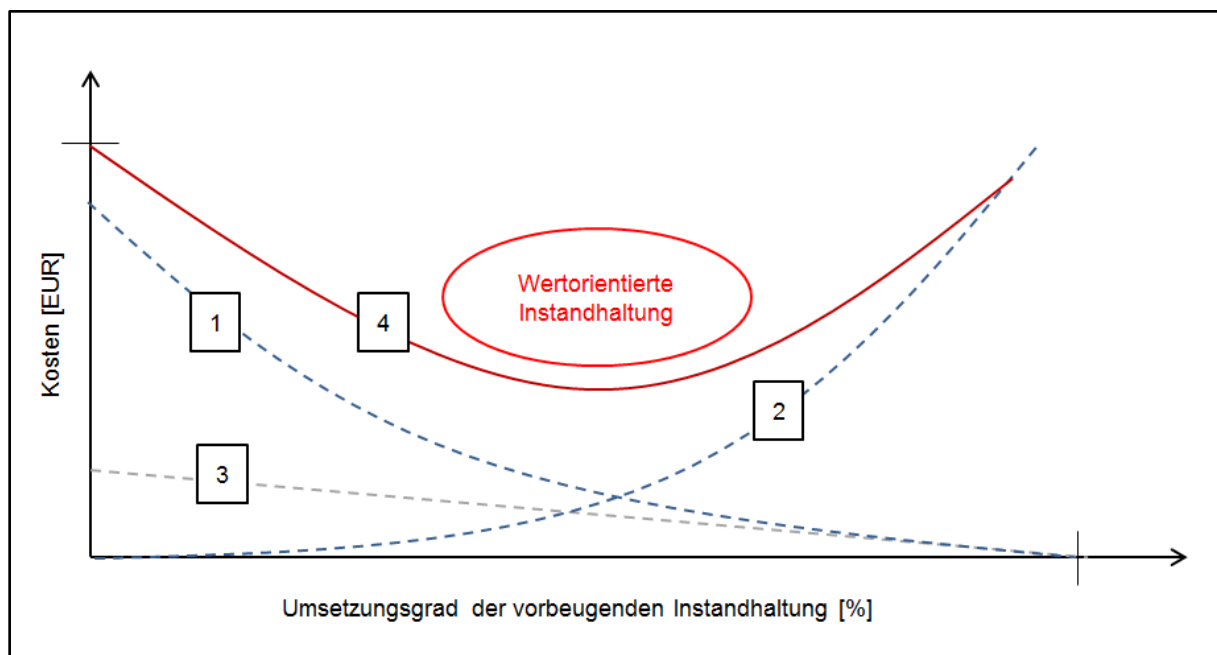
<sup>31</sup> Vgl. Leidinger, B. (2014), S.15

<sup>32</sup> Vgl. Strunz, M. (2012), S.360

<sup>33</sup> Vgl. Strunz, M. (2012), S.362

<sup>34</sup> Vgl. Strunz, M. (2014), S.362ff

Es können Instandhaltungsmaßnahmen geplant und durchgeführt werden, um Störungen präventiv zu verhindern. Mit steigenden vorbeugenden Maßnahmen sinken die Kosten der Betriebsunterbrechungen und der Schadensvergrößerung (1) sowie die direkte Entstörungskosten (3) einer Anlage. Eine Schadensvergrößerung tritt auf, wenn eine fehlerhafte Komponente eine benachbarte beschädigt. Die präventiven Kosten (2) steigen mit zunehmenden Umsetzungsgrad der vorbeugenden Instandhaltung. Die „wertorientierte Instandhaltung“ (4) soll das Ziel der Erreichung von maximaler Wirtschaftlichkeit verfolgen.<sup>35</sup> Auf Abbildung 2.4. ist der Zusammenhang der Kosten und des Gesamtkostenminimums dargestellt.



**Abbildung 2.4** Die wertorientierte Instandhaltung<sup>36</sup>

Der Instandhaltung stehen unterschiedliche Strategien als Werkzeug zur Verfügung. Generell können drei Grundstrategien definiert werden.<sup>37</sup>

Die störungsbedingte oder reaktive Instandhaltung wird erst bei einer Störung aktiv. Es werden keine präventiven Maßnahmen getroffen und die Störung der Anlage wird bewusst in Kauf genommen. Unter präventiver oder vorbeugender Instandhaltung fallen alle Maßnahmen, die getroffen werden, um eine Störung vor Störungseintritt zu verhindern. Dazu zählt die zeitbasierte und zustandsorientierte Strategie.<sup>38</sup> Es wird erst gehandelt, wenn der Abnutzungsvorrat vollständig aufgebraucht ist.<sup>39</sup>

<sup>35</sup> Vgl. Leidinger, B. (2014), S.21ff

<sup>36</sup> In Anlehnung an Leidinger, B. (2014), S.24

<sup>37</sup> Vgl. Wiegand, B. et al (2011), S.13

<sup>38</sup> Vgl. Leidinger, B. (2014), S.16ff

<sup>39</sup> Vgl. Leidinger, B. (2014), S.20

Bei zeitbasierter Vorgehensweise werden Maschinenteile nach festen Intervallen ausgetauscht oder instand gesetzt, um einer Störung vorzubeugen.<sup>40</sup> Es werden Bauteile vor dem vollständigen Verbrauch des Abnutzungsvorrats ausgetauscht, die zu diesem Zeitpunkt damit noch über ein Restnutzungspotenzial verfügen. Basis für die geplanten Zeitintervalle sind Herstellerempfehlungen sowie Erfahrungswerte. Die zeitbasierte Instandhaltung beruht auf der Annahme, dass der Abnutzungsvorrat beim Austausch mit großer Wahrscheinlichkeit noch nicht erschöpft ist.<sup>41</sup>

Die zustandsbasierte Instandhaltung wird aktiv, wenn es aufgrund des Zustands notwendig ist. Vor Einleiten einer Maßnahme muss der Zustand festgestellt und die notwendigen Maßnahmen abgeleitet werden. Ein wesentliches Instrument hierfür sind Inspektionen. Der Austausch erfolgt, sobald der Abnutzungsvorrat bis zum nächsten Inspektionszeitpunkt erschöpft erscheint. Im Gegensatz zur zeitbasierten Methode folgt die zustandsbasierte Instandhaltung keinem fest definierten Zeitintervall zum Austausch.<sup>42</sup>

Im Zuge einer wertorientierten Instandhaltung ist es die zentrale Aufgabe der betrieblichen Instandhaltungsabteilung, die passende Strategie zu finden und eine maximale Wirtschaftlichkeit zu erreichen. Diese ergibt sich über eine optimale Kombination von Instandhaltungsstrategien für die im Betrieb verteilten technischen Anlagen sowie ihrer Komponenten in Abhängigkeit der spezifischen Anforderungen.<sup>43</sup> Für den Prozess der Strategiefindung und der Ableitung konkreter Maßnahmen in der Instandhaltung fehlen in vielen Betrieben die Entscheidungskriterien und Handlungsdevisen.<sup>44</sup>

Abbildung 2.5 fasst die Basisstrategien der Instandhaltung zusammen.

---

<sup>40</sup> Vgl. Wiegand, B. et al (2011), S.14

<sup>41</sup> Vgl. Leidinger, B. (2014), S.19

<sup>42</sup> Vgl. Leidinger, B. (2014), S.18

<sup>43</sup> Vgl. Leidinger, B. et al (2014), S.24

<sup>44</sup> Vgl. Diehl, H. (2009), S.120f

Basisstrategien in der Instandhaltung			
	Ausfallbasiert	Zeitbasiert	Zustandsbasiert
Charakteristik	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Element bleibt bis zum Schadenseintritt</li> <li>• Plötzlicher Ausfall</li> <li>• Beseitigung des Schadens durch Instandsetzung</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Feste geplante periodische Termine</li> <li>• Termine unabhängig von Zustand der Einheiten</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Periodische Termine</li> <li>• Wartung und Instandsetzung nur, wenn es der Zustand erfordert</li> </ul>
Maßnahmen	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Instandsetzung</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Wartung und Instandsetzung</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Inspektion, Wartung und Instandsetzung</li> </ul>
Vorteile	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Nutzungsvorrat wird vollständig genutzt</li> <li>• Einfach</li> <li>• Geringer Personalbedarf</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Hohe Verfügbarkeit</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Sehr hohe termingerechte Verfügbarkeit</li> <li>• Bessere Materialökonomie</li> </ul>
Nachteile	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Geringe Verfügbarkeit</li> <li>• Ausfallzeitpunkt und -dauer zufällig</li> <li>• Stillstandszeit während Einsatz</li> <li>• Hohe Ausfallverluste</li> <li>• Hohe Bestände und Lagerkosten</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Weitgehende Vermeidung von plötzlichen Ausfällen</li> <li>• Vorbeugende Maßnahmen, daher kaum Folgeschäden</li> <li>• Hohe Effizienz und Qualität durch Terminierung und Vorbereitung</li> <li>• Planbarkeit</li> <li>• Abstimmung mit der Produktion</li> <li>• Abbau des Ersatzteilbestandes</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Planungsaufwand</li> <li>• Diagnoseaufwand</li> <li>• Inspektionspersonal erforderlich</li> </ul>

Abbildung 2.5 Die Basisstrategien der Instandhaltung<sup>45</sup>

## 2.5 Zuverlässigkeit

Die deutsche Definition der Zuverlässigkeit wurde ursprünglich der amerikanischen entnommen:<sup>46</sup>

„Zuverlässigkeit ist [danach] die Wahrscheinlichkeit dafür, daß eine Einheit während einer definierten Zeitdauer unter angegebenen Funktions- und Umgebungsbedingungen nicht ausfällt.“<sup>47</sup>

Beim Ausfall verliert eine Einheit die Fähigkeit, ihre geforderte Funktion zu erfüllen. Sobald die Funktion nicht mehr erfüllt werden kann, tritt der Zustand eines Fehlers ein.<sup>48</sup> Dieser Zustand wird über eine vollkommene Unfähigkeit oder eine eingeschränkte Fähigkeit zur Funktionserfüllung definiert. Ein Drucker könnte zwar korrekte Ausdrücke in geforderter Qualität, aber nur fünf der erforderlichen zehn Seiten liefern.<sup>49</sup> Eine technische Anlage ist immer ein Gesamtsystem verschiedener Komponenten. Das System ist über etwaige Redundanzen geschützt. Jeder Ausfall wird durch einen Fehler verursacht, aber nicht jeder Fehler führt zwingend zum Ausfall des Gesamtsystems.<sup>50</sup>

<sup>45</sup> In Anlehnung an Prüß, H.; Nebel, T. (2006), S.730

<sup>46</sup> Vgl. Bitter, P. et al (1977), S.2

<sup>47</sup> Bitter, P. et al (1977), S.2

<sup>48</sup> Vgl. DIN 31051 (2012)

<sup>49</sup> Vgl. Eberlin, S.; Hock, B. (2014), S.10

<sup>50</sup> Vgl. Strunz, M. (2012), S.200

Es existieren verschiedene Arten von Ausfällen. Ein Ausfall kann plötzlich und unerwartet auftreten (Sprungausfall) oder sich im Voraus durch Ändern von Parametern ankündigen (Driftausfall), jene, die sich durch Instandsetzung wieder beheben lassen und jene, die nicht behebbar sind. Eine Einheit kann vollkommen arbeitsunfähig (Totalausfall) oder von fehlender einwandfreien Funktionserfüllung sein (Teilausfall).<sup>51</sup>

Betrachtet man das Ausfallverhalten einzelner Komponenten über ihre Betriebsdauer, so verläuft die Fehlerrate in einer badewannenähnlichen Form. Diese Kurve wird in der Zuverlässigkeitstechnik daher auch als „Badewannenkurve“ bezeichnet. Die Betriebsdauer ist die tatsächliche Zeitdauer des Betriebs einer Anlage. Die Fehlerrate ist die Anzahl der Fehler pro Betriebsdauer. So ist für die Ermittlung und Darstellung der Fehlerrate nur die wirkliche Dauer des Betriebs relevant. Wenn die Komponente in fünf Jahren nur ein Jahr benutzt wurde und ein Fehler auftritt, so ist die ermittelte Fehlerrate ein Fehler pro Jahr und nicht ein Fehler pro fünf Jahre. Das beschriebene Verhalten trifft auch auf das Gesamtsystem zu. Produktionsmaschinen folgen diesem Verlauf bei gleichen Bedingungen ziemlich genau.<sup>52</sup>

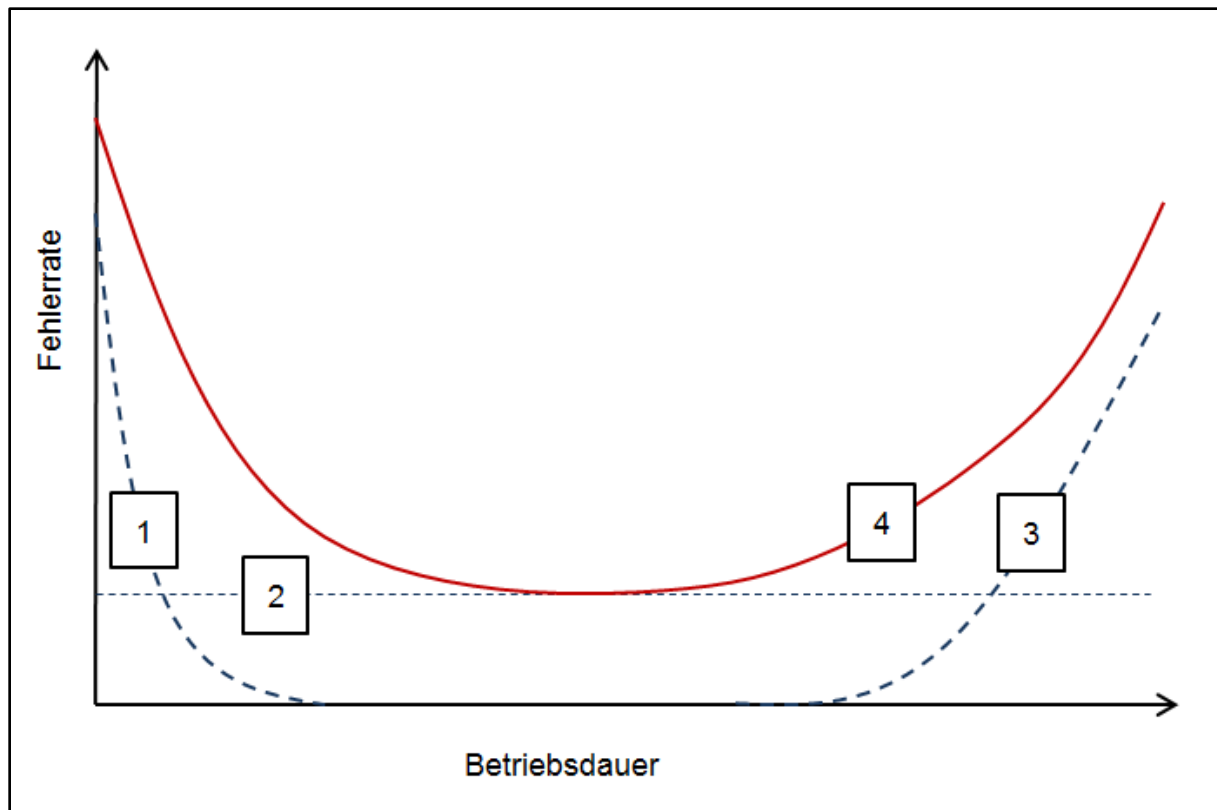
Zu Beginn der Inbetriebnahme ist die Fehlerrate aufgrund von frühen Fehlern (1) hoch. Diese werden oft auch als „Kinderkrankheiten“ bezeichnet und treten zu Beginn des Lebenszyklus eines Produktes auf. Sie resultieren u.a. aus Planungs-, Produktions- und Konstruktionsfehlern. Auch wenig Erfahrung der beteiligten Personen spielt in dieser Phase eine wesentliche Rolle. Falsche Bedienung oder Installation kann zu einer vermehrten Anzahl von Ausfällen zu Beginn der Betriebszeit führen. Die Anzahl an „Kinderkrankheiten“ nimmt mit zunehmender Betriebsdauer aber rasch ab. Durch Tests der Hersteller und hoher Marktreife der Produkte sind diese im realen Betrieb gar zu vernachlässigen. Anschließend sinkt die Fehlerrate des Gesamtsystems und bleibt annähernd konstant. Während dieser Zeitspanne erfüllt die Produktionsmaschine ihre Funktion weitestgehend zuverlässig und Fehler treten nur noch zufällig auf. Diese zufälligen Fehler (2) treten plötzlich auf, sind technisch zu erklären, aber in der Regel nicht prognostizierbar. Grund für diese Ausfälle sind vorwiegend Komponenten mit mangelnder Qualität und Materialien mit einer statistischen Abweichung der Materialeigenschaften. Zufällige Fehler können während der gesamten Lebensdauer des Produkts auftreten und sind zu jedem Zeitpunkt gleich wahrscheinlich. Mit zunehmender Betriebsdauer und Alter der technischen Anlage beginnt die Phase der Alterungsfehler (3) Die Fehlerrate des Gesamtsystems steigt erneut an. Angesichts der üblichen Beanspruchung verschleissen Teile und Komponenten. Verschleißfehler treten zu Beginn nicht auf und kommen mit zunehmendem Alter häufiger vor. Alle Fehlerarten und Fehlerraten über der Betriebsdauer addiert, ergeben das Ausfallverhalten gemäß Badewannenkurve (4), Auf Abbildung 2.6 wird dieser Verlauf dargestellt.<sup>53</sup>

---

<sup>51</sup> Vgl. Strunz, M. (2012), S.201f

<sup>52</sup> Vgl. Eberlin, S.; Hock, B. (2014), S. 12f

<sup>53</sup> Vgl. Eberlin, S.; Hock, B. (2014), S.10ff



**Abbildung 2.6** Die Badewannenkurve<sup>54</sup>

Der Verlauf der Badewannenkurve hat Einfluss auf die Prognostizierbarkeit eines Ausfalls und somit auf die Instandhaltungsstrategie. Alterungsfehler lassen sich leichter prognostizieren und können durch zustandsabhängige Instandhaltung vorgebeugt werden. In der Phase der überwiegend zufälligen Fehler ist eine Prognose von Fehlern schwer bis gar nicht möglich. Diese Zeit sollte genutzt werden um das Langzeitverhalten der Anlage und ihre Verschleißcharakteristiken kennenzulernen. Je genauer Prognosen funktionieren, desto zielgerichteter kann ein Austausch notwendiger Teile ohne schwerwiegende Produktionsstörung vollzogen werden. Auf diese Art wird die Instandhaltung zum Produktivitätsfaktor, denn sie hat maßgeblichen Einfluss auf Störungen, macht das Risiko kalkulierbar und erhält den technische Wert der Anlage über die gesamte Nutzungsdauer.<sup>55</sup>

Die mittlere Betriebszeit zwischen zwei Fehlern gilt als Maß für die Zuverlässigkeit. Diese Kennzahl wird als MTBF (engl. Mean Time Between Failures) bezeichnet. Je höher der Wert des MTBFs, desto zuverlässiger und unwahrscheinlicher ist ein Ausfall. Für die Ermittlung genauer Zuverlässigkeitswerte müssen statistische Methoden angewendet werden. Auf diese wird in dieser Arbeit jedoch nicht näher eingegangen. Im Zuge statischer Methoden und Verfahren können quantitative Zuverlässigkeitswerte einzelner Komponenten und eine Zuverlässigkeitsfunktion empirisch ermittelt werden. Die Zuverlässigkeitsfunktion einzelner

<sup>54</sup> In Anlehnung an Eberlin, S.; Hock, B. (2014), S.12

<sup>55</sup> Vgl. Hodapp, W. (2009), S.140f

Komponenten kann abhängig von serieller oder paralleler Schaltungen auf das Gesamtsystem der Anlage übertragen werden.<sup>56</sup>

Betrachtet man eine Anzahl von Komponenten in der Zeit (t), so fällt Anzahl n(t) aus und Anzahl v (t) ist funktionsfähig. Die empirische Ausfallrate  $\lambda(t)$  wird berechnet mittels:<sup>57</sup>

$$\lambda(t) = \frac{v(t) - v(t + \Delta t)}{v(t) * \Delta t} \quad 2.4$$

Die Zuverlässigkeitsfunktion R(t) einer Komponente ergibt sich aus:<sup>58</sup>

$$R(t) = e^{-\int_0^t \lambda(\tau) * d\tau} \quad 2.5$$

Von der ermittelten Zuverlässigkeitsfunktion kann auf die Ausfallwahrscheinlichkeit P(t) geschlossen werden.<sup>59</sup> Es ist die Wahrscheinlichkeit eines Ausfalls einer Einheit während eines Betriebsdauerabschnitts.<sup>60</sup> Unter der Annahme einer konstanten Ausfallrate ohne Früh- und Verschleißausfälle, kann diese wie folgt berechnet werden.<sup>61</sup>

$$P(t) = 1 - e^{(-\lambda t)} \quad 2.6$$

Für die Phase der zufälligen Fehler ist die Ausfallrate näherungsweise konstant (siehe Abbildung 2.6). Hier gilt folgende Beziehung:<sup>62</sup>

$$\lambda = const. \quad 2.7$$

$$MTBF = \frac{1}{\lambda} \quad 2.8$$

Daraus ergibt sich für die Ausfallwahrscheinlichkeit während der betrachteten Betriebsdauer:

$$P(t) = 1 - e^{\frac{(-t)}{MTBF}} \quad 2.9$$

An dieser Stelle soll nicht unerwähnt bleiben, dass genauere Untersuchungen sechs unterschiedliche Ausfallmuster, in Abhängigkeit des Anlagentyps und Einsatzgebiets, aufweisen.<sup>63</sup> Abbildung 2.7 zeigt diese Ausfallmuster.

<sup>56</sup> Vgl. Eberlin, S.; Hock, B. (2014), S.4ff

<sup>57</sup> Vgl. Reif, K. (2014), S.259

<sup>58</sup> Vgl. Reif, K. (2014), S.260

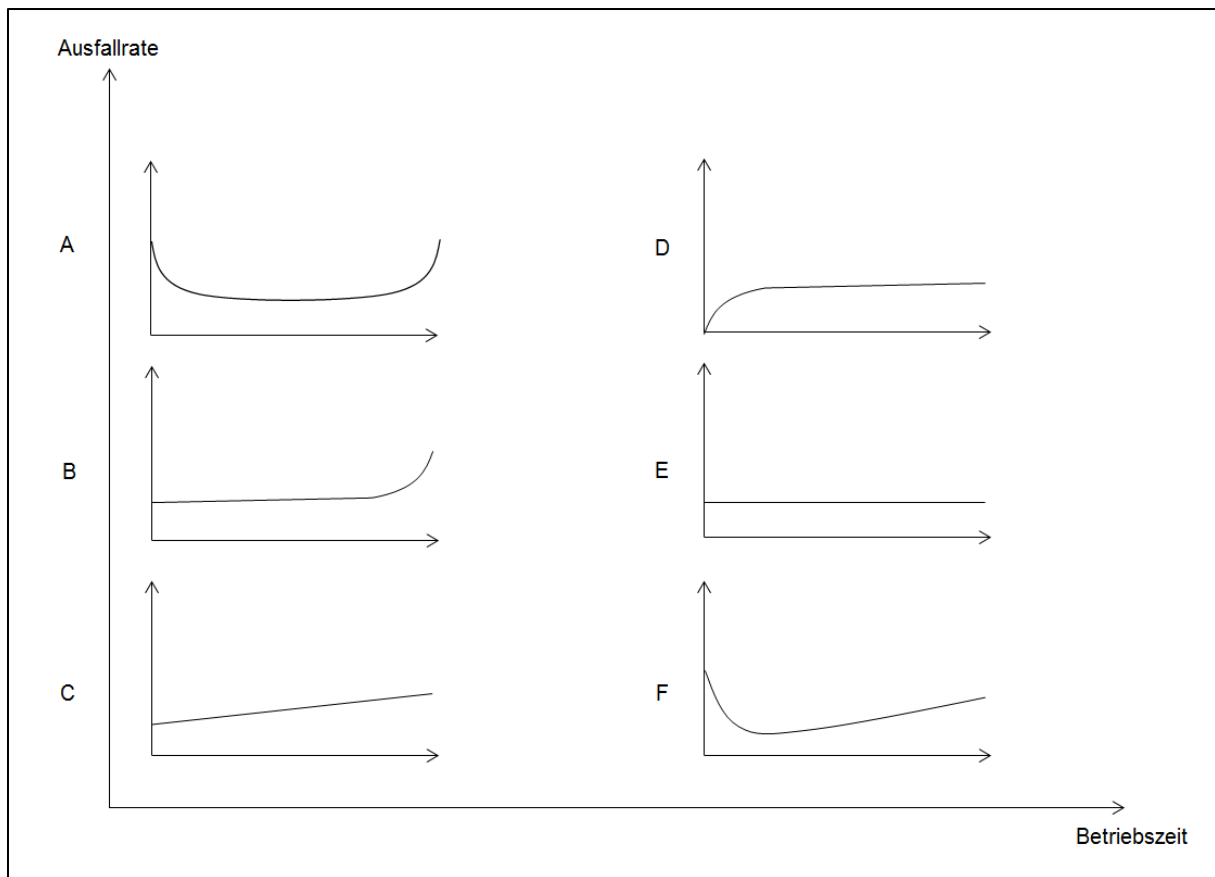
<sup>59</sup> Vgl. Reif, K. (2014), S.260

<sup>60</sup> Vgl. Strunz, M. (2012), S.245

<sup>61</sup> Vgl. Reif, K. (2014), S.260

<sup>62</sup> Vgl. Strunz, M. (2012), S.252

<sup>63</sup> Vgl. Bandow, G.; Schaefer, F. (2009), S.741



**Abbildung 2.7** Sechs Ausfallmuster<sup>64</sup>

## 2.6 Instandhaltungscontrolling

Der Begriff des Controllings ist in der Literatur nicht klar definiert. Es gibt eine Vielzahl von Autoren, die unterschiedliche Auffassungen vertreten. Das Wort leitet sich vom englischen Verb „to control“ ab und weist selbst im Englischen eine große Anzahl unterschiedlicher Bedeutungen auf. Eine Übersetzung in die deutsche Sprache gestaltet sich deshalb schwierig. Es hat sich aber eine vorherrschende Interpretation von der „Lenkung, Steuerung bzw. Regelung von Prozessen“ aus der Kybernetik etabliert. Controlling beschreibt im Rahmen dieser Interpretation eine Führungsfunktion und eine eigenständige organisatorische Einheit. In diesem Sinne existieren zwei Auffassungen des Controllings. Die der funktionalen Sicht, die es als wichtigen funktionalen Teilbereich der Unternehmensführung ansieht und die institutionelle Sicht, die es als organisatorische Einheit und Institution versteht.<sup>65</sup>

Wirtschaftswissenschaftliche Autoren der ersten Gruppe versuchen den Controllingbegriff deshalb in seiner Funktion einzugrenzen, da eine weite Auffassung im Rahmen der Managementtätigkeit zur Gleichheit von Controlling und Unternehmensführung führt. Eine

<sup>64</sup> In Anlehnung an Moubray, J. (1996)

<sup>65</sup> Vgl. Weber, J. (1991), S.10f



Strömung beschränkt das Controlling auf die Versorgung von Informationen für Führungsprozesse.<sup>66</sup> Heigl etwa beschreibt es als die Informationsversorgung zur zielgerichteten Steuerung der Betriebswirtschaft.<sup>67</sup> Die zweite Gruppe beschränkt es auf die unterstützende Funktion, wobei auch hier sehr oft Unterstützung mit der Informationsversorgung verbunden wird.<sup>68</sup> Controlling ist ein Untersystem der Führung, das durch die Bereitstellung von Information versucht, die Teilsysteme auf das Gesamtziel auszurichten.<sup>69</sup> Einige Autoren versuchen parallel und überschneidend zur Tätigkeit des Managements, Controlling über seinen eigentlichen Zweck zu definieren. Es nimmt eine Funktion der Koordination im Unternehmen wahr und richtet die Lenkung, Steuerung bzw. Regelung der Prozesse auf die Gewinnziele aus.<sup>70</sup>

Controlling als Institution weist dem Funktionsträger des „Controllers“ Führungsaufgaben zu. Eine zentrale Stellung spielt dabei das Rechnungswesen. Verschiedene Auffassungen beschreiben in welchem Maße das Rechnungswesen Planungs- und Kontrollaufgaben übernimmt.<sup>71</sup>

Das Controlling umfasst die Informationsversorgung der Unternehmensführung, die Verbesserung der unternehmensweiten Koordination und die Mitwirkung am Planungsprozess. Wesentlicher Bestandteil sind somit SOLL-IST Vergleiche, die Bereitstellung von Informationssystemen und Transparenz. Unter Instandhaltungscontrolling ist ein Führungs- und Steuerungssystem zur zielgerichteten Ausrichtung der Instandhaltungsaktivitäten, basierend auf der Planung, der Ermittlung von Abweichungen und dem Ableiten gezielter Verbesserungsmaßnahmen, zu verstehen.<sup>72</sup> Das Controlling dient damit letztlich der Zielerreichung in der Instandhaltung.<sup>73</sup>

Ein wesentliches Instrument des Controllings stellen Kennzahlen dar. Mit Hilfe einer Kennzahl werden schwer erfassbare Daten zu einer aussagekräftigen Zahl zusammengefasst. Im Zuge einer Informationsverdichtung werden Informationen mit Hilfe von Komplexitätsreduktion ersichtlich. Größere Zusammenhänge werden verdeutlicht und eine Grundlage für zielgerichtete Entscheidungen und Verbesserungen wird geschaffen. Kennzahlen ermöglichen eine Momentaufnahme, eine Beobachtung von kontinuierlichen Entwicklungen, eine Ermittlung von Stärken und Schwächen und eine interne sowie externe Vergleichbarkeit. Kennzahlen bilden für die Unternehmensleitung und Führungskräfte somit ein wichtiges Instrument der Entscheidungsfindung während ihrer Planung, Steuerung und Kontrolle von Prozessen. Der Wille der Unternehmensleitung wird für Führungskräfte transparent und Maßnahmen können gezielt abgeleitet werden. Kennzahlen ermöglichen eine Kontrolle über SOLL-IST Vergleiche und helfen der Identifikation von Schwachstellen

---

<sup>66</sup> Vgl. Weber, J. (1991), S.15f

<sup>67</sup> Vgl. Heigl, A. (1978), S.3

<sup>68</sup> Vgl. Weber, J. (1991), S.16

<sup>69</sup> Vgl. Matschke, M.J.; Kolf, J. (1980), S.602

<sup>70</sup> Vgl. Weber, J. (1991), S.17f

<sup>71</sup> Vgl. Weber, J. (1991), S.20f

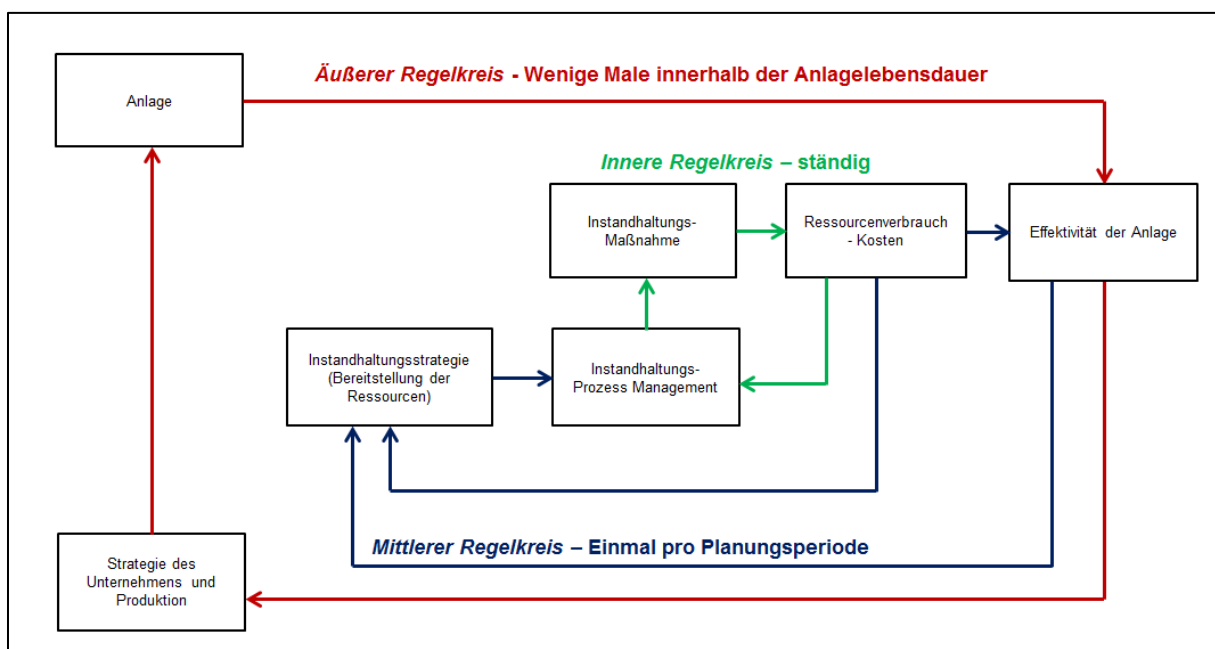
<sup>72</sup> Vgl. Milberg, J.; Reinhart, G. (1999), S 10-117

<sup>73</sup> Vgl. Pawellek, G. (2013), S.118

und dem Entwickeln von Gegenmaßnahmen. Sobald Abweichungen erkannt werden muss zur Abwehr einer Zielverfehlung steuernd eingegriffen werden. Mehrere Kennzahlen können zu einem Kennzahlensystem zielgerichtet zusammengefasst werden.<sup>74</sup> Kennzahlen spielen auch in der Instandhaltung eine wichtige Rolle und sind für das Instandhaltungscontrolling von großer Bedeutung. Dabei sind nicht monetäre und nicht monetäre Größen zu berücksichtigen. In der Instandhaltung gibt es eine große Anzahl von Kennzahlen und die Auswahl der richtigen Kennzahlen ist essentiell. Die Vorgehensweisen nach der VDI-Richtlinie 2893 und der ÖNORM EN 15341 können als Leitfaden zur korrekten Bestimmung von Kennzahlen in der Instandhaltung verwendet werden.

## 2.6.1 Bildung von Kennzahlen in der Instandhaltung

Die VDI Richtlinie 2893 beschreibt die „Auswahl und Bildung von Kennzahlen in der Instandhaltung“. Diese Richtlinie wurde von der Arbeitsgruppe des VDI Ausschusses erstellt, ist auf dem aktuellen Stand der Technik, berücksichtigt aktuelle Managementmethoden als auch die speziellen Anforderungen für Kennzahlen im Tätigkeitsfeld der Instandhaltung. Im ersten Schritt muss der Geschäftsprozesse abgebildet werden. Hierzu eignet sich die Darstellung anhand eines Regelkreismodells, wie sie aus der exemplarischen Abbildung 2.8 ersichtlich wird. Der innere Regelkreis beschreibt das operative Geschäft. Im mittleren Regelkreis wird einmal pro Planungsperiode die geeignete Instandhaltungsstrategie abgeleitet. Im äußeren Regelkreis werden unternehmensstrategische Entscheidungen bezüglich der Anlagen getroffen.<sup>75</sup>



**Abbildung 2.8** Exemplarischer Regelkreis in der Instandhaltung <sup>76</sup>

<sup>74</sup> Vgl. Vollmuth, J.H.; Zwettler, R. (2008), S.10ff

<sup>75</sup> Vgl. VDI 2893 (2006)

<sup>76</sup> In Anlehnung an VDI 2893 (2006)

Anschließend müssen die Ziele und deren Einflussgrößen definiert, sowie die zugehörigen Basiszahlen abgeleitet werden. Die Kennzahlen werden über das Verhältnis der absoluten Basiszahlen gebildet. Anschließend sollten alle Kennzahlen in einem übersichtlichen Kennzahlensystem, vorwiegend der Balanced Score Card abgebildet werden. Jede Kennzahl wird einer der vier Perspektiven: Mitarbeiter, Prozesse, Kunden sowie Finanzen und einer Unternehmensebene zugeordnet. Den Kunden der Instandhaltung stellt die Produktion dar. Durch eine mehrdimensionale Darstellung wird eine ganzheitliche Zielerreichung ermöglicht.<sup>77</sup>

Die ÖNORM EN 15341 beschreibt ein Verfahren zur Bildung eines Kennzahlensystems für die Instandhaltung unter Verwendung von wirtschaftlichen, technischen und organisatorischen Kennzahlen je Unternehmensebene.<sup>78</sup> Hier wird ersichtlich, dass die Berücksichtigung der Mitarbeiterperspektive bei der ÖNORM entfällt.

In den folgenden Unterkapiteln werden wichtige und für diese Arbeit relevante Kennzahlen in der Instandhaltung näher beschrieben.

## 2.6.2 Overall Equipment Effectiveness (OEE)

Der OEE ist die Kurzform für den englischen Begriff der „Overall Equipment Effectiveness“ und beschreibt die „Gesamtanlageneffektivität“.<sup>79</sup> Diese Kennzahl beschreibt die Effektivität von Anlagen sowie Produktionssystemen und gibt Auskunft über alle Verlustquellen von Anlagen. Sie lässt konkrete Schlüsse zur Ableitung von Maßnahmen für die effektivere Nutzung von Maschinen zu.<sup>80</sup>

Diese Kennzahl wird in vielen Industriebetrieben verwendet. Allerdings sind die Rechenmethoden dabei nicht einheitlich.<sup>81</sup>

Die Anlageneffektivität wird aufgrund von sechs Verlustquellen geschmälert. Es gilt diese Verluste voneinander zu unterscheiden, die Ursachen zu finden und zu mindern, um so letztlich die Produktivität der Anlage zu steigern. Verluste durch Anlagenausfälle entstehen aufgrund von maschinenbedingten und maschinenunabhängigen Ausfällen der Anlage. Zu den maschinenunabhängigen Ausfällen zählen u.a. Material- oder Werkzeugmängel. Die Rüst- und Einstellverluste resultieren aus der obligatorischen Umrüstung zwischen unterschiedlichen Teilen. Die verlorene Produktionszeit zwischen dem Produktionsstopp und der Qualitätsanforderungserfüllung vermindert im Zuge der Rüst- und Einrichtungsverluste die Gesamtanlageneffektivität. Leerläufe und kurze Stopps der Anlage sind zwar schnell behoben, führen aber bei ausreichend hoher Quantität zu erheblichen Verlusten. Außerdem schmälert eine verminderte Taktgeschwindigkeit z.B. aufgrund einer reduzierten

---

<sup>77</sup> Vgl. VDI 2893 (2006)

<sup>78</sup> Vgl. ÖNORM EN 15341 (2007)

<sup>79</sup> Vgl. Al-Radhi, M. (1997), S.6

<sup>80</sup> Vgl. Wiegand, B. (2011), S.23f

<sup>81</sup> Vgl. Nakajima, S. (1995), S.41

Antriebsleistung die Gesamtanlageneffektivität. Beim Anfahren der Anlage, z.B. aufgrund eines Schichtwechsels oder einer Neuinstallation, kommt es bis zum Erreichen der geforderten Stückzahl zu Anlaufverlusten. Werden die Qualitätsanforderung nicht erfüllt, führt der Ausschuss oder die erforderliche Nacharbeit zu Qualitätsverlusten.<sup>82</sup>

Die Kennzahl des OEEs wird aus der Verfügbarkeit, Qualitätsrate und dem Leistungsgrad der Anlage gebildet. Die Berechnung erfolgt über die prozentualen Anteile der sechs Verlustarten:<sup>83</sup>

$$OEE = \text{Verfügbarkeit} * \text{Leistungsgrad} * \text{Qualitätsrate} \quad 2.10$$

Die Verfügbarkeit für die OEE Berechnung wird über den Anteil der Ausfallzeit an der verfügbaren Zeit definiert. Die verfügbare Zeit ist die für die Produktion ursprünglich geplante Zeit und wird über die verfügbare Zeit abzüglich der geplanten Ausfallzeiten der Anlage, z.B. für geplante Instandhaltung, Management Aktivitäten und Pausen der Mitarbeiter ermittelt. Anlagenausfälle durch Störungen sowie Rüst- und Einstellverluste schmälern im Rahmen der Ausfallzeit zusätzlich die tatsächliche Arbeitszeit von Anlagen.<sup>84</sup>

$$\text{Verfügbarkeit [\%]} = \frac{\text{Verfügbare Zeit} - \text{Ausfallzeit}}{\text{Verfügbare Zeit}} \quad 2.11$$

Der Leistungsgrad wird über das Produkt der Netto-Betriebsrate und dem Anlagen-Geschwindigkeitsverhältnis berechnet und ist Maß für die Geschwindigkeitsverluste von Anlagen. Der Geschwindigkeitsverlust ist der Sammelbegriff für Verluste durch Leerläufe, kleinere Stopps und verringerte Geschwindigkeit der Maschine. Das Anlagen-Geschwindigkeitsverhältnis ist das Verhältnis der idealen Geschwindigkeit zur tatsächlichen Taktzeit. Die ideale Geschwindigkeit der Anlage wird aufgrund ihrer Konstruktion bestimmt.<sup>85</sup>

$$\text{Anlagen – Geschwindigkeitsverhältnis [\%]} = \frac{\text{geplante Taktzeit}}{\text{tatsächliche Taktzeit}} \quad 2.12$$

Die Netto-Betriebsrate beschreibt den zeitlichen Verlauf der betrachteten Geschwindigkeit:<sup>86</sup>

$$\text{Netto – Betriebsrate [\%]} = \frac{\text{hergestellte Stückzahl} * \text{tatsächliche Taktzeit}}{\text{Betriebszeit}} \quad 2.13$$

Der Leistungsgrad berechnet sich aus:<sup>87</sup>

<sup>82</sup> Vgl. Al-Radhi, M. (1997), S.11ff

<sup>83</sup> Vgl. Nakajima, S. (1995), S.43

<sup>84</sup> Vgl. Nakajima, S. (1995), S.41f

<sup>85</sup> Vgl. Nakajima, S. (1995), S.44f

<sup>86</sup> Vgl. Nakajima, S. (1995), S.45

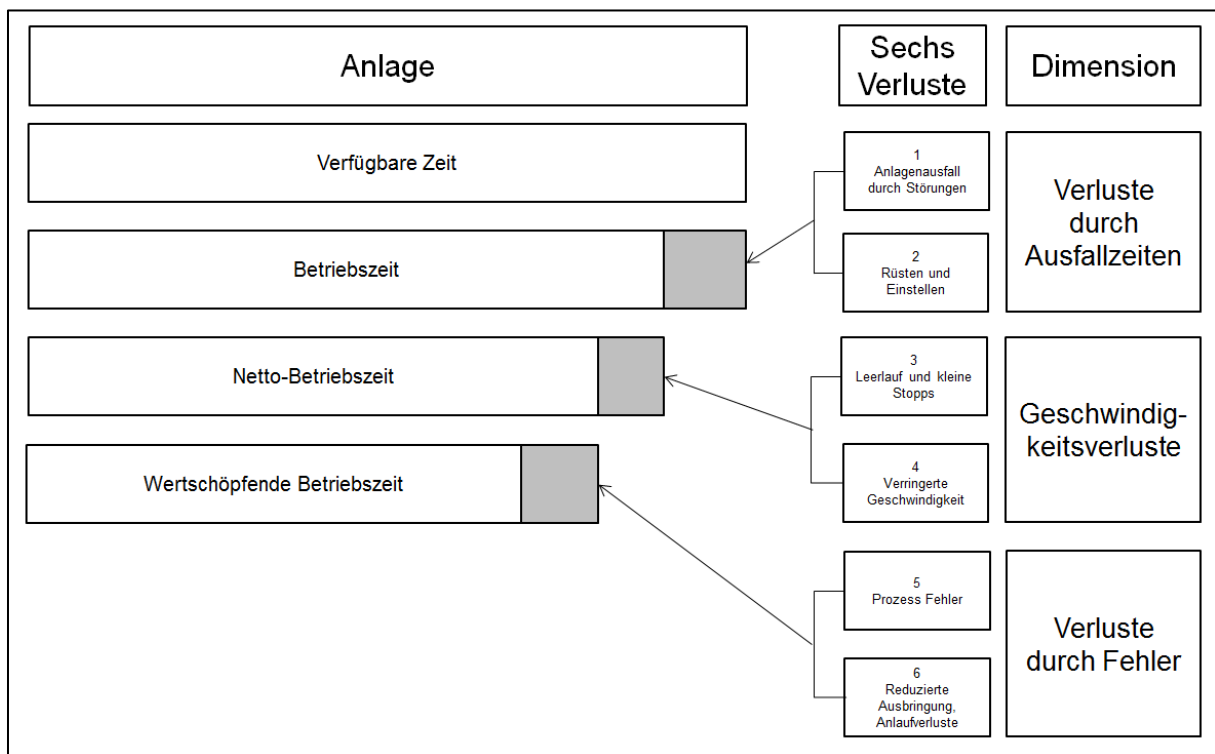
<sup>87</sup> Vgl. Nakajima, S. (1995), S.45

$$\text{Leistungsgrad [\%]} = \text{Netto} - \text{Betriebsrate} * \text{Anlagen} - \text{Geschwindigkeitsverhältnis} \quad 2.14$$

Die Qualitätsrate berechnet sich aus dem Anteil von Gutteilen an der Gesamtproduktion und ist Maß für Anlauf- und Qualitätsverluste.<sup>88</sup>

$$\text{Qualitätsrate [\%]} = \frac{\text{Anzahl der gefertigten Teile} - \text{Ausschuss} - \text{Nacharbeit}}{\text{Anzahl der gefertigten Teile}} \quad 2.15$$

Abbildungen 2.9 zeigt einen Überblick über die sechs Verlustarten und veranschaulicht die oben beschriebenen Überlegungen.



**Abbildung 2.9** Die Anlage und ihre Verlustquellen der Gesamtanlageneffektivität<sup>89</sup>

### 2.6.3 Verfügbarkeitskenngrößen

MTBF ist die Kurzform für den englischen Begriff "Mean Time Between Failure" und beschreibt den „mittleren Ausfallabstand“ einer Einheit bei konstanter Ausfallrate.<sup>90</sup>

Die Kennzahl MTTR (Mean Time To Repair) repräsentiert die durchschnittliche Reparaturdauer einer Einheit. MDT (Mean Down Time) beschreibt die mittlere Ausfallszeit. Der wesentliche Unterschied in der Berechnung liegt in der Berücksichtigung der

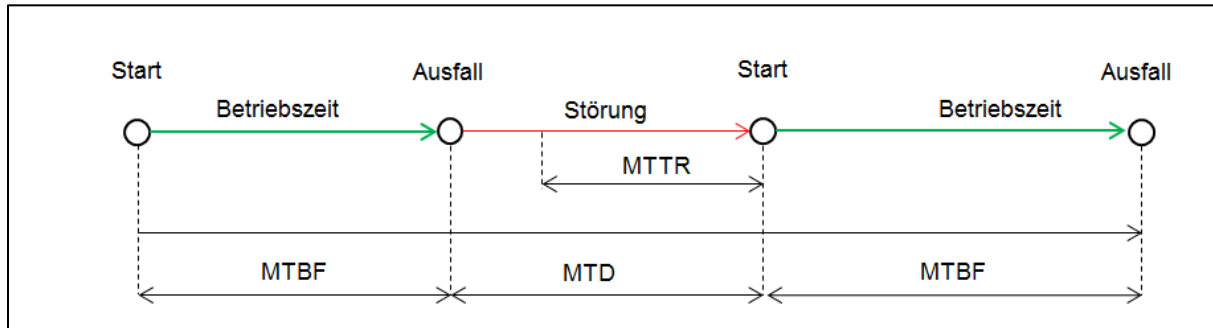
<sup>88</sup> Vgl. Al-Radhi, M. (1997), S.8

<sup>89</sup> In Anlehnung an Nakajima, S. (1995), S.43

<sup>90</sup> Vgl. Strunz, M. (2012), S.640

tatsächlichen Reparaturzeit beim MTTR im Gegensatz zur MDT. Hier fließt zusätzlich die Wartezeit und Reaktionszeit bis Beginn der Instandsetzungsarbeiten mit ein.<sup>91</sup>

Der Zusammenhang der Verfügbarkeitskennzahlen wird ersichtlich aus Abbildung 2.10.



**Abbildung 2.10** Die Verfügbarkeitskenngrößen<sup>92</sup>

Über die Kenngrößen der Verfügbarkeit kann die Verfügbarkeit einer Anlage während eines Zeitintervalls bestimmt werden.<sup>93</sup>

$$\text{Verfügbarkeit} = \frac{MTBF}{MTBF + MTD} \quad 2.16$$

## 2.6.4 Instandhaltungsrate

Die Instandhaltungsrate ist eine monetäre Kennzahl und beschreibt den jährlichen Instandhaltungsaufwand in Relation zum Anschaffungswert des Objekts. Für diese Kennzahl gibt es eine große Anzahl an Industrievergleichswerten für diverse Industrie und technische Anlagen. Die Rate kann zur Abschätzung des Instandhaltungsaufwands verwendet werden. Die Berechnung erfolgt gemäß:<sup>94</sup>

$$\text{Instandhaltungsrate} = \frac{\text{Instandhaltungskosten}}{\text{Anschaffungswert}} \quad 2.17$$

Für eine bessere interne und externe Vergleichbarkeit wird die Verwendung des Wiederbeschaffungswerts anstelle des ursprünglichen Anschaffungswerts empfohlen.<sup>95</sup>

<sup>91</sup> Vgl. Eberlin, S.; Hock, B. (2014), S.68f

<sup>92</sup> Vgl. Eberlin, S.; Hock, B. (2014), S.68

<sup>93</sup> Vgl. Eberlin, S.; Hock, B. (2014), S.69

<sup>94</sup> Vgl. Schenk, M. et al (2014), S.421

<sup>95</sup> Vgl. Schenk, M. et al (2014), S.422

## 2.7 Instandhaltungskonzepte

In den folgenden Unterkapiteln werden Instandhaltungskonzepte und –methoden zur Ableitung von Instandhaltungsstrategien und -maßnahmen beschrieben.

### 2.7.1 Lean Maintenance System

Anlagenstillstände sind heute aufgrund der hohen Anforderungen an Qualität, Zuverlässigkeit und Flexibilität, dem Messen von Fehlern in parts per million (ppm), einer weltweiten Konkurrenz und hoher Produktionskosten nicht tolerierbar. Die zentrale Aufgabe der Instandhaltung ist daher die Sicherstellung einer hohen Anlagenverfügbarkeit bei möglichst geringem Aufwand. Die Instandhaltung ist Dienstleister für die Produktion, dem Kern der Wertschöpfung eines Unternehmens. Die Arbeit der Instandhaltung ist nicht wertschöpfend und führt aufgrund des Stillstands von technischen Anlagen zur Verschwendung von produktiver Zeit. Das „Lean Maintenance System“ verfolgt daher die Ziele der „Instandhaltungszeit null“, „der Vermeidung von Verschwendung“ und der „Unterstützung des Wertstroms“ durch die Instandhaltung. Das zentrale Ziel von „Instandhaltungszeit null“ ist es, keine wertschöpfende Zeit aufgrund von Instandhaltungsarbeiten zu verlieren. Für das Lean Maintenance System werden u.a. Methoden aus dem Lean Business Systems, Total Productive Maintenance (TPM) und Reliability Centered Maintenance (RCM) verwendet.<sup>96</sup>

Das „Lean Maintenance System“ legt den Fokus des Instandhaltungssystems auf die essentiellen Anlagen der Wertschöpfung und richtet die Aufwendungen der Instandhaltung auf den Wertstrom aus. Dazu wird eine Gesamtbetrachtung des Systems und nicht einzelner Elemente vorgenommen. Lean Maintenance ermöglicht so eine Bündelung der Instandhaltungsressourcen in Abhängigkeit des Wertstroms. Dabei ist nicht die Kapitalbindung der Anlagen von Bedeutung, sondern deren Stellung innerhalb des Wertstroms. Werden Aktivitäten nicht am Wertstrom ausgerichtet führt dies zu einer unwirtschaftlichen Verschwendung von Ressourcen.<sup>97</sup>

Essentieller Gedanke des „Lean Maintenance Systems“ ist der Ansatz des „Lean Business Systems“. Erstmals wurde der „Lean“ Gedanke beim japanischen Automobilhersteller „Toyota“ zur effizienten Gestaltung des Produktionssystems eingeführt. Seitdem hat sich dieser Ansatz in vielen Unternehmen verschiedener Branchen sowie für unterstützende Prozesse der Wertschöpfung durchgesetzt und bewährt.<sup>98</sup> Kernziel des „Lean“ Gedankens ist die möglichst vollständige Beseitigung von Verschwendung. Toyota definierte dazu sieben Arten der Verschwendung: Überproduktion, Wartezeiten, Transport, falsche Prozesse,

---

<sup>96</sup> Vgl. Wiegand, B. et al (2011), S.9ff

<sup>97</sup> Vgl. Wiegand, B. et al (2011), S.9ff

<sup>98</sup> Vgl. Wiegand, B. et al (2011), S.26ff

Bestände, unnötige Bewegung und Fehler.<sup>99</sup> Diese Verschwendungen können auch auf die Instandhaltung übertragen werden, wie sich aus Tabelle 2.1. ergibt.<sup>100</sup>

1. Überproduktion und Blindleistung	Instandhaltungsarbeiten sollten nur geleistet werden, wenn sie benötigt werden.
2. Wartezeiten	Verschwendung entsteht u.a. wenn die Produktion stillsteht und Instandhaltungsmitarbeiter bis zur Durchführung ihrer Arbeiten erst auf Ersatzteile oder Werkzeuge warten müssen.
3. Unnötiger Transport	Die Lagerung von Werkzeugen, Ersatzteilen und anderer Hilfsmittel sollte in der Nähe der Maschine stattfinden, denn ein unnötiger Transport bindet Ressourcen, die sinnvoller einsetzbar wären.
4. Nicht sachgerechter Technologieeinsatz oder Arbeitsprozess	Werden die Instandhaltungsarbeiten nicht mit richtiger Qualität ausgeführt, werden die Arbeiten u.U. erneut erforderlich.
5. Bestände	Unnötige Kapitalbindung von gelagerten Werkzeugen, Ersatzteilen und Hilfsmittel, die nicht gebraucht werden, sowie ein hoher Bestand an ausstehenden Instandhaltungsarbeiten führen zu einer Verschwendung. Die Reaktionsfähigkeit der Mitarbeit wird aufgrund des hohen Bestands von abzuarbeitenden Instandhaltungsarbeiten reduziert.
6. Unnötige Bewegung	Ohne gute Vorbereitung und Planung der Instandhaltungsarbeiten werden Mitarbeiter gezwungen im Werk lange nach Werkzeugen, Dokumentationen und Anleitungen zu suchen.
7. Fehler	Wenn eine Aufgabe erneut erledigt werden muss werden unnötig Ressourcen verbraucht. Die Fehler sollten daher analysiert und behoben werden.

**Tabelle 2.1** Die sieben Verschwendungen in der Instandhaltung<sup>101</sup>

Zur Vermeidung von Verschwendungen definiert der „Lean“ Gedanke fünf Prinzipien:<sup>102</sup>

### 1. Der Wert

Der Wert für den Kunden muss bei der Produktdefinition analysiert und bestimmt werden. Der Begriff des Produkts und des Kunden muss dabei weit gefasst werden. Der Kunde kann der Endverbraucher, aber auch der Abnehmer von

<sup>99</sup> Vgl. Liker, J.K.; Meier, D. (2006), S.33ff

<sup>100</sup> Vgl. Wiegand, B. et al (2011), S.28

<sup>101</sup> In Anlehnung an Wiegand, B. et al. (2011), S.29

<sup>102</sup> Vgl. Womack, J.P.; Jones, D.T. (2004), S.23ff



unternehmensinternen Dienstleistungen im Rahmen des Wertstroms sein. Der Wert für den Kunden bildet die Basis für alle weiteren Überlegungen. So kann der „Lean“ Gedanke auch auf die Instandhaltung übertragen werden.<sup>103</sup>

## 2. Der Wertstrom

Der Wertstrom muss identifiziert werden. Es muss bestimmt werden, welche Leistungen wertschöpfend und daher notwendig sind.<sup>104</sup>

## 3. Der Fluss

Alle Aktivitäten des Wertstroms müssen in einen sequentiellen, fließenden Ablauf gebracht werden. Ziel ist ein kontinuierlicher Fluss eines Produkts ohne Verschwendung.

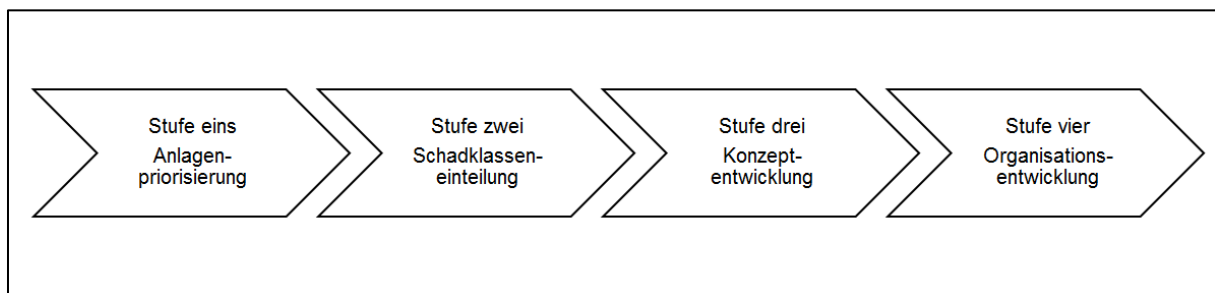
## 4. Der Pull

Ohne Nachfrage der vorgelagerten Stufe darf keine Ware erstellt oder Dienstleistung erbracht werden.

## 5. Die Perfektion

Zur weiteren Beseitigung von Verschwendung soll kontinuierlich nach Perfektion über radikale und schrittweise Verbesserungen gestrebt werden.<sup>105</sup>

Wie aus Abbildung 2.11 ersichtlich, erfolgt die Implementierung des „Lean Maintenance Systems“ anhand von vier Stufen:<sup>106</sup>



**Abbildung 2.11** Die vier Stufen zur Implementierung des Lean Maintenance Systems<sup>107</sup>

Im ersten Schritt erfolgt die Anlagenpriorisierung. Sie dient der Identifizierung der relevanten Anlagen und soll sicherstellen, dass ihnen die höchste Aufmerksamkeit der Instandhaltung gilt. Über eine Analyse der Auswirkungen eines Ausfalls auf das Produktionssystem, der Stellung im Wertstrom, sowie der Kundenbeeinflussung wird einer technischen Anlage eine Prioritätskennzahl zugewiesen. Mit definierter Prioritätskennzahl ist eine Instandhaltungsstrategieempfehlung verbunden. Eine hohe Prioritätskennzahl erfordert eine erhöhte Aufmerksamkeit und komponentenspezifische Instandhaltungsstrategien. Unkritische Anlagen mit niedriger Priorität können reaktiv instand gehalten werden, da die Auswirkung eines Ausfalls als gering eingestuft wird. Bei der Ermittlung der Auswirkung eines Ausfalls auf das Produktionssystem spielen Redundanz- und Engpassbetrachtungen

<sup>103</sup> Vgl. Wiegand, B. (2004), S.9f

<sup>104</sup> Vgl. Wiegand, B.et al. (2011), S.28

<sup>105</sup> Vgl. Womack, J.P.; Jones, D.T. (2004), S.65ff

<sup>106</sup> Vgl. Wiegand, B.et al. (2011), S.32

<sup>107</sup> In Anlehnung an Wiegand, B.et al. (2011), S.41ff

der Anlagen eine wichtige Rolle. Zudem sind die Auswirkungen eines Ausfalls abhängig von der Lage innerhalb des Wertstroms. Je näher eine Maschine zu einem Engpass oder dem Kunden positioniert ist, desto kritischer ist dies. Im Zuge der Wertstrombetrachtung ist deshalb die Ermittlung der maximalen Entstörzeit d.h. die durchschnittliche Produktionsreserve von Bedeutung. Die maximale Entstörzeit beschreibt die längst mögliche Zeit zur Behebung eines Schadens ohne mengen- und zeitkritische Verluste zu verursachen. Sie wird berechnet über die Durchlauf- minus der Produktionszeit bis zu einem Engpass oder der Kundenauslieferung. Hier wird der Einfluss der Stellung im Wertstrom deutlich. Je näher eine Anlage zu einem Engpass oder der Kundenauslieferung positioniert ist, desto geringer ist die maximale Entstörzeit, umso kritischer ist die Anlage. Im „Lean“ Gedanken spielt der Kunde eine zentrale Rolle. Zuletzt muss daher als dritte Komponente der Anlagenpriorisierung, die Auswirkung von Mengen- und Zeitverlusten auf den Kunden bewertet werden.<sup>108</sup>

Aufbauend auf den Ergebnissen der Anlagenpriorisierung erfolgt die anschließende Schadklasseneinteilung. Für kritische Anlagen wird eine detaillierte Schadklasseneinteilung basierend auf einer System-, Funktions- und Fehleranalyse erstellt. Dabei werden die Komponenten der Anlage bezüglich ihrer Auswirkungen auf die Anlage, Prognostizierbarkeit und Häufigkeit von Schäden untersucht.<sup>109</sup>

Aufbauend auf den Ergebnissen der Anlagenpriorisierung und der Schadklasseneinteilung werden im Anschluss strategische Ansätze und Maßnahmen für die Instandhaltung zur präventiven Vorbeugung von Schäden und Vermeidung von Verschwendung abgeleitet.<sup>110</sup>

Der letzte Schritt umfasst den systematischen Aufbau der Instandhaltungsorganisation auf die entwickelten Konzepte, Strategien und Maßnahmen. Instandhaltungsressourcen werden geplant, die operative Instandhaltung organisiert und Tätigkeiten strukturiert.<sup>111</sup>

## 2.7.2 Total Productive Maintenance (TPM)

Aufgrund gestiegener Anforderungen gewann im Laufe der letzten Jahre eine wirtschaftliche Produktion vermehrt an Bedeutung. Für die Beseitigung von Funktionsstörungen einer Anlage soll die Instandhaltung nicht mehr alleine verantwortlich sein. Total Productive Maintenance ist ein Konzept zur Steigerung der Gesamtanlageneffektivität durch Vermeidung der sechs Verlustquellen (siehe dazu Kapitel 2.6.2). In Teams beteiligen sich dabei alle Mitarbeiter und Abteilungen während des gesamten Lebenszyklus einer Maschine. Das TPM Konzept basiert nicht auf der isolierten Betrachtung der Anlage, sondern einer gegenseitigen Beeinflussung von Mensch, Anlage und Arbeitsumfeld.<sup>112</sup>

---

<sup>108</sup> Vgl. Wiegand, B.et al. (2011), S.41ff

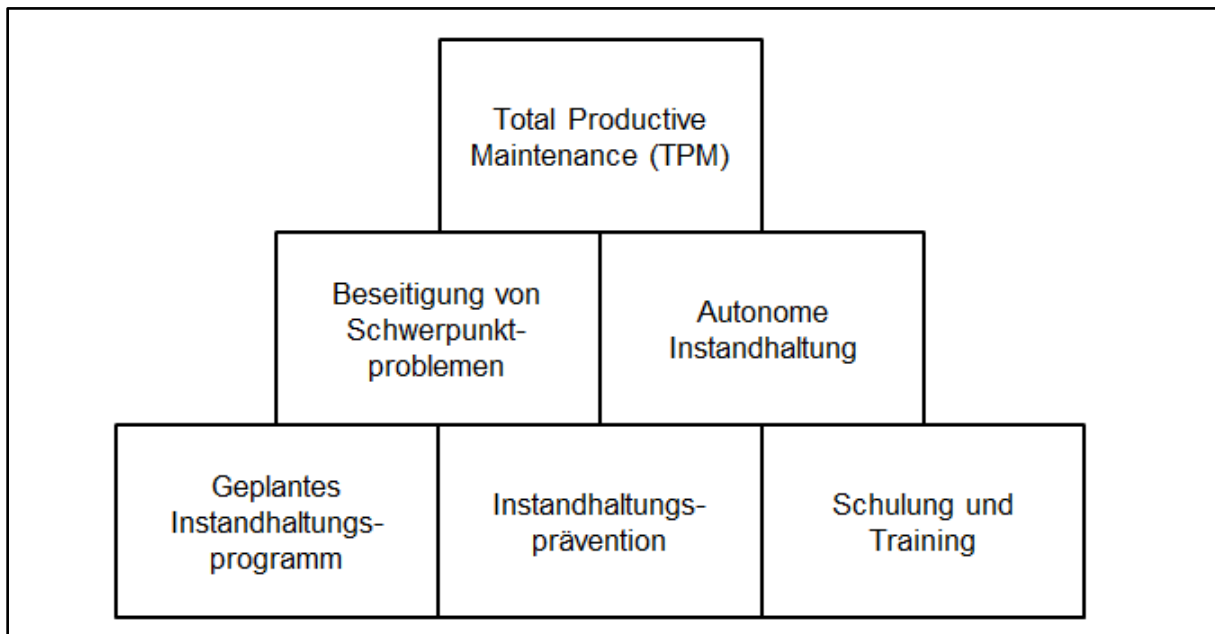
<sup>109</sup> Vgl. Wiegand, B.et al. (2011), S.69ff

<sup>110</sup> Vgl. Wiegand, B.et al. (2011), S.89ff

<sup>111</sup> Vgl. Wiegand, B.et al. (2011), S.111ff

<sup>112</sup> Vgl. Al-Radhi, M. (1997), S.3ff

Wie aus Abbildung 2.12 ersichtlich, stützt sich das TPM Konzept auf fünf Bausteinen.<sup>113</sup>



**Abbildung 2.12** Die fünf Bausteine des TPM Konzepts<sup>114</sup>

Gemäß 80:20 Regel können durch Vermeidung von 20% aller Ursachen, 80% der Anlagenstillstände verhindert werden. Es müssen daher Schwerpunktprobleme identifiziert und beseitigt werden. Dazu müssen die größten Verlustquellen identifiziert, Schwerpunkte bestimmt, Verbesserungsteams gebildet, die Ursachen analysiert, Maßnahmen erarbeitet und durchgeführt und die Ergebnisse kontrolliert werden. In vielen Betrieben hat sich eine strenge Arbeitsteilung von Produktion und Instandhaltung etabliert. Die Produktionsmitarbeiter produzieren, aber sie reparieren nicht. Diese Trennung führt im Rahmen des TPM Konzepts zu einer verringerten Anlageneffektivität und steht einer Lösung von Instandhaltungsproblemen im Wege. Die autonome Instandhaltung geht eine andere Richtung. Produktionsmitarbeiter sollen Instandhaltungsarbeiten teilweise selbstständig durchführen können. Größere Maßnahmen, die besondere Qualifikation erfordern, bleiben Aufgabe der Instandhaltungsabteilungen. Produktionsmitarbeiter entwickeln auf diese Art ein Gefühl für die Anlage und nehmen Veränderungen der Betriebsbedingungen bewusst wahr. Es können so Ausfälle präventiv verhindert werden. Ein geplantes Instandhaltungsprogramm soll ungeplante Stillstände zusätzlich abwenden, denn alleine eine autonome Instandhaltung ist dafür nicht ausreichend. Bereits in der Planungs- und Beschaffungsphase einer neuen Anlage soll die Instandhaltbarkeit im Zuge einer Instandhaltungsprävention berücksichtigt werden. Für die erfolgreiche Implementierung des Konzepts müssen schließlich alle Mitarbeiter im Umgang mit TPM geschult und trainiert werden.<sup>115</sup>

<sup>113</sup> Vgl. Al-Radhi, M. (1997), S.3ff

<sup>114</sup> In Anlehnung an Al-Radhi, M. (1997), S.16

<sup>115</sup> Vgl. Al-Radhi, M. (1997), S.19ff

### 2.7.3 Reliability Centered Maintenance (RCM)

Das von John Mobray entwickelte Instandhaltungskonzept des Reliability Centered Maintenance (RCM) zielt auf die Sicherstellung der geforderten Zuverlässigkeit, bei geringem finanziellen Aufwand, unter Berücksichtigung der sicherheits- und umweltrelevanten Faktoren ab. Über eine umfangreiche Analyse werden den einzelnen Anlagen, die passende Instandhaltungsstrategie zugeordnet. Maschinen mit nur geringen Ausfallfolgen bezüglich Kosten, Sicherheit, Umwelt und des Einflusses auf andere Anlagen werden reaktiv instand gehalten. Maschinen mit hohen Ausfallfolgen hinsichtlich der soeben genannten Kriterien werden präventiv instand gehalten. Zur Ermittlung der individuell zutreffenden Strategien müssen Grundfragen beantwortet werden.<sup>116</sup>

Das RCM Konzept ist eine Antwort auf die gewachsenen Herausforderungen in der Instandhaltung. Es beschreibt den Prozess was zu tun ist, damit jedes Gut unter den momentanen Betriebsbedingungen zuverlässig funktioniert. Im ersten Schritt müssen dabei, die für die Analyse und RCM in Frage kommenden Einheiten bestimmt und analysiert werden. Dazu müssen sieben Grundfragen für das System oder Element beantwortet werden:<sup>117</sup>

1. Welche Funktionen und mit welchem Leistungsniveau müssen Funktionen unter den momentanen Betriebsbedingungen erfüllt werden?
2. Welche Fehlerarten sind möglich?
3. Was ist die Ursache der Fehler?
4. Was sind die Auswirkungen der Fehler?
5. Welche Fehler sind relevant?
6. Was kann getan werden um Fehlern vorzubeugen und sie vorauszusagen?
7. Was muss getan werden, wenn keine vorbeugende Maßnahme gefunden werden kann?

Basierend auf den Antworten der Grundfragen werden Instandhaltungsmaßnahmen abgeleitet und implementiert.<sup>118</sup> Das RCM Konzept wurde im Laufe der Jahre weiterentwickelt und vereinfacht.<sup>119</sup> In der Praxis hat sich diese Methode für die anlagenintensive Industrie aber als zu wenig spezialisiert herausgestellt.<sup>120</sup> Trotz seines Bestehens seit den siebziger Jahren hat sich dieses Konzept nicht flächendeckend durchgesetzt.<sup>121</sup> Es ist eine langwierige sowie aufwendige Methode für die Instandhaltungsabteilungen und verlangt zudem eine große Datenbasis.<sup>122</sup> Die erfolgreiche Umsetzung verlangt ein hohes Niveau der Instandhaltungsstruktur und führt auch nicht für jede Anlage zu optimalen Ergebnissen. Wenn eine Organisation mit niedrigem Niveau

---

<sup>116</sup> Vgl. Matyas, K. (2008), S.132

<sup>117</sup> Vgl. Moubray, J. (1997), S.1ff

<sup>118</sup> Vgl. Moubray, J. (1997), S.7ff

<sup>119</sup> Vgl. Matyas, K. (2008), S.132

<sup>120</sup> Vgl. Lüthy, F. (2013), S.57

<sup>121</sup> Vgl. Lange, M. (2011), S.4

<sup>122</sup> Vgl. Iske, F. (2011). Interview geführt von Lange, M. (2011), S.11

beginnt, gibt es besser geeignete Methoden.<sup>123</sup> RCM ist ein gutes Konzept zur Optimierung von Instandhaltungsprozessen und des Wissensmanagement, wenn es gelebt und gepflegt wird.<sup>124</sup>

#### **2.7.4 Risikobasierte Instandhaltung**

Die risikobasierte Instandhaltung wird aufgrund der großen Relevanz für diese Arbeit in einem eigenen Kapitel detailliert beschrieben. An dieser Stelle wird auf Kapitel 4 verwiesen.

---

<sup>123</sup> Vgl. Holtmann, M. (2011). Interview geführt von Lange, M. (2011), S.11

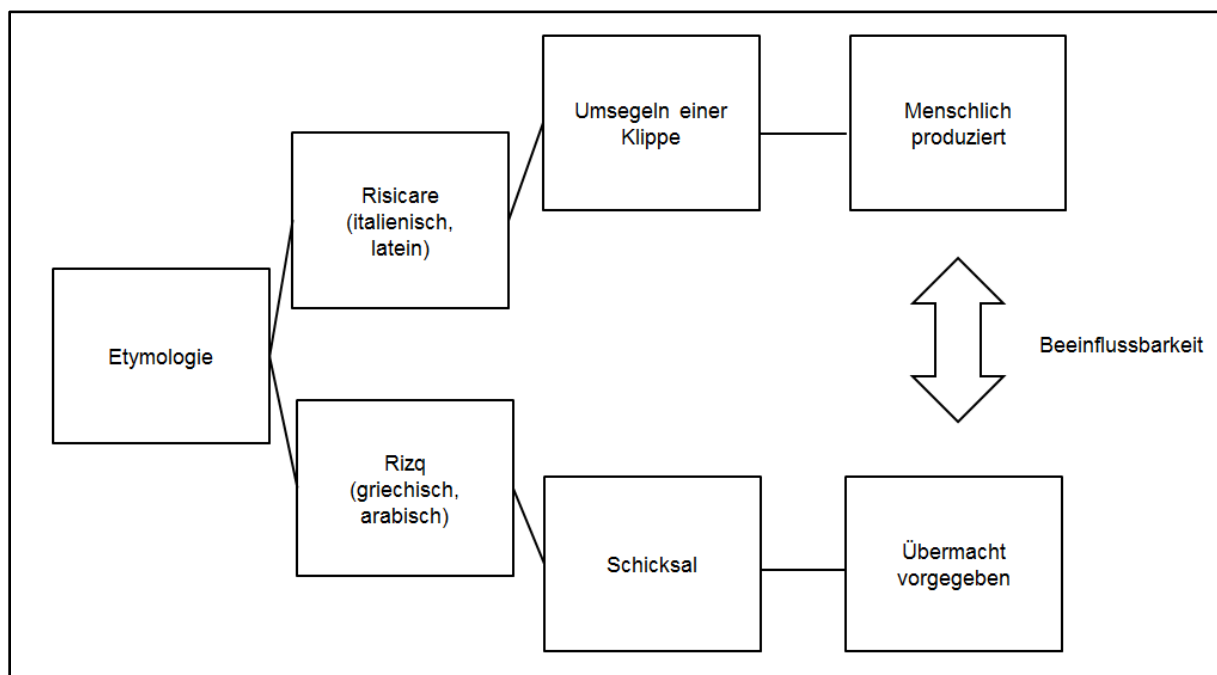
<sup>124</sup> Vgl. Lange, M. (2011), S.12

### 3 Risikomanagement

Das folgende Kapitel beschreibt die Grundlagen des Risikomanagements. Hierzu werden zunächst der Risikobegriff und seine Bedeutung erläutert. Anschließend werden die einzelnen Schritte des Risikomanagementprozesses detailliert beschrieben.

#### 3.1 Risikobegriff

Es gibt eine Vielzahl von Definitionen des Risikobegriffs, die sich u.a. aufgrund von kulturellen Unterschieden und des Einsatzes in verschiedenen Disziplinen z.B. Medizin oder Ingenieurwissenschaften voneinander unterscheiden.<sup>125</sup> Auch die Herkunft des Wortes ist weitgehend ungeklärt.<sup>126</sup> Der historische Ursprung des Begriffs ist in der Handelsschifffahrt des 17. Jahrhunderts zu finden und verbreitete sich danach zunehmend in der Versicherungswirtschaft, für Kapitalanlagen und im Glückspiel. Das Wort „Risiko“ geht einerseits auf das italienische Wort „ris(i)co“ zurück, das eine zu umschiffende Klippe ausdrückt.<sup>127</sup> Andererseits ist er auf das alte griechisch-byzantinische Wort „rhiziko“ zurückzuführen, das Glück, Zufall oder Schicksal bedeutet. Vermutlich geht dieser Begriff auf den „rhizo“ Reis und den alten Brauch des Verstreuens von Reis für Glück und Fruchtbarkeit bei Hochzeiten zurück.<sup>128</sup> Das entscheidende Unterscheidungsmerkmal der beiden Herleitungen ist die Beeinflussbarkeit, wie auf Abbildung 3.1 dargestellt.<sup>129</sup>



**Abbildung 3.1** Etymologie des Risikobegriffs<sup>130</sup>

<sup>125</sup> Vgl. Erben, R.F.; Romeike, F. (2004), S.45

<sup>126</sup> www.duden.de (17.12.2015)

<sup>127</sup> Vgl. Brockhaus (1998), S.417

<sup>128</sup> Vgl. Rosenkranz, F.; Bissler-Mehr, M.(2005), S.1

<sup>129</sup> Vgl. Jonen, A. (2007), S.5

<sup>130</sup> In Anlehnung an Jonen, A. (2007), S.5

Eine wesentliche Quelle des Risikos ist die Ungewissheit, die aus unvollkommener Information resultiert. Es gibt unterschiedliche Arten der Ungewissheit, die zu einer Gliederung des Risikos in messbare und nicht messbare Risiken führen. Ungewissheiten können auf empirischen Werten basieren und über objektive Wahrscheinlichkeiten bei konstanten Rahmenbedingungen messbar werden. In vielen Fällen aber ändern sich die Voraussetzungen, so dass der Charakter der Messbarkeit verschwindet. Der Eintritt des Ereignisses ist nun nicht mehr über objektive Wahrscheinlichkeiten messbar, sondern beruht auf subjektiven Schätzungen.<sup>131</sup>

Es gibt vereinzelt Autoren, die zwischen Risiko und Wagnis differenzieren. Die breite Mehrheit der Autorinnen und Autoren stimmt über die Deckungsgleichheit der Definitionen von Risiko und Wagnis überein. Diese können anhand der Orientierung des Begriffs in drei Kategorien gegliedert werden.<sup>132</sup>

Die **informationsorientierte Risikodefinition** definiert das Risiko über den Grad der vorliegenden Information. Eine „Entscheidung unter Sicherheit“ führt zu einem im Vorhinein bekannten Resultat. Maßgeblich für das Risiko ist sein objektiver Charakter. Eine Entscheidung kann unter Kenntnis der bekannten objektiven Wahrscheinlichkeiten zu mehreren Ergebnissen führen. Eine „Entscheidung unter Unsicherheit“ ist charakterisiert für die subjektive Schätzung.<sup>133</sup> Messbare Ungewissheit ist Risiko aber unmessbare Ungewissheit bleibt Ungewissheit.<sup>134</sup>

Die **entscheidungsorientierte Risikodefinition** beschreibt das Risiko als Möglichkeit einer Fehlentscheidung aufgrund von Ungewissheit. Der Entscheidende hätte eine andere Entscheidung getroffen, wenn der Eintritt eines oder mehrerer Ereignisse zuvor bekannt gewesen wäre. Die Fehlentscheidung ist eine für die gewählte Zielsetzung nicht optimale Entscheidung.<sup>135</sup>

Die **zielorientierte Risikodefinition** bezeichnet das Risiko als die Gefahr zu Scheitern und dem Verfehlen der Zielerreichung. Das Ergebnis ist nicht zufriedenstellend und die bisherige Arbeit umsonst gewesen, sodass Schäden am Wirtschaftsvermögen eintreten. In Wirtschaftsbetrieben sind daher die Chance und das Risiko die maßgeblichen Dreh- und Angelpunkte.<sup>136</sup>

Wird das Risiko als die Möglichkeit einer Ergebnisabweichung definiert, kann zwischen dem „reinen“ und „spekulativen Risiko“ unterschieden werden. Das reine Risiko umfasst die Gefahr von Schäden, so dass sich bestimmte Ereignisse (z.B. Brände) negativ auf das Unternehmen und dessen Vermögen auswirken. Maßgeblich für die Entstehung des spekulativen Risikos ist das unternehmerische Handeln und umfasst in diesem

---

<sup>131</sup> Vgl. Philipp, F. (1967), S.29

<sup>132</sup> Vgl. Philipp, F. (1967), S.34

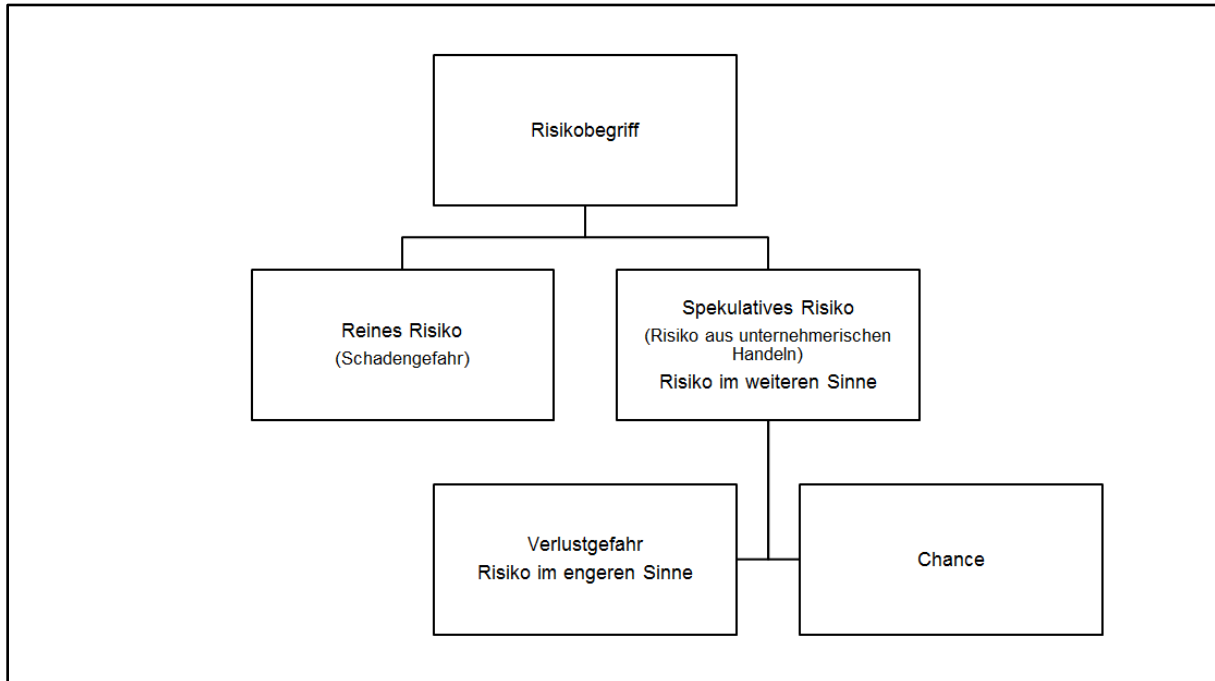
<sup>133</sup> Vgl. Gutenberg, E. (1962), S.77f

<sup>134</sup> Vgl. Knight, F.H. (1921), S.197ff

<sup>135</sup> Vgl. Philipp, F. (1967), S.13ff

<sup>136</sup> Vgl. Prion, W. (1935), S.15

Zusammenhang die negative oder positive Folge auf das Unternehmensvermögen. Diese vermögensvermehrende (Chance) oder –mindernde (Risiko im engeren Sinne) Streuung wird auch als Risiko im weiteren Sinne bezeichnet. Aus Abbildung 3.2 wird dieser Zusammenhang ersichtlich.<sup>137</sup>



**Abbildung 3.2** Das reine und spekulative Risiko<sup>138</sup>

### 3.2 Bedeutung des Risikomanagements

„Die erfolgreichsten Unternehmen sind solche, die ihre Chancen am besten wahrnehmen und ihre Risiken am Besten im Griff haben.“<sup>139</sup>

Maßgeblich für die Orientierung der Unternehmensführung sind Erfolgsziele, die das zentrale Beurteilungskriterium von Entscheidungen in Unternehmen darstellen. Oft steht der Entscheidungsträger vor einer Vielzahl an Entscheidungsalternativen. Diese Entscheidungsalternativen sind hinsichtlich des geplanten Erfolgs oft unsicher, denn eine Vielzahl an Zufallsvariablen kann das Ergebnis positiv oder negativ beeinflussen. Alternativen unterscheiden sich nicht nur bezüglich ihres mittels Wahrscheinlichkeiten bestimmbaren Erwartungswerts, sondern auch bezüglich ihrer Risiken. Eine Alternative mit geringer Streuung ist weniger riskant, als jene mit breiter Streuung.<sup>140</sup>

<sup>137</sup> Vgl. Lück, W.; Unmuth, A. (2006), S.6

<sup>138</sup> In Anlehnung an Lück, W.; Unmuth, A. (2006), S.6

<sup>139</sup> Heinze, W.; Kullmann, S. (2002), S. 129

<sup>140</sup> Vgl. Finke, R.B. (2003), S.85



Die komplexe Wirtschaftswelt des 21. Jahrhunderts führt zu einer verschärften Risikolage für Unternehmen. Der durch die Globalisierung bedingte Kosten- und Wettbewerbsdruck, sowie komplexere Prozesse und kürzere Reaktionszeiten verschärfen die wirtschaftliche Situation für Unternehmen. Es gibt eine Vielzahl an Gründen für die erhebliche Zuspitzung der Risikosituation in heutigen Unternehmen, u.a. die steigende Deregulierung der Märkte, moderne Informations- und Kommunikationstechnologien, der Zuwachs von Mündigkeit und Individualisierungswünsche der Kunden, die Nachfrage nach verkürzten Lieferzeiten und Serviceangeboten, ein hoher Preis-, Qualitäts- und Wettbewerbsdruck durch den globalisierten Wettbewerb sowie eine zunehmende Vergleichbarkeit des Leistungsangebots und verschärfte gesetzliche Bestimmungen. Zweifelsohne haben sich die Risiken in allen Branchen signifikant erhöht.<sup>141</sup>

In der Vergangenheit war das Risikomanagement ein reaktiver Prozess. Bereits eingetretene Abweichungen der Ziele wurden identifiziert, analysiert und schließlich die notwendigen Korrekturmaßnahmen eingeleitet. Durch die zunehmende Komplexität und neuen Herausforderungen des wirtschaftlichen Umfelds im 21. Jahrhunderts, führte ein unzureichendes reaktives Risikomanagement häufig zu großen Unternehmensschäden. Risiken wurden nicht rechtzeitig erkannt und abgewehrt. Dieser Umstand führte zu einer großen Anzahl an Unternehmenskrisen und Zusammenbrüchen, so dass auch der Gesetzgeber reagierte und die Bedeutung eines funktionierenden Risikomanagements erkannte. Es reicht allerdings nicht, nur die gesetzlichen Anforderungen der Risikobuchhaltung zu erfüllen. Ein effizientes Risikomanagement führt zu Wettbewerbs- und Kostenvorteilen und unterstützt das Überleben eines Unternehmens durch ein geschärftes Chancen-Risiko-Profil. Ziel muss daher ein proaktives Risikomanagementsystem zur systematischen und frühzeitigen Erkennung, Bewertung, Steuerung und Kontrolle von Risiken sein. Bedingt durch zukünftige Entwicklungen wird die Bedeutung des Risikomanagements in Unternehmen weiterhin verstärkt zunehmen.<sup>142</sup> Die Identifikation von Chancen und Bedrohungen der operativen und strategischen Tätigkeiten ist der erste Schritt zu einem erfolgreichen Risikomanagement. Im Vordergrund stehen Unsicherheiten mit einer negativen Beeinflussung der Ziele. Es gilt diese frühzeitig zu erkennen und abzuwenden, um so Entscheidungen aller Stufen zu unterstützen.<sup>143</sup>

An ein erfolgreiches Risikomanagement können Erwartungen einer Balance zwischen Sicherheits- und Wertschöpfungsinteressen, einer Unterstützung zur Erreichung von Zielen, einer Begrenzung von finanziellen und wirtschaftlichen Schäden sowie von Imageverlusten und einer langfristigen Aufrechterhaltung des Unternehmensbestands verknüpft werden.<sup>144</sup>

Für das Risikomanagement können folgende Grundsätze definiert werden: Risikomanagement ist Aufgabe aller Mitarbeiter und „nur bekannte Risiken können gesteuert werden“. Dazu müssen Risiken fortlaufend analysiert und bewertet werden. Eine Vielzahl ist

<sup>141</sup> Vgl. Romeike, F. (2005), S.245f

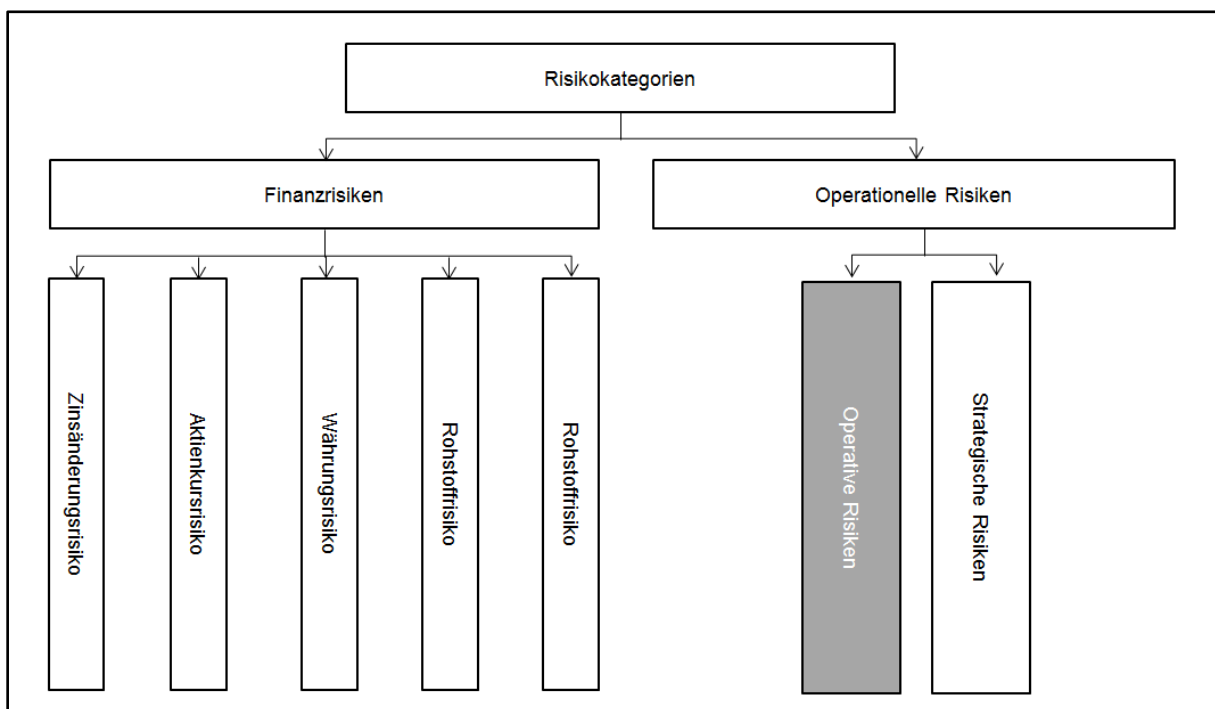
<sup>142</sup> Vgl. Romeike, F. (2003), S. 65ff

<sup>143</sup> Vgl. Brühwiler, B. (2011), S.36f

<sup>144</sup> Vgl. Heinze, W.; Kullmann, S. (2002), S. 129

zwar nicht vermeidbar, aber die meisten sind steuer- und kontrollierbar. Diese müssen offen, vollständig, sofort kommuniziert und systematisch bewertet werden. Auf Basis dieser Bewertung müssen abhängig von individueller Unternehmenspolitik und finanzieller Situation Entscheidungen über die Tragfähigkeit von Risiken getroffen werden. Eine sorgfältige Dokumentation ist oft gesetzlich vorgeschrieben und bietet außerdem eine gute Möglichkeit zum Aufbau und der Etablierung eines umfassenden Wissensmanagements.<sup>145</sup>

Für ein erfolgreiches, ganzheitliches Risikomanagement in Unternehmen empfiehlt sich eine Kategorisierung von Risiken. Auf Abbildung 3.3 ist eine beispielhafte Kategorisierung nach Romeike dargestellt. Für diese Arbeit von Bedeutung sind die operativen Risiken, denn hierbei handelt es sich um eine Gefahr von Verlusten durch Versagen von Menschen, Systemen, internen Prozessen oder externen Faktoren.<sup>146</sup> Die Risiken der Instandhaltung ist dieser Kategorie zuzuordnen.



**Abbildung 3.3** Beispielhafte Risikokategorisierung<sup>147</sup>

<sup>145</sup> Vgl. Graf, T. (2002), S.147f

<sup>146</sup> Vgl. Romeike, F. (2003), S. 169

<sup>147</sup> In Anlehnung an Romeike, F. (2003), S. 169

### 3.3 Prozess des Risikomanagements

Es gibt eine große Anzahl von Leitlinien und Darstellungen für den Risikomanagementprozess. Die internationale Normung beschränkt und vereinfacht die Richtlinien im Rahmen der international anerkannten Standards auf jene des amerikanischen „Committee of Sponsoring Organizations of the Treadway Commission“ (COSO) und jene des international gültigen ISO 31000 Standards. Diese zwei Standards bilden heute die wesentliche Grundlage der international anerkannten Standards im Risikomanagement.<sup>148</sup> Im Folgenden wird auf diese zwei Richtlinien genauer eingegangen. Grund hierfür sind ähnliche Überlegungen wie in Kapitel 2.1 und der hohe Praxisbezug, denn im Hoerbiger Konzern wird bereits Risikomanagement gemäß ISO 31000 verwendet und der Einsatz der Richtlinie explizit gewünscht.

Die COSO Richtlinie für das Risikomanagement richtet sich in erster Linie an die Finanzberichterstattung und entstammt ursprünglich der amerikanischen Wirtschaftsprüfung in den Vereinigten Staaten. Somit richtet sie sich in erster Linie an Investoren und dem Schutz ihres am Kapitalmarkt eingesetzten Geldes. Das Regelwerk schafft Transparenz und Kontrolle und bietet überwiegend eine absichernde Kontrolle. Die eigentliche Führung und Steuerung von Risiken steht hier nicht im Vordergrund.<sup>149</sup>

Die ISO 31000 Norm des Jahres 2009 entstammt zum Großteil aus dem australisch-neuseeländischen Standard 4360 „Risk management – Principles and Guidelines“ und dem österreichischen Standard ONR 49000 „Risikomanagement für Organisationen und Systeme“. Im Gegensatz zu seinem amerikanischen Pendant steht hier nicht die primäre Gestaltung eines Kontrollsystems, sondern ein effizientes Risikomanagement zur Erhöhung der Wertschöpfung im Vordergrund. Es ist ein international anerkannter und „Best Practice“ Standard im Risikomanagement. Die österreichische Norm ONR 49000 beschreibt die praktische Umsetzung des ISO 31000 Standards in Organisationen, denn der internationale Standard beinhaltet hauptsächlich generische Standards und kaum Information über die praktische Umsetzung und Anwendung.<sup>150</sup>

---

<sup>148</sup> Vgl. Brühwiler, B. (2011), S.46ff

<sup>149</sup> Vgl. Brühwiler, B. (2011), S.50

<sup>150</sup> Vgl. Brühwiler, B. (2011), S.52ff



### 3.4 Rahmenbedingungen

Im ersten Schritt des definierten Risikomanagementprozesses müssen die notwendigen Rahmenbedingungen bestimmt werden. Eine Veränderung externer Faktoren sind sehr häufig Auslöser für das Risikomanagement. Diese externen Rahmenbedingungen z.B. gesetzliche Anforderungen, marktspezifische und wirtschaftspolitische Rahmenbedingungen, technologische Veränderungen, eine mögliche Knappheit der natürlichen Ressourcen, Klimaveränderungen sowie eine Veränderung von Verhaltensweisen und Kundenbedürfnissen müssen zu Beginn analysiert und geklärt werden. Nach erfolgreicher Bestimmung der externen Rahmenbedingungen müssen die internen Rahmenbedingungen festgestellt werden. Da Risiko als „die Auswirkungen von Unsicherheiten auf Ziele (...)“<sup>154</sup> gemäß ONR 49000 definiert wurde, müssen die unternehmensinternen Ziele, Erwartungen, Strategien und Prozesse des Unternehmens erfasst werden. Anschließend müssen Risikokriterien für die Auswirkungen und Eintrittswahrscheinlichkeiten definiert werden, um eine passende Zuordnung von Risiken an klare Bezugspunkte zu ermöglichen. Dabei werden geeignete Bewertungsstufen festgelegt und von den Zielen der Organisation ausgegangen. Tabelle 3.1 zeigt eine beispielhafte Darstellung von allgemeinen Risikokriterien für die Auswirkungen.<sup>155</sup>

Stufen	Finanzen	Menschen	Reputation
Unbedeutend	Kleine Budgetabweichungen	Personenschaden mit leichten Verletzungen	Reklamation und Beanstandungen
Spürbar	Gewinn wird deutlich geschmälert	Leichter, bleibender Gesundheitsschaden	Andauernde Medienkampagne mit Verunsicherungen von Kunden
Katastrophal	Risiko übersteigt Höhe des erwartenden Jahresgewinns	Personenschaden mit Todesfolge	Verstöße gegen öffentliches Empfinden

**Tabelle 3.1** Exemplarische allgemeine Risikokriterien für die Auswirkungen<sup>156</sup>

### 3.5 Risikoidentifikation

Nach Festlegung und Bestimmung der erforderlichen Rahmenbedingungen erfolgt die Identifikation von Risiken.<sup>157</sup> Das Ziel dabei ist die systematische Erfassung aller bedeutenden Risiken, die sich aus externen Entwicklungen und internen Prozessen ergeben.<sup>158</sup> Dieser Prozessschritt ist von stark kritischem Charakter, denn nicht erkannte

<sup>154</sup> ONR 49000 (2014)

<sup>155</sup> Vgl. Brühwiler, B. (2011), S.104ff

<sup>156</sup> In Anlehnung an Brühwiler, B. (2011), S.115

<sup>157</sup> Vgl. Brühwiler, B. (2011), S.120

<sup>158</sup> Vgl. Zech, J. (2002), S.40

Risiken werden als Folge der Verfehlung im Risikomanagement häufig nicht berücksichtigt.<sup>159</sup>

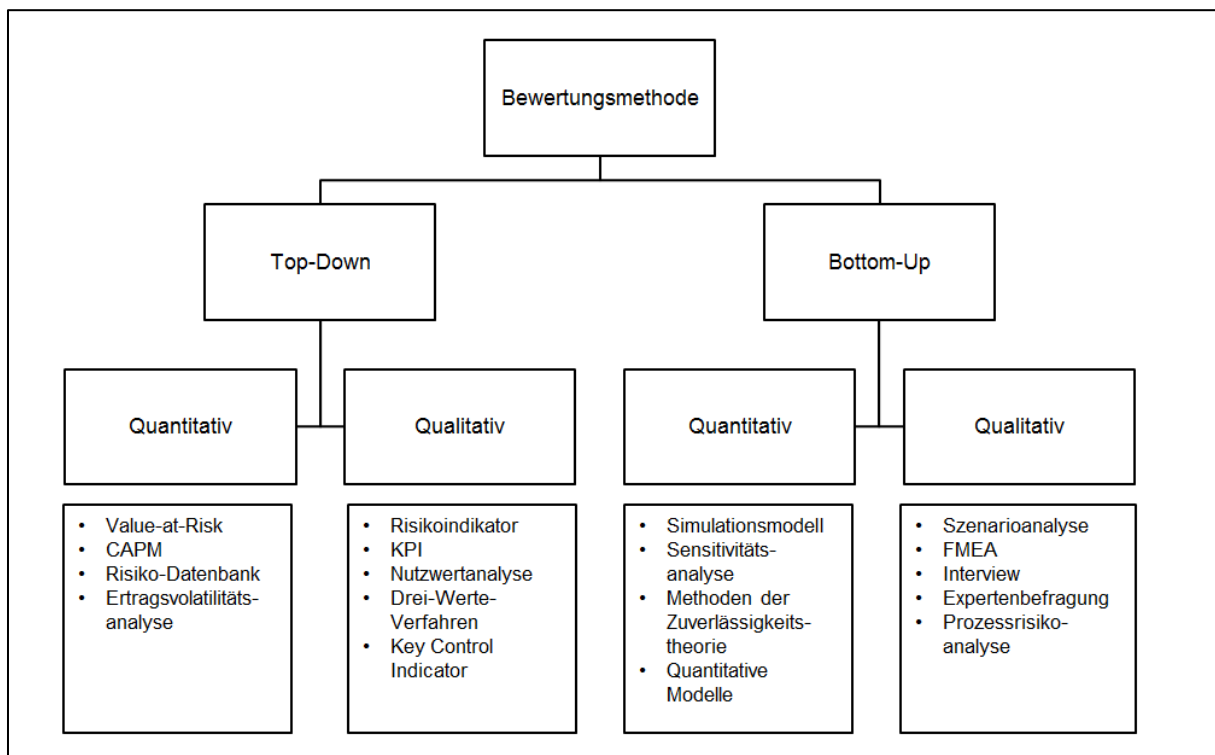
### 3.6 Risikoanalyse

Die identifizierten Risiken müssen hinsichtlich ihrer Auswirkungen, Eintrittswahrscheinlichkeiten und Ursachen vollständig verstanden und dokumentiert werden. Die Ergebnisse werden den definierten Risikokriterien zugeordnet und dargestellt.<sup>160</sup>

### 3.7 Risikobewertung

Nach erfolgreicher Erkennung der Risiken erfolgt auf Basis der identifizierten Risiken eine qualitative und quantitative Bewertung der Risiken. Ausschlaggebend für die Bewertung individueller Risiken ist der jeweilige Erwartungswert, der sich aus einer Multiplikation der Auswirkung und Eintrittswahrscheinlichkeit ergibt.<sup>161</sup> Risiko ist stets eine „Kombination von Wahrscheinlichkeit und Auswirkung“<sup>162</sup>.

Es existiert eine Vielzahl unterschiedlicher Bewertungsmethoden. Abbildung 3.5 bietet einen groben Überblick über die Methoden und deren Kategorisierung.



**Abbildung 3.5** Methoden der Risikobewertung<sup>163</sup>

<sup>159</sup> Vgl. Brühwiler, B. (2011), S.120

<sup>160</sup> Vgl. Brühwiler, B. (2011), S.124

<sup>161</sup> Vgl. Romeike, F. (2003), S.184

<sup>162</sup> ONR 49000 (2014)

<sup>163</sup> In Anlehnung an Romeike, F (2003), S.185

Bei den Top-Down Bewertungsmethoden wird von den bekannten Folgen auf die Risiken geschlossen.<sup>164</sup> Methoden dieser Kategorie sind relativ einfach und schnell implementierbar, liefern aber nur wenige Erkenntnisse für das Risikomanagement und tragen kaum zu einer gelebten Risikokultur im Unternehmen bei. Bei Bottom-Up Methoden wird von den Ursachen auf mögliche Auswirkungen geschlossen und die Risiken anschließend bewertet. Methoden dieser Kategorie sind im Allgemeinen aufwendiger, tragen aber zu einer gelebten Risikokultur bei und führen zu einer großen Motivation für Innovation und Änderung des Verhaltens. Quantitative Bewertungsmethoden basieren auf mathematisch, statischen Ansätzen und sind daher nur bei genügend Datenbasis anwendbar. Erfahrungen und subjektive Einschätzungen bilden die Grundlage für qualitative Bewertungsmethoden.<sup>165</sup>

In den folgenden Unterkapiteln werden die Methoden, die vorwiegend im technischen Bereich und in der risikobasierten Instandhaltung ihre Verwendung finden, kurz beschrieben.

### 3.7.1 Failure Mode and Effects Analysis (FMEA)

Die Fehlerzustandsart- und Auswirkungsanalyse (engl. Failure Mode and Effects Analysis) beschreibt ein systematisches Verfahren zur Untersuchung von Fehlerarten und Bestimmung ihrer Ursachen sowie Auswirkungen auf das System. Der Grundgedanke liegt in einer präventiven Fehlervermeidung, deshalb wird die FMEA u.a. in der Konstruktion zur Vermeidung von wirtschaftlichen Schäden frühzeitig angewendet.<sup>166</sup> Man unterscheidet je nach Einsatzgebiet und Schwerpunkt drei Arten von FMEAs: die System-, Konstruktions- und Prozess-FMEA.<sup>167</sup> Tabelle 3.2 zeigt eine Übersicht über diese drei Arten und ihre Charakterisierungen.

	Betrachtetes Objekt	Grundlagen der FMEA	Zeitpunkt der Erstellung	Verantwortung für die Durchführung
System – FMEA	Übergeordnetes Produkt / System	Produktkonzepte	Nach Fertigstellung des Produktkonzepts	Entwicklung
Konstruktions – FMEA	Signifikantes Bauteil	Konstruktionsunterlagen	Nach Fertigstellung der Konstruktionsunterlagen	Konstruktion
Prozess – FMEA	Schritte des Fertigungsprozesses	Fertigungspläne	Nach Fertigstellung des Fertigungsplans	Fertigung

**Tabelle 3.2** FMEA-Arten<sup>168</sup>

Die Ziele der FMEA sind u.a. die Steigerung der Zuverlässigkeit von Prozessen und Produkten, kürzere Entwicklungszeiten, die frühzeitige Identifizierung kritischer Fehlerquellen

<sup>164</sup> Vgl. Romeike, F (2003), S.488

<sup>165</sup> Vgl. Romeike, F. (2003), S.184ff

<sup>166</sup> Vgl. Preiss, R. (2009), S.30

<sup>167</sup> Vgl. Matyas, K (2008), S.153

<sup>168</sup> In Anlehnung an Matyas, K (2008), S.153

und letztlich eine wirtschaftliche Fertigung. Die systematische Durchführung der FMEA erfolgt generell durch interdisziplinäre Teamarbeit aller Verantwortlichen.<sup>169</sup>

Das Vorgehen ist klar definiert und erfolgt anhand einer systematischen Vorgehensweise. Das Resultat der FMEA ist eine Risikoprioritätszahl (RPZ), dessen ermittelter Wert das Risiko eines Fehlers beschreibt. Alle möglichen Fehler werden hinsichtlich ihrer Ursachen und Auswirkungen analysiert. Basierend auf den Ergebnissen der Analyse wird für jeden möglichen Fehler ein spezieller Wert für die Wahrscheinlichkeit, Schwere der Auswirkung, sowie der Prognostizierbarkeit vergeben. Über Multiplikation aller Risikozahlen ergibt sich die Risikoprioritätszahl:<sup>170</sup>

$$RPZ = \text{Wahrscheinlichkeit} * \text{Prognostizierbarkeit} * \text{Auswirkung}$$

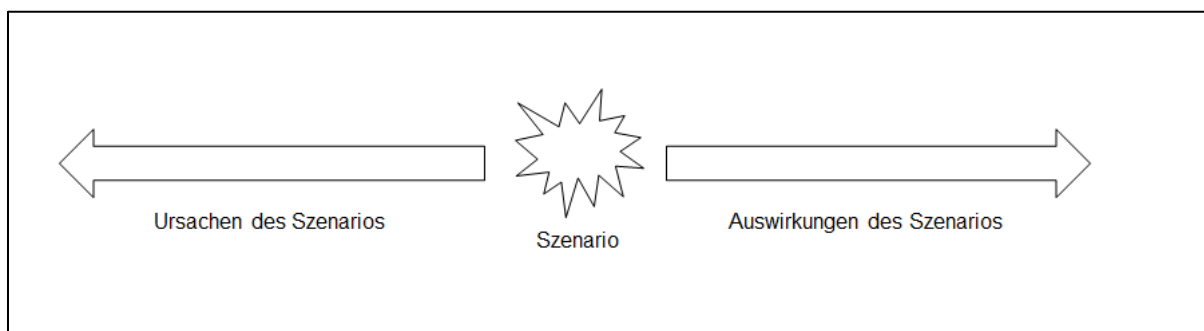
2.12

Mit Hilfe der Risikoprioritätszahl werden die Risiken priorisiert und konkrete Maßnahmen zur präventiven Fehlervermeidung abgeleitet. Je höher der Wert der Zahl, desto größer ist eine Notwendigkeit von präventiven Maßnahmen. Die FMEA wird systematisch durchgeführt, ist nachvollziehbar, einfach, überprüf- sowie aktualisierbar und macht eine flächendeckende Anwendung möglich. Es liefert einen Überblick über alle möglichen Fehlerursachen und bietet eine solide Grundlage zur Ableitung von Gegenmaßnahmen.<sup>171</sup>

### 3.7.2 Szenarioanalyse

Gemäß ONR 49000 ist ein Szenario definiert, als die „konkrete und bildhafte Darstellung eines Risikos mit Annahme über mögliche Zusammenhänge von Ursache und Abfolgen von Ereignissen oder Entwicklungen, die aufzeigt, wie sich Chancen bzw. Bedrohungen und Gefahren in einer Organisation oder in einem System verwirklichen“<sup>172</sup>.

Das Risikoszenario erläutert im Rahmen einer Problembeschreibung die Ursachen und Auswirkungen eines Risikos wie aus Abbildung 3.6 ersichtlich.<sup>173</sup>



**Abbildung 3.6** Das Risikoszenario<sup>174</sup>

<sup>169</sup> Vgl. Preiss, R (2009), S.32f

<sup>170</sup> Vgl. Matyas, K (2008), S.151

<sup>171</sup> Vgl. Matyas, K (2008), S.150

<sup>172</sup> ONR 49000 (2014)

<sup>173</sup> Vgl. Brühwiler, B. (2011), S.125



Es kann zur qualitativen Bewertung von Risiken eingesetzt werden und beschreibt die prognostizierte Entwicklung eines Gegenstandes bei wechselnden Rahmenbedingungen.<sup>175</sup> Die Risikobewertungsmethode auf Basis der Szenarioanalyse und der Darstellung in der Risikomatrix ist die vermutlich populärste Methode zur Beurteilung von Risiken. Es gibt eine Vielzahl möglicher Szenarien. Im Vordergrund stehen dabei häufig die essentiellen Risikoszenarien nach dem Credible-Worst-Case Prinzip. Das Credible-Worst-Case Szenario beschreibt den schlimmstmöglichen Fall, der in den größten Schwierigkeiten für das Unternehmen oder die Organisation resultiert und auf Erfahrungswerten vergleichbarer Fälle basiert. Dies stellt meistens eine extreme Situation dar und resultiert in einer eher pessimistischen Sichtweise, legt aber den Fokus auf den Fall mit größter negativer Auswirkung. Auf diese Art wird eine Verharmlosung vermieden.<sup>176</sup> Die Definition zeigt deutlich, dass eine Szenarioanalyse sich bewusst mit Unsicherheiten und ihren Entwicklungen befasst. Mögliche Chancen, Gefahren, Störereignisse und ihre Zusammenhänge werden so deutlich und ersichtlich. Die Szenarioanalyse eignet sich daher zur Ableitung von geeigneten Präventiv- und Reaktivmaßnahmen in der strategischen Planung. Als nachteilig ist die Verwendung von subjektiven Einschätzungen zu nennen, die besonders bei der Anwendung für komplexe Situation kritisch zu bewerten sind.<sup>177</sup>

Die Risikomatrix spielt eine essentielle Rolle in der Methode der Szenarioanalyse. Die jeweiligen Auswirkungen werden über die Wahrscheinlichkeit aufgetragen und die Risiken der einzelnen Szenarien abgeleitet.<sup>178</sup> Die Darstellung in der Matrix ermöglicht eine schnelle und einfache Einschätzung der Priorität von Risiken und eine Ableitung von konkreten Maßnahmen.<sup>179</sup> Abbildung 3.7 zeigt eine beispielhafte Risikomatrix.

Schadens- ausmaß → Wahrscheinlich- keit ↓	Unbedeutend	Gering	Spürbar	Kritisch	Katastrophal
Häufig					
Möglich					
Selten					
Sehr selten					
Unwahrscheinlich					

**Abbildung 3.7** Eine exemplarische Risikomatrix<sup>180</sup>

<sup>174</sup> In Anlehnung an Brühwiler, B. (2011), S.125

<sup>175</sup> Vgl. Romeike, F (2003), S.192

<sup>176</sup> Vgl. Brühwiler, B. (2011), S.127ff

<sup>177</sup> Vgl. Mietzner, D. (2009), S.156ff

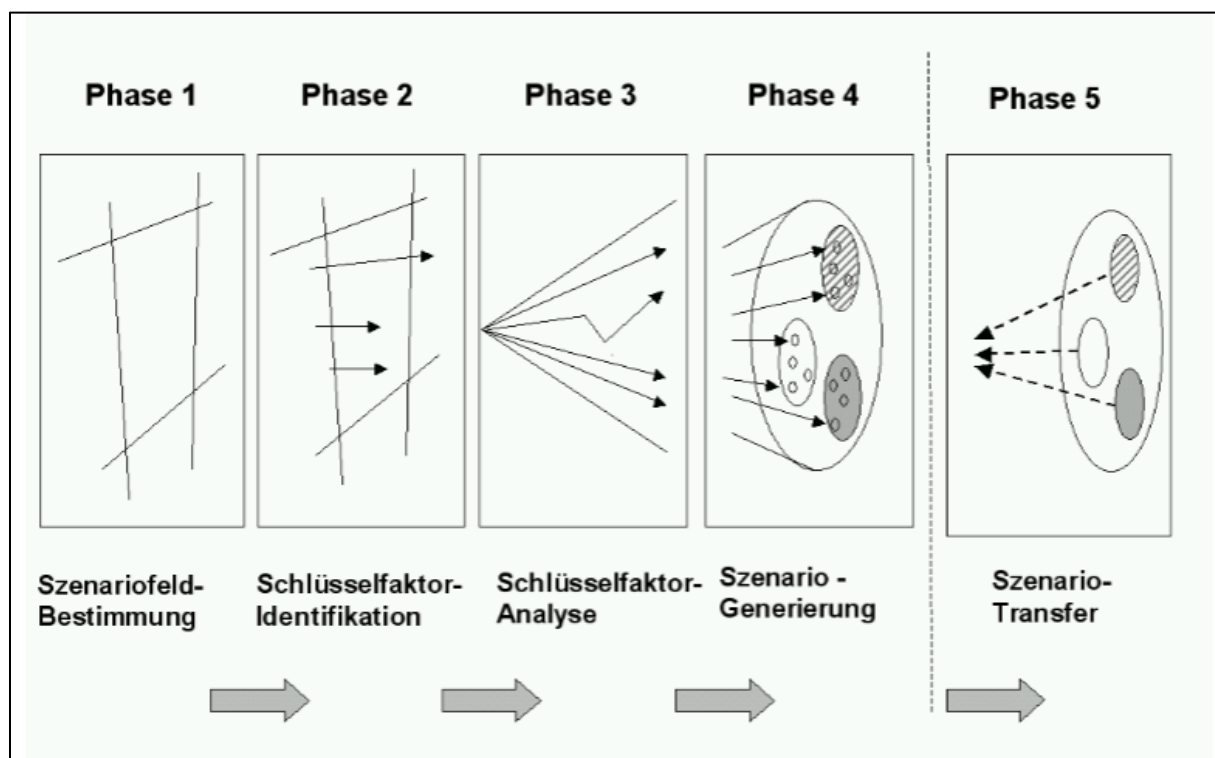
<sup>178</sup> Vgl. Leidinger, B. (2014) S.42

<sup>179</sup> Vgl. Matyas, K. (2008) S.148

<sup>180</sup> In Anlehnung an Matyas, K. (2008) S.149

In der Literatur gibt es eine große Anzahl an verschiedenen Vorgehensweisen in der Szenariotechnik. Es herrscht aber weitgehend Einigkeit über verschiedene Phasen, die sich teilweise in ihrer Anzahl und Inhalten voneinander unterscheiden. Generell lässt sich aber ein gemeinsamer Nenner feststellen, der das Vorgehen anhand von fünf generellen Schritten gliedert: In der ersten Phase wird das Szenariofeld bestimmt, das die Frage nach dem Untersuchungsgegenstand und dem zu behandelnden Problem beantwortet. Es wird genau definiert, was und wo die Grenzen der Betrachtung liegen und was den Forschungsgegenstand darstellt. Anschließend werden die Schlüsselfaktoren identifiziert. Es sind jene Variablen, die für die weitere Entwicklung von zentraler Bedeutung sind und auf das Szenariofeld Einfluss haben. Dabei müssen deren gegenseitige Wirkungsbeziehungen bestimmt werden. Schließlich folgt der entscheidende Schritt der Szenariotechnik. Die Schlüsselfaktoren werden analysiert und ihre möglichen Ausprägungen in der Zukunft definiert. Anschließend werden die Szenarien generiert. Die letzte Phase des Szenariotransfers beschreibt letztlich die weitere Verwendung der Ergebnisse und kann u.a. Strategiebewertungen und Wirkungsanalysen umfassen.<sup>181</sup>

Abbildung 3.8 zeigt einen Überblick über die Schritte der Phasen.



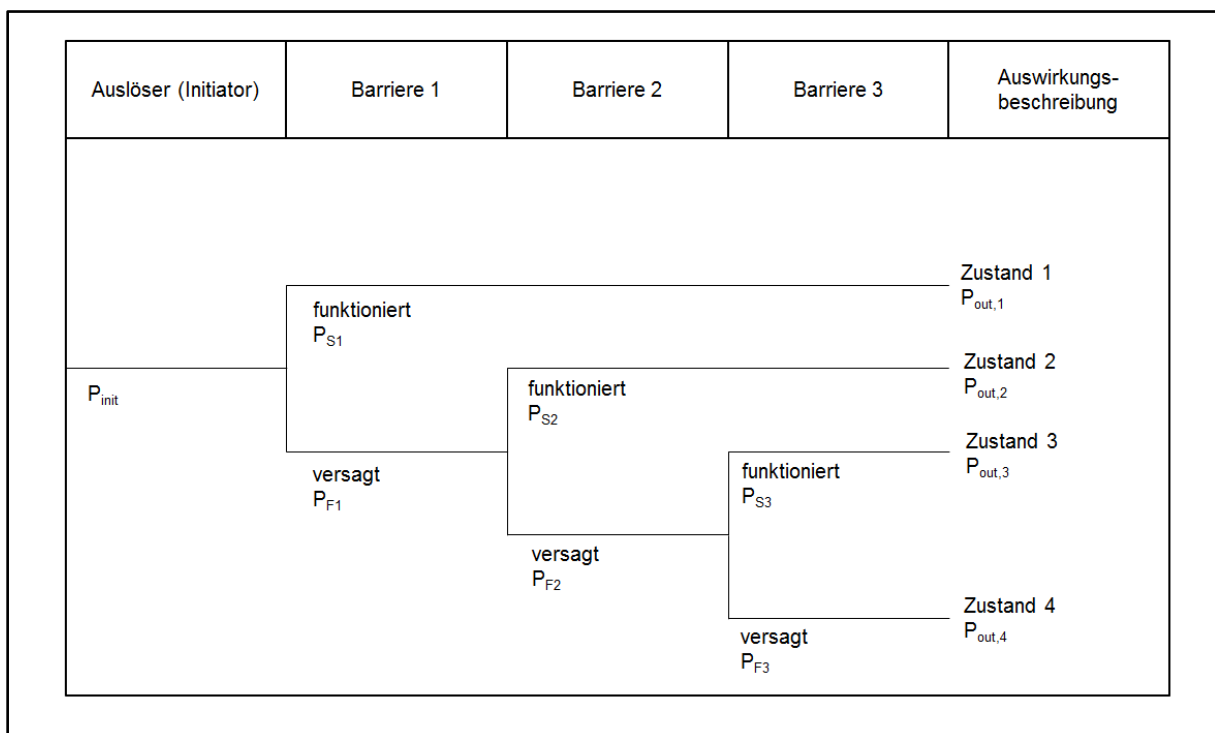
**Abbildung 3.8** Die fünf Schritte der Szenariotechnik<sup>182</sup>

<sup>181</sup> Vgl. Kosow H., Gaßner, R. (2003), S.192

<sup>182</sup> Kosow H., Gaßner, R. (2003), S.192

### 3.7.3 Ereignisbaumanalyse

Die Ereignisbaum- oder Ereignisablaufanalyse ist ein induktives Verfahren, das ausgehend von einem möglichen Ereignis mit Hilfe von Folgeereignissen den Endzustand über die Unfallsequenz ermittelt. Auslöser z.B. der Ausfall einer Komponente haben mögliche Ereignisse mit bestimmter Wirkung auf den Endzustand zur Folge. Das Ergebnis dieser Analyse ist ein Pfad, der den möglichen Endzustand der Einheit mit einer bestimmten Wahrscheinlichkeit beschreibt. Es ist üblich, mit grafischen Darstellungen in Form von binären Bäumen zu arbeiten. Der Auslöser tritt mit einer Wahrscheinlichkeit ( $P_{init}$ ) ein. Darauf folgende Barrieren mit sicherheitstechnischen Funktionen zur Auswirkungsminderung können mit einer Wahrscheinlichkeit funktionieren ( $P_{S_i}$ ) oder versagen ( $P_{F_i}$ ). Nun kann ausgehend vom Auslöser über Multiplikation der Wahrscheinlichkeiten der Wege des Pfades, die Wahrscheinlichkeit eines Endzustands ( $P_{out,i}$ ) bestimmt werden. Treten die Ereignisse nicht unabhängig voneinander auf, müssen bedingte Wahrscheinlichkeiten verwendet werden.<sup>183</sup> Abbildung 3.9 zeigt eine grafische Darstellung der Ereignisbaumanalyse.



**Abbildung 3.9** Grafische Darstellung der Ereignisbaumanalyse<sup>184</sup>

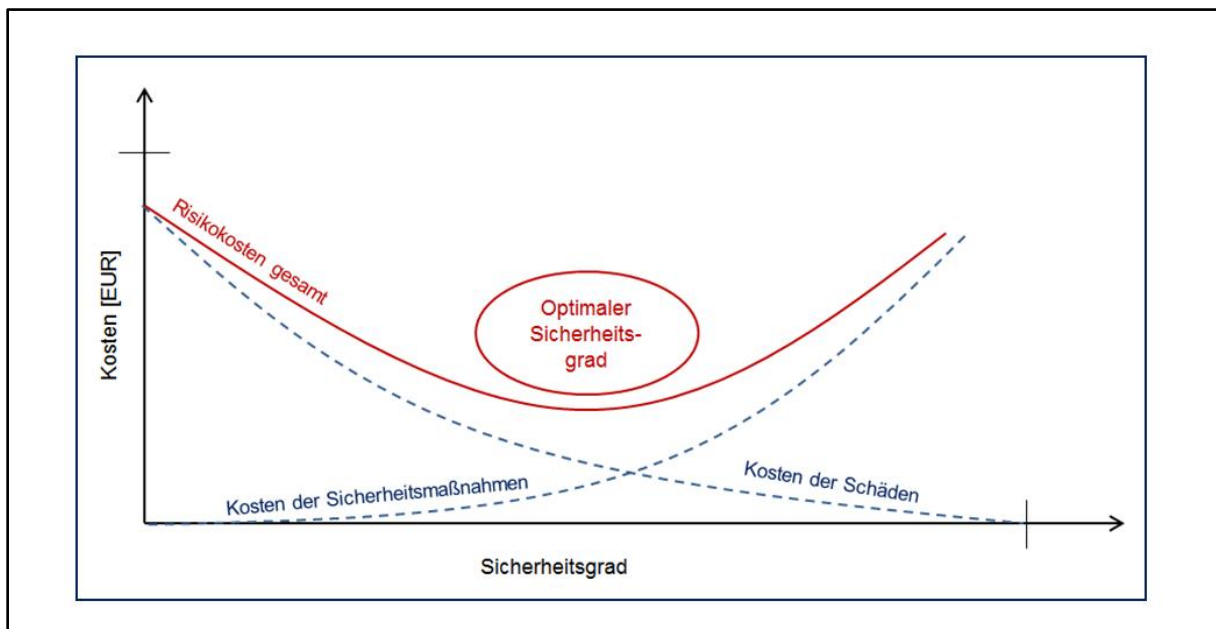
<sup>183</sup> Vgl. Preiss, B. (2009), S.94

<sup>184</sup> In Anlehnung an Preiss, B. (2009), S.94

### 3.8 Risikobewältigung

Es existieren grundsätzlich drei Strategien zur Gestaltung von Risiken. Die präventive Risikopolitik vermeidet oder vermindert Risiken über eine Elimination oder Minimierung der Ursachen und verändert auf diese Art bewusst die Risikostrukturen. Es wird bewusst versucht, die Risikofolgen über eine Verringerung der Eintrittswahrscheinlichkeit und/oder des Schadensausmaßes zu schmälern. Im Zuge einer korrektiven Risikopolitik werden Risiken bewusst in Kauf genommen. Es wird versucht lediglich die Risikofolgen über Vorsorge oder Abwälzen der Konsequenzen zu vermindern, die Risikostrukturen hinsichtlich Schadensausmaß und/oder Eintrittswahrscheinlichen aber bleiben unverändert. Werden keinerlei Maßnahmen getroffen spricht man von keiner aktiven Risikopolitik, das Risiko wird selbst übernommen.<sup>185</sup>

Ziel sollte eine wertorientierte Unternehmenssteuerung zur Schaffung eines optimalen Kosten-Nutzen-Verhältnisses sein und nicht die totale Sicherheit. Mit steigendem Sicherheitsgrad sinken die Kosten der Schäden und die Kosten der risikopolitischen Maßnahmen steigen an. Die Kurve zeigt aber deutlich, dass der Grenznutzen der risikopolitischen Maßnahmen mit steigendem Sicherheitsgrad sinkt. Durch Addition der Kosten der Schäden-Risikoeintritte und Kosten der Sicherheitsmaßnahmen ergeben sich die Risikogesamtkosten. Im Minimum der Kurve liegt das kostenoptimale Sicherheitsniveau.<sup>186</sup> Die Überlegungen bezüglich des optimalen Sicherheitsgrads werden auf Abbildung 3.10 veranschaulicht. Hier wird bereits der Zusammenhang des Risikomanagements und der Instandhaltung deutlich. Vergleiche hierzu Abbildung 2.4.



**Abbildung 3.10** Der optimale Sicherheitsgrad<sup>187</sup>

<sup>185</sup> Vgl. Romeike, F. (2003), S.235ff

<sup>186</sup> Vgl. Romeike, F. (2003), S.254

<sup>187</sup> In Anlehnung an Romeike, F. (2003), S.253

## 4 Risikobasierte Instandhaltung

Das folgende Kapitel beschreibt die Anwendung von Risikomanagement in der Instandhaltung in Form der risikobasierten Instandhaltung.

### 4.1 Zunehmende Bedeutung der Anlagenwirtschaft

Die Bedeutung des Produktionsfaktors „Anlage“ stieg im Laufe der letzten Jahre in allen Branchen kontinuierlich an. Es werden immer kompliziertere Betriebsmittel mit steigender Automatisierung und Mechanisierung entwickelt, die leistungswirtschaftlich mit wachsender Verflechtung in den Betrieben eingesetzt werden. Die Anfälligkeit der Anlagen und Anforderungen an die Zuverlässigkeit wachsen, da Ausfälle von Anlagen heute höhere Schäden anrichten können als früher. Die Konzepte der Anlagenerhaltung gewinnen daher an Bedeutung.<sup>188</sup> Ein wesentlicher Treiber dieser Entwicklung ist die Globalisierung und der resultierende Wettbewerbsdruck, dem Unternehmen verstärkt ausgesetzt sind.<sup>189</sup> Die zugenommene Mechanisierung, Automatisierung, Roboterisierung und Verflechtung gründet auf dem Erhalt von Wettbewerbsvorteilen. Mit steigender Verkettung der Anlagen erhöhen sich jedoch aufgrund der Verflechtung mit mehreren Anlagen die Ausfallfolgekosten.<sup>190</sup> In den traditionellen Wirtschaftszweigen führten sozio-ökonomische Veränderungen zu einem Marktsog und marktseitigen Veränderungen. Durch Zunahme des globalen Wettbewerbs steigen Unternehmen vermehrt aus Billiglohnländern in den Markt ein, Nachfrageschwächen führen zu einem Preisdruck. Der Bedarf nach besonderen Leistungsmerkmalen auf hohem Qualitätsniveau sowie nach kurzen Lieferzeiten im Rahmen eines veränderten Kundenverhaltens wächst. Die verstärkte Nachfrage der Kunden nach Produktdifferenzierung führt zu einer hohen Typen- und Variantenvielfalt. Daher muss sich die Fabrik der Zukunft anpassen. Diese Anpassung wird im Wesentlichen von dem Marktsog und dem Technologiedruck erzwungen.<sup>191</sup> Die Produktlebenszyklen werden kürzer und Technologien sowie Nachfragen verändern sich schnell. Der Drang nach Flexibilität zur Verkürzung der Reaktionszeit im dynamischen Markt und Produktivität wird in Produktionsbetrieben größer. Es wurde daher vermehrt in kapitalintensive, hoch automatisierte Fertigungssysteme investiert.<sup>192</sup> Kapitalintensive Anlagen führen zu einer Zunahme der Amortisationsdauer und zu einer veränderten Kostenstruktur mit steigendem Fixkostenanteil. Aber nicht nur die veränderte Situation im Absatzmarkt, sondern auch im Beschaffungsmarkt wirkt sich auf die steigende Bedeutung der Anlagenwirtschaft aus. Aufgrund der zunehmenden Verknappung von notwendigen Ressourcen, z.B. von qualifiziertem Personal lösen Betriebsmittel den Produktionsfaktor Arbeit zunehmend ab. Aufgrund der Marktentwicklungen und des steigenden Einsatzes von Anlagen ergeben sich

---

<sup>188</sup> Vgl. Männel, W. (1968), S.19

<sup>189</sup> Vgl. Franta, O. (2009), S.225

<sup>190</sup> Vgl. Adam, S. (1989), S.31ff

<sup>191</sup> Vgl. Zahn, E. (1986), S.476

<sup>192</sup> Vgl. Bellmann, K. (2005), S.154

in der Anlagenwirtschaft besondere Risiken.<sup>193</sup> Tabelle 4.1 zeigt einen Überblick über die speziellen Risiken, ihren Beschreibungen und Ursachen.

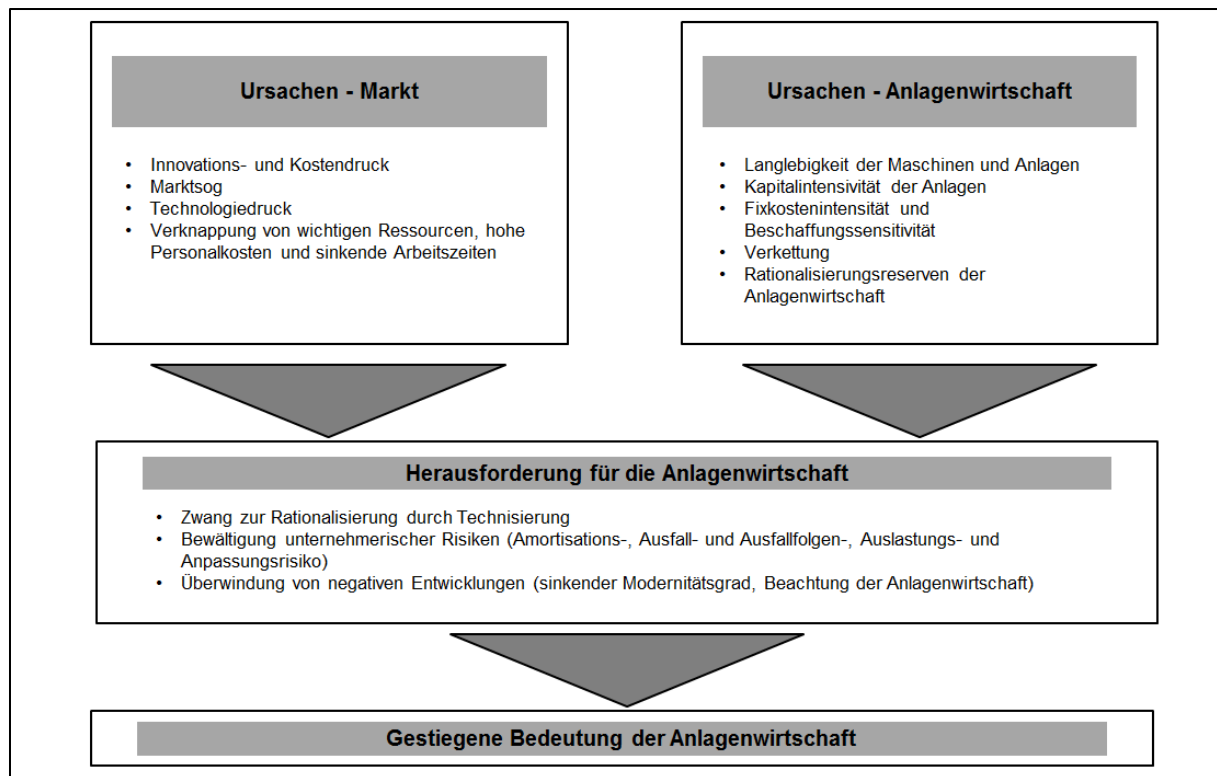
Risiko	Beschreibung	Ursachen – Markt	Ursachen- Anlagenwirtschaft
Amortisationsrisiko	Risiko, der unzureichenden Deckung der Ausgabe für Investition durch erwirtschaftete Erträge der Investition	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Schnelle technische Entwicklung</li> <li>• Kürzere Produktlebenszyklen</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Kapitalintensive Anlagen</li> <li>• Hoch spezialisierte Anlagen und geringe Wiederverwertbarkeit</li> <li>• Steigende Amortisationsdauer</li> </ul>
Ausfallrisiko, Ausfallfolgenrisiko	Risiko des Kosten eines Ausfalls der Anlage (Stillstand, Schaden) oder Folgekosten (zusätzliche Verluste)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Niedrige Fertigungstiefe</li> <li>• Geringe Puffer und Lagerbestände</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Hohe gegenseitige Abhängigkeit aufgrund von Verkettung</li> <li>• Geringe Gesamtverfügbarkeit von Anlagen</li> </ul>
Auslastungsrisiko	Risiko der Auslastung der Kapazität der Betriebsmittel	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Auslastungsschwankungen bedingt durch Produktionsprogramm oder Konjunktur</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Große Fixkostenintensität und Beschäftigungssensitivität</li> <li>• Gebundenheit</li> </ul>
Anpassungsrisiko	Risiko der mangelnden Übereinstimmung zwischen der Fähigkeit und Anforderung von Anlagen und daraus resultierenden Anpassungskosten	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Dynamische Entwicklungen</li> <li>• Hohe Anforderungen an Flexibilität</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Hohe Kapitalintensität</li> <li>• Lange Kapitalbindungsdauer</li> <li>• Geringe Elastizität</li> </ul>

**Tabelle 4.1** Die Risiken in der Anlagenwirtschaft<sup>194</sup>

Abbildung 4.1 zeigt eine zusammengefasste Darstellung von den Ursachen für die gestiegene Bedeutung der Anlagenwirtschaft.

<sup>193</sup> Vgl. Prüß, G. (2003), S.2ff

<sup>194</sup> In Anlehnung an Prüß, G. (2003), S.6



**Abbildung 4.1** Die gestiegene Bedeutung der Anlagenwirtschaft<sup>195</sup>

## 4.2 Zunehmende Bedeutung der Instandhaltung

Aufgrund der gestiegenen Bedeutung der Anlagenwirtschaft wachsen die Anforderungen in der Instandhaltung.

Im Laufe der Jahre hat sich die Instandhaltung als zentraler Teil von Produktionsabteilungen zu einem unabhängigen Dienstleister mit Kunden-Lieferanten Beziehungen entwickelt.<sup>196</sup> Mit wachsender Globalisierung und Vernetzung der weltweiten Märkte steigt der Wettbewerbsdruck für die Unternehmen. Die Instandhaltung trägt wesentlich zur Qualität und Quantität der Produkte bei, daher wächst die Bedeutung des „Wirtschaftsfaktors“ der Instandhaltung in den Betrieben.<sup>197</sup> Der zunehmende Wettbewerbsdruck führt zu höheren Anforderungen an die Produktionsanlagen zur Erhöhung der Produktivität und Wirtschaftlichkeit.

Mit steigender Komplexität und Automatisierung der technischen Anlagen steigt die Störanfälligkeit, denn die Anzahl an neuen Bauteilen in komplexen Systemen nimmt zu. Angesichts der sich verändernden Produktionsmaschinen ist eine neue Qualifikation der Mitarbeiter erforderlich. Die Anforderung und gesetzlichen Rahmenbedingung in Bereichen der Qualität, Arbeitssicherheit und Umweltschutz wächst und eine Vielzahl von neu

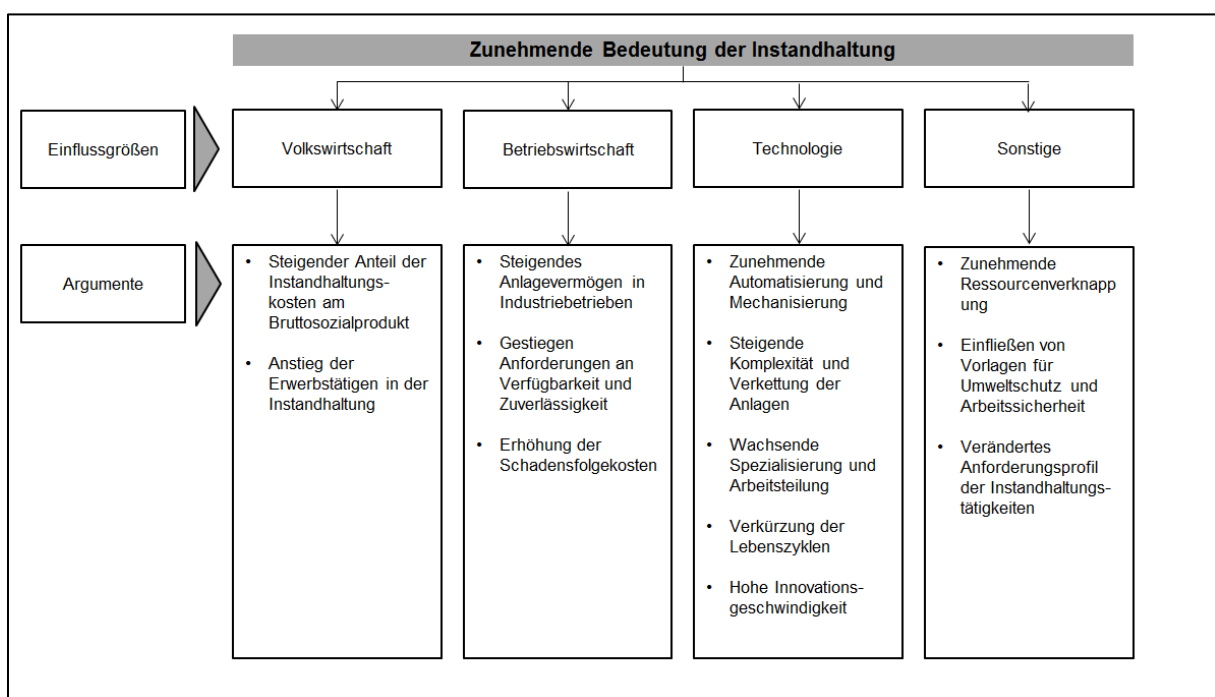
<sup>195</sup> In Anlehnung an Prüß, G. (2003), S.7

<sup>196</sup> Vgl. Luther, F. (2009), S.13ff

<sup>197</sup> Vgl. Horn, W. (2009), S.253

entwickelten Instandhaltungsmethoden, wie z.B. RCM und TPM, eröffnen neue Wege. Im Laufe des Betriebs ist es heute möglich, eine Vielzahl an Daten aus dem SAP System und MES zu gewinnen.<sup>198</sup> Der Begriff der Instandhaltung 4.0 ist zurzeit ein großes Thema. Durch zunehmende Vernetzung und technische Möglichkeiten ist es möglich kontinuierliche Informationen über den Zustand der Maschinen für die Instandhaltungsabteilungen und für den Hersteller zu gewinnen. Diese Daten können laufend ausgewertet und konkrete Maßnahmen abgeleitet werden, um so letztlich die Verfügbarkeit der Produktionsmaschinen zu steigern.<sup>199</sup>

Abbildung 4.2 fasst die Argumente für eine zunehmende Bedeutung der Instandhaltung in zusammen.



**Abbildung 4.2** Die zunehmende Bedeutung der Instandhaltung<sup>200</sup>

### 4.3 Risikobasiertes Instandhaltungskonzept

Aufgrund der gestiegenen Anforderungen an die Instandhaltung gibt es ein zunehmendes Interesse an Instandhaltungskonzepten.<sup>201</sup> Im Zuge dieser Entwicklung findet das Risikomanagement zunehmend seine Verwendung in der Instandhaltung. Die Instandhaltungsereignisse werden mit Hilfe von Schadens- Störungs- und Ausfallminimierung reduziert. Der Fokus wird auf risikorelevante Elemente, basierend auf den Ergebnissen einer Risikoanalyse, gelegt. Der Aufwand für Bauteile mit niedrigem

<sup>198</sup> Vgl. Iske, F. (2009), S.54

<sup>199</sup> Vgl. Einsiedler, I. (2013), S.28

<sup>200</sup> In Anlehnung an Prüß, H.; Nebel, T. (2006), S.729

<sup>201</sup> Vgl. Strohmeier, G. (2007), S.125



Risikopotenzial wird gezielt minimiert. Dieser risikoorientierte Ansatz eignet sich für eine adäquate Begegnung mit den gestiegenen Anforderungen in der Instandhaltung.<sup>202</sup>

Im Rahmen einer risikobasierten Instandhaltung werden die Aufwendungen der Instandhaltung unter Wahrung eines definierten Sicherheitsniveaus gezielt reduziert. Die Entscheidung für Instandhaltungsmaßnahmen wird unter Berücksichtigung der relevanten Betriebsrisiken getroffen.<sup>203</sup> Der risikobasierte Ansatz ist eine Weiterentwicklung des RCM Ansatzes, der grundlegend analysiert, wie ein System funktioniert und sein mögliches Versagen beschreibt.<sup>204</sup> Der RCM Ansatz wird durch eine Risikobetrachtung für die risikobasierte Instandhaltung erweitert. Ziel ist eine Senkung des Instandhaltungsaufwands, ohne Reduktion der Sicherheit, Verfügbarkeit oder Umweltverträglichkeit von Anlagen. Es wird grundsätzlich zwischen drei Ausfallarten unterschieden:<sup>205</sup>

- Wirtschaftliche Ausfälle z.B. Produktionsausfall
- Personenausfälle durch Verletzungen oder Todesfälle
- Umweltschäden z.B. durch Sanierungskosten

Die risikobasierte Instandhaltung ermöglicht eine höhere Transparenz der Entscheidungsprozesse, eine Senkung der Kosten und eine gezielte zustandsorientierte Instandhaltung zur Wahrung der technischen Standards, der Produktqualität und der Erfüllung von marktspezifischen Anforderungen. Es wird ein Kriterium zur qualitativen und quantitativen Klassifizierung von Systemen und Komponenten zur Ableitung konkreter Instandhaltungsmaßnahmen geschaffen. Sicherheits- und Verfügbarkeitsaspekte werden strukturiert mit einer Strategie verknüpft.<sup>206</sup> Es können somit Kosten gezielt reduziert werden. Außerdem werden eine sachliche Diskussion der Kostenverantwortlichen und der Instandhaltung, sowie eine Sensibilisierung der Betriebsmannschaft hinsichtlich der Instandhaltungskosten ermöglicht.<sup>207</sup>

Im Rahmen des Risk Based Inspection and Maintenance Procedures for European Industry (RIMAP) Forschungsprojekts wurde ein standardisierter branchenübergreifender Standard für die risikobasierte Inspektion und Instandhaltung entwickelt.<sup>208</sup> Dies war der erste europäische Versuch zur Gestaltung eines standardisierten Prozess für die risikobasierte Instandhaltung.

Die entwickelte Methode des RIMAP Projekts wurde 2008 in der CEN Workshop Agreement (CWA) 15740 des Europäischen Komitees für Normung übernommen. Das folgende Kapitel beschreibt den im Zuge des RIMAP Projekts definierten und in der CWA 15740 beschriebenen Prozess.

---

<sup>202</sup> Vgl. Kulmhofer, A. (2009), S.29

<sup>203</sup> Vgl. Matyas, K. (2008), S.144

<sup>204</sup> Vgl. Jones, R.B. (2011), S.XIII

<sup>205</sup> Vgl. Bandow, G.; Schaefer, F-W. (2009), S.741

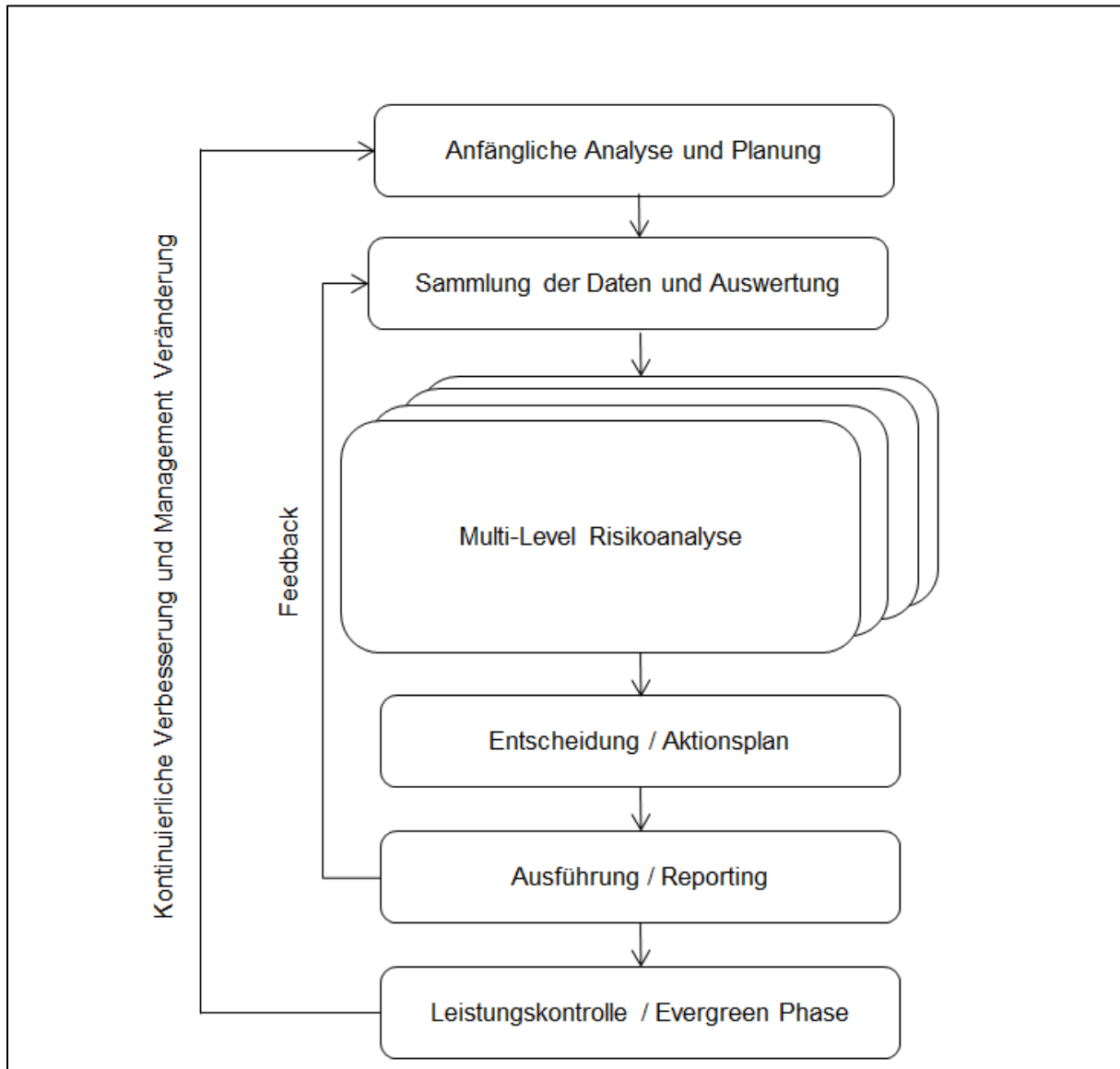
<sup>206</sup> Vgl. Bareiß, J. et al. (2004), S.42.1ff

<sup>207</sup> Vgl. Diehl, H. et al. (2009), S.122

<sup>208</sup> Vgl. Bareiß, J. et al. (2004), S.42.1ff

## 4.4 Risk Based Maintenance Procedures for European Industry (RIMAP) – Prozess

Abbildung 4.3 zeigt den im Zuge von RIMAP definierten Ablauf.



**Abbildung 4.3** Der RIMAP Ablauf<sup>209</sup>

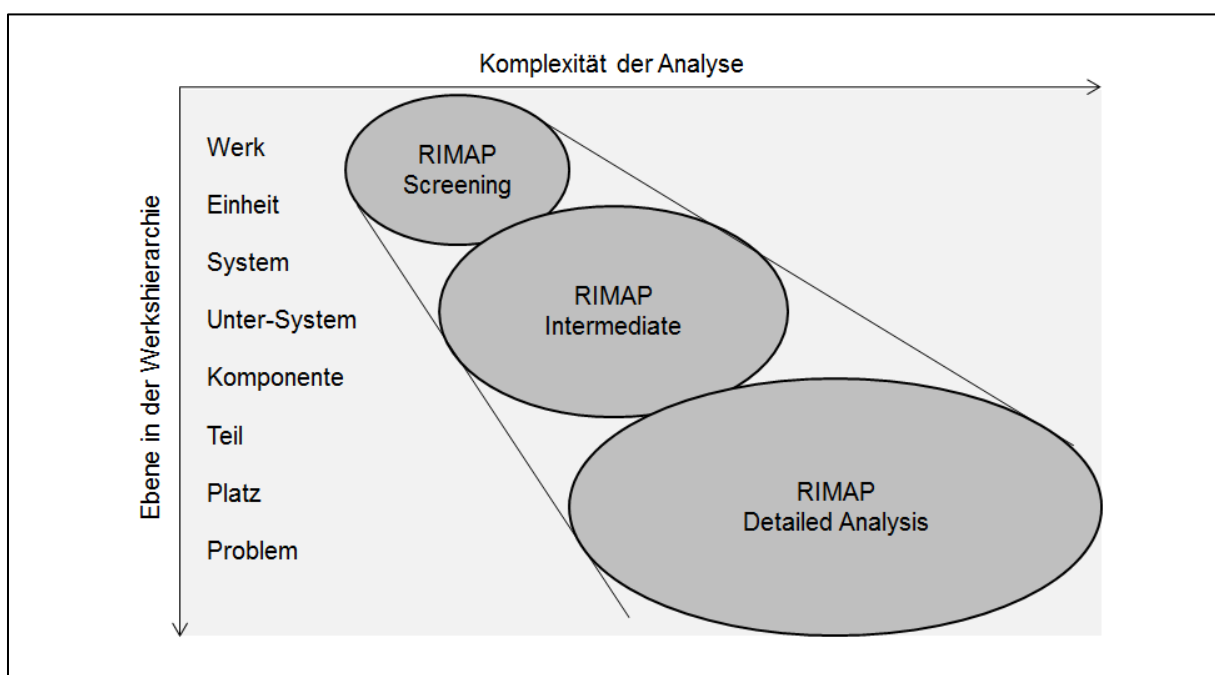
Im Zuge der anfänglichen Analyse und Planung müssen die Ziele definiert, die zu untersuchenden Systeme und Komponenten, der Inhalt der Analyse, die Datengrundlage sowie die zu verwendeten Werkzeuge, wie z.B. Software bestimmt und die Teams gebildet werden. Die interne und externe Akzeptanz der ausgewählten Methode und Ziele muss geprüft werden.<sup>210</sup>

<sup>209</sup> In Anlehnung an CWA 15740 (2008)

<sup>210</sup> Vgl. CWA 15740 (2008)

Im nächsten Schritt müssen die notwendigen Daten zur Bestimmung des Risikos für die anschließende Risikoanalyse gesammelt werden. Dies umfasst alle Daten bezüglich der Wahrscheinlichkeit und Folgen von Fehlerszenarien. Die Risikoanalyse beinhaltet die Identifizierung von Gefahren, von relevanten Schädigungsmechanismen und Fehlerarten sowie die Ermittlung von Wahrscheinlichkeit und Folgen von Fehlern. Das Resultat ist ein ermitteltes Risiko, anhand das System oder die Komponente klassifiziert werden kann.<sup>211</sup>

Die Multi-Level-Risikoanalyse beschreibt die Risikoermittlung in Abhängigkeit von vorliegender Komplexität und unterteilt diese in *Screening*, *Intermediate* und *Detailed Analysis*.<sup>212</sup> Für die jeweiligen Werksebenen eignen sich bestimmte Tiefen der Risikoanalysen, wie aus Abbildung 4.4 ersichtlich.



**Abbildung 4.4** Detailierungstiefe der Risikoanalyse<sup>213</sup>

Das *Screening* ist eine einfache qualitative Analyse zur schnellen und einfachen Risikobestimmung. Die Aussagekraft der qualitativen Analysen kann für relevante Bereiche über semi-quantitative *Intermediate* Analysen verbessert werden. Kritische Bereiche müssen einer vertieften Risikoanalyse, in Form einer *Detailed Analysis* zur quantitativen Risikoermittlung, mit entsprechendem Aufwand unterzogen werden.<sup>214</sup> Die Ergebnisse des Screening Levels werden in einer Risikomatrix dargestellt. Die Resultate dienen als Ausgangspunkt für weitere Untersuchungen und zur Bestimmung für welche Bereiche es an einer vertieften Risikoanalysen bedarf. Basierend auf den Ergebnissen der Risikoanalysen werden entsprechende Instandhaltungsmaßnahmen abgeleitet, implementiert und fortlaufend kontrolliert.<sup>215</sup>

<sup>211</sup> Vgl. CWA 15740 (2008)

<sup>212</sup> Vgl. CWA 15740 (2008)

<sup>213</sup> In Anlehnung an Bareiß, J. et al. (2004), S.42.5

<sup>214</sup> Vgl. Bareiß, J. et al. (2004), S.42.5

<sup>215</sup> Vgl. CWA 15740 (2008), S.49ff

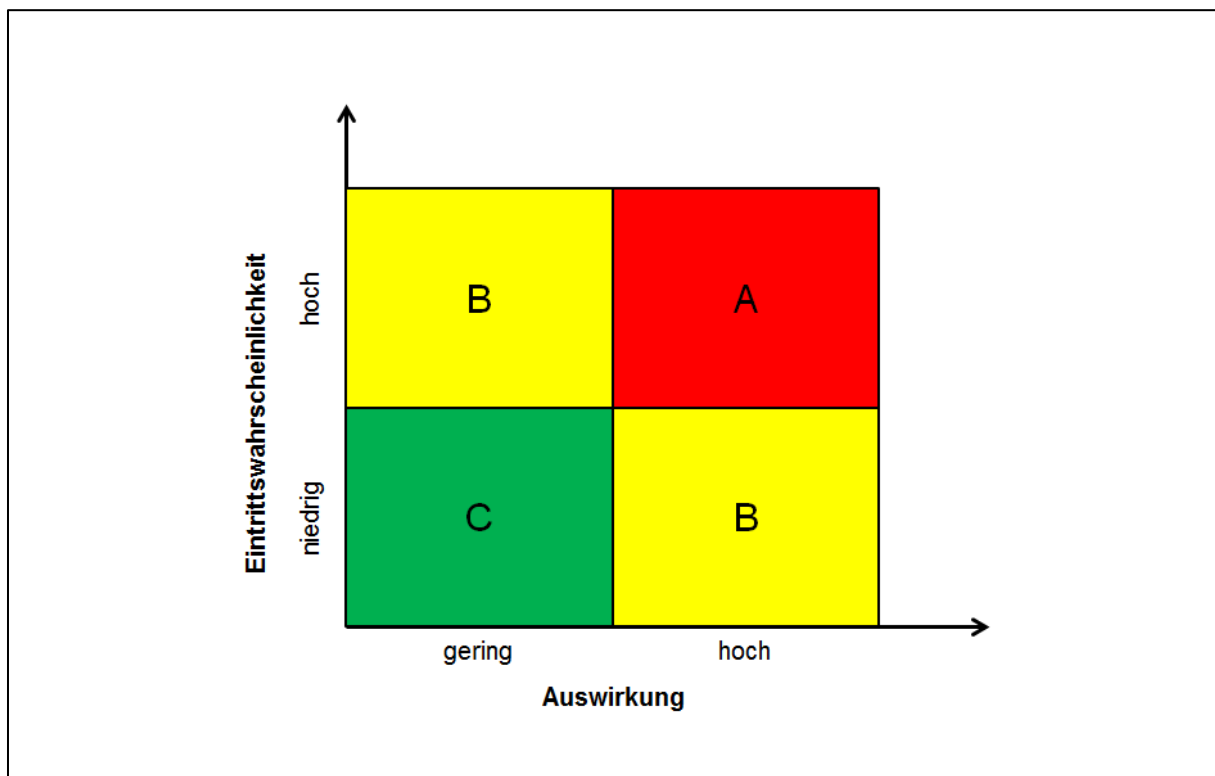
## 4.5 Strategiefindung

Basis für die Ableitung von konkreten Instandhaltungsstrategien bildet die Risikobetrachtung. Ausgehend von definierten Kriterien für die Eintrittswahrscheinlichkeit und für die Auswirkungen von Fehlern wird ein Risiko ermittelt. Das Risiko wird hierbei wie folgt definiert:<sup>216</sup>

$$\text{Risiko} = \text{Eintrittswahrscheinlichkeit} * \text{Auswirkung der Störung}$$

3.1

Das Ergebnis dieser Risikobewertung wird in einer Risikomatrix abgebildet und einer Risikoklasse zugeordnet. Jede Risikoklasse ist über seine Position in der Matrix klar definiert, wie aus Abbildung 4.5 ersichtlich.<sup>217</sup>



**Abbildung 4.5** Beispiel einer Risikomatrix und Risikoklassen<sup>218</sup>

Die jeweilige Instandhaltungsstrategie wird anhand der Risikoklasse festgelegt. Für Einheiten mit hohem Risiko sind stark risikominimierende Maßnahmen erforderlich. Es empfiehlt sich daher in der Regel eine zustandsabhängige Strategie, die in Summe als aufwendigste und teuerste gilt.<sup>219</sup> Diese ermöglicht aber eine sehr hohe terminbezogene Verfügbarkeit und vermeidet plötzlich auftretende Ausfälle weitestgehend.<sup>220</sup> Einheiten mit mittlerem Risiko

<sup>216</sup> Vgl. Diehl, H. (2009), S.121

<sup>217</sup> Vgl. Diehl, H. (2009), S.121

<sup>218</sup> In Anlehnung an Diehl, H. (2009), S.121

<sup>219</sup> Vgl. Diehl, H. (2009), S.121

<sup>220</sup> Vgl. Prüß, H.; Nebel, T. (2006), S.730

werden grundsätzlich mit zeitbasierter Strategie in Form von routinemäßigen Wartungen instand gehalten. Die Risikoklassen mit niedrigem Risiko legen eine ausfallbasierte Instandhaltungsstrategie fest.<sup>221</sup> Im Allgemeinen führen sie zu einer geringen Verfügbarkeit und hohen Ausfallverlusten.<sup>222</sup> Da aber von Einheiten dieser Klasse nur ein geringes Risiko ausgeht, sind nur bedingt vorbeugende Maßnahmen zu treffen und eine ausfallbasierte Instandhaltungsstrategie zulässig.<sup>223</sup>

Abbildung 4.6 zeigt einen Überblick über die drei Grundstrategien und ihre Einsatzgebiete. Diese Abbildung soll die soeben getroffenen Überlegungen bestärken.

	Vorteile/Stärken	Nachteile/Schwächen	Einsatzobjekte
<b>Ausfallabhängige Instandhaltung</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Volle Nutzung des Abnutzungsvorrats</li> <li>• Geringer bzw. kein Planungsaufwand</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Eventuell hohe Ausfallfolgekosten und Ausfallzeiten</li> <li>• Zuverlässigkeit unsicher</li> <li>• Verfügbarkeit unsicher</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Objekte ohne Sicherheits-, Zuverlässigkeits- oder Verfügbarkeitsrelevanz</li> <li>• Objekte ohne gravierende Folgekostenrelevanz</li> <li>• Unkritische Objekte</li> <li>• Objekte mit unbekannten Abnutzungsverhalten</li> </ul>
<b>Zeitabhängige Instandhaltung</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Terminplanung möglich</li> <li>• Abstimmung von Produktion und Instandhaltungsplanung möglich</li> <li>• Geringe Ausfall- und Ausfallfolgekosten sowie Ausfallzeiten</li> <li>• Sicherung einer definierten Verfügbarkeit und Zuverlässigkeit</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Abnutzungsvorrat wird nur teilweise ausgenutzt</li> <li>• Hohe Instandhaltungskosten</li> <li>• Höherer Ersatzteilbedarf</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Objekte mit hoher Sicherheits-, Zuverlässigkeits- oder Verfügbarkeitsrelevanz</li> <li>• Objekte mit gravierenden Folgekosten</li> <li>• Objekte mit nahezu bekannten Abnutzungsverhalten, bei denen Zustandsermittlung zu aufwendig und teuer ist</li> </ul>
<b>Zustandsabhängige Instandhaltung</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Sicherstellung definierter Verfügbarkeit</li> <li>• Geringe Ausfall &amp; Ausfallfolgekosten</li> <li>• Bessere Ausnutzung des Abnutzungsvorrats</li> <li>• Ausfallverhalten muss nicht im Detail bekannt sein</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Nur einsetzbar, wenn das Abnutzungsverhalten beobachtbar ist</li> <li>• Hoher Aufwand für Inspektionen</li> <li>• Höherer Planungs- und Steuerungsaufwand</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Objekte mit hohem Ausfall- und Instandsetzungskosten</li> <li>• Objekte mit beobachtbarem Abnutzungsverhalten</li> </ul>

**Abbildung 4.6** Die drei Grundstrategien der Instandhaltung und ihre Einsatzgebiete<sup>224</sup>

<sup>221</sup> Vgl. Diehl, H.; Prüß, H. (2009), S.21f

<sup>222</sup> Vgl. Prüß, H.; Nebel, T. (2006), S.730

<sup>223</sup> Vgl. Diehl, H.; Prüß, H. (2009), S.21f

<sup>224</sup> In Anlehnung an Bandow, G.; Schaefer, F-W. (2009), S.738

## 5 Geschäftsprozessmodellierung

Gemäß der Aufgabenstellung muss der SOLL-Prozess mit Hilfe von geeigneten Methoden abgebildet werden. Das folgende Kapitel dient der Erläuterung der weiteren Vorgehensweise und beschäftigt sich mit geeigneten Verfahren zur Geschäftsprozessmodellierung.

### 5.1 Architektur integrierter Informationssysteme (ARIS)

Die grafische Dokumentation und Abbildung von Geschäftsprozessen wird als Geschäftsprozessmodellierung bezeichnet. Es ist eine strukturierte Methode zur Analyse von Prozessen.<sup>225</sup> Dieses Kapitel beschäftigt sich mit den für diese Arbeit relevanten Methoden, da eine Auflistung aller verfügbaren Methoden den Umfang dieser Arbeit bei Weitem überschreiten würde.

Eine Möglichkeit zur ganzheitlichen Modellierung von Geschäftsprozessen bietet die Architektur integrierter Informationssysteme (ARIS) und die darin integrierten Methoden. Zur Beschreibung von Geschäftsprozessen gibt es eine große Anzahl an Methoden, denn eine Methodensprache reicht häufig nicht zur vollständigen Beschreibung eines Geschäftsprozesses aus. Diese Methoden bestimmen aber in der Regel die Modellausrichtung, denn das Ergebnis wird über die Syntax und Semantik der verwendeten Methode bestimmt. ARIS ist in der Lage, diese Abhängigkeiten zu entkoppeln. Die Anwendung dieses Konzepts ist nicht nur aus betriebswirtschaftlicher, sondern auch aus informationstechnischer Sicht sinnvoll. Denn es ist in der Lage ein Rahmenkonzept für die vollständige Beschreibung von Anwendungssoftware-Systemen zu bieten und kann für die Entwicklung von Informationssystemen genutzt werden. Mit Hilfe des ARIS-House of Business Engineering (HOBE) kann die Architektur für das Management von Geschäftsprozessen mittels einer Standardsoftware beschrieben werden. Architektur bedeutet übertragen auf Informationssysteme, die Beschreibung der einzelnen Bausteine eines Informationssystems hinsichtlich ihrer Art, funktionalen Eigenschaften und Zusammenwirken.<sup>226</sup>

Gemäß den Schritten zur Erstellung von Informationssystemen, besteht die Geschäftsprozessarchitektur des ARIS Haus aus vier Ebenen. Die tiefer gelegenen Ebenen beschreiben die informationstechnischen Gesichtspunkte, die oberen Ebenen betrachten vorwiegend betriebswirtschaftliche Beschreibungen. Im ersten Schritt wird eine Strategie für die Ausgangslösung erstellt. Auf der zweiten Ebene des Fachkonzepts kommt es zu einer detaillierten Modellierung des Geschäftsprozesses anhand der vier ARIS Sichten und ist daher von betriebswirtschaftlichem Interesse. Im dritten Schritt wird das Konzept für die technische Spezifizierung der Anforderungen von Implementierungswerkzeugen entwickelt.

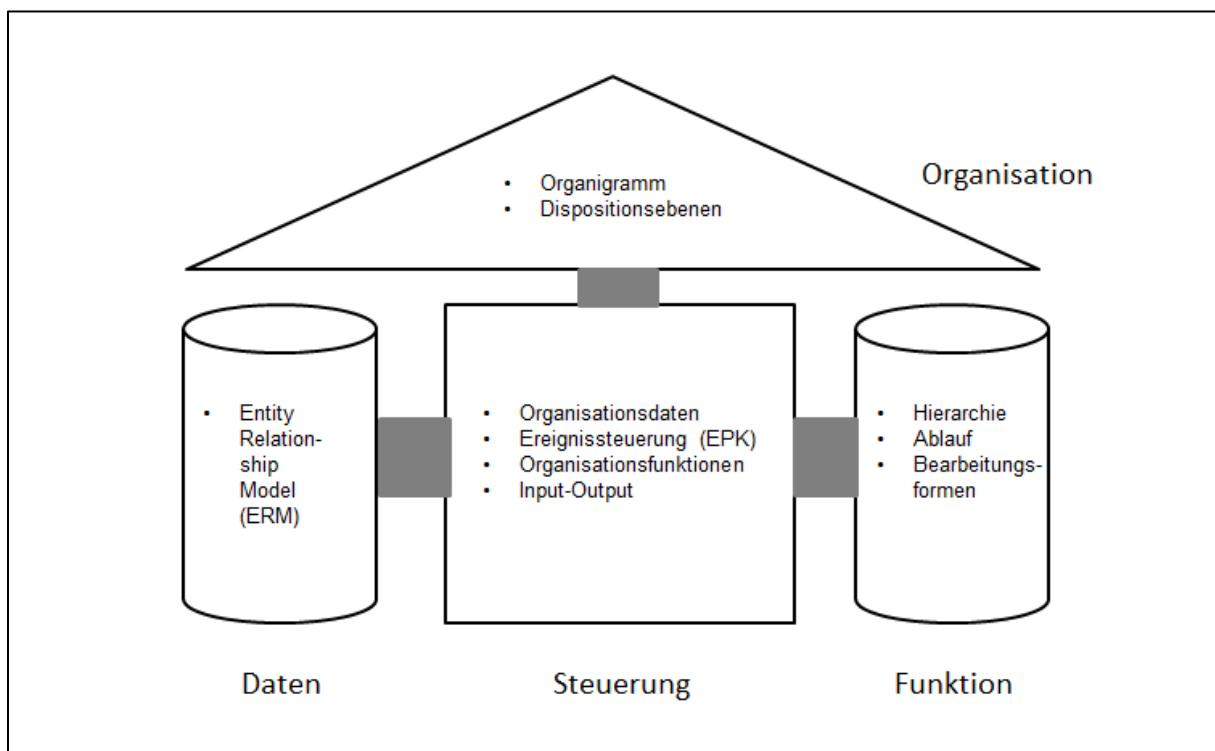
---

<sup>225</sup> Vgl. Pourshahid, A. et al (2009), S.273

<sup>226</sup> Vgl. Scheer, A-W. (2002), S.2ff

Schließlich folgt die technische Implementierung, so dass die definierten Anforderungen in konkrete Produkte umgesetzt werden.<sup>227</sup>

ARIS betrachtet Geschäftsprozesse auf der Fachkonzeptebene aus vier Sichten.<sup>228</sup> Die Organisation bildet die Aufbauorganisation ab, die Datensicht umfasst alle Daten des Umfelds sowie Nachrichten, die Funktionen erzeugen bzw. auslösen. Die Funktionssicht beschreibt alle Vorgänge die Input in Output transformieren. Die Steuerungssicht steht als verbindendes Glied in der Mitte der Sichten und bildet alle relevanten Vorgänge zur Steuerung der Vorgangsweise ab. Der Grundgedanke dieser vier Sichten ist auf die Identifikation von relevanten Flüssen in Prozessen begründet. Jeder Fluss und deren Kombination ist zur Beschreibung eines Prozesses notwendig, denn eine isolierte Betrachtung ist nicht in der Lage, den Sachverhalt ganzheitlich abzubilden. Der Organisationsfluss beschreibt Befugnisse und Verantwortlichkeiten von Organisationseinheiten. Der Zielfluss kennzeichnet die Ziele eines Prozesses, der Steuerfluss regelt die Abfolge von Funktionen, der Leistungsfluss charakterisiert die Leistungserstellung, der Informationsfluss regelt den Informationszugriff, der menschliche Arbeitsleistungsfluss kennzeichnet die menschliche Arbeitsleistung und der Betriebsmittelfluss beschreibt die Nutzung von Betriebsmittel.<sup>229</sup> Abbildung 5.1 zeigt das ARIS Haus auf Fachkonzeptebene.



**Abbildung 5.1** Das ARIS-Fachkonzept<sup>230</sup>

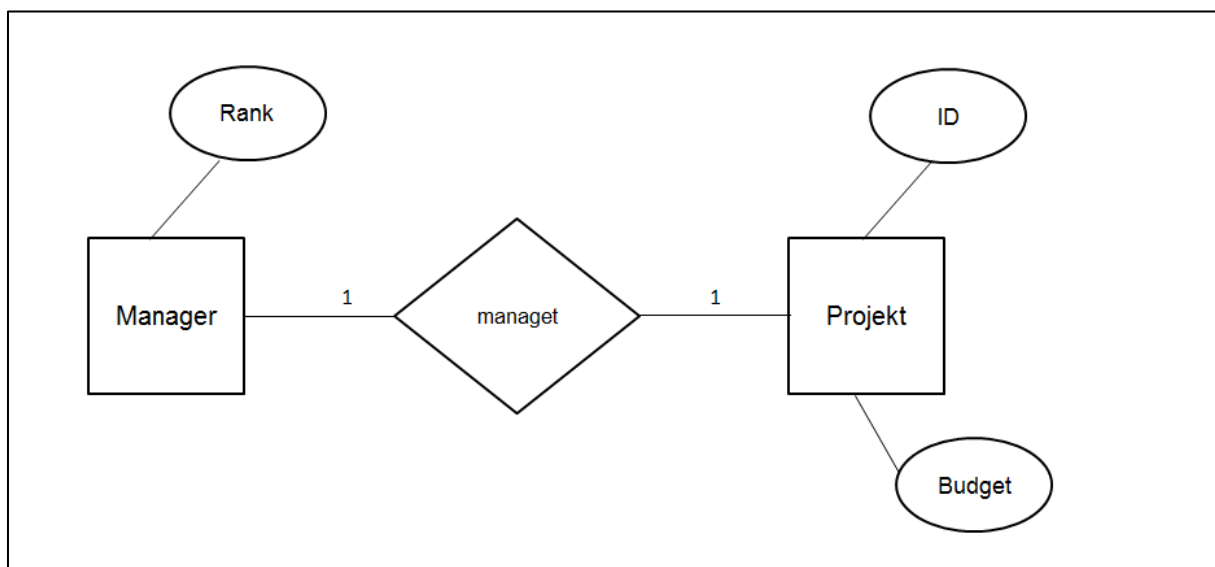
<sup>227</sup> Vgl. Scheer, A-W. (2002), S.39f

<sup>228</sup> Vgl. Scheer, A-W. (1996), S.10

<sup>229</sup> Vgl. Scheer, A-W. (2002), S.25ff

<sup>230</sup> In Anlehnung an Scheer, A-W. (1996), S.10

Zur Darstellung von Datenstrukturen bietet sich das Entity Relationship Model (ERM) an<sup>231</sup>, das zur Beschreibung der Datensicht verwendet werden kann.<sup>232</sup> Dieses Modell eignet sich für die Erstellung von Datenbanken, da es die relevanten Objekte (Entities) und ihre wechselseitigen Beziehungen (Relationships) in Form einer semantischen Datenmodellierung abbildet. Es können mehrere Objekte einem logischen Objektset zugeordnet werden und dieses Objektset kann eine Vielzahl von Eigenschaften (Attribute) besitzen. Auch Beziehungen können zu einem logischen Beziehungssatz zusammengefasst werden. Diese Objektsets sind über Beziehungssatz miteinander verbunden. Es gibt nun die Möglichkeit, dass einem Objekt eines Objektsets über eine Beziehung genau ein Objekt eines anderen Objektsets zugewiesen werden kann. Man spricht in diesem Fall von einer 1:1 Beziehung. Stehen mehrere Objekte eines Objektsets mit einem Objekt eines anderen Objektsets in Beziehung, spricht man von einer n:1 Beziehung. Bei einer mehrfach möglichen Zuweisung spricht man von einer n:m Beziehung. Die grafische Notation für das Erstellen eines Entity-Relationship-Diagramms erfolgt anhand von Boxen für Objektsets, Diamanten für Beziehungssatz, Attribute als Kreise und Linien zur Verknüpfung. Primärschlüssel sind Attribute, die eine eindeutige Identifizierung der Objekte ermöglichen und werden grafisch unterstrichen dargestellt.<sup>233</sup> Abbildung 5.2 zeigt ein einfaches Beispiel des Entity-Relationship-Diagramms.



**Abbildung 5.2** Einfaches ERM Diagramm<sup>234</sup>

Der ereignisgesteuerten Prozesskette (EPK) kommt im ARIS Konzept eine essentielle Bedeutung zu, weil sie die Konstrukte der Daten-, Funktions- und Organisationssicht miteinander verknüpft.<sup>235</sup> Diese Methode wurde zur Dokumentation von Geschäftsprozessen entwickelt und ist heute in der Praxis weit verbreitet. Wegen der hohen Akzeptanz hat sich

<sup>231</sup> Vgl. Chen, P. (1976), S.9

<sup>232</sup> Vgl. Scheer, A. (2002), S.43

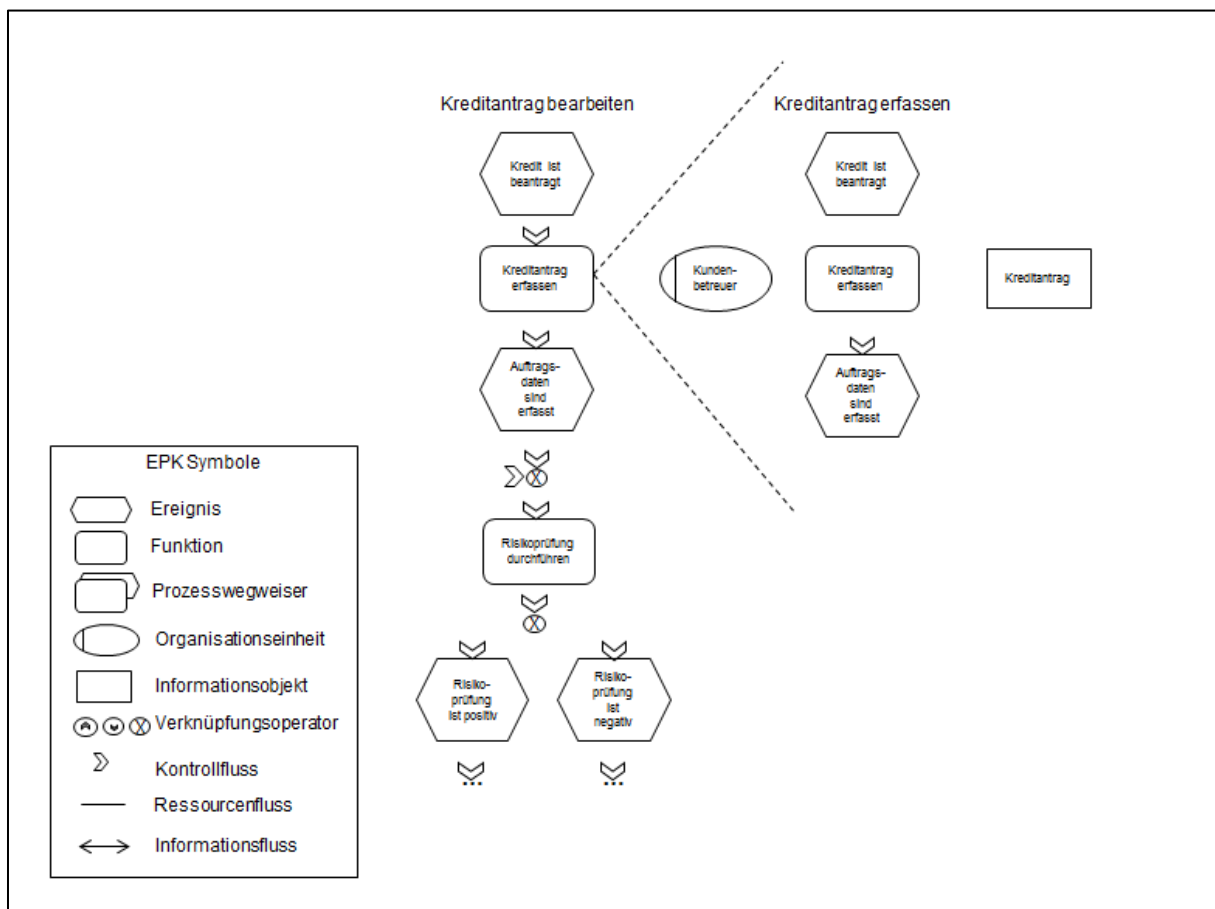
<sup>233</sup> Vgl. Chen, P. (1976), S.9ff

<sup>234</sup> In Anlehnung an Gregersen, H.; Jensen, C.S. (1999), S.958

<sup>235</sup> Vgl. Scheer, A-W. et al (1995), S.5



die EPK vermehrt zum essentiellen Pfeiler eines integrierten Geschäftsprozessmanagement entwickelt. Abbildung 5.3 zeigt ein exemplarisches EPK- Schema anhand eines einfachen Beispiels. Der Kontrollfluss wird über eine Abfolge von Funktionen, Ereignissen, Prozesswegweisern und Verknüpfungsoperatoren bestimmt und kann, wenn notwendig, durch Ressourcenaspekte, wie z.B. Informationsobjekte oder Organisationseinheiten erweitert werden. Prozesswegweiser dienen als Schnittstelle für weitere Prozesse und sind im Speziellen bei großen Prozessen von Vorteil. Auf eine weitere Beschreibung des Schemas wird an dieser Stelle verzichtet, da die Abbildung 5.3 weitgehend selbsterklärend ist und eine Anwendung für weitere Prozessszenarien durch Adaption bereits veranschaulicht.<sup>236</sup>



**Abbildung 5.3** Das EPK Schema<sup>237</sup>

Eine weitere Möglichkeit zur Geschäftsprozessmodellierung bilden objektorientierte Ansätze, wie die Unified Modeling Language (UML). Die objektorientierte Modellierung beruht auf dem Gedanken der Systemtheorie. Komplexe Systeme, die aus zueinander in Beziehung stehenden Komponenten bestehen, werden zur Reduzierung der Komplexität durch Abstraktion gedeutet und beschrieben. Dabei wird zwischen Modellierung des Systemverhaltens und der Systemstruktur unterschieden. Bei der Modellierung der Struktur

<sup>236</sup> Vgl. Nüttgens, M.; Rump, F.J. (2002), S.64f

<sup>237</sup> In Anlehnung an Nüttgens, M.; Rump, F.J. (2002), S.66

steht vorwiegend die Klassenbildung im Mittelpunkt. Objekte und ihren Daten werden mit anzuwendenden Operationen (Methoden) verknüpft und Objekte zu Klassen zusammengefasst. Methoden sowie Attribute lassen sich im Zuge einer Vererbung von übergeordneten auf untergeordnete Klassen übertragen. Bei der Systemverhaltensmodellierung stehen vorwiegend die definierten Methoden (Operationen) im Mittelpunkt. Dazu werden u.a. Aktivitätsdiagramme verwendet.<sup>238</sup>

Es können im Vergleich zu ARIS zwar grundsätzlich alle ARIS Sichten bei objektorientierter Modellierung enthalten sein, allerdings fehlt ein klares Rahmenkonzept zur Zuordnung und zur detaillierten Beschreibung der Sichten.<sup>239</sup>

## 5.2 Business Process Model Notification (BPMN)

Eine weitere Alternative zur Abbildung von Geschäftsprozessen bietet der Ansatz der Business Process Model Notification (BPMN). BPMN wurde entwickelt, um eine universell verständliche Sprache im Rahmen der Darstellung von Geschäftsprozessen zu schaffen. Es ist eine standardisierte Notifikation und für alle Prozessbeteiligten leicht verständlich. Auf diese Art entwickeln sowohl Entwickler, Beschäftigte auf operativer Ebene, als auch Controller ein einheitliches Verständnis. BPMN schafft eine Brücke zwischen Design und Implementierung von Geschäftsprozessen. Es beinhaltet ein Set von grafischen Darstellungen, die weit verbreitet und den meisten Business Analysten bereits von anderen Anwendungen bekannt sind. Mit Hilfe der grafischen Darstellungen sollen komplexe Abläufe einfach dargestellt werden. Dazu bedient man sich vier Kategorien von Notifikationen:<sup>240</sup>

- Flussobjekt
- Verbindungsobjekt
- Schwimmbahn
- Artefakt

Zu den Flussobjekten zählen Ereignisse, Aktivitäten und Gateways. Ereignisse werden mit Hilfe eines Kreises grafisch dargestellt. Startereignisse werden mit einer einfachen Linie, Zwischenereignisse mit einer doppelten und Endereignisse mit einer fetten Linie als Kreisbegrenzung dargestellt. Boxen symbolisieren Aktivitäten und Diamanten stellen Gateways dar, die Divergenz und Konvergenz des Sequenzflusses beschreiben. Gateways können in diesem Sinne sowohl traditionelle Entscheidungen, als auch ein Zusammenlaufen von Flüssen symbolisieren.<sup>241</sup>

Verbindungsobjekte bilden die Ablaufstruktur eines Geschäftsprozesses. Dazu zählt der Sequenz-, Nachrichten- und Assoziationsfluss. Der Sequenzfluss wird grafisch mittels eines

---

<sup>238</sup> Vgl. Scheer, A-W. (2002), S.99ff

<sup>239</sup> Vgl. Scheer, A-W. (2002), S.135

<sup>240</sup> Vgl. White, S.A. (2004), S.1f

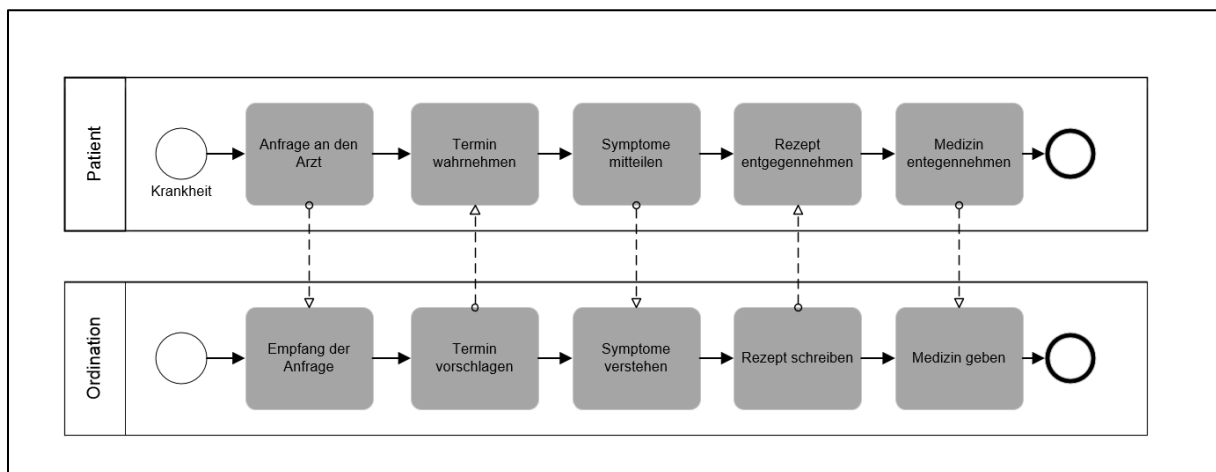
<sup>241</sup> Vgl. White, S.A. (2004), S.2

durchgehenden Pfeils dargestellt und beschreibt den Ablauf von Aktivitäten in einem Prozess. Eine gestrichelte Linie mit offener Pfeilspitze symbolisiert einen Nachrichtenfluss.<sup>242</sup>

Schwimmlinien visualisieren unterschiedliche Kategorien und können zur Symbolisierung von unterschiedlichen Verantwortlichkeitsbereichen oder funktionalen Einheiten verwendet werden. Dazu zählt der Pool, der einen Teilnehmer des Prozesses darstellt und eine Linie, die eine weitere Unterteilung des Pools vornimmt.<sup>243</sup>

Artefakte z.B. Datensymbole, wurden entwickeln, um eine gewisse Flexibilität der Prozessdarstellung zu ermöglichen.<sup>244</sup>

Abbildung 5.4 zeigt ein einfaches Beispiel einer BPMN Darstellung.



**Abbildung 5.4** Beispiel eines BPMN<sup>245</sup>

<sup>242</sup> Vgl. White, S.A. (2004), S.3

<sup>243</sup> Vgl. White, S.A. (2004), S.4

<sup>244</sup> Vgl. White, S.A. (2004), S.6

<sup>245</sup> In Anlehnung an White, S.A. (2004), S.5

## 6 Praktische Problemlösung

Das folgende Kapitel dient der Veranschaulichung der praktischen Problemlösung. Zunächst wird die Vorgehensweise und Wahl der Forschungsmethode beschrieben. Anschließend werden die Ergebnisse der empirischen Untersuchung und die Aufgabenstellung systematisch abgearbeitet.

### 6.1 Vorgehensweise

Nach erfolgter Literaturstudie werden Experteninterviews geführt. Diese Experteninterviews sollen dazu dienen, den IST-Zustand der Instandhaltungsabteilungen der Hoerbiger Kompressortechnik in Fort Lauderdale und Wien zu erheben. Im Mittelpunkt der Untersuchung steht die Erfassung von bereits vorhandenem Wissen, Erfahrungen sowie Beobachtungen, von momentanen Problemstellungen sowie von zukünftigen Trends und Entwicklungen des Instandhaltungsbereichs. Annahmen sollen durch Beobachtungen empirisch generiert und bestätigt werden.

Anschließend wird der SOLL-Zustand der Hoerbiger Kompressortechnik Instandhaltungsabteilungen festgestellt. Da gemäß der Zielsetzung dieser Arbeit, eine Einbettung der Risikobewertung im neu definierten Prozess zwingend notwendig ist, wird der Geschäftsprozess mit Hilfe einer geeigneten Methode modelliert. Diese Modellierung des Prozesses soll die Möglichkeiten und Rahmenbedingungen verständlich und vollständig abbilden.

Basierend auf den Ergebnissen der vorangegangenen Schritte muss eine geeignete und praktische Methode zur Risikobewertung von Instandhaltungsobjekten entwickelt werden. Hierbei steht die Bewertung des Ausfallrisikos von Produktionsanlagen, zur Ableitung von konkreten Instandhaltungsstrategien und –maßnahmen im Mittelpunkt. Dazu müssen im ersten Schritt die notwendigen Rahmenbedingungen geklärt werden. Hierzu wird der dominierende Risikobegriff der Arbeit definiert, ein geeigneter Risikoprozess ausgewählt, die Ziele der Instandhaltungsabteilungen definiert und die Risikokriterien festgelegt.

Nach Definierung der relevanten Rahmenbedingung, wird eine geeignete Methode zur Risikobewertung gewählt. Diese wird hinsichtlich der Bestimmung von Ausfallwahrscheinlichkeit und -folge von Produktionsanlagen, basierend auf den bestätigten Annahmen der Experteninterviews, ausgearbeitet. Die Ausarbeitung berücksichtigt gemäß der Zielsetzung dieser Arbeit standardisierte Inputs und SAP oder MES Daten. Konkrete Instandhaltungsstrategien und –maßnahmen werden dem ermittelten Risiko zugeordnet. Anschließend wird der Prozess zur Risikobewertung von Instandhaltungsobjekten mit Hilfe einer geeigneten Methode modelliert.

Schlussendlich wird die entwickelte Methode zur Risikobewertung von Instandhaltungsobjekten in einem softwarebasierten Tool umgesetzt und implementiert.

## 6.2 Forschungsmethode

Eine Erhebung mittels einer quantitativen Untersuchung ist nicht erfolgsversprechend. Qualitative Forschungsmethoden eignen sich zur Generierung von Hypothesen, während quantitative Methoden ein gewisses Ausmaß an Vorwissen voraussetzen und vorwiegend zur Bestätigung von Hypothesen Verwendung finden.<sup>246</sup> Die speziellen Charakteristika der Instandhaltungsabteilungen des Unternehmens würden nicht ausreichend berücksichtigt werden, da der Verfasser dieser Arbeit über zu wenig Vorwissen in den Instandhaltungsabteilungen des Unternehmens verfügt, um diese im Rahmen standardisierter quantitativer Methoden ausreichend berücksichtigen zu können. So könnte eine Verwendung dieser Forschungsmethode den Erfolg dieser Arbeit negativ beeinflussen. Vielmehr eignet sich eine qualitative Untersuchung mit ausgewählten Interviewpartnern zur Erhebung der notwendigen Information. Die Interviewpartner kennen die Charakteristika des Unternehmens und können einen fachmännischen Input zur Hypothesengenerierung unter Berücksichtigung der vorhandenen Rahmenbedingungen liefern.

Konkret wird das qualitative, teilstandardisierte Interview zur empirischen Untersuchung als Forschungsmethode gewählt. Das teilstandardisierte Interview orientiert sich an einem nicht streng vorgegeben Interviewleitfaden und lässt viele Spielräume in der Fragenformulierung, der Abfolge von Fragen und Nachfragestrategien offen.<sup>247</sup> Es werden keine Antworten vorgegeben und die Befragten sind hinsichtlich ihrer Antworten frei.<sup>248</sup> Diese Forschungsmethode bietet so die Möglichkeit, alle interessanten Themenbereiche anzusprechen, ohne den Erzählfluss der Interviewpartnerin und des Interviewpartners zu stören.<sup>249</sup>

Die gewonnenen Informationen werden mittels einer qualitativen Inhaltsanalyse ausgewertet. Mayring entwickelte eine klare Vorgehensweise für qualitative Inhaltsanalysen, die einen Text nach inhaltsanalytischen Regeln auswertet und sich zum Standardverfahren für Textanalysen entwickelt hat. Kernaussagen können auf diese Art einfach generiert werden und wesentlichen Aussagen eines Textes bestimmt werden. Es wurde ursprünglich zur Analyse von halbstrukturierten, offenen Interviews entwickelt. Dabei wird der Text bezüglich seines Inhalts analysiert und Kategorien zugeordnet. So lassen sich nach Bedarf auch Kategorienhäufigkeiten quantitativ bestimmen. Dabei wird der Inhalt von Textpassagen zuvor definierten Kategorien deduktiv oder durch das erhobene Material entstehenden Kategorien induktiv zugeordnet. Die induktive Vorgehensweise stellt eine geeignete Methode zur Reduktion eines Textes auf seine wesentlichen Bestandteile dar und bietet so die Möglichkeit einer Zusammenfassung. Deduktive Methoden werden vorwiegend zur Bestimmung von Strukturen anhand zuvor definierter Kategorien verwendet.<sup>250</sup>

---

<sup>246</sup> Vgl. Mayring, P. (2003), S. 20

<sup>247</sup> Vgl. Hopf, C. (2004), S. 351

<sup>248</sup> Vgl. Hömberg, K. et al (2004)

<sup>249</sup> Vgl. Hiermannsberg, P.; Greindl, S (2013), S.4

<sup>250</sup> Vgl. Mayring, P (2010), S.601ff

### **6.3 Empirische Untersuchung**

Zunächst werden die zu behandelnden Themenbereiche definiert. Darauf aufbauend werden Fragen formuliert und ein Leitfaden für die qualitativen Experteninterviews entwickelt. Dieser flexible Leitfaden soll eine Fokussierung der Themenbereiche in Abhängigkeit der gewählten Interviewpartner ermöglichen. Anschließend werden die zu befragenden Experten auf Basis ihrer Erfahrungen sowie Kompetenzen ausgewählt und befragt.

Im Zuge der empirischen Untersuchung werden Mitarbeiter der Instandhaltungsabteilungen der Hoerbiger Kompressortechnik Produktionswerke in Fort Lauderdale und Wien, der Instandhaltungsabteilungen der Hoerbiger Antriebstechnik, des SAP Inhouse Consultings, des globalen Projektmanagements, des konzernweiten zentralen Risikomanagements, der Qualitäts-, Umwelt-, Gesundheits- und Sicherheitsabteilung (QEHS), des Controllings und der Produktion qualitativ befragt. Der Fokus der empirischen Untersuchung wird gemäß der Zielsetzung auf die beiden Produktionswerke der Hoerbiger Kompressortechnik in Fort Lauderdale und Wien gelegt.

Anschließend wird eine qualitative Inhaltsanalyse zur Auswertung des erhobenen Materials durchgeführt und induktive Kategorien aus dem Inhalt gebildet, denn Ziel dieser Inhaltsanalyse ist die Zusammenfassung von wesentlichen Inhalten der Interviews.

Im Folgenden werden die Ergebnisse der qualitativen Inhaltsanalyse zusammengefasst. Das analysierte Material wird folgenden Kategorien zugeordnet, die Tabelle 6.1 entnommen werden können.

Oberkategorie	Unterkategorie
A Transparenz	
B Kennzahlen	B1 Instandhaltungsrate
	B2 MTBF
	B3 OEE
	B4 Sonstige Kennzahlen
C Instandhaltungskonzepte	
D Risikomanagement in der Instandhaltung	
E Ausfallverhalten	E1 Badewannenkurve
	E2 Prognostizierbarkeit
	E3 Quantitative Daten
F Ausfallfolge	F1 Qualität
	F2 Gesundheit, Sicherheit, Umwelt
	F3 Einfluss auf das Produktionssystem
	F4 Direkte Kosten
	F5 Sonstige
G Ziele	G1 QEHS
	G2 Maximierung der wertschöpfenden Zeit
	G3 Wirtschaftlichkeit

**Tabelle 6.1** Kategorien der qualitativen Inhaltsanalyse

### **Kategorie: A Transparenz der Instandhaltungsabteilungen und –objekte**

Den Instandhaltungsabteilungen der Hoerbiger Kompressortechnik in Fort Lauderdale und Wien mangelt es an Transparenz. Die Effektivität als auch Effizienz der Instandhaltungsabteilungen und –objekte ist für das Management und die Instandhaltungsleiter nur schwer erfassbar. In der Vergangenheit wurde versucht in beiden Instandhaltungsabteilungen, Kennzahlen und ein Kennzahlssystem zur Steigerung der Transparenz einzuführen. In einem Werk scheiterte dieser Versuch aufgrund eines Personalwechsels. Im zweiten wurde ein definiertes Kennzahlssystem ad absurdum geführt. Eine Vielzahl an grafischen Darstellungen und eine zu große Anzahl an Kennzahlen führten zu niedriger Akzeptanz des Managements und schließlich zum endgültigen Scheitern des Systems. So beruht die heutige Messung von Effektivität und Effizienz der täglichen Instandhaltungsmaßnahmen hauptsächlich auf subjektiven Einschätzungen. Einmal jährlich wird die Instandhaltungsrate ermittelt und mit den Unternehmenszielen verglichen. In der Vergangenheit zeigte sich, dass die so ermittelte Instandhaltungsrate über den definierten Unternehmenszielen lag und es an erweiterten Verbesserungsmaßnahmen zur Senkung der Instandhaltungskosten bedarf. Wartungsintensive Maschinen sind den

Instandhaltungsabteilungen subjektiv bekannt, aber mit Zahlen kaum belegbar und werden selten systematisch ermittelt. Der Wunsch nach Kennzahlen oder einem Kennzahlssystem ist gegeben, scheitert aber nicht zuletzt an mangelnden Strukturen. Materialkosten sind zurzeit nur bedingt den Instandhaltungsobjekten zuordnungsbar, da eine vollständige Buchung von Materialkosten auf die Instandhaltungsaufträge im SAP nur über eine Änderung von organisatorischen Abläufen möglich ist.

In Zukunft werden Investitionen im Produktionsbereich zum Austausch veralteter Anlagen getätigt. Hierzu fehlt es aber eine Grundlage zur schnellen und einfachen Identifikation von veralteten und uneffektiven Produktionsmaschinen. In der Hoerbiger Antriebstechnik werden bereits objektbezogene Kennzahlen in Form eines Balanced Score Card Systems verwendet, dessen Einsatz sich bis dato bewährte.

### **Kategorie: B Kennzahlen**

#### **Kategorie: B1 Instandhaltungsrate**

Die Instandhaltungsrate ergibt sich hier aus dem Verhältnis des summierten Instandhaltungsaufwands zum gesamten Wiederbeschaffungswert der Anlagen des Werks. Diese, als Standard für die Instandhaltung geltende Kennzahl, ermöglicht eine interne und externe Benchmark, da eine große Anzahl von Vergleichswerten für diverse Industriezweige verfügbar ist. Eine objektbezogene Instandhaltungsrate eignet sich nicht nur für eine schnelle Identifikation von wartungsintensiven Anlagen, sondern bringt auch weitere Vorteile mit sich. Mit Hilfe dieser Kennzahl können jährliche Instandhaltungskosten für die nächste Periode abgeschätzt werden. Die Kennzahl kann als Maß für den Erfolg von momentanen Instandhaltungsstrategien und –maßnahmen verwendet werden und kann somit u.a. Aufschluss über die erfolgreiche Prävention von Ausfällen geben. Eine hohe Instandhaltungsrate kann auch Hinweise auf teure und ausfallintensive Komponenten von Anlagen bringen, sowie Rückschlüsse auf den gegenwärtigen Erfahrungsstand von Mitarbeitern zulassen.

#### **Kategorie: B1 MTBF**

Der MTBF kann aus dem SAP standardmäßig gewonnen werden. Diese Kennzahl wird im SAP über die durchschnittliche Zeit zwischen zwei Störmeldungen einer Anlage erzeugt und kann objektspezifisch über eine Standard Transaktion abgerufen werden. Basis für die Berechnung ist hierbei die Kalenderzeit und nicht die tatsächliche Betriebszeit der Anlage. Ein MTBF ohne tatsächliche Betriebszeiterfassung eignet sich deshalb nur bedingt als Kennzahl, da unterschiedliche Schichtmodelle und die Auslastung nicht ausreichend berücksichtigt werden. Ähnliches gilt für den MTTR. Auch der MTTR wird im SAP System standardmäßig erzeugt und kann über eine Standard Transaktion abgerufen werden. Diese Kennzahl wird im System automatisch über die mittlere Zeit zwischen Beginn und Ende einer Störmeldung berechnet. Dabei wird die reine Arbeitszeit der Instandhaltungsabteilung nicht ausreichend berücksichtigt, da auch hier diverse Schichtmodelle und Verfügbarkeit der Instandhaltungsabteilungen kaum beachtet werden. Außerdem müssen zur ordentlichen



Berechnung alle Störmeldungen ordnungsgemäß beendet werden. Die praktische Erfahrung zeigt aber, dass dies nur selten geschieht. Zusammengefasst kann festgehalten werden, dass die standardmäßigen SAP-Verfügbarkeitskenngrößen einfach zu beschaffen sind und es zur ordnungsmäßigen Berechnung der notwendigen Disziplin der Mitarbeiter bedarf. Diese Kenngrößen sind grundsätzlich in der Lage einen schnellen Überblick zu bieten, müssen aber mit Vorsicht verwendet und obige Überlegungen müssen ausreichend berücksichtigt werden.

### **Kategorie B2 OEE**

Sehr gute Erfahrungen wurden in der Hoerbiger Antriebstechnik mit dem OEE gemacht. Diese Kennzahl wird standardmäßig mit Hilfe von Maschinendatenerfassungssystemen berechnet und ist für den Instandhaltungsleiter in Echtzeit je Anlage verfügbar. Der OEE ermöglicht einen schnellen Überblick über momentane Verlustquellen der Anlagen und die Rolle der Instandhaltung wird transparent. Pro Maschine existieren Vorgaben für geplante und ungeplante Instandhaltungszeiten im Verhältnis zur geplanten Produktionszeit in Abhängigkeit des Schichtmodells. So sind klare Spielräume für die Instandhaltung zur Sicherstellung eines störungsfreien Produktionsbetriebs vorgegeben. Basis für die Berechnung der Gesamtanlageneffektivität bildet die geplante Produktionszeit abzüglich organisatorischer Pausen. Verluste werden definierten Kategorien zugeordnet und im Verhältnis zur geplanten Produktionszeit gesetzt. Für die Instandhaltungsabteilung relevante Kategorien sind die geplante und ungeplante Instandhaltungszeit. Diese Kennzahl bietet einen schnellen Vergleich von präventiven und reaktiven Maßnahmen je Objekt. Hierbei können außerdem Schichtmodelle und Auslastung der Anlagen ausreichend berücksichtigt werden. Die Gesamtanlageneffektivität hat sich in den Instandhaltungsabteilungen der Hoerbiger Antriebstechnik zu einer essentiellen Kennzahl entwickelt, die häufig durch den jeweiligen Instandhaltungsleiter überprüft wird. In der Hoerbiger Kompressortechnik sind die notwendigen Rahmenbedingungen zur OEE Messung bei den Kernmaschinen bedingt gegeben. Eine Veränderung soll aber der zukünftige Prozess bringen.

### **Kategorie: B3 Sonstige Kennzahlen**

Als weitere relevante Kennzahl wurde das Verhältnis von Verbesserungsmaßnahmen zu Gesamtmaßnahmen der Instandhaltung genannt. Diese Kennzahl ist über das SAP System einfach und schnell abrufbar, da Verbesserungsaufträge zu Gesamtaufträgen jederzeit ins Verhältnis gesetzt werden können. Es kann als Maß für die Verbesserungsinitiativen von Instandhaltungsabteilungen verwendet werden und eignet sich als Kenngröße für kontinuierliche Verbesserung.

### **Kategorie: C Instandhaltungskonzepte**

Die drei Basisstrategien der Instandhaltung sind bekannt und werden weitgehend angewendet. Basierend auf Absprachen mit der Produktion und subjektiven Einschätzungen werden die geeigneten Instandhaltungsstrategien ausgewählt. Vorwiegend spielen einfache Engpassbetrachtungen eine zentrale Rolle. Eine Betrachtung der Ausfallwahrscheinlichkeiten von Maschinen fällt meist aus. Es fehlt somit eine systematische

und standardisierte Risikobewertung im Zuge einer risikobasierten Instandhaltung. Es gab bereits Initiativen in diese Richtung, die aber bis dato scheiterten.

Auch andere bekannte Instandhaltungskonzepte werden nicht flächendeckend angewendet. Der Einsatz von Total Productive Maintenance wird als sinnvoll und zielführend betrachtet, deshalb werden zurzeit die ersten dahingehenden Schritte getätigt. Eine Implementierung des Lean Maintenance Systems wird zwar als sinnvoll betrachtet, aber als zu aufwendig bewertet. Es wäre eine zu große Analysearbeit notwendig, um ein derartiges Instandhaltungskonzept flächendeckend und global einzuführen. Da RCM ein generell sehr hohes Niveau des Instandhaltungsniveaus voraussetzt, erscheint der Einsatz dieses Konzepts für die Hoerbiger Kompressortechnik nicht sinnvoll. Außerdem handelt es sich auch hierbei um eine äußerst aufwendige Methode, die an der Akzeptanz der Mitarbeiter scheitern. In der Hoerbiger Antriebstechnik wird eine Implementierung des TPM Konzept anhand eines Fünf-Stufen-Modells vorangetrieben.

#### **Kategorie: D Risikomanagement in der Instandhaltung**

Risikomanagement wird flächendeckend im Hoerbiger Konzern angewendet, aber nicht in den Instandhaltungsabteilungen im Wege einer risikobasierten Instandhaltung. Die Bedeutung des Risikomanagements ist gewachsen. So verlangen Kunden vermehrt einen Nachweis von risikobasierter Instandhaltung und eine systematische Risikobewertungen. Außerdem stärkt eine standardisierte und strukturierte Risikomethode die Verhandlungsposition gegenüber Versicherungen. Ein ordentlich implementiertes Risikomanagement in der Instandhaltung würde zusätzlich die Budgetierung erleichtern. Ein leichter und schneller Überblick der Risikolage von Anlagen im Werk, erleichtert auch die Arbeit des zentralen Risikomanagements. Eine fehlende Risikobetrachtung von Anlagen führte in der Vergangenheit bereits zu Problemen und wird vom zentralen Risikomanagement begrüßt. Eine steigende Anzahl von Richtlinien und Vorschriften fordern den vermehrten Einsatz des Risikomanagements. Mit Hilfe einer risikobasierten Instandhaltung ist man bereits früh in der Lage wichtige Aspekte zu berücksichtigen und geeignete Gegenmaßnahmen zu treffen. Auch für die Produktion bringt ein rascher Überblick der werksinternen Risikolage, Vorteile mit sich. Die Fertigungsingenieure könnten wichtige Informationen bezüglich Investitions- und Kapazitätsentscheidungen gewinnen.

#### **Kategorie: E Ausfallverhalten**

##### **Kategorie: E1 Badewannenkurve**

Das Ausfallverhalten gemäß dem Verlauf der Badewannenkurve wurde von allen Interviewpartnern bestätigt. Nach der Inbetriebnahme einer Maschine kommt es zu vermehrten Fehlern. Diese Fehler sind u.a. auf Materialfehler und unerfahrene Maschinenbediener zurückzuführen. Diese Phase der frühen Fehler ist relativ schnell überwunden und es folgt eine längere Phase, in der Anlagen einigermaßen zuverlässig mit kleineren Schwankungen ihre Funktion erfüllen. Zufällig und häufig unerwartet kommt es zu Ausfällen. Je nach Schweregrad des Fehlers können auch andere umliegende Komponenten betroffen sein. Oft müssen Bauteile ausgetauscht werden, da eine einfache Instandsetzung der betroffenen Einheit keinen Erfolg bringen würde. Folglich kommt es nach einer derart

massiven Funktionsbeeinträchtigung zu einer Anhäufung von Fehlern, so dass es zu vermehrten Ausfällen innerhalb eines engen Zeitraums kommen kann. Mit zunehmendem Alter der Anlage und Verschleiß der Komponenten, steigt die Anzahl der Fehler erneut an. Dies geht mit vermehrten Ausfällen und steigenden Instandhaltungskosten einher. Mit zunehmender Ausfallwahrscheinlichkeit der Anlage steigen nicht nur die ungeplanten Instandhaltungstätigkeiten zur Instandsetzung der betroffenen Anlage, sondern auch die Frequenz und Intensität der geplanten Maßnahmen. Es kam in der Vergangenheit durchaus zu Vorfällen, als der Aufwand der Instandhaltung massiv anstieg, um den Betrieb der Anlage aufrecht zu erhalten. Diese Maschinen fielen zwar kaum ungeplant aus, waren aber mit finanziellem und zeitlichem Instandhaltungsaufwand aufgrund geplanter Instandhaltungstätigkeiten belastet. Spätestens ab diesem Zeitpunkt sollte die Entscheidung zwischen einer Neuinvestition oder Aufrechterhaltung der Instandhaltungstätigkeiten zur Sicherstellung der Verfügbarkeit getroffen werden.

#### **Kategorie: E2 Prognostizierbarkeit**

In der Instandhaltung ist es sehr schwer, Vorhersagen ohne zusätzliche spezielle Sensorik zu treffen. Eine Prognostizierbarkeit von Ausfällen ist mit erheblichem Aufwand verbunden und selbst dann erweist es sich als schwierig. In der Phase der zufälligen Fehler treten Fehler zufällig und kaum prognostizierbar auf. Vereinzelt sind offensichtliche Indizien wie ein steigender elektrischer Widerstand oder eine sinkende Qualität in der Lage, einen drohenden Ausfall anzukünden. Eine Verallgemeinerung ist aber nicht zulässig. Bezüglich des Ausfallverhaltens ist es auch kaum möglich, Schlüsse auf baugleiche Anlagen zu ziehen. Die Anzahl von Variablen zur Bestimmung der Ausfallwahrscheinlichkeit ist hoch. So führt eine unterschiedliche Belastung von ähnlichen Maschinen zu unterschiedlichen Ausfallverhalten. Maschinen unterschiedlicher Baujahre des gleichen Anlagentyps verfügen teilweise über andere Komponenten oder über veränderte Chargen der verwendeten Chemikalien.

#### **Kategorie: E3 Quantitative Daten**

Quantitative Daten zur Bestimmung einer quantitativen Ausfallwahrscheinlichkeit auf Anlagenebene sind nicht verfügbare und beschaffbar. Eine qualitative Abschätzung der kurzfristigen Ausfallwahrscheinlichkeit erweist sich als schwierig, aber möglich.

#### **Kategorie: F Ausfallfolge**

##### **Kategorie: F1 Qualität**

Als unmittelbare Folge eines Ausfalls oder als Indiz eines drohenden Ausfalls können Qualitätsprobleme bei produzierten Teilen auftreten. Erst nach Instandsetzung kann eine qualitative Produktion wieder sichergestellt werden. So müssen nach einem Ausfall, z.B. aufgrund eines Maschinebedienfehlers etwaige geometrische Abweichungen korrigiert werden. Ein Qualitätsproblem ist aber auch maßgeblich für den Ausfall einer Anlage. Fehlerhafte Komponenten der produzierenden Anlagen können sich negativ auf die Güte der Eigenschaften von Teilen auswirken. Folglich kann die geforderte Funktion nicht mehr erfüllt werden. In diesem Fall muss der Fehler behoben und die Anlage abgeschaltet werden. Die Maschine steht für die Produktion nicht mehr zur Verfügung.

**Kategorie: F2 Gesundheit, Sicherheit, Umwelt**

In der Regel werden Anlagen unter der Vorgabe entwickelt, keine Gefahr für Gesundheit, Umwelt und Sicherheit darzustellen. Sollte dies nicht der Fall sein, werden geeignete Maßnahmen zum Schutz der Mitarbeiter getroffen. Diese Maßnahmen sollten bestmöglich in der Lage sein, Mitarbeiter vor etwaigen Gefahren zu schützen und müssen dementsprechend instand gehalten werden.

**Kategorie: F3 Einfluss auf das Produktionssystem**

Der plötzliche Ausfall einer Anlage kann zu erheblichen Schäden in der Produktion führen. Dabei führt ein Ausfall von Engpassmaschinen zu vergleichbar größeren Schäden, als redundante Maschinen. Redundante Maschinen können Kapazitätsverluste kompensieren, Engpassmaschinen haben diese Möglichkeit nicht. Etwaige Produktionsverluste können durch Lagerbestände ausgeglichen werden. In der Hoerbiger Kompressortechnik ist das weltweite Supply Chain Netzwerk in der Lage diese Verluste, wenn notwendig, auszugleichen. In der Regel sind die Schäden in der Produktion umso größer, je länger der Ausfall dauert und die betroffene Anlage nicht verfügbar ist. Die Reparaturzeit kann durch geeignete präventive Maßnahmen, wie durch die Lagerung von Ersatzteilen, gesenkt werden. Mögliche Schäden können auf diese Art reduziert werden. Können Service Level Agreements nicht eingehalten werden, sind u.U. Strafzahlungen die Folge.

Aufgrund der zwei unterschiedlichen Geschäftsfelder und Branchen der Hoerbiger Kompressor- und Antriebstechnik ergeben sich zwei unterschiedliche Produktionssysteme. Dementsprechend wirkt sich der Ausfall einer Anlage in Abhängigkeit des Produktionssystems unterschiedlich aus.

**Kategorie: F3-1 Produktionssystem Hoerbiger Kompressortechnik**

Die Hoerbiger Kompressortechnik beliefert vorwiegend Kunden in der Erdöl und –gas Industrie. Das Produktionssystem ist gekennzeichnet durch Kleinst- bis Kleinserienfertigung, einer großen Variantenvielfalt und einer hohen Anzahl von redundanten Maschinen. Losgrößen von fünf bis zehn Stück stellen keine Seltenheit dar und große Lagerbestände spielen kaum eine Rolle. Etwaige Produktionsverluste können durch werksinterne Redundanz und das weltweite Supply Chain Netz zum Großteil ausgeglichen werden. Generell kann festgestellt werden, dass sich mögliche Verluste weit weniger dramatisch, als solche in der Hoerbiger Antriebstechnik auswirken.

**Kategorie: F3-2 Produktionssystem Hoerbiger Antriebstechnik**

Die Hoerbiger Antriebstechnik beliefert vorwiegend Kunden aus der Automobilbranche. Das Produktionssystem ist gekennzeichnet durch Großserienfertigung, einer geringen Variantenvielfalt und einer geringen Anzahl an redundanten Maschinen. Große Stückzahlen mit hohen Losgrößen prägen die Produktion. Es kann festgestellt werden, dass sich Produktionsverluste stark negativ auswirken, da eine etwaige Verzögerung oder Bandstillstand des Kunden unter keinen Umständen akzeptabel ist und in hohen finanziellen Schaden resultieren kann.

**Kategorie: F4 Direkte Instandhaltungskosten**

Instandsetzungsarbeiten führen zu Material-, Personal- oder Fremdkosten. Dabei variieren die Kosten in Abhängigkeit der Anlage. So kann es sich beim Wiederbeschaffungsteil um ein teures Ersatzteile handeln, dass standardmäßig am Markt angeboten wird oder speziell angefertigt werden muss. Auch eine mögliche werksinterne Anfertigung ist möglich. Dementsprechend kann die Wiederbeschaffungszeit von Ersatzteilen variieren. Instandhaltungsarbeiten können intern oder extern ausgeführt werden. Die Reparaturzeit und Anzahl der eingesetzten Mitarbeiter kann je nach Erfahrungswerten und Kompetenz des Personals abweichen. Bedarf es eines externen Dienstleisters kann eine Terminvereinbarung zu einer weiteren Reduzierung der Verfügbarkeit führen. Zusammengefasst kann festgehalten werden, dass die direkten Kosten in Folge eines Ausfalls in Abhängigkeit der Anlage und des Ausfalls variieren können.

**Kategorie: F5 Sonstige Ausfallfolgen**

Basierend auf den Ergebnissen der empirischen Untersuchungen spielen Ausfallfolgen hinsichtlich Amortisation und Auslastung eine untergeordnete Rolle.

**Kategorie: G Ziele der Instandhaltung****Kategorie: G1 QEHS**

Die Instandhaltung muss die Gesundheit und Sicherheit der Mitarbeiter zu jeder Zeit gewährleisten. Von der Anlage und den notwendigen Instandhaltungsarbeiten darf keine Umweltbelastung ausgehen. Die produzierten Teile müssen in der Lage sein die erforderlichen Qualitätskriterien zu erfüllen. Diese Themen können unter dem Oberbegriff Qualität-Umwelt-Gesundheit-Sicherheit zusammengefasst werden. Hierzu getroffene Maßnahmen müssen unter allen Umständen korrekt instand gehalten werden und eine vollkommene Funktionsfähigkeit der Maßnahmen muss sichergestellt sein. QEHS Themen haben für die Instandhaltung oberste Priorität. Nicht zuletzt unterliegt dieses Feld allgemeinen gesetzlichen Vorschriften, die eingehalten werden müssen.

**Kategorie: G2 Maximierung der wertschöpfenden Zeit**

Von der Unternehmensleitung wurde vorgegeben, dass es zu keinerlei Verlusten beim Kunden kommen darf. Die Vermeidung eines Verlusts von wertschöpfender Zeit ist von oberster Priorität für die Instandhaltungsabteilungen des Konzerns.

**Kategorie: G3 Wirtschaftlichkeit**

Die jährliche Messung der Instandhaltungsrate macht deutlich, dass eine wirtschaftliche Instandhaltung und somit eine Minimierung der direkten Instandhaltungskosten angestrebt wird. Eine wirtschaftliche Instandhaltung im Sinne geringer direkter Material-, Fremd- und Personalkosten hat mittlere Priorität. Diese Kosten müssen unter einem klar definierten Unternehmensziel liegen und werden an der jährlichen Instandhaltungsrate gemessen.

## 6.4 Abbildung des Geschäftsprozesses

Gemäß der Aufgabenstellung wird der zukünftige SOLL-Prozess, anhand des ARIS Ansatzes modelliert. Zweck dieser Modellierung ist die Abbildung des für die Risikoermittlung relevanten Prozesses und seiner Teilprozesse für die Anforderungsidentifizierung. An dieser Stelle sei darauf hingewiesen, dass die folgende Modellierung etwaige Teilprozesse wie Schwachstellenanalyse oder kontinuierliche Verbesserung bewusst nicht beinhaltet. Die detaillierte Abbildung dieser Prozesse wird als nicht zielführend betrachtet und würde den Umfang dieser Arbeit unnötig vergrößern. Selbstverständlich stellen diese Teilprozesse einen wichtigen Teil der Instandhaltung dar, der genaue Ablauf dieser Vorgänge spielt aber für die im Folgenden zu entwickelnde Risikobewertungsmethode und der Ableitung für Instandhaltungsstrategien nur eine untergeordnete Rolle. Das Augenmerk der Betrachtung wurde auf die Teilprozesse zur Auswahl der Instandhaltungsstrategie je Anlage, sowie der reaktiven und präventiven Instandhaltung gelegt. Unter reaktive Instandhaltung fallen alle korrektiven Maßnahmen. Unter präventiver Instandhaltung fallen alle Maßnahmen der Wartung, Inspektion, Verbesserung und Instandsetzung zur vorbeugenden Verhinderung eines Anlagenausfalls. Der zukünftige SOLL-Prozess ist ein beinahe zur Gänze von SAP unterstützter Prozess. SAP spielt für die Risikobewertungsmethode gemäß der Zielsetzung eine entscheidende Rolle. Um die Gegebenheiten und Anforderungen aus informationstechnischer und betriebswirtschaftlicher Sicht vollständig mit geeigneten Methoden abzubilden, eignet sich das ARIS Konzept. Grund hierfür sind die in Kapitel 5.1 getätigten Überlegungen.<sup>251</sup>

In den folgenden Unterkapiteln werden zunächst die Daten-, Steuerungs-, Funktions- und Organisationssicht mit Hilfe geeigneter Methoden der ARIS Modellierung abgebildet.

### 6.4.1 Daten

Die Datensicht wird mit Hilfe eines Entity Relationship Modells beschrieben. Das Entity Relationship Modell ist das vorgeschlagene Verfahren zur Beschreibung der Datensicht des ARIS Konzepts<sup>252</sup> und wird im Folgenden verwendet. Es ist in der Lage, die Datenobjekte, ihre Beziehung und Attribute vollständig und übersichtlich abzubilden. So wird klar, welche Informationen in Zukunft aus dem SAP System generierbar sind und durch welche Zusammenhänge sie miteinander verknüpft sind. Abbildung 6.1 zeigt das entwickelte ER Modell.

---

<sup>251</sup> Vgl. Scheer, A-W. (2002), S.2ff

<sup>252</sup> Vgl. Scheer, A-W. (2002), S.43

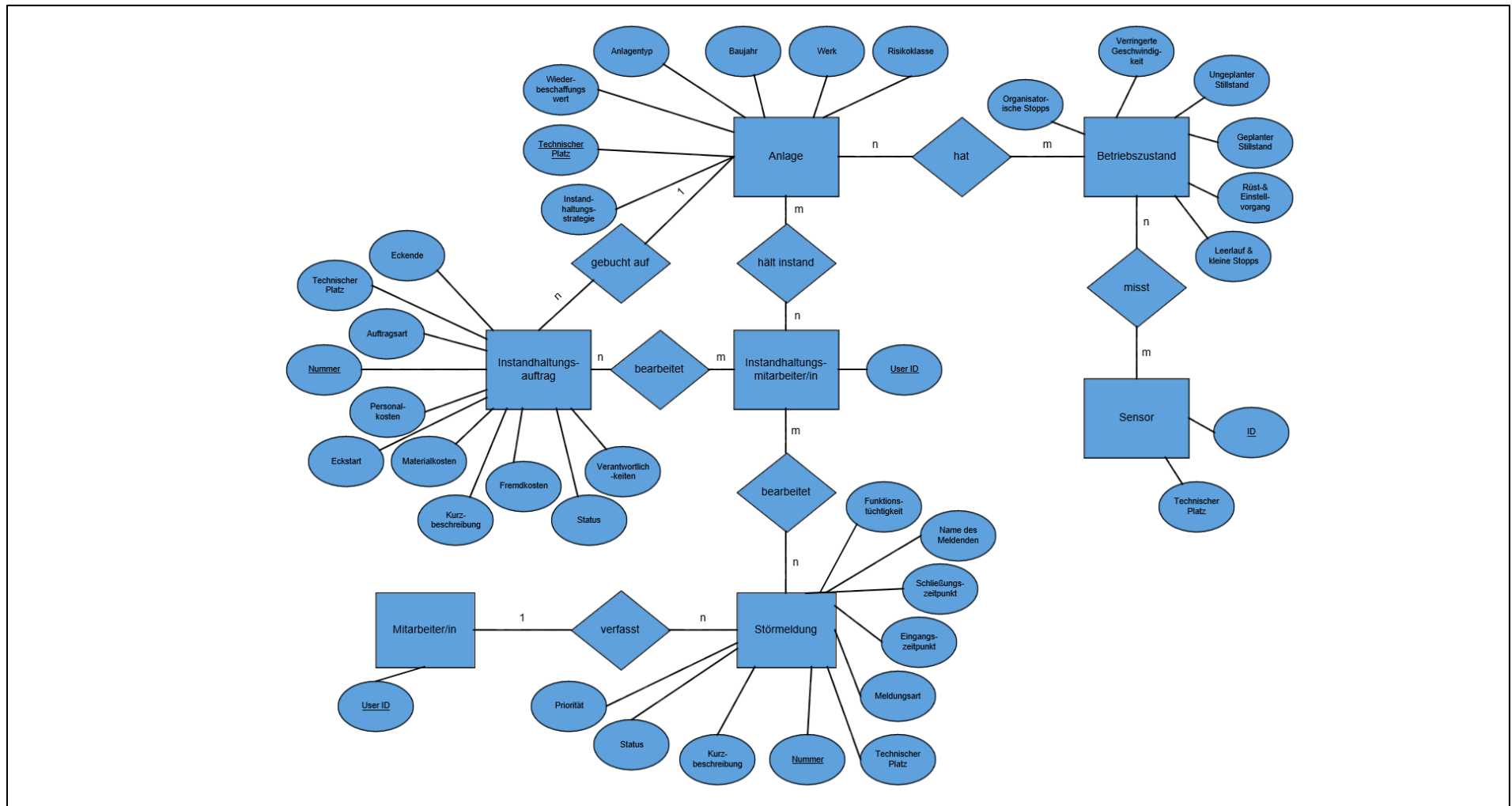


Abbildung 6.1 Das ER-Modell des zukünftigen Instandhaltungsprozesses

Ein Mitarbeiter (vorwiegend der Schichtleiter oder der Produktionsmitarbeiter) verfasst bei einem Fehler der Anlage eine Störmeldung im SAP System. Zu diesem Zeitpunkt sind zwei Fälle denkbar. Der Fehler kann zum einem zu einem Anlagenausfall führen oder die Gesamtfunktion der Anlage ist trotz des Fehlers nicht beeinträchtigt.

Dies wird in der Störmeldung vom Verfasser vermerkt, ist für die Instandhaltungsabteilung einsehbar und wird mit der Meldung im System gespeichert. Zusätzlich beinhaltet eine Störmeldung die folgenden Attribute: Name des Meldenden, eine Priorität, einen Kurztext zur Fehlerbeschreibung, die betroffene Anlage, eine Meldungsnummer und einen Bearbeitungsstatus. Außerdem werden die notwendigen Daten hinsichtlich des Störbeginns und Entstörung in der Meldung vermerkt. Die Störung beginnt im System mit dem Zeitpunkt des Verfassens und endet mit dem Schließen der Meldung. Diese Störmeldung erhält die Instandhaltungsabteilung bzw. der zuständige Instandhaltungsmitarbeiter, wird anschließend bearbeitet und bezüglich seines Status aktualisiert.

Basierend auf der Störmeldung verfasst der Instandhaltungsmitarbeiter einen Instandhaltungsauftrag. Es ist möglich im SAP System zwischen unterschiedlichen Arten von Instandhaltungsaufträgen zu unterscheiden. In Zukunft wird es möglich sein, einen Instandhaltungsauftrag für geplante und ungeplante Maßnahmen sowie für Verbesserungen anzulegen. Hier wird deutlich, dass auch im SAP System eine Unterscheidung von reaktiven und präventiven Maßnahmen möglich ist. Dieser Instandhaltungsauftrag beinhaltet einen Zeitpunkt des Eckstarts und –endes, eine Kurzbeschreibung der Maßnahmen, einen Status, Verantwortlichkeiten, die betroffene Anlage und in Zukunft eine Auflistung aller anfallenden Material-, Fremd- und Personalkosten.

Eine Anlage ist im System über die Nummer des technischen Platzes eindeutig identifizierbar. Die Instandhaltungsaufträge werden auf die betroffenen Anlagen gebucht und von den Instandhaltungsmitarbeitern instand gehalten. Eine Anlage enthält neben dem Primärschlüssel der Nummer des technischen Platzes folgende Attribute: eine Risikoklasse, Werk, Baujahr, Anlagentyp, Wiederbeschaffungswert und die momentane Instandhaltungsstrategie.

Die Betriebszustände der Anlagen werden von Sensoren gemessen, die im SAP System mit der Anlage über den technischen Platz gekoppelt werden können. Diese Betriebszustände sind gemäß den Verlusten des OEEs definiert.

Bezüglich der Kardinalität kann festgehalten werden, dass ein Mitarbeiter mehrere Störmeldungen verfassen kann. Eine Störmeldung selbst kann aber nur von einem Mitarbeiter verfasst werden. Eine Meldung wird von mehreren Instandhaltungsmitarbeitern bearbeitet und ein Instandhaltungsmitarbeiter kann u.U. mehrere Meldungen bearbeiten. Dieselbe Überlegung trifft auch auf die Beziehung von Instandhaltungsauftrag und Instandhaltungsmitarbeitern zu. Auf eine Anlage können mehrere Aufträge gebucht werden, aber grundsätzlich wird auf je einem Instandhaltungsauftrag eine Anlage gebucht. Eine

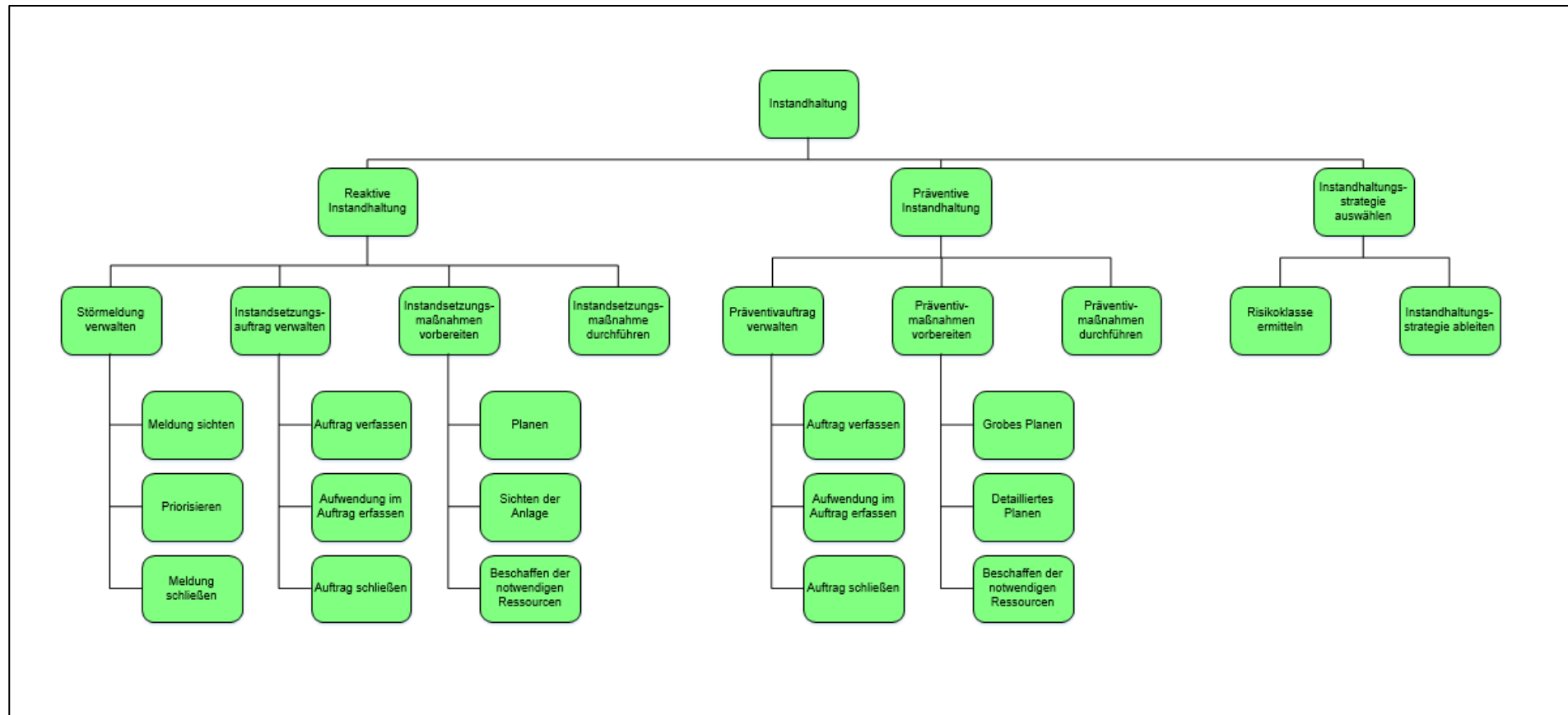


Anlage kann mehrere Betriebszustände haben, die aber wiederum für mehrere Maschinen anwendbar sind. Zum Messen mehrere Betriebszustände bedarf es an mehreren Sensoren, da in der Regel nicht jeder Sensor einen Betriebszustand messen kann.

### **6.4.2 Funktion**

Die Funktionssicht wird aufgrund der leichten Verständlichkeit und hierarchischen Auflistung mittels einer Funktionshierarchie beschrieben.

Abbildung 6.2 zeigt die Funktionen der Teilprozesse der reaktiven und präventiven Instandhaltung, sowie zur Zuteilung der geeigneten Instandhaltungsstrategie in einer übersichtlichen Funktionshierarchie gemäß des ARIS Ansatzes.



**Abbildung 6.2** Die Funktionshierarchie des zukünftigen Instandhaltungsprozesses

Gemäß der zu untersuchenden Teilprozesse der Instandhaltung ergeben sich zukünftig folgende Funktionen: Zur Auswahl der geeigneten Instandhaltungsstrategie je Anlage muss eine Instandhaltungsstrategie, basierend auf einer ermittelten Risikoklasse, abgeleitet werden.

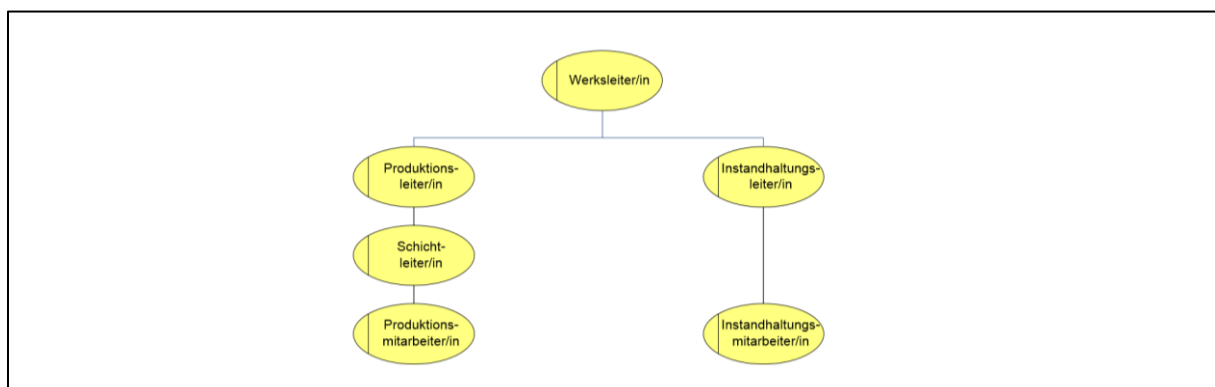
Die reaktive Instandhaltung umfasst alle korrektiven Maßnahmen und somit gemäß der Definition vorwiegend Instandsetzungsmaßnahmen. Die Instandhaltung muss alle Störmeldungen sichten, priorisieren und bei getaner Arbeit schließen. Der Instandhaltungsauftrag einer ungeplanten Maßnahme muss verfasst und geschlossen werden. Die Instandhaltung hat ebenfalls Sorge zu tragen, dass alle Aufwendungen korrekt und vollständig im Auftrag erfasst werden, um eine korrekte Buchung der Aufträge auf die Anlage zu ermöglichen. Die Instandsetzungsmaßnahmen sollen bestmöglich vorbereitet werden. Hierzu muss die Anlage gesichtet, ein Fehlerbefund ausgestellt und alle weiteren Schritte sorgfältig geplant werden. Wenn nötig, müssen die notwendigen Ressourcen beschafft werden. Schließlich müssen die notwendigen Maßnahmen präzise und sorgfältig durchgeführt werden.

Ähnliche Überlegungen gelten für die präventive Instandhaltung. Der wesentliche Unterschied zur reaktiven Instandhaltung ist aber seine bessere Planbarkeit. Die präventive Instandhaltung umfasst Wartungs-, Inspektions- Verbesserungs- und Instandsetzungsmaßnahmen. Hier wird in der Regel keine Störmeldung verfasst, daher entfallen die Funktionen zur Störmeldungsverwaltung. Aufgrund der besseren Planbarkeit ergibt sich die Möglichkeit einer Grob- und Detailplanung. Ansonsten sind die grundlegenden Funktionsbeschreibungen der reaktiven Instandhaltung sehr ähnlich.

### 6.4.3 Organisation

Die Organisationssicht wird aufgrund der leichten allgemeinen Verständlichkeit mittels eines Organigramms beschrieben.

Abbildung 6.3 zeigt das für die Teilprozesse der Instandhaltung relevante Organigramm.



**Abbildung 6.3** Das Organigramm

Da das Organigramm weitgehend selbsterklärend ist, wird auf eine weitere Beschreibung verzichtet.

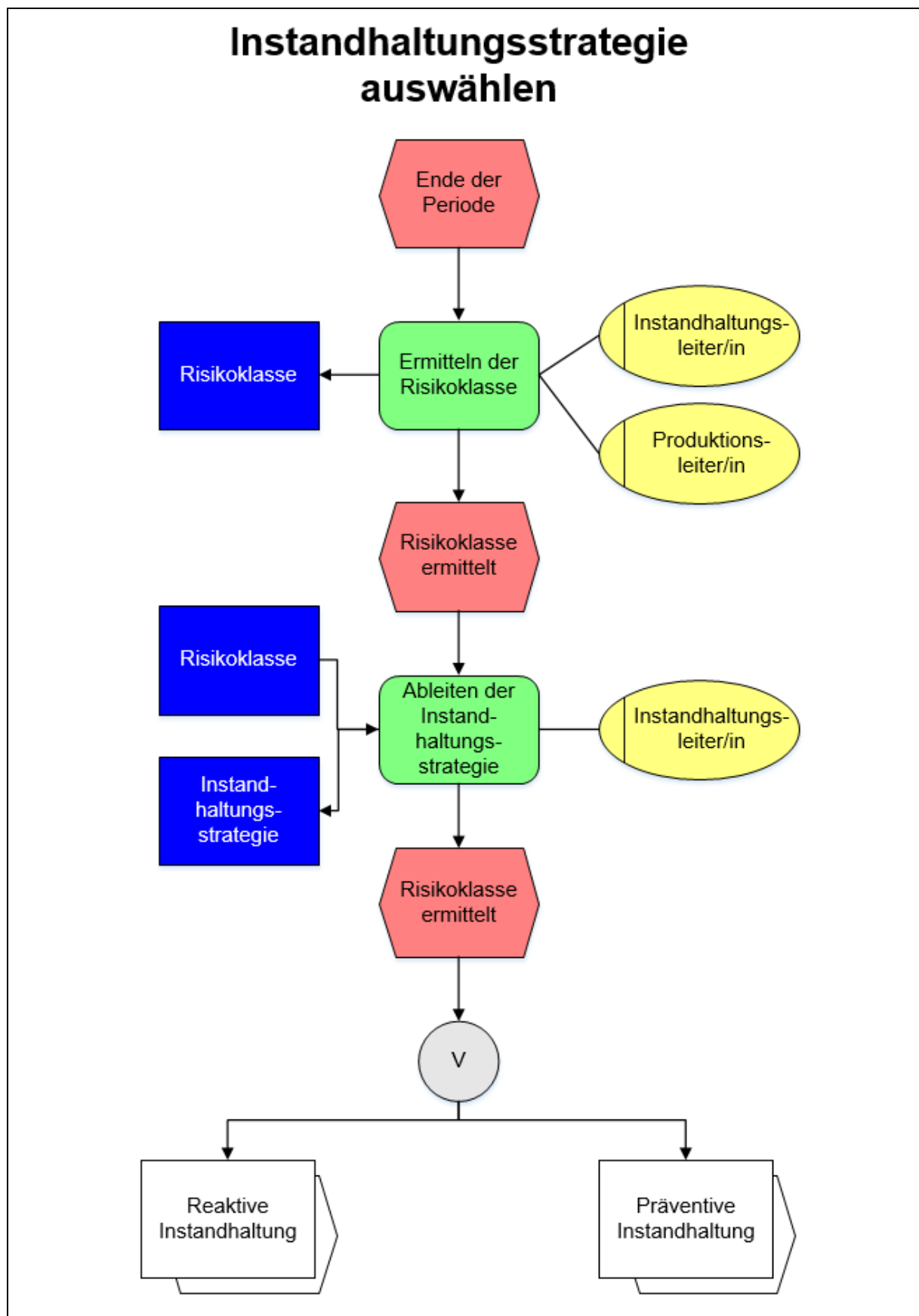
#### **6.4.4 Steuerung**

Die Steuerungssicht wird durch eine ereignisgesteuerte Prozesskette beschrieben und umfasst die Teilprozesse der korrektiven sowie präventiven Instandhaltung und der Strategiewahl je Anlage. Die ereignisgesteuerte Prozesskette eignet sich besonders als Methode zur Modellierung der Steuerungssicht, weil sie die Konstrukte der Daten-, Funktions- und Organisationssicht miteinander verknüpft.<sup>253</sup> Deshalb wird diese Methode zur Modellierung der Steuerungssicht gemäß ARIS gewählt.

Abbildung 6.4, 6.5 und 6.6 zeigen die Steuerungssicht der Teilprozesse für die reaktive und präventive Instandhaltung, sowie zur Auswahl der geeigneten Instandhaltungsstrategie je Anlage.

---

<sup>253</sup> Vgl. Scheer, A-W. et al (1995), S.5

**Abbildung 6.4** EPC des Teilprozesses zur Auswahl der Instandhaltungsstrategie

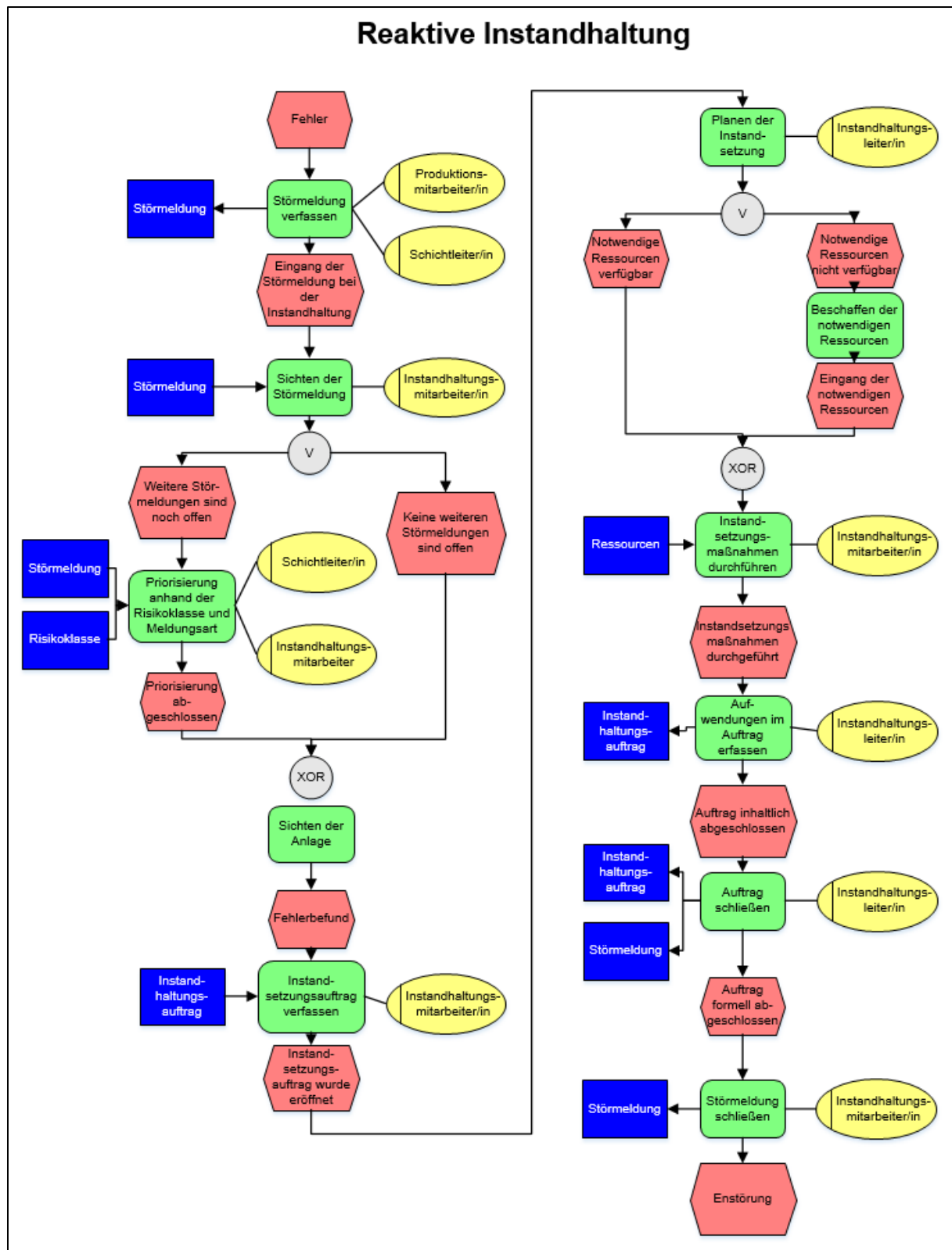
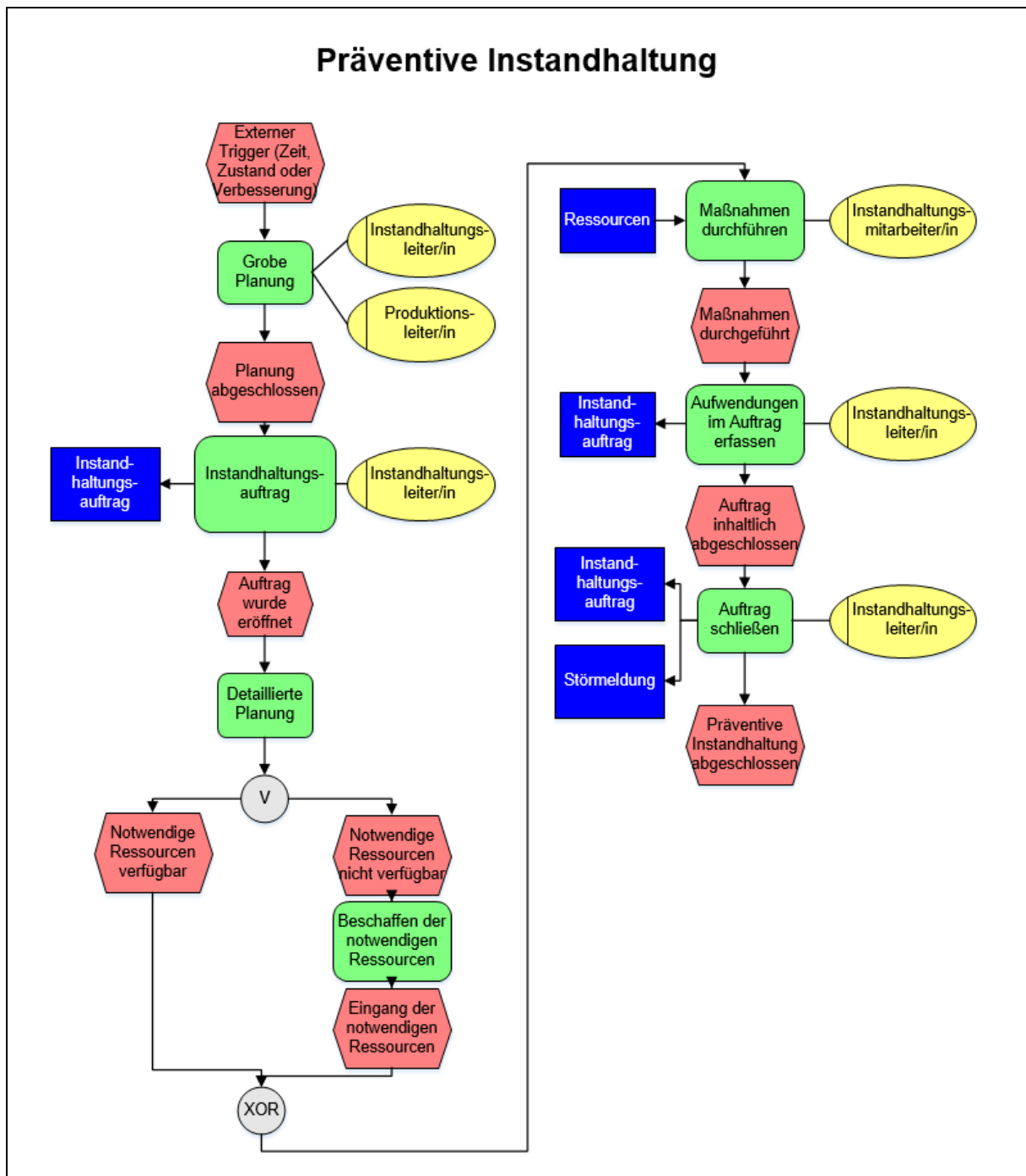


Abbildung 6.5 EPC des Teilprozesses der reaktiven Instandhaltung



**Abbildung 6.6** EPC des Teilprozesses der präventiven Instandhaltung

Zunächst wird die geeignete Instandhaltungsstrategie je Anlage ausgewählt. Am Ende jeder Periode ermittelt hierzu der Instandhaltungsleiter unter Mithilfe des Produktionsleiters die Risikoklassen der Anlagen. Das Ergebnis ist eine Risikoklasse, die in die Stammdaten der Anlage in das SAP System übertragen wird. Basierend auf der ermittelten Risikoklasse, wird die geeignete Instandhaltungsstrategie im Sinne einer risikobasierten Instandhaltung abgeleitet.

Auch die Instandhaltungsstrategie wird in die Stammdaten übertragen. Abhängig von zugeteilter Instandhaltungsstrategie ist für die kommende Periode vorwiegend der respektive

Teilprozess der reaktiven oder der präventiven Instandhaltung von Interesse.

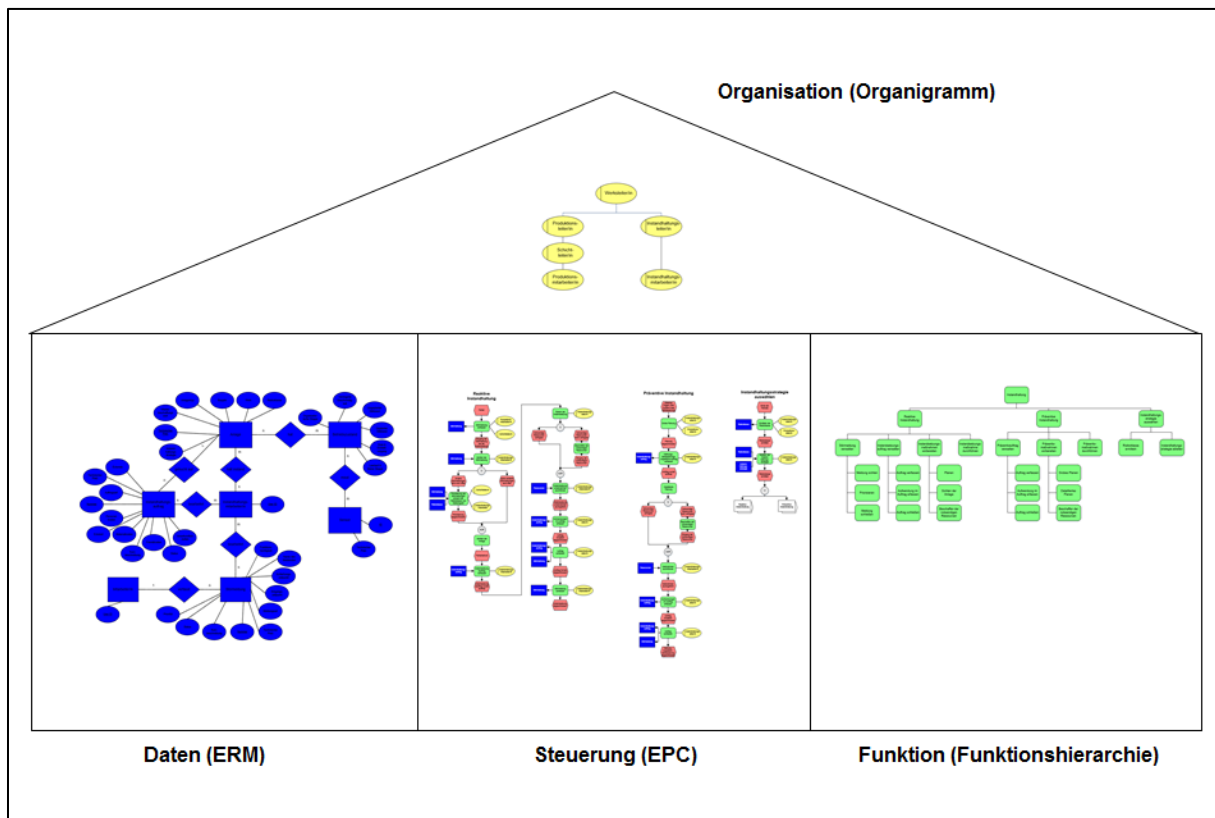
Die reaktive Instandhaltung wird gemäß der Definition erst bei Auftreten einer Störung tätig. Ausgangspunkt ist ein Fehlerereignis, das unter Umständen zum Ausfall der Anlage führen kann. Hauptsächlich der Schichtleiter oder der Produktionsmitarbeiter verfassen daraufhin in Abhängigkeit der Funktionsbeeinträchtigung einer Einheit eine Störmeldung. Der zugeteilte Instandhaltungsmitarbeiter sichtet diese Störmeldung und entscheidet über eine etwaige Priorisierung. Hierzu ist maßgeblich ob zurzeit weitere Störmeldungen bearbeitet werden müssen. Sind weitere Meldungen offen, so muss eine Priorisierung durch den die Instandhaltungsmitarbeiter unter Absprache mit dem Schichtleiter abhängig von der definierten Risikoklasse und Meldungsart vorgenommen werden. Nach abgeschlossener Priorisierung wird die Anlage gesichtet und ein Fehlerbefund ermittelt. Ist keine Priorisierung notwendig, wird die Anlage sofort nach Eingang der Störmeldung inspiziert. Basierend auf den Ergebnissen des Fehlerbefundes wird ein Instandhaltungsauftrag für die Instandsetzung der fehlerhaften Teile im SAP System verfasst. Anschließend werden die Ressourcen und Tätigkeiten geplant. Sind die notwendigen Ressourcen nicht verfügbar, müssen diese beschafft werden. Erst wenn alle notwendigen Ressourcen verfügbar sind, können die Instandsetzungsmaßnahmen durchgeführt werden. Alle notwendigen Aufwendungen hinsichtlich Material-, Fremd- und Personaleinsatz müssen im Instandhaltungsauftrag vom Instandhaltungsleiter vermerkt werden. Der Auftrag und die Störmeldung werden nach inhaltlichem Abschluss des Auftrags und erfolgreicher Fehlerbehebung geschlossen.

Ausgangspunkt für die präventive Instandhaltung ist ein externer Trigger z.B. der Ablauf einer Zeitperiode, der Zustand einer Einheit oder eine Verbesserung. Zunächst wird eine grobe Planung der Instandhaltungstätigkeiten hinsichtlich des Termins und der Ressourcen durchgeführt. Hier wird deutlich, dass eine Absprache der Instandhaltungsleitung mit der Produktionsleitung möglich ist und durchgeführt werden sollte. Nach abgeschlossener Grobplanung werden die jeweiligen Instandhaltungsaufträge im SAP System verfasst und die Maßnahmen detailliert geplant. Auch hier gilt, dass alle notwendigen Ressourcen rechtzeitig vor Beginn der Durchführung beschafft werden müssen. Anschließend werden alle geplanten Maßnahmen ordnungsgemäß und vollständig durchgeführt. Alle Aufwendungen bezüglich des Materialmittel-, Fremd- und Personaleinsatzes werden vom Instandhaltungsleiter im Instandhaltungsauftrag erfasst. Nach inhaltlichem Ende des Auftrags wird dieser im SAP System geschlossen.



### 6.4.5 ARIS Haus

Die Sichten werden nun in das ARIS Haus überführt. Zweck der folgenden Abbildung 6.7 ist nicht die Sichtbarkeit der einzelnen Sichten, da sie den vorigen Kapiteln detailliert entnommen werden können. Vielmehr bezweckt die Abbildung die Vollständigkeit des verwendeten ARIS Ansatzes und eine sichtbare Einordnung der verwendeten Methoden. Aus Übersichtlichkeitsgründen wird auf eine grafische Verbindung der Komponenten in den jeweiligen Sichten verzichtet.



**Abbildung 6.7** Das ARIS Haus des zukünftigen Instandhaltungsprozesses

### 6.5 Dominierende Begriffsdefinitionen

Wie bereits erwähnt, gibt es eine Vielzahl von Definitionen für das Risiko, daher muss ein einheitlicher Risikobegriff für diese Arbeit definiert werden.

Im Hoerbiger Konzern wird bereits das Risikomanagement auf Basis des ISO 31000 Standards verwendet. Aufgrund von Konventions- und Akzeptanzgründen eignet sich daher der Risikobegriff gemäß ISO 31000 Standards für die weitere Vorgehensweise. In Kapitel 3.4 wird bereits detailliert beschrieben, dass die ONR 49000 eine praktische Umsetzung des ISO Standards beschreibt. Die ONR 49000 bildet außerdem die Grundlage für ein effizientes

Risikomanagement zur Erhöhung der Wertschöpfung.<sup>254</sup> Daher eignet sich diese Richtlinie für die weitere Vorgehensweise zur Einführung einer risikobasierten Instandhaltung. Das Risiko wird gemäß ONR 49000 wie folgt definiert:

„Auswirkungen von Unsicherheit auf Ziele, Tätigkeiten und Anforderungen“<sup>255</sup> und ist stets „eine Kombination von Wahrscheinlichkeit und Auswirkung“<sup>256</sup>.

Gemäß der Zielsetzung muss eine Methode zur Ermittlung des Ausfallrisikos entwickelt werden. Aus genannten Gründen in Kapitel 2.1 wird eine standardisierte Definition für den Ausfall gemäß DIN 30151 gewählt: „Beendigung der Fähigkeit einer Einheit, eine geforderte Funktion zu erfüllen“<sup>257</sup> Eine Einheit ist definiert als: „Teil, Bauelement, Gerät, Teilsystem, Funktionseinheit, Betriebsmittel oder System, das/die für sich alleine beschrieben und betrachtet werden kann“<sup>258</sup>.

Aus dieser Definition wird deutlich, dass eine Anlage entsprechend der Definition der Einheit zugeordnet und der Ausfallbegriff auf Anlagen übertragen werden kann.

## **6.6 Risikobewertung und -bewältigung von Instandhaltungsobjekten**

Im folgenden Kapitel wird ein geeignetes Verfahren zur Risikobewertung und –bewältigung erarbeitet. Hierzu wird gemäß der Schritte des normierten Risikoprozesses vorgegangen, um eine sukzessive Einführung eines effizienten Risikomanagementsystems in der Instandhaltung zu ermöglichen.

### **6.6.1 Rahmenbedingungen**

Zunächst müssen gemäß der gewählten Vorgehensweise die externen und internen Rahmenbedingungen geklärt werden.

Extern ist festzustellen, dass die Anlagenwirtschaft und Instandhaltung mit gestiegenen Anforderungen konfrontiert ist und daher vor vermehrten Herausforderungen steht. Kapitel 4.1 und 4.2 behandeln dieses Thema detailliert. Bezüglich der gesetzlichen Bestimmungen ist festzuhalten, dass speziell im QEHS Themenfeld mit steigender Tendenz Vorschriften eine bedeutende Rolle spielen. Es gilt unter allen Umständen die rechtlichen Grundlagen einzuhalten und die Herstellerempfehlungen zur Garantierhaltung zu befolgen. Diese müssen unabhängig von der ermittelten Risikoklasse berücksichtigt werden und fließen in die weiteren Schritte nicht ein. Aufgrund der großen regionalen und anlagentypischen Unterschiede kann keine einheitliche Aussage darüber getroffen werden. Auf das Risiko

---

<sup>254</sup> Vgl. Brühwiler, B. (2011), S.52ff

<sup>255</sup> ONR 49000 (2014)

<sup>256</sup> ONR 49000 (2014)

<sup>257</sup> DIN 31051 (2012)

<sup>258</sup> DIN 31051 (2012)

eines Ausfalls haben diese Vorschriften aber keinen Einfluss und werden daher in der weiteren Vorgehensweise nicht berücksichtigt.

Die internen Rahmenbedingungen müssen Ziele und Risikokriterien festlegen<sup>259</sup>, da ein zielorientierter Risikobegriff für diese Arbeit gewählt wurde. Hierzu werden zunächst Ziele mit unterschiedlicher Priorität für die Instandhaltung definiert, um die Auswirkungen eines Ausfalls zu untersuchen. Auf Basis der geführten Experteninterviews werden Ziele definiert, die im Folgenden kurz beschrieben werden. Der Schutz von Gesundheit, Sicherheit, Personen und der Umwelt hat für die Instandhaltung oberste Priorität. Die Anlagen müssen jederzeit in der Lage sein, Produkte von geforderter Qualität zu erzeugen. Im Zuge der Experteninterviews wurde außerdem bestätigt, dass die Instandhaltung zur Maximierung der Verfügbarkeit von wertschöpfender Zeit Sorge zu tragen hat. Hierbei können Parallelen zum grundlegenden Ziel von „Instandhaltungszeit null“ im „Lean Maintenance“ Ansatz gezogen werden. Die Wertschöpfung des Betriebs darf durch die Instandhaltung nicht behindert werden, daher sollte Verschwendung vermieden werden.<sup>260</sup> Dieses Ziel hat für die Interviewpartner höchste Priorität. Die Instandhaltungskosten der Abteilungen sollen gesenkt und eine wirtschaftliche Instandhaltung ermöglicht werden. Ein Ziel von mittlerer Priorität ist daher die Senkung der direkten Instandhaltungskosten und die Wirtschaftlichkeit von Instandhaltungsabteilungen.

Es werden daher folgende Risikokriterien für die Auswirkung eines Anlagenausfalls auf Ziele definiert. Diese können Tabelle 6.2 entnommen werden.

Auswirkungen	QEHS , Maximierung der wertschöpfenden Zeit und Instandhaltungskosten
Unbedeutend	Ausfall führt zu keinen Auswirkungen auf QEHS, Wertschöpfung oder Instandhaltungskosten
Spürbar	Ausfall führt zu hohen Instandhaltungskosten
Kritisch	Ausfall führt zu Beeinträchtigung der Wertschöpfung und/oder QEHS Problemen.
Katastrophal	Ausfall führt zu Beeinträchtigung der Wertschöpfung und/oder QEHS Problemen und hohen Instandhaltungskosten

**Tabelle 6.2** Risikokriterien für die Auswirkung von Ausfällen

Die Bewertung des Risikos und die Ableitung von Instandhaltungsstrategien sollen anhand von Risikoklassen erfolgen, die sich aus den möglichen Auswirkungen und Wahrscheinlichkeiten von Ausfällen ergeben. Hier wird deutlich, dass mit steigender Anzahl von Risikokriterien auch die Anzahl der resultierenden Risikoklassen steigen. Um die Aussagekraft, Akzeptanz und Einsatzfähigkeit nicht zu gefährden, werden möglichst wenige Risikokriterien für die Wahrscheinlichkeit eines Ausfalls in der nächsten Periode definiert.

<sup>259</sup> Vgl. Brühwiler, B. (2011), S.104ff

<sup>260</sup> Vgl. Wiegand, B. et al (2011), S.9f

Tabelle 6.3 zeigt die definierten Kriterien für die Ausfallwahrscheinlichkeit.

Wahrscheinlichkeit	Interpretation als Wahrscheinlichkeit
Wahrscheinlich	Ein Ausfall ist in der nächsten Periode wahrscheinlich
Unwahrscheinlich	Ein Ausfall ist in der nächsten Periode unwahrscheinlich

**Tabelle 6.3** Risikokriterien für die Ausfallwahrscheinlichkeit

## 6.6.2 Risikoidentifikation und Risikoanalyse

Es obliegt dem Instandhaltungsleiter die Risiken von Anlagen bezüglich ihrer Ausfälle zu identifizieren und zu analysieren. Die Experteninterviews haben aber gezeigt, dass sich eine Analyse der Risiken als sehr schwierig erweist und der erforderliche Aufwand häufig sehr groß ist. Häufig fehlt es zur Bestimmung der Ausfallwahrscheinlichkeit an der Möglichkeit, da eine qualitative und quantitative Aussage nur sehr schwer getroffen werden kann.

## 6.6.3 Risikobewertung

Ausgehend von den in Kapitel 3.8 getätigten Überlegungen und den Ergebnissen der Experteninterviews, wird eine geeignete Methode zur Risikobewertung ausgewählt.

Die Bottom-Up Methoden tragen im Gegensatz zu den Methoden der Top-Down Bewertung zu einer gelebten Risikokultur bei und fördern die Motivation von Verhaltensänderungen und Innovation, da die Risiken ausgehend von den Ursachen bewertet werden.<sup>261</sup> Auf Anlagenebene sind kaum ausreichend messbare Daten vorhanden, um eine quantitative Bewertung zielführend zu gestalten. Auch im RIMAP Prozess wird das Screening zur schnellen und einfachen qualitativen Risikobewertung von Anlagen vorgeschlagen<sup>262</sup>. Die FMEA Analyse und die Ereignisbaumanalyse erweisen sich basierend auf den Interviewergebnissen als aufwendige Verfahren für die Instandhaltungsleiter. Außerdem lässt sich über die Einschätzung der Prognostizierbarkeit für die FMEA keine generelle Aussage treffen. Die Literaturstudie und Interviews zeigten, dass die Szenarioanalyse und die anschließende Darstellung mit der Risikomatrix in der Instandhaltung sehr weit verbreitet sind und „Best Practice“ darstellt. Die Darstellung in der Matrix ermöglicht eine schnelle und einfache Einschätzung der Priorität von Risiken und die Ableitung von Maßnahmen.<sup>263</sup> Ein Szenario ist gemäß ONR 49000 die „konkrete und bildhafte Darstellung eines Risikos mit Annahme über mögliche Zusammenhänge von Ursache und Abfolgen von Ereignissen oder

<sup>261</sup> Vgl. Romeike, F (2003), S.184ff

<sup>262</sup> Vgl. CWA 15740 (2008)

<sup>263</sup> Vgl. Matyas, K. (2008) S.148

Entwicklungen, die aufzeigt, wie sich Chancen bzw. Bedrohungen und Gefahren in einer Organisation oder in einem System verwirklichen“<sup>264</sup>. Die Definition zeigt deutlich, dass eine Szenarioanalyse sich bewusst mit Unsicherheiten und ihren Entwicklungen befasst. Mögliche Chancen, Gefahren und Störereignisse werden so deutlich und sichtbar. Daher eignet sich die Szenarioanalyse zur Ableitung von geeigneten Präventiv und Reaktivmaßnahmen.<sup>265</sup> Das Credible-Worst-Case Szenario beschreibt den schlimmstmöglichen Fall eines Anlagenausfalls für die Instandhaltung. Die Expertenbefragung zeigte, dass eine Bestimmung der Auftrittswahrscheinlichkeit eines Schadensereignisses sehr schwierig und nur bedingt möglich ist. Daher sollte jener Fall betrachtet werden, der in besonders schwerwiegende Folgen für die Organisation resultiert. Aus oben genannten Gründen wird für diese Arbeit die Risikobewertungsmethode der qualitativen Szenarioanalyse eines Credible Worst Case Szenarios gewählt. Diese Szenarien sind dem Instandhaltungsleiter in der Regel bekannt.

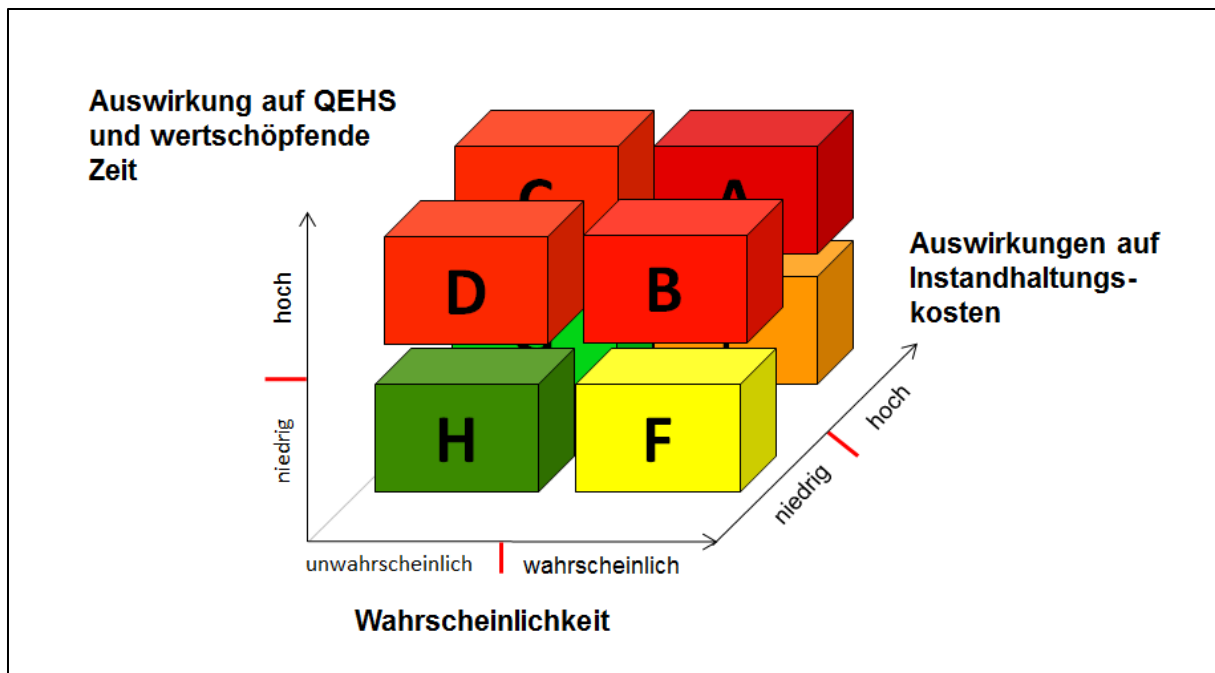
Hierbei sei erwähnt, dass im Folgenden keine vollständige Szenarioanalyse erarbeitet wird. Es obliegt dem Instandhaltungsleiter die geeigneten Szenarien für die Risikobewertung zu erarbeiten. Anlagen verfügen über eine große Anzahl an Schlüsselfaktoren, die sich in Abhängigkeit der Rahmenbedingungen stark voneinander unterscheiden können. Daher kann keine Aussage und ein standardisiertes Verfahren gemäß der generellen fünf Schritte der Szenarioanalyse entwickelt werden. Die Instandhaltungsleiter kennen die jeweiligen Schlüsselfaktoren sowie Rahmenbedingungen und können daher geeignete Szenarien entwickeln. Im Folgenden wird ein standardisiertes Verfahren zur Bewertung von Szenarien hinsichtlich ihrer Auswirkungen und Wahrscheinlichkeit erarbeitet. In Kapitel 3.7.2 werden die generellen fünf Schritte für den Ablauf einer Szenarioanalyse beschrieben. Das entwickelte Verfahren greift im fünften Schritt des Szenariotransfers ein und versucht eine Aussage über das Risiko von Szenarien zu entwickeln.

Hierzu müssen die Auswirkungen und Wahrscheinlichkeiten bestimmt und den Risikokriterien zugeordnet werden. Bildet man die Auswirkung eines Ausfalls in Abhängigkeit der unterschiedlichen Zielprioritäten über der Ausfallwahrscheinlichkeit ab, ergibt sich ein Risikowürfel. Dieser Risikowürfel wird auf Abbildung 6.8 dargestellt und bildet den Ausgangspunkt für weitere Überlegungen.

---

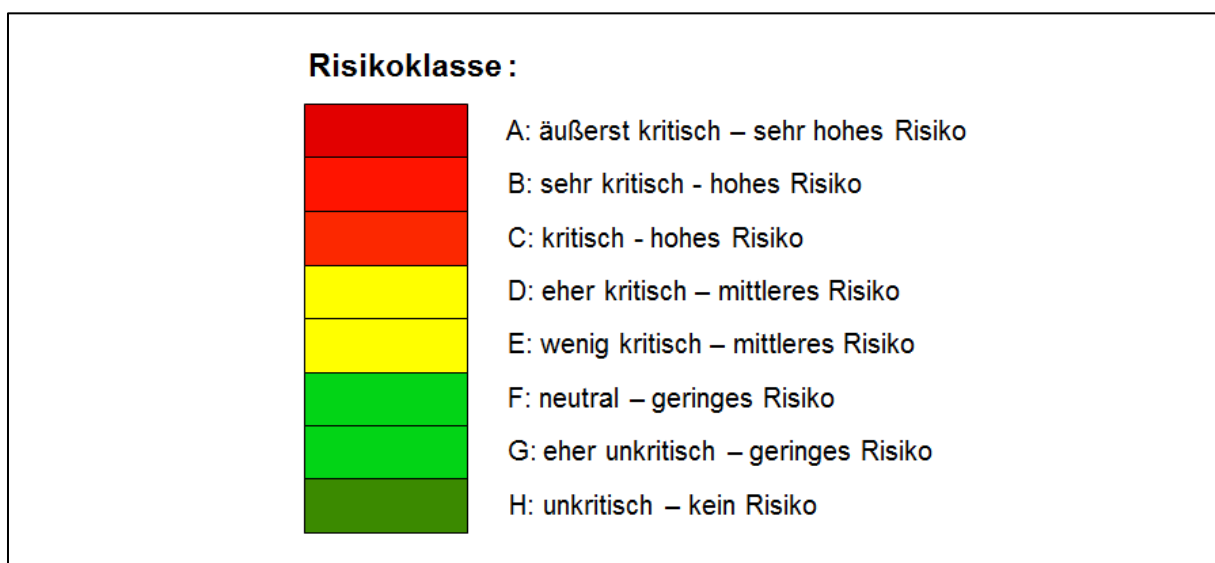
<sup>264</sup> ONR 49000 (2014)

<sup>265</sup> Vgl. Mietzner, D. (2009), S.156



**Abbildung 6.8** Der Risikowürfel

Die Position im Risikowürfel definiert das Risiko und die Risikoklasse. Wie aus Abbildung 6.9 ersichtlich ergeben sich acht Risikoklassen.

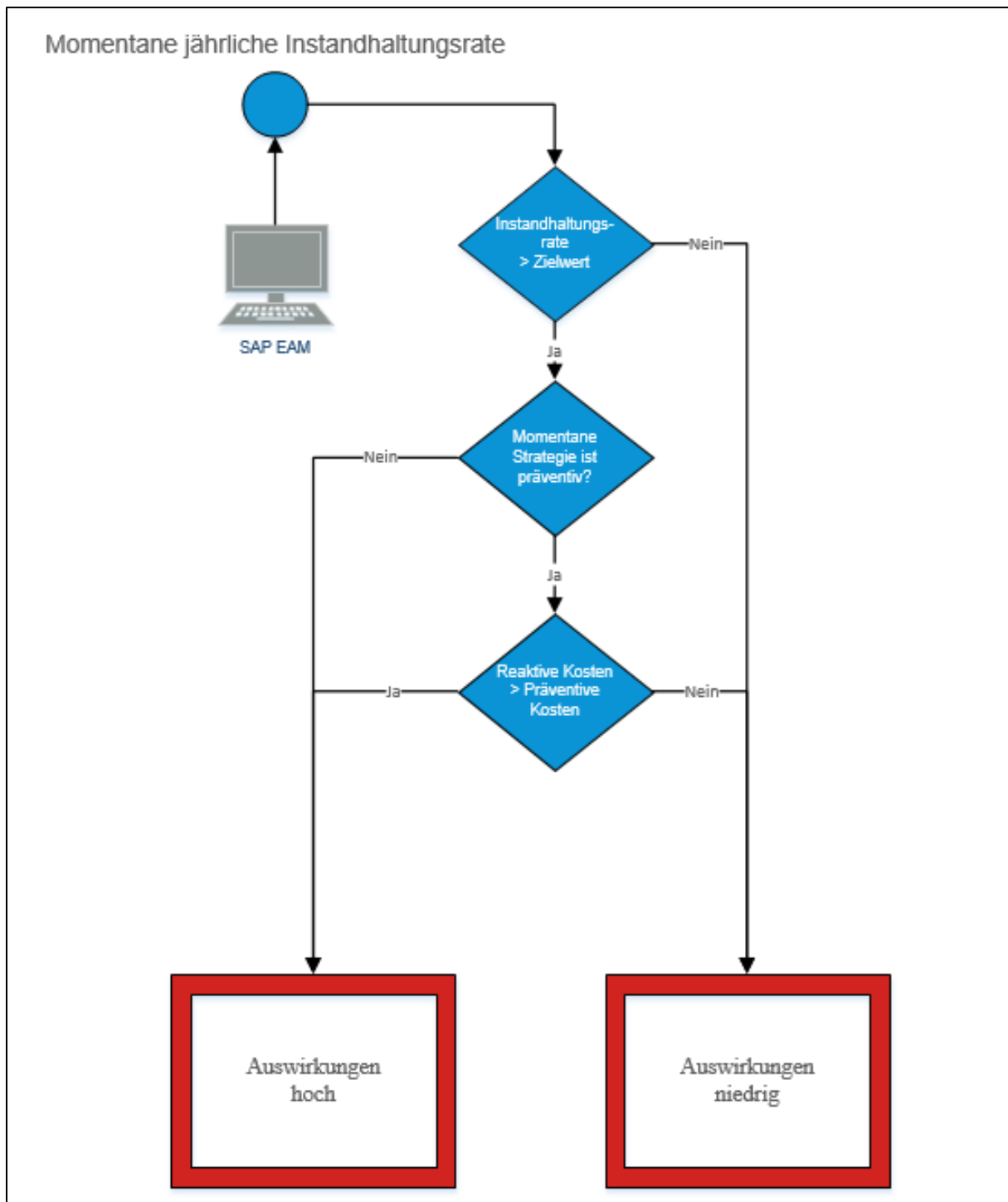


**Abbildung 6.9** Die acht Risikoklassen

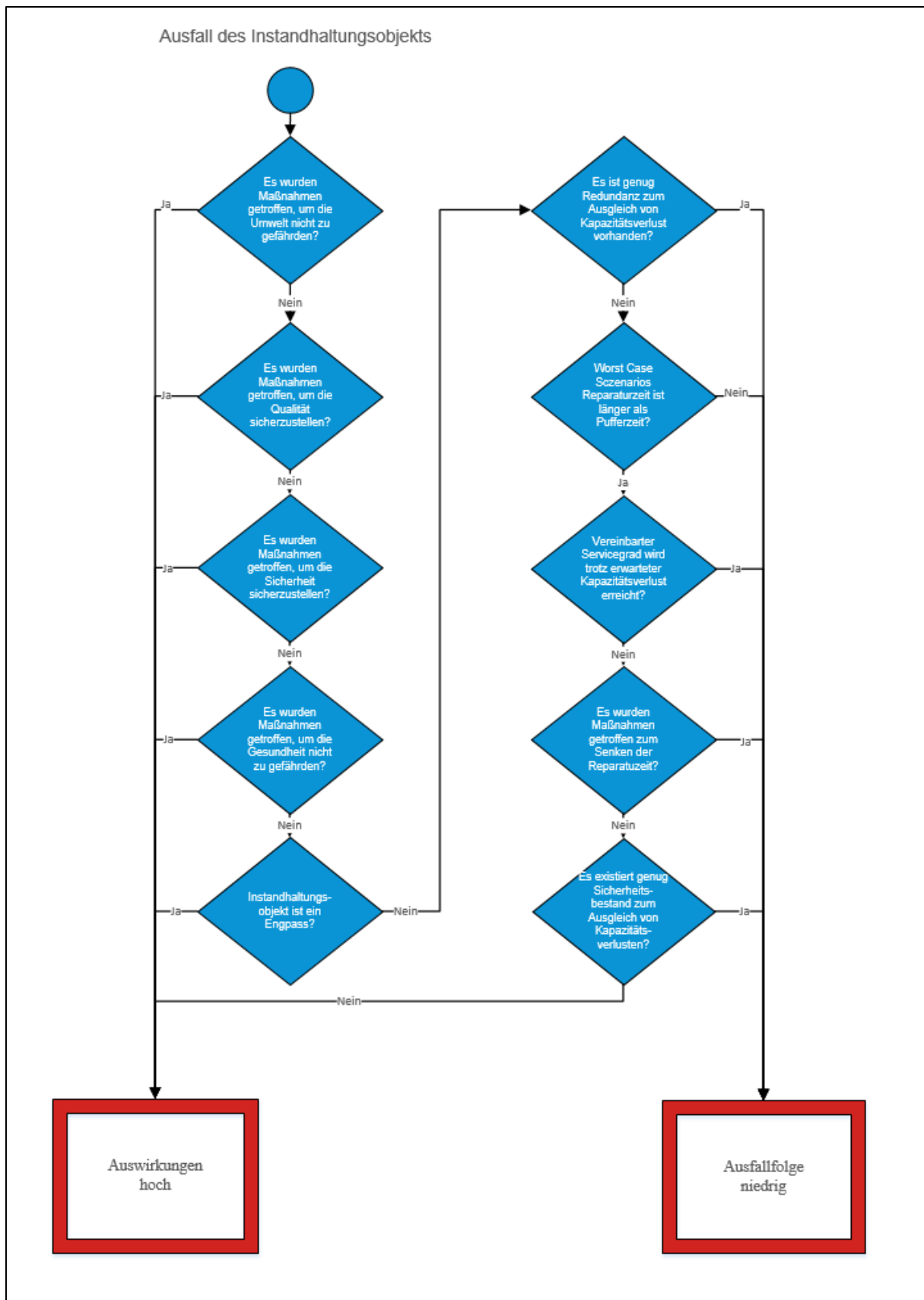
Die Risikoklassen werden alphabetisch zur Identifikation nummeriert, da eine alphabetische Nummerierung ohne zusätzlichen Aufwand in das SAP System übernommen werden kann. Über den Buchstaben kann schnell die Risikolage der Anlage identifiziert werden, da jede Klasse über seine Lage im Risikowürfel eindeutig definiert ist. Folglich sind die Ergebnisse der Bewertung hinsichtlich der Ausfallfolge und Ausfallwahrscheinlichkeit in der kommenden

Periode leicht deutbar. Die Risikolage der Anlage wird auf diese Art transparent und ist nach erfolgter Übertragung in das SAP System leicht zugänglich.

Es werden nun geeignete Algorithmen definiert, um die Ergebnisse der individuellen Szenarien den richtigen Positionen des Risikowürfels zuzuweisen. Hierzu wurde, basierend auf den Experteninterviews, die auf Abbildung 6.10, 6.11 und 6.12 dargestellten Algorithmen entwickelt.



**Abbildung 6.10** Bestimmung der Auswirkung auf die Instandhaltungskosten

**Abbildung 6.11** Bestimmung der Auswirkungen auf QEHS und wertschöpfende Zeit



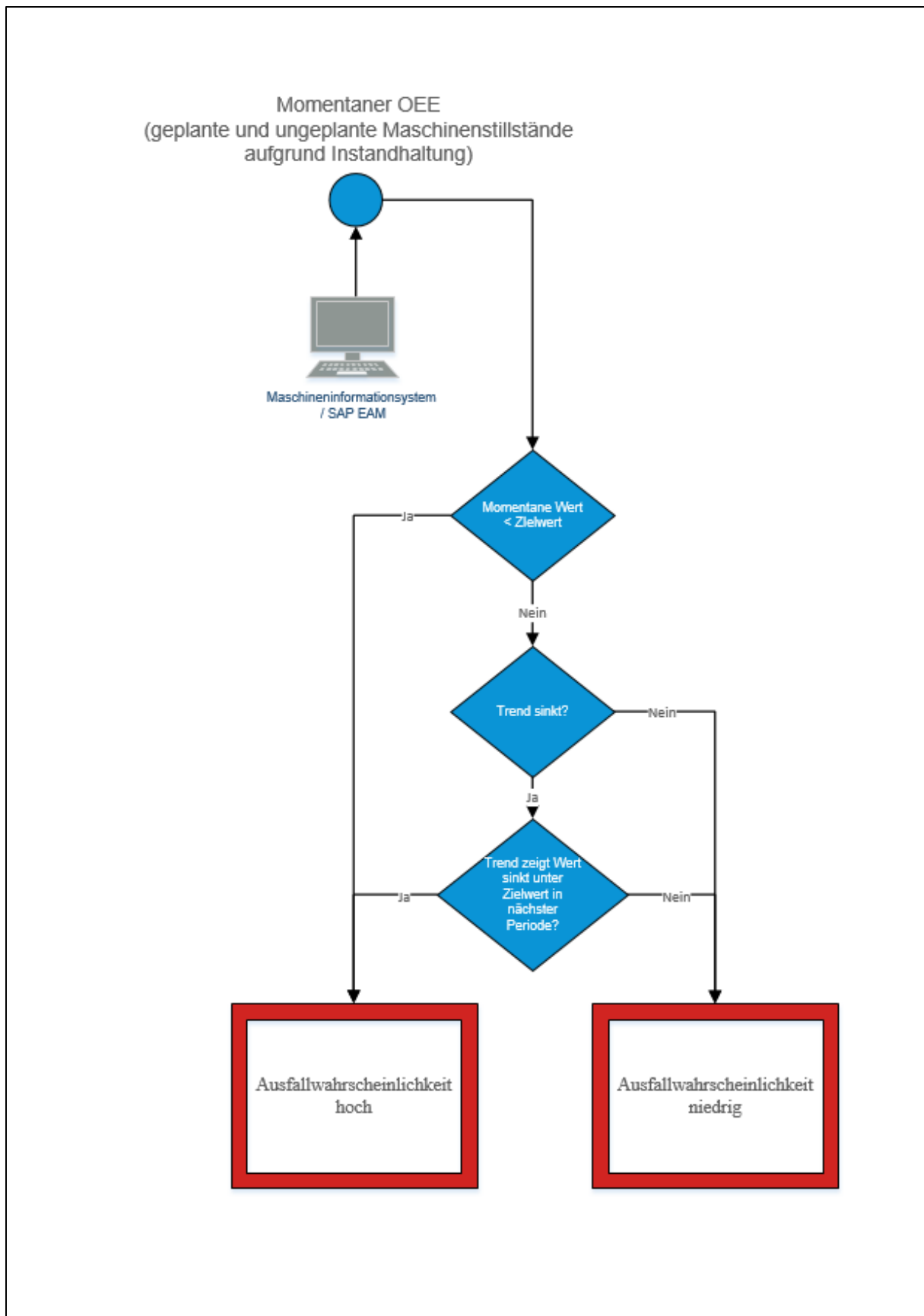
**Abbildung 6.12** Bestimmung der Wahrscheinlichkeit

Abbildung 6.10 stellt den Algorithmus zur Bestimmung der Auswirkung eines Ausfalls auf die direkten Instandhaltungskosten hinsichtlich der Material-, Fremd- und Personalkosten dar. In Zukunft ist eine objektbezogene Instandhaltungsrate aus dem SAP System generierbar. Der Wiederbeschaffungswert der Anlage wird in den Daten des technischen Platzes hinterlegt und die direkten Instandhaltungskosten werden über die Instandhaltungsaufträge auf die Anlage gebucht. Somit sind alle notwendigen Rahmenbedingungen für die Berechnung der objektbezogenen Instandhaltungsrate gegeben. Die Experteninterviews zeigten, dass diese Kennzahl Informationen über den Erfolg der momentanen Instandhaltungsstrategie liefern und zum Abschätzen der Kosten in der nächsten Periode verwendet werden kann. Ein hoher Wert kann auf niedrige Erfahrung der Instandhaltungsmitarbeiter, qualitativ niedrige Instandhaltungsmaßnahmen, kostspielige Materialien der Anlage, teure externe Dienstleister oder eine hohe Komplexität der Anlage hinweisen. Aufgrund dieser Eigenschaften und seiner leichten Verfügbarkeit im SAP System wird die Instandhaltungsrate zur Bestimmung der Auswirkungen eines Ausfalls auf die direkten Instandhaltungskosten verwendet.

An dieser Stelle sei auch darauf hingewiesen, dass sich Auslastungsschwankungen auf die Instandhaltungsrate auswirken können. Dieser Umstand sollte bei Bestimmung des Zielwerts berücksichtigt werden, um die Ergebnisse nicht zu verfälschen. Die tatsächliche Instandhaltungsrate der ungeplanten Maßnahmen wird anschließend mit dem Zielwert verglichen. Hierbei werden ausschließlich die reaktiven Kosten betrachtet, da die Auswirkungen eines Ausfalls bestimmt werden sollen.

Aus Abbildung 6.11 ist der Algorithmus zur Bestimmung der Auswirkungen eines Ausfalls hinsichtlich QEHS relevanter Themen und der wertschöpfenden Zeit ersichtlich. Ausgangspunkt ist ein Ausfallszenario der Anlage. Grundsätzlich kann davon ausgegangen werden, dass von einer Anlage keine Gefährdung von Personen und Umwelt sowie der Qualität ausgeht. Sollte dies nicht der Fall sein, werden in der Regel geeignete Maßnahmen getroffen. Wurden nun Maßnahmen zum Schutz der Sicherheit und Gesundheit der Personen sowie der Umwelt getroffen, so kann ein Ausfall zur Gefährdung von Menschen und Umwelt führen. Ähnliches gilt für Maßnahmen zur Sicherstellung der Qualität von produzierten Teilen. Handelt es sich bei der Anlage um einen Engpass, führt ein Ausfall zu Mengenverlusten in der Produktion. Etwaige Redundanzen im Produktionssystem sind in der Lage, einen Ausfall von Anlagen zu kompensieren. Sind keine ausreichenden Redundanzen zum Ausgleich von Kapazitätsverlusten eines schlimmstmöglichen Falles vorhanden, so ist die erwartete Dauer der Reparatur entscheidend. Gemäß den Überlegungen aus Kapitel 2.7.1 darf die Reparaturzeit die maximale Entstörzeit nicht überschreiten. Ist dies der Fall kommt es zu Mengen- oder Zeitverlusten, in Abhängigkeit der Position im Wertstrom. Es können Maßnahmen getroffen werden, um die Verluste zu reduzieren. So können z.B. Ersatzteile oder notwendige Werkzeuge auf Lager gelegt werden, um die Reparaturzeit zu senken. Ein ausreichender Sicherheitsbestand ist in der Lage etwaigen Verlust zu kompensieren.

Aus Abbildung 6.12 ist der Algorithmus zur Bestimmung der Ausfallwahrscheinlichkeit ersichtlich. Die Experteninterviews zeigten, dass sich die Ermittlung der Ausfallwahrscheinlichkeit als sehr schwierig erweist. Es kann daher kaum eine generelle Aussage über die Eintrittswahrscheinlichkeit eines bestimmten Szenarios getroffen werden. Alle Interviewpartner bestätigten aus ihren praktischen Erfahrungen den Verlauf der Badewannenkurve. Zu Beginn kommt es zu vermehrten Ausfällen, danach läuft die Anlage mit kleineren Schwankungen einigermaßen zuverlässig. Auf einzelne schwerwiegende Ausfälle folgen u.U. weitere Ausfälle, da etwaige betroffene Komponenten nahe der Fehlerstelle nicht erkannt werden oder ein neues Ersatzteils eingesetzt wird. Dieses ist zu Beginn seines Einsatzes gemäß der Badewannenkurve fehleranfälliger. Die Folge sind vermehrte reaktive Maßnahmen im umliegenden Zeitraum des ersten Ausfalls.

Diese einigermaßen konstante Ausfallrate steigt schließlich mit zunehmendem Alter der Anlage. Die Folge sind häufigere Ausfälle und ein Steigen der Ausfallwahrscheinlichkeit. Eine steigende Anzahl und Intensität der reaktiven und präventive Maßnahmen kann auf einen steigenden Verschleiß der Komponenten hindeuten. Die Instandhaltungsabteilungen müssen vermehrt fehlerhafte Komponenten austauschen oder reparieren und der Zustand der Anlage verlangt häufigere präventive Maßnahmen. Das geht mit einem Sinken der Verfügbarkeit einher.

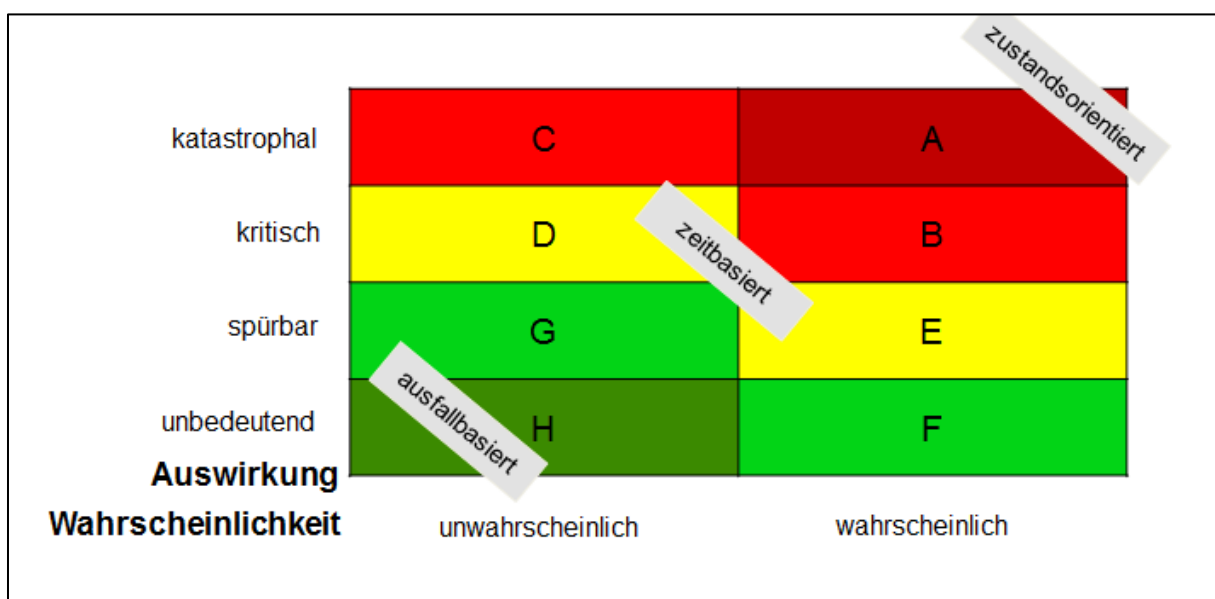
Der entwickelte Algorithmus versucht, den momentanen Punkt der Badewannenkurve qualitativ abzuschätzen. Aufgrund der vorangegangenen Überlegungen eignen sich hierzu bestimmte Bestandteile des OEEs. Hierzu wird die geplante Arbeitszeit der Anlage in Abhängigkeit des Schichtmodells mit der Zeitdauer für geplante und ungeplante Instandhaltungsmaßnahmen ins Verhältnis gesetzt und mit einem Zielwert verglichen. Sinkt der lineare Trend der letzten drei Perioden oder liegt der momentane tatsächliche Wert unter dem Zielwert, wird die Ausfallwahrscheinlichkeit der nächsten Periode als hoch eingeschätzt. Die Experten bestätigten, dass langzurückliegende historische Daten kaum relevant sind. Daher wurde zur Berechnung des linearen Trends die Anzahl auf drei Perioden beschränkt. In Zukunft wird es möglich sein, die relevanten Bestandteile des OEEs aus dem SAP System zu generieren.

Der MTBF eignet sich für die qualitative Abschätzung der Ausfallwahrscheinlichkeit nur bedingt, da die SAP Berechnung die tatsächliche Betriebsdauer der Anlage nicht berücksichtigt. Der Zielwert ermöglicht eine flexible Anpassung an etwaige Rahmenbedingungen.

#### **6.6.4 Risikobewältigung**

Die Auswirkungen und Wahrscheinlichkeiten können nun den in Kapitel 6.6.1 entwickelten Risikokriterien eindeutig zugeteilt werden. Dies ermöglicht eine zweidimensionale Darstellung anhand der Risikomatrix, um geeignete Instandhaltungsstrategien einfach zuzuteilen und die Risikolage zu veranschaulichen. Den Risikoklassen werden die

geeigneten Instandhaltungsstrategien zur Risikobewältigung zugeteilt. Gemäß der Benchmark Empfehlung wird der Klasse mit niedrigem eine ausfallbasierte, den Klassen mit mittlerem eine zeitbasierte und der Klasse mit hohem Risiko eine zustandsorientierten Instandhaltungsstrategie zugewiesen. Zusätzlich wird das Fünf-Level-Modell zur Einführung von TPM übernommen. Hierzu wird in Abhängigkeit der Risikoklasse und des Auditerfolgs ein empfohlener Level für die nächste Periode abgeleitet. So kann eine standardisierte und globale Implementierung des TPM Konzepts, anhand des in der Antriebstechnik bewährten Models erfolgen. Auf eine detaillierte Beschreibung wird verzichtet, um eine Preisgabe von Firmeninformationen zu verhindern. Der Würfel wird aufgrund von besserer Übersichtlichkeit auf eine Matrix übergeführt. Abbildung 6.13 zeigt die Risikomatrix und die abgeleiteten Instandhaltungsstrategien.



**Abbildung 6.13** Die Risikomatrix

## 6.7 Technische Implementierung

Die technische Implementierung des entwickelten Verfahrens erfolgt anhand eines maßgeschneiderten Tools. Hierzu wurde das „Hoerbiger Risk Classification Tool“ (HRCT) entwickelt. Das Tool wurde ähnlich einer Homepage aufgebaut und verwendet die dazu nötigen Programmiersprachen (HTML, JavaScript, CSS und php). Es ist auf diese Art übersichtlich, leicht verwendbar, zentral gespeichert und der Code auf Anhieb nicht manipulierbar. Für das HRCT wurde bewusst auf den Gebrauch von Excel verzichtet, da ausreichend Transparenz und Konvention aufgrund des globalen Einsatzes gefordert ist und sich Excel als Tabellenkalkulationsprogramm nur bedingt für Textdarstellung eignet.

### 6.7.1 Toolunterstützter Risikobewertungsprozess

Zunächst wird der entwickelte Risikobewertungsprozess abgebildet, um die Anforderungen an das Tool und seine geforderten Funktionen zu klären. Ziel dieser Darstellung ist die Entwicklung eines einheitlichen Verständnisses aller Beteiligten. Für die Darstellung des Prozesses wurde daher BPMN gewählt. Eine detaillierte Beschreibung dieser Notationsvariante findet sich in Kapitel 5.2..

Der Instandhaltungsleiter ruft zu Beginn der Planungsperiode das Tool auf. Die Anlage und alle ihr zugehörigen Daten sind im SAP System über die Nummer des technischen Platzes eindeutig identifizier- und abrufbar. Der Instandhaltungsleiter fügt diesen Primärschlüssel im Tool ein und die notwendigen Daten zur Risikobewertung werden aus dem SAP System geladen. Dies umfasst u.a. die Instandhaltungsrate und die OEE Werte, die im zuvor beschriebenen Algorithmus eine entscheidende Rolle spielen. Die standardisierten Fragen müssen von dem Instandhaltungsleiter beantwortet werden, da im SAP System diesbezüglich keine Daten verfügbar sind. Nach der Auswertung werden die ermittelte Risikoklasse und die Instandhaltungsstrategie in das SAP System auf Anlage überschrieben. Dieser Prozess ermöglicht eine schnelle Risikoklassifizierung und einfaches Ableiten von Instandhaltungsstrategien.

Abbildung 6.14 zeigt den toolunterstützten Risikobewertungsprozess.

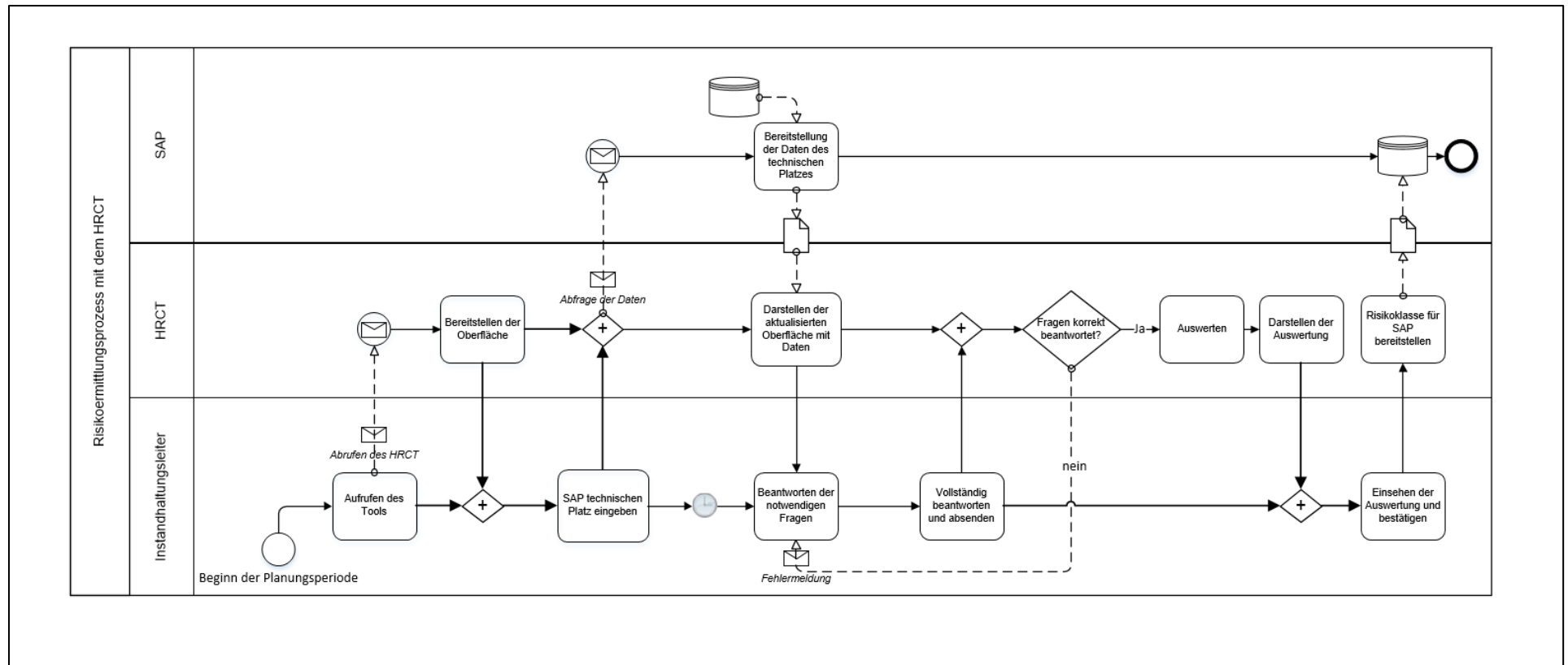


Abbildung 6.14 Der toolunterstützte Risikobewertungsprozess

### 6.7.2 Hoerbiger Risk Classification Tool (HRCT)

Das Tool ist firmenintern oder über einen VPN Zugang weltweit abrufbar. Die Oberfläche ist in fünf Menüpunkte gegliedert und in deutscher und englischer Sprache verfügbar. Durch Eingabe des URLs gelangt der User auf eine Startseite. Hier wird im Wesentlichen der Sinn und Zweck des Tools, die Handhabe und der Aufbau der Seite dargelegt. Das Tool beinhaltet fünf unabhängige und miteinander verlinkten Seiten. Der User kann mit Hilfe der Navigationsleiste durch die Seite navigieren. Abbildung 6.15 zeigt den Aufbau des Tools



Abbildung 6.15 Der Aufbau des Tools

Abbildung 6.16 zeigt die Startseite.

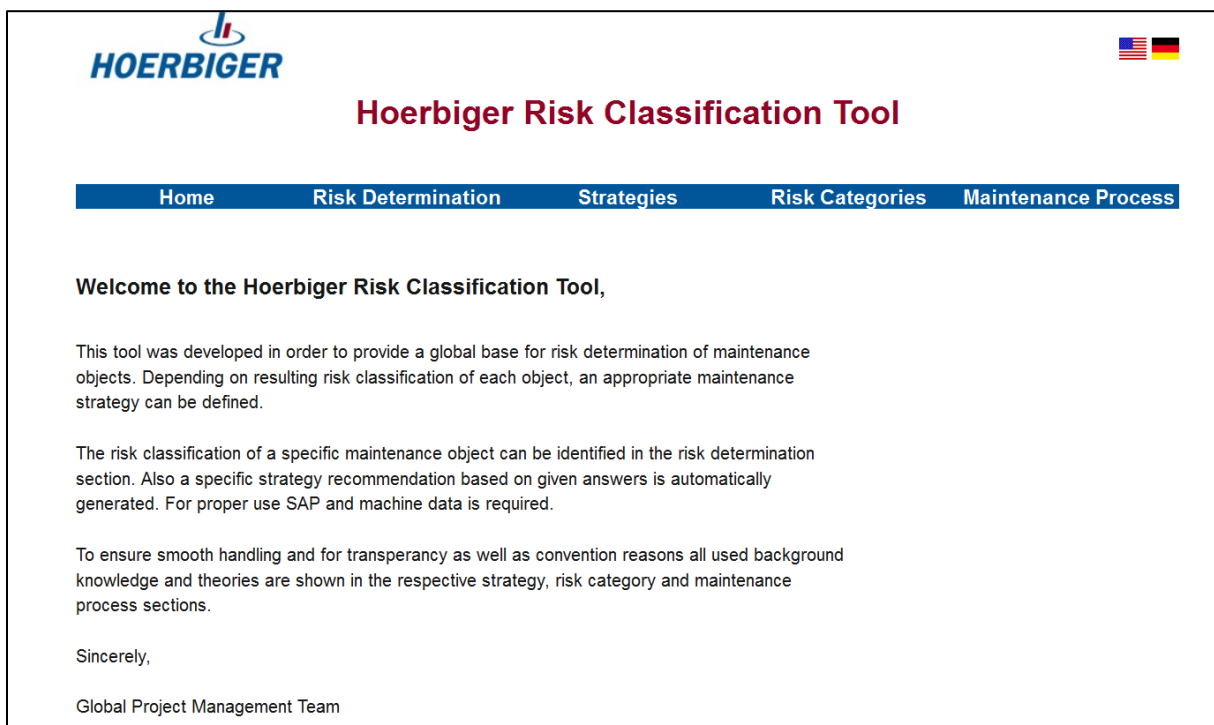
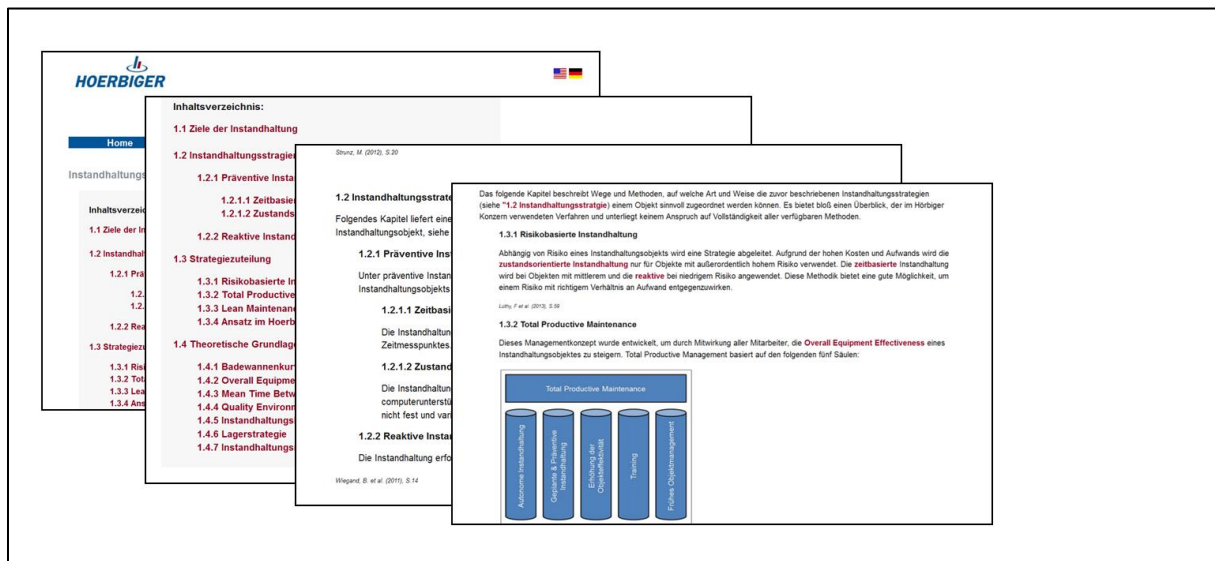


Abbildung 6.16 Die Startseite

Abbildung 6.17 zeigt die Seite unter dem Menüpunkt „Strategie“. Sinn und Zweck dieser Seite ist die Darstellung und Offenlegung der verwendeten theoretischen Grundlagen für die notwendige Transparenz und Konvention. Es wird auf diese Art ein einheitlicher Gebrauch des Tools unabhängig von Qualifikation und Ort des Users ermöglicht. Die Transparenz schafft auch Akzeptanz, da die entwickelte Methode zur Risikobewertung durch theoretische Grundlagen unterstützt wird. Für das einfache Handling befindet sich zu Beginn der Seite ein Inhaltsverzeichnis. Hat eine Überschrift des Inhaltsverzeichnisses das Interesse des Lesers geweckt, kann über ein Anklicken der Überschrift automatisch auf die Passage gesprungen werden. Hier wird deutlich, dass die einzelnen Seiten und Textpassagen der Seiten untereinander verlinkt sind.



**Abbildung 6.17** Die Seite unter dem Menüpunkt „Strategie“

Abbildung 6.18 zeigt die Seite unter dem Menüpunkt „Risikoklassen“. Zweck dieser Seite ist die Offenlegung der entwickelten Methode aus den zuvor erwähnten Gründen. Diese Seite besteht ebenfalls aus einem dynamischen Inhaltsverzeichnis und legt alle Risikoklassen, den Algorithmus die Risikokriterien und die Matrix offen. Bei Bedarf können weitere Präsentationen und Textbeschreibungen zur detaillierten Beschreibung der Risikoklassen und ihrer Ermittlung geöffnet werden.



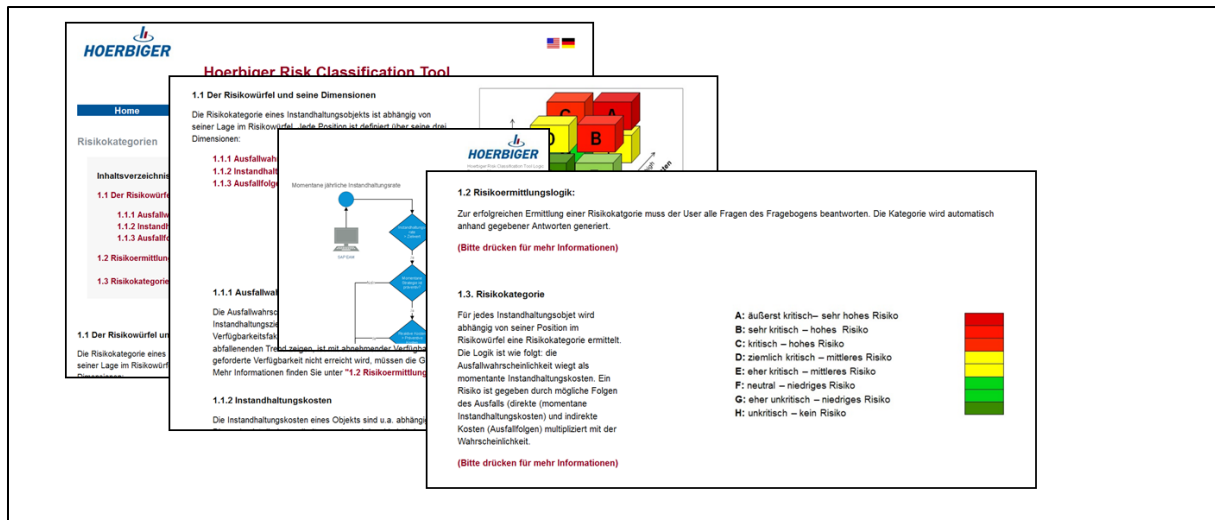


Abbildung 6.18 Die Seite unter dem Menüpunkt „Risikoklassen“

Auf eine Abbildung der Seite unter dem Menüpunkt „Instandhaltungsprozess“ wird an dieser Stelle aufgrund von sensiblen Firmendaten verzichtet. Sie bezweckt die Beschreibung der Rolle des Tools im standardisierten Instandhaltungsprozess.

Unter dem Menüpunkt „Risikoermittlung“ befindet sich die Seite zur Bestimmung der Risikoklasse und zur Ableitung der Instandhaltungsstrategie. Abbildung 6.19 zeigt den ersten Teil dieser Seite. Dieser Teil umfasst die generellen Angaben zur Anlage bezüglich des Maschinentyps, des Baujahrs, des Werks, des Zielwerts für die Instandhaltungsrate und des OEEs für geplante sowie ungeplante Instandhaltungstätigkeiten, der momentanen Strategie und des TPM Levels. An dieser Stelle sei erwähnt, dass der Großteil dieser Informationen über die Nummer des technischen Platzes aus dem SAP System geladen wird und eine manuelle Eingabe nicht erforderlich ist. Die in rot gehaltenen Wörter markieren die Verlinkungen. Sollte der User über die Bedeutung eines Worts nicht im Klaren sein, wird er oder sie durch Anklicken auf die jeweilige Beschreibung weitergeleitet.

Abbildung 6.19 Die Seite unter dem Menüpunkt „Risikoermittlung“ – Basis Information

Abbildung 6.20 zeigt den unteren Teil der Seite unter dem Menüpunkt „Risikoermittlung“. Der untere Teil dieser Seite umfasst die zu beantwortenden Fragen. Es sei erwähnt, dass über den technischen Platz, die notwendigen Daten zur Berechnung der Ausfallwahrscheinlichkeit und der Instandhaltungskosten automatisch geladen werden und eine manuelle Eingabe nicht erforderlich ist.

**1. Probability of failure:**

Current annual OEE (planned and unplanned downtime) (from 01/16 to 01/15):  %

Previous annual OEE (planned and unplanned downtime) (from 01/15 to 01/14): *\*if data available*  %

Previous annual OEE (planned and unplanned downtime) (from 01/14 to 01/13): *\*if data available*  %

**2. Current maintenance costs:**

Current annual maintenance rate per maintenance object (from 01/16 to 01/15):  %

Annual costs of preventive maintenance per maintenance object (from 01/16 to 01/15):   Currency

Annual costs of reactive maintenance per maintenance object (from 01/16 to 01/15):   Currency

**3. Consequences of failure:**

Measures have been taken, so breakdown of maintenance object is no potential risk to environment, quality, health or safety? ☐ yes ☐ no

Maintenance object is a bottleneck? ☐ yes ☐ no

There is enough redundancy in order to balance potential capacity losses? ☐ yes ☒ no

Any worst case scenario's time to repair takes longer than **buffertime?** ☐ yes ☐ no

Agreed service level can be ensured despite expected capacity losses? ☐ yes ☐ no

Measures have been taken, so respective worst case scenario's repair time is shorter than buffertime? (e.g. critical spare parts are on stock) ☐ yes ☐ no

There exists enough safety stock in order to balance potential capacity losses? ☐ yes ☐ no

**Abbildung 6.20** Die Seite des Menüpunkts „Risikoermittlung“ – Fragen

Abbildung 6.21 zeigt den untersten Teil der Seite. Dieser behandelt die Implementierung von TPM anhand des fünf Stufen Modells und ein optionales Eingabefeld für Anmerkungen, die bei Bedarf in die Wissensdatenbank des SAPs überschrieben werden können.

**4. Total Productive Maintenance**

Current TPM Level:  Level

TPM Audit has been passed successfully? ☐ yes ☐ no

**Maintenance object related additional comments**

Please enter any maintenance object's specific comments or experience to provide information for other plants (optional):

**Abbildung 6.21** Die Seite des Menüpunkts „Risikoermittlung“ – TPM

Abbildung 6.22 zeigt eine exemplarische Auswertung. Diese beinhaltet die notwendigen Informationen über die getätigte Auswertung. Es beschreibt die Position im Risikowürfel, die ermittelte Risikoklasse, die empfohlene Strategie und das TPM Level für die nächste Periode. Zusätzlich werden in Abhängigkeit der gegebenen Antworten spezielle Strategieempfehlungen und ein Protokoll der Auswertung generiert. Der User bekommt auf diese Art einen Überblick über die Gründe der Auswertung und konkrete Empfehlungen zur gezielten Verbesserung von Instandhaltungsmaßnahmen.

### Risk Classification Results

Maintenance Object:	XX-XXXXX
Probability of Failure:	high
Costs of Maintenance:	high
Consequences of Failure:	high
Determined Risk Category:	A (exceedingly critical - very high risk)
Strategy Recommendation:	Condition Based Maintenance

TPM Level for upcoming period: 2

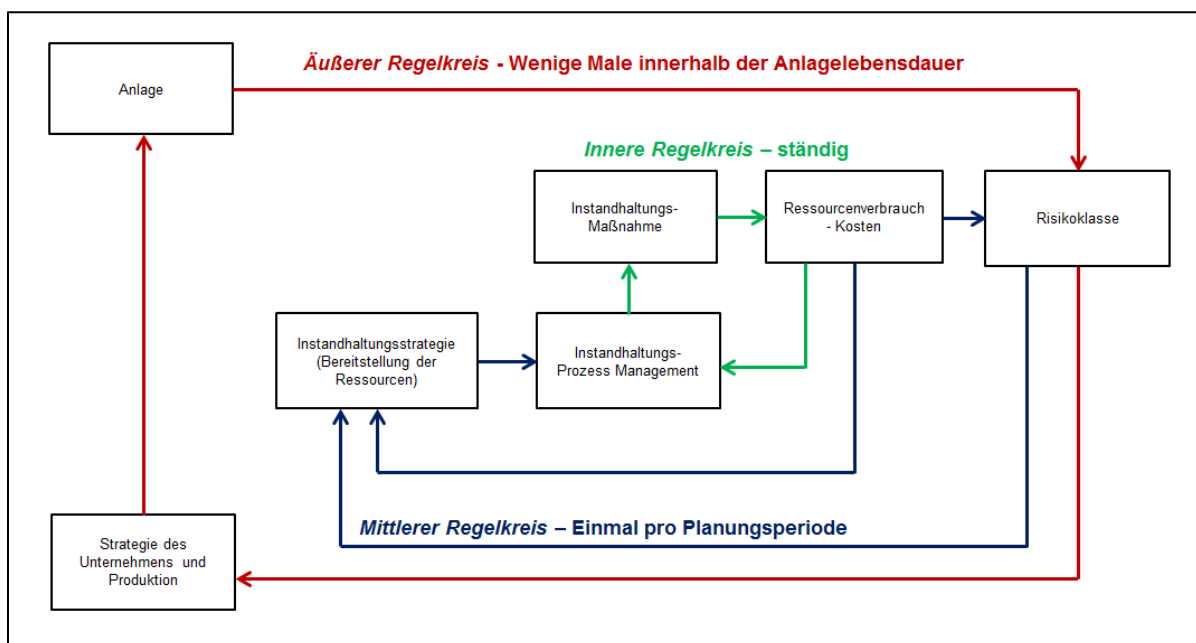
[Strategy hints](#)[Results in detail](#)[Print](#)

**Abbildung 6.22** Die Seite der Auswertung

## 6.8 Kennzahlen für das Instandhaltungscontrolling

Die Instandhaltungsrate und Bestandteile des OEEs werden in dieser Arbeit zur Berechnung der Risikoklasse verwendet. Abschließend soll die Frage geklärt werden, ob sich diese als unabhängige Kennzahlen für das Instandhaltungscontrolling eignen. Dazu wird im Folgenden nach der VDI 2893 vorgegangen. (Siehe dazu auch Kapitel 2.6.1) Es wurde diese Richtlinie gewählt, da hier die Verwendung der Balanced Score Card dezidiert vorgeschlagen und in der Vorgehensweise frühzeitig berücksichtigt wird. Im Unternehmen wurden bereits positive Erfahrungen mit diesem Kennzahlensystem gemacht, denn es eignet sich aufgrund seiner mehrdimensionalen Sicht für eine ganzheitliche Zielerreichung.

Im ersten Schritt wird der Regelkreis der Instandhaltung abgebildet. Dieser Regelkreis wird auf Abbildung 6.23 dargestellt.



**Abbildung 6.23** Der Regelkreis der Instandhaltung

Im zweiten Schritt müssen die Ziele der Instandhaltung definiert und den Perspektiven zugeordnet werden. Wie bereits detailliert beschrieben, umfassen die Ziele in der Hoerbiger Kompressortechnik u.a. die Senkung der direkten Instandhaltungskosten und die Erhöhung der Verfügbarkeit zur Vermeidung des Verlusts von wertschöpfender Zeit. Die Senkung der Instandhaltungskosten wird der Finanzperspektive und die Erhöhung der Verfügbarkeit der Kundenperspektive zugeordnet.

Im dritten Schritt werden die messbaren Einflussgrößen festgelegt. Als messbare Einflussgrößen sind die direkten Kosten der Instandhaltung, der Anlagenwert, die SOLL-Arbeitszeit und die geplanten und ungeplanten Instandhaltungsmaßnahmen zu nennen. Die zugehörigen Basiszahlen, die aus dem SAP schnell und einfach entnommen werden können, sind die Material-, Fremd- und Personalkosten, der Wiederbeschaffungswert, die

Zeitdauer der geplanten und ungeplanten Instandhaltungsmaßnahmen und die Soll-Arbeitszeit der Anlage. Diese werden ins Verhältnis gesetzt und die Instandhaltungsrate sowie, die für die Instandhaltung relevanten Bestandteile des OEEs gebildet.

Diese Kennzahlen können nun den Perspektiven der Finanzen und Kunden auf der Balanced Score Card zugeordnet werden. Dabei sei nochmals ausdrücklich darauf hingewiesen, dass der Kunde der Instandhaltung die Produktion darstellt. Hier wird deutlich, dass sich der OEE und die Instandhaltungsrate für das Instandhaltungscontrolling eignen und den strategischen Informationsbedarf für den Instandhaltungsleiter decken. Selbstverständlich müssen die Kennzahlen der Perspektiven der Kunden und Mitarbeiter noch bestimmt werden. Es ist aber nicht Zielsetzung dieser Arbeit, ein vollständiges Kennzahlensystem zu entwickeln.

Auf Tabelle 6.4 werden oben dargelegte Überlegungen abgebildet.

Perspektive	Ziel	Einflussgröße	Basiszahl	Kennzahl
Finanzen	Wirtschaftlichkeit	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Direkten Instandhaltungskosten</li> <li>- Anlagenwert</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Personal-, Fremd-, Materialkosten</li> <li>- Wiederbeschaffungswert d. Anlage</li> </ul>	Instandhaltungsrate
Kunden	Verfügbarkeit	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Ungeplante und geplante Maßnahmen</li> <li>- Geplante Arbeitszeit</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- IST-Zeit der geplanten und ungeplanten Instandhaltungsmaßnahmen</li> <li>- SOLL-Arbeitszeit der Anlage</li> </ul>	OEE

**Tabelle 6.4** Kennzahlen in der Instandhaltung

Hier wird ersichtlich, dass mit Hilfe der Risikoklasse bereits bei der Strategiefindung relevante Kennzahlen der Kunden- und Prozessperspektive frühzeitig berücksichtigt werden. Die jeweilige Risikoklasse gibt die Werte dieser Kennzahlen indirekt wieder und sorgt auf diese Art für die notwendige Transparenz. Die Produktionsabteilungen gewinnen auf diese Art einen raschen Überblick über wartungsintensive und risikobehaftete Anlagen und können konkrete Informationen für Investitionsentscheidungen und Kapazitätsentscheidung gewinnen.

## 7 Zusammenfassung und Ausblick

Der Hoerbiger Kompressortechnik fehlt es, wie vielen Unternehmen an einer klaren und transparenten Entscheidungsgrundlage zur Ableitung von Instandhaltungsstrategien für Produktionsanlagen. Das Feld der Instandhaltung ist mit gestiegenen Anforderungen und einer erhöhten Risikolage aufgrund technologischer, volks- und betriebswirtschaftlicher Faktoren konfrontiert. In einem globalisierten und dynamischen Umfeld mit großem Konkurrenzdruck liefert der sichere und zuverlässige Betrieb von Anlagen einen entscheidenden Beitrag zum Unternehmenserfolg. Zusätzlich stellt die steigende Anzahl an gesetzlichen Vorschriften und technologischen Entwicklungen die Instandhaltung vor neue Herausforderungen. Aufgrund von Digitalisierung und Vernetzung der Anlagen ist es heute außerdem möglich, laufend Daten über den Zustand von Anlagen zu gewinnen.

Im Laufe der letzten Jahre wurde eine Vielzahl von Konzepten entwickelt, um den gestiegenen Anforderungen adäquat zu begegnen. Ziel von Unternehmen muss eine wirtschaftliche Instandhaltung bei Gewährleistung des erforderlichen Verfügbarkeits- und Sicherheitsniveaus von Anlagen sein. Die risikobasierte Instandhaltung bündelt die Instandhaltungstätigkeiten auf die risikobehafteten Einheiten und ist in der Lage, die Ziele der Instandhaltung auf wirtschaftliche Art und Weise zu erfüllen. In Abhängigkeit des Risikos einer Anlage wird eine geeignete Instandhaltungsstrategie abgeleitet, um dem Risiko auf angemessene und optimale Weise zu begegnen. Neben der risikobasierten Instandhaltung findet auch das Total Productive Maintenance Konzept vermehrt seine Anwendung in den Instandhaltungsabteilungen. Durch abteilungsübergreifende Zusammenarbeit können die Verluste einer Anlage minimiert und die Gesamtanlageneffektivität über den Lebenszyklus gesteigert werden.

Im Zuge dieser Arbeit wurde die Grundlage für eine risikobasierte Instandhaltung und zur Implementation von Total Productive Maintenance in der Hoerbiger Kompressortechnik geschaffen. Zunächst wurde der zukünftige Prozess mittels des ARIS Ansatzes modelliert, um den SAP unterstützten SOLL-Prozess der Instandhaltung mit geeigneten Methoden vollständig abzubilden. Anschließend wurden auf Basis eines normierten Risikomanagementprozess, die einzelnen Prozessschritte sukzessive abgearbeitet. Es wurde ein Verfahren entwickelt, um die Ergebnisse einer qualitativen Risikoszenarioanalyse mit Hilfe von SAP Daten und standardisierten Fragen zu bewerten und geeignete Instandhaltungsstrategien und –maßnahmen abzuleiten. Die Szenarien werden hierfür hinsichtlich ihrer Auswirkungen auf definierte Ziele in der Instandhaltung untersucht. Die Annahme der Ausfallwahrscheinlichkeit beruht in erster Linie auf Basis der qualitativ abgeschätzten Position in der Badewannenkurve. Auf Anlagenebene bietet sich ein qualitativer Risikobewertungsansatz an, um kritische Anlagen schnell zu identifizieren und eine Einschränkung für etwaige quantitative Untersuchungen zu ermöglichen. Ergebnis dieser Bewertung ist eine Risikoklasse in einer Risikomatrix, eine konkrete Instandhaltungsstrategie und eine vorgeschlagene TPM Maßnahme je Anlage in der

nächsten Periode. Die entwickelte Methode wurde schließlich in einem softwarebasierten Tool umgesetzt.

Aufgrund der zukünftigen Kopplung mit dem SAP System ist eine schnelle und einfache jährliche Risikoableitung durch den Instandhaltungsleiter möglich. Die ermittelte Risikoklasse spiegelt indirekt wesentliche Instandhaltungskennzahlen wieder. So werden bereits bei der Strategieempfehlung relevante Kennzahlen berücksichtigt und die Risikolage und Wartungsintensität für das Management und die Produktion transparent.

Die Arbeit an diesem Projekt zeigte, dass sich eine Risikobewertung von Anlagen mit vertretbarem Aufwand als sehr schwer erweist. FMEA Analysen und Ereignisbaumanalysen sind für den Instandhaltungsleiter in großem Umfang kaum durchführbar. Außerdem ist die Ermittlung einer Ausfallwahrscheinlichkeit auf Anlagenebene in den meisten Fällen aufgrund mangelnder Prognostizierbarkeit kaum möglich. Eine große Anzahl unterschiedlicher Maschinen und Belastungen erschweren diesen Umstand zusätzlich. In Zukunft wird es daher notwendig sein, Risikobewertungsmethoden zu entwickeln, die mit vertretbarem Aufwand eine große Anzahl an Anlagen bewerten können. Unter Umständen könnten Entwicklungen in der Instandhaltung 4.0 dazu einen wesentlichen Beitrag leisten.

Der Einsatz des entwickelten Tools ist maßgeblich an der Implementation des definierten SOLL-Prozesses gebunden, um die notwendigen Rahmenbedingungen zu schaffen. Außerdem muss die Verlinkung mit dem SAP System hergestellt werden. Es wurde bereits ein Unternehmen beauftragt, diese Verlinkung herzustellen. Anschließend wird es notwendig sein das entwickelte Tool in ausgewählten Werken, die bereits über die erforderlichen Rahmenbedingungen verfügen, zu testen. Der endgültige flächendeckende Einsatz soll mit der Implementierung des zukünftigen Instandhaltungsprozesses erfolgen. Einmal eingesetzt, ist es notwendig die Ergebnisse dieser Arbeit im Unternehmen auch tatsächlich zu leben. So könnten basierend auf den Ergebnissen der Risikobewertungen, Ersatzteilstrategien entwickelt, ein entsprechendes Wissensmanagement gelebt und die interne Kommunikation erleichtert werden.

## Literaturverzeichnis

ADAM, S.: Optimierung der Anlageninstandhaltung: Verfügbarkeitsanforderungen, Ausfallfolgekosten und Ausfallverhalten als Bestimmungsgrößen wirtschaftlich sinnvoller Instandhaltungsstrategien, Berlin 1989

AL-RADHI, M.: Moderne Instandhaltung: TPM, Wien und München 1997

BANDOW, G.; SCHAEFER, F-W.: Ganzheitliche Instandhaltung – Strukturen und Strategien; in: FRÜH, K.F.; MAIER, U; SCHAUDEL, D.: Handbuch der Prozessautomatisierung: Prozessleittechnik für verfahrenstechnische Anlagen, 4. Auflage, München 2009

BAREIß, J.; ROOS, E.; JOVANOVIĆ, A.; PERUNICIC, M.; BALOS, D.; Vorteile einer zustandsorientierten Instandhaltung, 2004

BEHRENBECK, K.: DV Einsatz in der Instandhaltung, Wiesbaden 1994

BELLMANN, K.: Problemfeld Flexibilisierung; in: KALUZA, B., BLECKER, T.: Erfolgsfaktor Flexibilität: Strategien und Konzepte für wandlungsfähige Unternehmen, Berlin 2005

BITTER, P.; GROSS, H.; HILLEBRAND, H.; SCHMIDT, D.; WEIHE, A.: Technische Zuverlässigkeit: Problematik, Mathematische Grundlagen, Untersuchungsmethoden, Anwendungen, 2. Auflage, Berlin und Heidelberg 1977

BROCKHAUS: Brockhaus Enzyklopädie, 20. Auflage, 18. Band, Leipzig und Mannheim 1998

BRÜHWILER, B.: Risikomanagement als Führungsaufgabe: ISO 31000 mit ONR 49000 wirksam umsetzen, 3. Auflage, Bern, Stuttgart und Wien 2011

CEN, CWA 15740, 2008

CHEN, P.: The entity-relationship model—toward a unified view of data; in: ACM Transactions on Database Systems (TODS), 1976, 1. Jg., Nr. 1, S. 9-36.

DIEHL, H.: Effektive und effiziente Instandhaltung von Maschinen und Anlagen; in: Maschinenbau-Revue 2009. Das Schweizer Industriemagazin – Jahreshauptausgabe 2009, 2009, S. 120-122

DIN: DIN 31051: Grundlagen der Instandhaltung, 2003

DIN: DIN EN 13306: Instandhaltung – Begriffe der Instandhaltung, 1990

DUDEN: [www.duden.de](http://www.duden.de), Abfrage vom: 17.12.2015

EBERLIN, S.; HOCK, B.: Zuverlässigkeit und Verfügbarkeit technischer Systeme: Eine Einführung in die Praxis, Wiesbaden 2014

EINSIEDLER, I.: Embedded Systeme für Industrie 4.0; in: Productivity Management, 18.Jg., 2013, S.26.28



ERBEN, R.F.; ROMEIKE, F.: Komplexität als Ursache steigender Risiken in Industrie und Handel; in: ROMEIKE, F.; FINKE, R.B.: Erfolgsfaktor Risiko-Management: Chance für Industrie und Handel: Methoden, Beispiele, Checklisten, 1. Auflage, Wiesbaden 2003

ERBEN, R.F.; ROMEIKE, F.: Was ist Risiko?, in: RiskNews, 1.Jg., 2004, S.44-45

FINKE, R.B.: Risiko in Unternehmenswertmodellen; in: ROMEIKE, F.; FINKE, R.B.: Erfolgsfaktor Risiko-Management: Chance für Industrie und Handel: Methoden, Beispiele, Checklisten, 1. Auflage, Wiesbaden 2003

FRANTA, O.: Verbesserte Ausbildung für neue Betriebsleiter und –ingenieure-eine wichtige Investition in die Zukunft; in: REICHEL, J.; MÜLLER, G.; MANDELARTZ, J.: Betriebliche Instandhaltung, Berlin und Heidelberg 2009

GRAF, T.: Risikomanagement in einem internationalen Maschinen- und Anlagenbaukonzern; in: HÖLSCHER, R.; ELFGEN, R.: Herausforderung Risikomanagement: Identifikation: Bewertung und Steuerung industrieller Risiken, 1.Auflage, Wiesbaden 2002

GREGERSEN, H; JENSEN, C.S.: Temporal Entity-Relationship models-a survey; in: Knowledge and Data Engineering, IEEE Transactions on, 11. Jg., Nr. 3, 1991, S. 464-497.

GUTENBERG, E.: Unternehmensführung, Organisation und Entscheidungen, Wiesbaden 1962; nach: PHILIPP, F.: Risiko und Risikopolitik, Stuttgart 1967

HEIGL, A.: Controlling – Interne Revision, Stuttgart und New York 1978; nach: WEBER, J.: Einführung in das Controlling: Teil 1: Konzeptionelle Grundlagen, 3. Auflage, Stuttgart 1991

HEINZE, W.; KULLMANN, S.: Risikomanagement in einem diversifizierten Bergbau- und Technologiekonzern; in: HÖLSCHER, R.; ELFGEN, R.: Herausforderung Risikomanagement: Identifikation: Bewertung und Steuerung industrieller Risiken, 1.Auflage, Wiesbaden 2002

HIPFL, J.: Kompressortechnik; in: Hoerbiger Jahrbuch 2014, 2015, S. 62-87

HODAPP, W.: Die Bedeutung einer zustandsorientierten Instandhaltung – Einsatz und Nutzen in der Investitionsgüterindustrie; in: REICHEL, J.; MÜLLER, G.; MANDELARTZ, J.: Betriebliche Instandhaltung, Berlin und Heidelberg 2009

HOPF, C.: 5.2 Qualitative Interviews–ein Überblick; in: FLICK, U; KARDOFF, E., STEINKE, I.: Qualitative Forschung: Ein Handbuch, Reinbeck bei Hamburg 2004

HORN, W.: Dienstleistung Instandhaltung; in: REICHEL, J.; MÜLLER, G.; MANDELARTZ, J.: Betriebliche Instandhaltung, Berlin und Heidelberg 2009

ISKE, F.: 30 Jahre Entwicklung der Instandhaltung – von der ausfallorientierten Instandhaltung zum gemeinsamen TPM und RCM; in: REICHEL, J.; MÜLLER, G.; MANDELARTZ, J.: Betriebliche Instandhaltung, Berlin und Heidelberg 2009

- JONEN, A.: Semantische Analyse des Risikobegriffs: Strukturierung der betriebswirtschaftlichen Risikodefinition und literaturempirische Auswertung; in: Beiträge zur Controlling-Forschung, Nr.11, 2007
- JONES, R.B.: Risk-Based Management: A Reliability Centered Approach, London und New York 2011
- KERN, W.: Industrielle Produktionswirtschaft, 3. Auflage, Stuttgart 1980
- KNIGHT, F.H.: Risk, Uncertainty and Profit, Boston und New York 1921
- KOSOW, H.; GAßNER, R.: Methoden der Zukunfts-und Szenarioanalyse: Überblick, Bewertung und Auswahlkriterien; in: Werkstatt Berichte: IZT, Nr.13, 2008
- KULMHOFER, A.: Risikoorientiertes Anlagenmanagement: Die Bedeutung von Prävention in der Instandhaltung; in: WING Business, 4.Jg., 2009, S.26-29
- LANGE, M.: Reliability Centered Maintenance und die Zukunft der Instandhaltung; in: T.A. Cook Consultants Insight Report, 6.Jg, 2011, S.1-14
- LEIDINGER, B.: Wertorientierte Instandhaltung, Wiesbaden 2014
- LIKER, J.K.; MEIER, D.: The Toyota Way: A practical guide for implementing Toyota's 4Ps, New York 2006
- LUTHER, F.: Der Weg von einer produktionsintegrierten Instandhaltung zum erfolgreichen Dienstleister; in: REICHEL, J.; MÜLLER, G.; MANDELARTZ, J.: Betriebliche Instandhaltung, Berlin und Heidelberg 2009
- LÜCK, W.; UNMUTH, A.: Interne Revision (IR) und Risikomanagement; in: LÜCK,W.: Zentrale Tätigkeitsbereiche der Internen Revision, Berlin 2006
- LÜTHY, F.; WEYRES, S.; NOBIS, W.: Ansätze und Lösungen: Optimierung der Instandhaltungsstrategie; in: Energiewirtschaftliche Tagesfragen, 63.Jg., 2013, S.57-59
- MÄNNEL, W.: Wirtschaftlichkeitsfragen der Anlagenerhaltung, Wiesbaden 1968
- MATYAS, K.: Taschenbuch Instandhaltungslogistik: Qualität und Produktivität steigern, 3. Auflage, Wien und München 2008
- MATSCHKE, M.J.; KOLF, J.: Historische Entwicklung, Begriff und organisatorische Probleme des Controlling, in: Der Betrieb, 33. Jg., 1980, S.601-607; nach: WEBER, J.: Einführung in das Controlling: Teil 1: Konzeptionelle Grundlagen, 3. Auflage, Stuttgart 1991
- MAYRING, P.: Einführung in die qualitative Sozialforschung, 5. Auflage, Weinheim 2002; nach: HIERMANSPERGER, P.; GREINDL, S.: Durchführung qualitativer Interviews und Auswertung: Am Fallbeispiel: Opportunistisches Verhalten im Ein-und Verkauf von Obst und Gemüse, 2005
- MAYRING, P.: Qualitative Inhaltsanalyse, Wiesbaden 2010.

- MIETZNER, D.: Strategische Vorausschau und Szenarioanalysen: Methodenevaluation und neue Ansätze, Dissertation, Potsdam 2009
- MILBERG, J.; REIHART, G.: Produktionssystemplanung; in: EVERSHEIM, W.; SCHUH, G.: Produktion und Management 3: Gestaltung von Produktionssystemen, Berlin und Heidelberg 1999
- MIETZNER, D.: Strategische Vorausschau und Szenarioanalysen: Methodenevaluation und neue Ansätze, Wiesbaden 2009.
- MOUBRAY, J.: Reliability Centered Maintenance, 2. Auflage, New York 1997
- MOUBRAY, J.: RCM- die hohe Schule der Zuverlässigkeit von Produkten und Systemen, Landsberg 1996; nach: BANDOW, G.; SCHAEFER, F-W.: Ganzheitliche Instandhaltung – Strukturen und Strategien; in: FRÜH, K.F.; MAIER, U; SCHAUDEL, D.: Handbuch der Prozessautomatisierung: Prozessleittechnik für verfahrenstechnische Anlagen, 4. Auflage, München 2009
- NAKAJIMA, S.: Management der Produktionseinrichtungen: Total Productive Maintenance, Frankfurt am Main und New York 1995
- NIEKISCH, T.: Störungssystematikbestimmte Instandhaltung in einem *Wafertransportsystem*. Dissertation. Dresden 2001
- NÜTTGENS, M; RUMP, F.J.: Syntax und Semantik Ereignisgesteuerter Prozessketten (EPK); in: Promise, 2002, S. 64-77.
- ONR: ONR 49000 Risikomanagement für Organisationen und Systeme – Begriffe und Grundlagen, 2014
- PAWELLEK, G.: Integrierte Instandhaltung und Ersatzteillogistik: Vorgehensweise-Methoden-Tools, Berlin und Heidelberg 2013
- PHILIPP, F.: Risiko und Risikopolitik, Stuttgart 1967
- POURSHAHID, A.; AMYOT, D.; PEYTON, L.; GHAVANATI, S.; CHEN, P.; WEISS, M.; FORSTER, A.J.: Business Process Management with the user requirements notation; in: Electronic Commerce Research, 9.Jg.,Nr.4, 2009, S.269-316
- PREISS, R.: Methoden der Risikoanalyse in der Technik: Systematische Analyse komplexer Systeme, Wien 2009
- PRION, W.: Die Lehre vom Wirtschaftsbetrieb, Berlin und Heidelberg 1935
- PRÜß, H.: Ökonomische Relevanz der komplexen Anlagenwirtschaft, Dissertation, Rostock 2003
- PRÜß, H.; NEBL, T.: Instandhaltungspolitik im Rahmen einer ganzheitlichen Anlagenwirtschaft; in: Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb (ZWF), 12. Jg., 2006, S. 728-734

- REIF, K.: Automobilelektronik: Eine Einführung für Ingenieure, 4. Auflage, Wiesbaden 2012
- ROMEIKE, F.; FINKE, R.B.: Erfolgsfaktor Risiko-Management: Chance für Industrie und Handel: Methoden, Beispiele, Checklisten, Wiesbaden 2003
- ROMEIKE, F.: Risikomanagement als Grundlage einer wertorientierten Unternehmenssteuerung; in: STOLORZ, C.; FOHMANN, L.: Controlling in Consultingunternehmen, 2. Auflage, Wiesbaden 2005
- ROMEIKE, F.: Der Prozess der Risikosteuerung und -kontrolle; in: ROMEIKE, F.; FINKE, R.B.: Erfolgsfaktor Risiko-Management: Chance für Industrie und Handel: Methoden, Beispiele, Checklisten, Wiesbaden 2003
- ROMEIKE, F.: Gesetzliche Grundlagen, Einordnung und Trends; in: ROMEIKE, F.; FINKE, R.B.: Erfolgsfaktor Risiko-Management: Chance für Industrie und Handel: Methoden, Beispiele, Checklisten, Wiesbaden 2003
- ROMEIKE, F.: Bewertung und Aggregation von Risiken; in: ROMEIKE, F.; FINKE, R.B.: Erfolgsfaktor Risiko-Management: Chance für Industrie und Handel: Methoden, Beispiele, Checklisten, Wiesbaden 2003
- ROSENKRANZ, F.; MISSLER-BEHR, M.: Unternehmensrisiken erkennen und managen: Einführung in die quantitative Planung, Berlin und Heidelberg 2005
- SCHEER, A-W.; NÜTTGENS, M.; ZIMMERMANN, V.: Rahmenkonzept für ein integriertes Geschäftsprozessmanagement, in: *Wirtschaftsinformatik*, 37. Jg., Nr. 5, 1995, S.426-434.
- SCHEER, A-W.: ARIS-House of Business Engineering: Von der Geschäftsprozessmodellierung zur Workflow gesteuerten Anwendung; von Business Process Reengineering zum Continuous Process Improvement; in Veröffentlichung des Instituts für Wirtschaftsinformatik, 133.Jg., 1996
- SCHEER, A-W.: ARIS- Vom Geschäftsprozess zum Anwendungssystem, 3. Auflage, Berlin und Heidelberg 2002
- SCHENK, M.; WIRTH, S.; MÜLLER, E.: Fabrikplanung und Fabrikbetrieb: Methoden für die wandlungsfähige, vernetzte und ressourceneffiziente Fabrik, 2. Auflage, Berlin und Heidelberg 2014
- SCHRÖDER, M.: Der Wartungsvertrag: Vertragsgestaltung der Inspektion-Wartung-Instandsetzung von baulichen Anlagen und Rechtsfolgen, Berlin, Wien und Zürich 2005
- SCOTT, A.: <http://energy.gov/articles/president-obama-talks-energy-state-union-2013>, Abfrage vom 2.12.2015
- STROHMEIER, G.: Ganzheitliches Risikomanagement in Industriebetrieben: Grundlagen, Gestaltungsmodell und praktische Anwendung, Wiesbaden 2007
- STRUNZ, M.: Instandhaltung: Grundlagen-Strategien-Werkstätten, Berlin, Heidelberg 2012

WEBER, J.: Einführung in das Controlling: Teil 1: Konzeptionelle Grundlagen, 3. Auflage, Stuttgart 1991

WHITE, S.A.: Introduction to BPMN; in: IBM Cooperation, 2. Jg., Nr. 0, 2004, S. 0.

WIEGAND, B.; LANGMAACK, R.; BAUMGARTEN, T.: Lean Maintenance System: Instandhaltungszeit Null – volle Wertschöpfung, Mülheim an der Ruhr 2011

WIEGAND, B.: Geleitwort zur neuen deutschen Ausgabe; in: WOMACK, J.P.; JONES, D.T.: Lean Thinking: Ballast abwerfen, Unternehmensgewinne steigern, Frankfurt am Main 2004

WOMACK, J.P.; JONES, D.T.: Lean Thinking: Ballast abwerfen, Unternehmensgewinne steigern, Frankfurt am Main 2004

VDI: VDI 2893: Auswahl und Bildung von Kennzahlen für die Instandhaltung, 2006

VOLLMUTH, J.H.; ZWETTLER, R.: Kennzahlen, Planegg 2008

ZAHN, E.: Produktionstechnologien als Element internationaler Wettbewerbsstrategien; in: DICHTL, E.; GERKE, W.; KIESER, A.: Innovation und Wettbewerbsfähigkeit, Mannheim 1986

ZECH, J.: Integriertes Risikomanagement – Status quo und Entwicklungstendenzen; in: HÖLSCHER, R.; ELFGEN, R.: Herausforderung Risikomanagement: Identifikation: Bewertung und Steuerung industrieller Risiken, 1.Auflage, Wiesbaden 2002

## Abbildungsverzeichnis

<b>Abbildung 2.1</b>	Verlauf des Abnutzungsvorrates einer Einheit .....	4
<b>Abbildung 2.2</b>	Die vier Grundmaßnahmen der Instandhaltung .....	5
<b>Abbildung 2.3</b>	Haupt- und Unterziele der Instandhaltung .....	7
<b>Abbildung 2.4</b>	Die wertorientierte Instandhaltung .....	9
<b>Abbildung 2.5</b>	Die Basisstrategien der Instandhaltung .....	11
<b>Abbildung 2.6</b>	Die Badewannenkurve .....	13
<b>Abbildung 2.7</b>	Sechs Ausfallmuster .....	15
<b>Abbildung 2.8</b>	Exemplarischer Regelkreis in der Instandhaltung .....	17
<b>Abbildung 2.9</b>	Die Anlage und ihre Verlustquellen der Gesamtanlageneffektivität .....	20
<b>Abbildung 2.10</b>	Die Verfügbarkeitskenngrößen .....	21
<b>Abbildung 2.11</b>	Die vier Stufen zur Implementierung des Lean Maintenance Systems .....	24
<b>Abbildung 2.12</b>	Die fünf Bausteine des TPM Konzepts .....	26
<b>Abbildung 3.1</b>	Etymologie des Risikobegriffs .....	29
<b>Abbildung 3.2</b>	Das reine und spekulative Risiko .....	31
<b>Abbildung 3.3</b>	Beispielhafte Risikokategorisierung .....	33
<b>Abbildung 3.4</b>	Der Risikomanagementprozess nach ONR 49000 .....	35
<b>Abbildung 3.5</b>	Methoden der Risikobewertung .....	37
<b>Abbildung 3.6</b>	Das Risikoszenario .....	39
<b>Abbildung 3.7</b>	Eine exemplarische Risikomatrix .....	40
<b>Abbildung 3.8</b>	Die fünf Schritte der Szenariotechnik .....	41
<b>Abbildung 3.9</b>	Grafische Darstellung der Ereignisbaumanalyse .....	42
<b>Abbildung 3.10</b>	Der optimale Sicherheitsgrad .....	43
<b>Abbildung 4.1</b>	Die gestiegene Bedeutung der Anlagenwirtschaft .....	46
<b>Abbildung 4.2</b>	Die zunehmende Bedeutung der Instandhaltung .....	47
<b>Abbildung 4.3</b>	Der RIMAP Ablauf .....	49
<b>Abbildung 4.4</b>	Detaillierungstiefe der Risikoanalyse .....	50
<b>Abbildung 4.5</b>	Beispiel einer Risikomatrix und Risikoklassen .....	51
<b>Abbildung 4.6</b>	Die drei Grundstrategien der Instandhaltung und ihre Einsatzgebiete .....	52
<b>Abbildung 5.1</b>	Das ARIS-Fachkonzept .....	54
<b>Abbildung 5.2</b>	Einfaches ERM Diagramm .....	55

<b>Abbildung 5.3</b> Das EPK Schema .....	56
<b>Abbildung 5.4</b> Beispiel eines BPMN.....	58
<b>Abbildung 6.1</b> Das ER-Modell des zukünftigen Instandhaltungsprozesses .....	70
<b>Abbildung 6.2</b> Die Funktionshierarchie des zukünftigen Instandhaltungsprozesses.....	73
<b>Abbildung 6.3</b> Das Organigramm.....	74
<b>Abbildung 6.4</b> EPC des Teilprozesses zur Auswahl der Instandhaltungsstrategie .....	76
<b>Abbildung 6.5</b> EPC des Teilprozesses der reaktiven Instandhaltung .....	77
<b>Abbildung 6.6</b> EPC des Teilprozesses der präventiven Instandhaltung .....	78
<b>Abbildung 6.7</b> Das ARIS Haus des zukünftigen Instandhaltungsprozesses .....	80
<b>Abbildung 6.8</b> Der Risikowürfel.....	85
<b>Abbildung 6.9</b> Die acht Risikoklassen .....	85
<b>Abbildung 6.10</b> Bestimmung der Auswirkung auf die Instandhaltungskosten.....	86
<b>Abbildung 6.11</b> Bestimmung der Auswirkungen auf QEHS und wertschöpfende Zeit .....	87
<b>Abbildung 6.12</b> Bestimmung der Wahrscheinlichkeit.....	88
<b>Abbildung 6.13</b> Die Risikomatrix .....	91
<b>Abbildung 6.14</b> Der toolunterstützte Risikobewertungsprozess.....	93
<b>Abbildung 6.15</b> Der Aufbau des Tools .....	94
<b>Abbildung 6.16</b> Die Startseite .....	94
<b>Abbildung 6.17</b> Die Seite unter dem Menüpunkt „Strategie“.....	95
<b>Abbildung 6.18</b> Die Seite unter dem Menüpunkt „Risikoklassen“ .....	96
<b>Abbildung 6.19</b> Die Seite unter dem Menüpunkt „Risikoermittlung“ – Basis Information .....	96
<b>Abbildung 6.20</b> Die Seite des Menüpunkts „Risikoermittlung“ – Fragen.....	97
<b>Abbildung 6.21</b> Die Seite des Menüpunkts „Risikoermittlung“ – TPM.....	97
<b>Abbildung 6.22</b> Die Seite der Auswertung.....	98
<b>Abbildung 6.23</b> Der Regelkreis der Instandhaltung .....	99

## Tabellenverzeichnis

<b>Tabelle 2.1</b> Die sieben Verschwendungen in der Instandhaltung .....	23
<b>Tabelle 3.1</b> Exemplarische allgemeine Risikokriterien für die Auswirkungen.....	36
<b>Tabelle 3.2</b> FMEA-Arten .....	38
<b>Tabelle 4.1</b> Die Risiken in der Anlagenwirtschaft .....	45
<b>Tabelle 6.1</b> Kategorien der qualitativen Inhaltsanalyse .....	62
<b>Tabelle 6.2</b> Risikokriterien für die Auswirkung von Ausfällen.....	82
<b>Tabelle 6.3</b> Risikokriterien für die Ausfallwahrscheinlichkeit.....	83
<b>Tabelle 6.4</b> Kennzahlen in der Instandhaltung .....	100



## Abkürzungsverzeichnis

ARIS	Architektur integrierter Informationssysteme
BPMN	Business Process Model Notification
CEN	Europäisches Komitee für Normung
CWA	Committe Workshop Agreement
COSO	Committe of Sponsoring Organizations of the Treadway Commission
DIN	Deutsches Institut für Normung
EN	Europäische Norm
ERM	Entity Relationship Modell
EPK (EPC)	Ereignisgesteuerte Prozesskette
FMEA	Failure Mode and Effects Analysis
HOBE	House of Business Engineering
HRCT	Hoerbiger Risk Classification Tool
ISO	Internationale Organisation für Normung
n(t)	Anzahl der ausgefallenen Komponenten
MDT	Mean Down Time
MES	Maschinendatenerfassungssystem
MTBF	Mean Time Between Failure
MTTR	Mean Time To Repair
OEE	Overall Equipment Effectiveness
ÖNORM	Österreichische Norm
PFi	Wahrscheinlichkeit für Versagen der Barriere
Pinit	Wahrscheinlichkeit für das auslösende Ereignis
Pout,i	Wahrscheinlichkeit eines Endzustands
PSi	Wahrscheinlichkeit für Funktionstüchtigkeit der Barriere
ppm	Parts per million

---

P(t)	Ausfallwahrscheinlichkeit
QEHS	Qualität Umwelt Gesundheit Sicherheit
R(t)	Zuverlässigkeitsfunktion
RIMAP	Risk Based Maintenance Procedures for European Industry
RPZ	Risikoprioritätszahl
T	Zeit
TPM	Total Productive Maintenance
u.a.	Unter anderem
UML	Unified Modelling Language
URL	Uniform Resource Locator
u.U.	Unter Umständen
v(t)	Anzahl der funktionsfähigen Komponenten
VDI	Verein Deutscher Ingenieure
z.B.	Zum Beispiel
$\hat{\lambda}(t)$	Empirische Ausfallrate

## **Anhang**

<b>Anhang 1: Fragebogen für die Experteninterviews .....</b>	<b>115</b>
--	------------

**Anhang 1: Fragebogen für die Experteninterviews**

1.	Wie beurteilen Sie die momentane Transparenz von Instandhaltungsobjekten und – abteilungen in der Hoerbiger Kompressortechnik?
2.	Werden zurzeit Kennzahlen in der Instandhaltung verwendet und welche Kennzahlen eignen sich für einen Einsatz?
3.	Wie bewerten Sie die Sinnhaftigkeit von RCM, TPM, Lean Maintenance und risikobasierter Instandhaltung?
4.	Wo sehen Sie Vor- und Nachteile im Risikomanagement in der Instandhaltung?

<b>5.</b>	Welche Risikobewertungsmethoden eignen sich für die Instandhaltung?
<b>6.</b>	Wie lässt sich das Ausfallverhalten einer Anlage über ihre Betriebszeit beschreiben?
<b>7.</b>	Sind Fehler prognostizierbar und ist eine Aussage über die Ausfallwahrscheinlichkeit von Anlagen möglich?
<b>8.</b>	Welche Faktoren beeinflussen die Schwere der Ausfallfolge von Anlagen?

<b>9.</b>	Was sind die Ziele der Instandhaltung und wie würden Sie diese priorisieren?