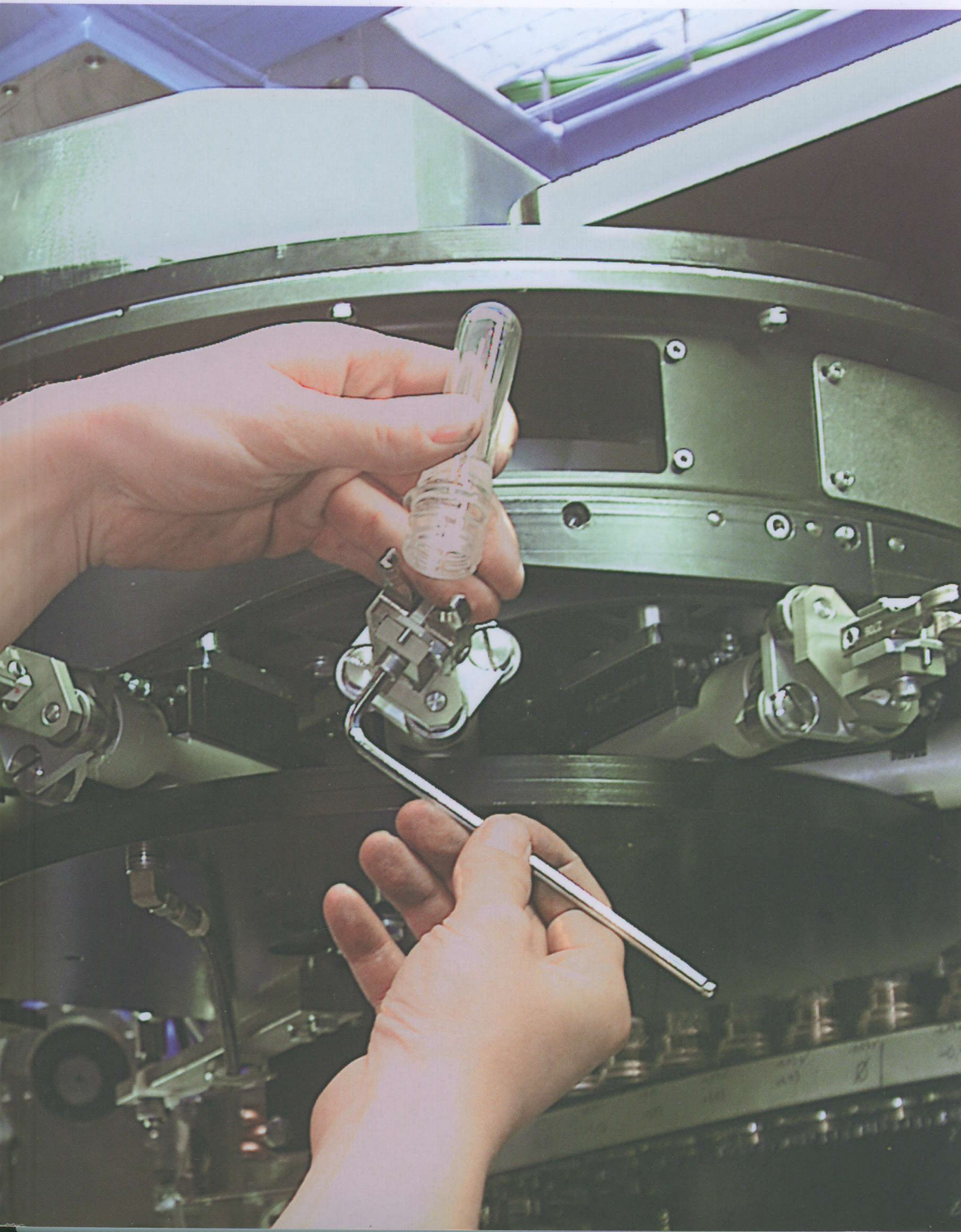


Axel Kuhn / Günter Schuh / Beate Stahl

# Nachhaltige Instandhaltung

Trends, Potenziale und Handlungsfelder  
Nachhaltiger Instandhaltung



GEFÖRDERT VOM



Bundesministerium  
für Bildung  
und Forschung



Fraunhofer  
Institut  
Materialfluss  
und Logistik

**VFI** Ein  
Unternehmen  
des VDMA

**WZL**  
**RWTHAACHEN**

**VDMA Verlag**

Axel Kuhn / Günther Schuh / Beate Stahl

# **Nachhaltige Instandhaltung**

**Trends, Potenziale und Handlungsfelder  
Nachhaltiger Instandhaltung**

# **Trends, Potenziale und Handlungsfelder Nachhaltiger Instandhaltung**

Ergebnisbericht der vom BMBF geförderten Untersuchung  
**„Nachhaltige Instandhaltung“**

**VFI – VDMA Gesellschaft für Forschung und Innovation mbH, Frankfurt  
(VDMA – Verband Deutscher Maschinen- und Anlagenbau e.V.)**

Dr.-Ing. Beate Stahl

**Fraunhofer IML – Fraunhofer-Institut für Materialfluss und Logistik,  
Dortmund**

Prof. Dr.-Ing. Axel Kuhn

**WZL – Laboratorium für Werkzeugmaschinen und Betriebslehre der  
RWTH Aachen, Aachen**

Prof. Dr.-Ing. Dipl.-Wirt. Ing. Günther Schuh

Dr.-Ing. Gerhard Bandow	Fraunhofer IML
Bastian Franzkoch	WZL
Dr.-Ing. Achim Kampker	WZL
Nils Wemhöner	WZL

Die diesem Bericht zugrunde liegenden Arbeiten der Projektpartner wurden mit Mitteln des Bundesministeriums für Bildung und Forschung (BMBF) als Verbundvorhaben mit dem Titel „Nachhaltige Instandhaltung“ unter den Förderkennzeichen 01 RI 05171 (VFI, Projektkoordination), 01 RI 05172 (Fraunhofer IML, Teilvorhaben 2: Tiefenanalyse) und 01 RI 05173 (WZL, Teilvorhaben 1: Breitenanalyse) gefördert.

## **Projekträger:**

Projekträgerschaft Umweltforschung und -technik im Deutschen Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V.

81 Seiten mit 27 Abbildungen

**März 2006**

Axel Kuhn / Günter Schuh / Beate Stahl

**„Nachhaltige Instandhaltung“**

**Trends, Potenziale und Handlungsfelder Nachhaltiger Instandhaltung**

Die Deutsche Bibliothek – CIP-Einheitsaufnahme

Nachhaltige Instandhaltung: Trends, Potenziale und Handlungsfelder Nachhaltiger Instandhaltung / [Axel Kuhn; Günter Schuh; Beate Stahl (Hrsg.)].  
– Frankfurt am Main: VDMA Verlag, 2006

Bestell-Nr. vf 57700

ISBN 3-8163-0522-9

EAN 978-3-8163-0522-4

Bildnachweis Titelseite: Mit freundlicher Genehmigung der Krones AG

Copyright by

VDMA Verlag GmbH

Lyoner Straße 18

D-60528 Frankfurt am Main

Printed in Germany

## Vorwort

Instandhaltung ist ein entscheidender Wertschöpfungsfaktor. Diese Erkenntnis setzt sich in den Unternehmen mehr und mehr durch. Instandhaltung wird heute nicht mehr nur als Kostenfaktor gesehen, sondern als wichtiger Erfolgsfaktor für den Produktionsprozess. Sowohl eine Expertenbefragung als auch eine Fragebogenaktion bei Unternehmen der unterschiedlichen Branchen des produzierenden Gewerbes (Investitionsgüterindustrie, Chemie, Pharma, Automobil, Konsumgüter) zeigen deutlich: Die Bedeutung der Instandhaltung hat erheblich zugenommen – und wird weiter zunehmen. Die Gründe hierfür sind die steigende Automatisierung und Verkettung, die längere Nutzungsdauer der Anlagen, sinkende Investitionen in Neuanlagen und erhöhte Anforderungen an die Verfügbarkeit, die Prozesssicherheit und den Arbeits- und Umweltschutz. Hinzu kommt der resultierende Zeitdruck: Es steht immer weniger Zeit für die Aufgaben der Instandhaltung zur Verfügung; die Anforderungen an das Instandhaltungspersonal werden noch weiter steigen.

Was sind die Beweggründe und Erfolgsfaktoren für diese Entwicklung? Was macht eine zeitgemäße Instandhaltung aus, wie haben Best-Practice-Unternehmen ihre Instandhaltung gestaltet, welchen Beitrag leistet die Instandhaltung zum Unternehmenserfolg und zur Optimierung von Umwelt- und Arbeitsschutz?


Mit diesen Fragen befasst sich der vorliegende Abschlussbericht. Aus den unterschiedlichen Branchen des produzierenden Gewerbes werden die Anforderungen an die Instandhaltung der Zukunft zusammengestellt und die Handlungsfelder für die zukünftige Entwicklung dieses wichtigen Dienstleistungssektors erörtert. Der vorliegende Bericht leistet damit einen wichtigen Beitrag zur Sicherung des Standortes Deutschland – denn eine moderne Instandhaltung ist dafür unabdingbar.

Unser Dank gilt allen, die an der Untersuchung aktiv mitgewirkt haben. Nicht zuletzt danken wir dem Bundesministerium für Bildung und Forschung für die Förderung der Untersuchung sowie dem Projektträger DLR Umweltforschung und -technik für die kompetente Betreuung.

Im März 2006



Dr. B. Stahl



Prof. A. Kuhn



Prof. G. Schuh

## **Kurzbeschreibung**

Wandel, Erneuerung und Zukunftsfähigkeit sind entscheidende Erfolgsfaktoren der produzierenden Industrie am Standort Deutschland. Nachhaltige Instandhaltung schafft Werte, Werte schaffen Zukunftsfähigkeit. Nachhaltige Instandhaltung leistet damit einen wesentlichen Beitrag zur Sicherung des Standortes Deutschland.

Im letzten Jahrzehnt hat ein allgemeines Umdenken in der Instandhaltung stattgefunden. Der Wandel vollzog sich von der Funktionserhaltung zu einer Wertschöpfungsphilosophie. Im Vergleich mit früher stellt der Kunde „Produktion“ wesentlich höhere Anforderungen an die Instandhaltung, die Informationen über die Anlagen, deren Betriebsabläufe und Betriebskostenerfassungen sowie die Kosten- und Leistungstransparenz.

Für viele Aufgaben der Instandhaltung fehlen jedoch die geeigneten Methoden und Instrumente sowie informationstechnischen Lösungen. Und obwohl Führungskräfte der Unternehmen die Bedeutung der Instandhaltung anerkennen, führt die kurzfristige Ergebnismaximierung dazu, dass oft eine erhebliche Diskrepanz zwischen der öffentlichen Darstellung und der betrieblichen Realität besteht. Deshalb sind Forschungs- und Umsetzungsanstrengungen erforderlich, um Defizite in der Instandhaltung zu beheben.

Um Erfolg versprechende Anstrengungen zu identifizieren, wurde die vorliegende Untersuchung durchgeführt. Ziel der Untersuchung war die Beantwortung der übergeordneten Fragestellung, welchen Beitrag die Instandhaltung zum nachhaltigen Wirtschaften und damit zur Zukunftsfähigkeit produzierender Unternehmen leisten kann. Dazu wurden mehr als 20 Experten produzierender Unternehmen befragt; außerdem wurde eine umfassende Untersuchung durchgeführt, an der sich 240 Unternehmen beteiligt haben. Im Fokus der Untersuchung standen insbesondere Klein- und Mittelunternehmen.

Der vorliegende Bericht beschreibt die identifizierten Forschungsbedarfe sowie vielversprechende Lösungsansätze.

## **Abstract**

Change, reformation and sustainability are important success factors for the German producing industry. Sustainable maintenance creates values, and values create sustainability. Sustainable maintenance is an important contribution to the future of the German industry.

The attitude towards maintenance has changed during the last decade. Maintenance used to be the pure maintenance of producing functions; now, maintenance more and more means the maintenance of availability. The requirements of production as the customer to maintenance have increased substantially.

In many cases, maintenance lacks suitable methods and instruments as well as IT solutions. And although company leaders have recognised the increased importance of maintenance, short-term profit optimization often creates a gap between a public commitment to maintenance and reality in production. Therefore, both research and implementation activities are necessary to increase the effectiveness and efficiency of maintenance activities.

This investigation has been performed to identify promising activities. To this end, more than 20 experts from producing companies have been interviewed; in addition, an extensive study with more than 240 companies has been conducted. Focus of both interviews and study are small and medium sized companies, the heart of the German industry.

This report describes both research and implementation gaps that have been identified along with promising activities to address these deficits.

# INHALTSVERZEICHNIS

<b>INHALTSVERZEICHNIS</b> .....	<b>i</b>
<b>Abbildungsverzeichnis</b> .....	<b>iii</b>
<b>Abkürzungsverzeichnis</b> .....	<b>iv</b>
<b>1 Einleitung</b> .....	<b>1</b>
1.1 Problemstellung der Untersuchung.....	1
1.1.1 Wachsende Anforderungen im Ressourcenmanagement.....	1
1.1.2 Bedeutung des Ressourcenmanagements .....	2
1.1.3 Instandhaltung als Kernelement eines nachhaltigen Ressourcenmanagements.....	2
1.1.4 Potenziale nachhaltiger Instandhaltung: Bedarf der Industrie .....	3
1.2 Zielsetzung der Untersuchung .....	4
1.3 Projektkonzeption .....	7
1.3.1 Objektbereich .....	7
1.3.2 Vorgehensweise .....	8
<b>2 Betrachtungsbereich der Untersuchung</b> .....	<b>11</b>
2.1 Nachhaltiges Wirtschaften .....	11
2.2 Nachhaltigkeitsrelevante Tätigkeitsfelder im Unternehmen .....	12
2.3 Managementsysteme.....	13
2.4 Instandhaltung und Nachhaltigkeit.....	14
2.5 Wirtschaftliche und technologische Bedeutung nachhaltiger Instandhaltung.....	16
<b>3 Untersuchungsergebnisse</b> .....	<b>22</b>
3.1 Ergebnisse der Literaturrecherche: Stand der Technik – Entwicklungen, Umsetzungsstand und Industrieverbreitung.....	22
3.1.1 Untersuchungsbereich Organisation .....	23
3.1.2 Untersuchungsbereich Strategie .....	26
3.1.3 Untersuchungsbereich Geschäftsmodelle.....	29
3.1.4 Untersuchungsbereich Technologien .....	30
3.2 Ergebnisse der Unternehmensbefragung: Stand der Technik.....	37
3.2.1 Untersuchungsbereich Organisation .....	38
3.2.2 Untersuchungsbereich Strategie .....	41
3.2.3 Untersuchungsbereich Geschäftsmodelle.....	42
3.2.4 Untersuchungsbereich Technologien .....	43
3.3 Die Handlungsfelder im Detail .....	50
3.3.1 Handlungsfeld 1: Organisation .....	50
3.3.2 Handlungsfeld 2: Strategie .....	56

3.3.3	Handlungsfeld 3: Geschäftsmodelle.....	60
3.3.4	Handlungsfeld 4: Technologien.....	64
3.3.5	Übergeordneter Handlungsbedarf.....	68
<b>4</b>	<b>Zusammenfassung und Ausblick.....</b>	<b>69</b>
<b>5</b>	<b>Verfasser und Ansprechpartner.....</b>	<b>71</b>
5.1	Verfasser.....	71
5.2	Ansprechpartner.....	71
<b>6</b>	<b>Glossar.....</b>	<b>72</b>
<b>7</b>	<b>Literaturverzeichnis.....</b>	<b>79</b>

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1-1:	Potenziale der Instandhaltung als nachhaltiges Ressourcenmanagement	3
Abbildung 1-2:	Defizite möglicher Lösungsfelder	4
Abbildung 1-3:	Strukturierung des Themenfeldes: Ganzheitliche Untersuchung der Einflüsse und Zusammenhänge	5
Abbildung 1-4:	Objektbereich: Akteure im Themenfeld nachhaltiger Instandhaltung für produzierende Unternehmen	8
Abbildung 1-5:	Untersuchungsmethodik im Projekt Nachhaltige Instandhaltung	9
Abbildung 2-1:	System der Nachhaltigen Wirtschaftlichkeit	11
Abbildung 2-2:	Nachhaltige Instandhaltung und Nutzung von Maschinen und Anlagen	16
Abbildung 2-3:	Gründe für die zunehmende Bedeutung der Instandhaltung	17
Abbildung 2-4:	Instandhaltungskosten im Verhältnis zu den Produktionskosten (Orientierungswerte)	19
Abbildung 2-5:	Optimierungspotenziale in der Instandhaltung	19
Abbildung 3-1:	Verbreitung von Condition Monitoring Verfahren	31
Abbildung 3-2:	Beteiligung nach Branchen	37
Abbildung 3-3:	Entwicklung der Bedeutung der Instandhaltung	39
Abbildung 3-4:	Einflussgrößen für die zunehmende Bedeutung der Instandhaltung	39
Abbildung 3-5:	Durch Instandhaltung beeinflusste Zielfaktoren	40
Abbildung 3-6:	Trend „Insourcing vs. Outsourcing?“	41
Abbildung 3-7:	Bedeutung der Instandhaltungsstrategien	42
Abbildung 3-8:	Datenaustausch zwischen Hersteller und Betreiber	43
Abbildung 3-9:	Technologieeinsatz branchenspezifisch	44
Abbildung 3-10:	Sensorenarten nach Technologie	45
Abbildung 3-11:	Verwendete Sensorenarten	45
Abbildung 3-12:	Hinderungsgründe für zustandsorientierte Instandhaltung [Schu05]	46
Abbildung 3-13:	Einsatz eines EDV-Systems in der Instandhaltung	46
Abbildung 3-14:	Nutzungsgrad von IPS-Systemen	47
Abbildung 3-15:	Zusätzliche Funktionen der EDV-Systeme	47
Abbildung 3-16:	Für die Instandhaltung relevante Daten	48
Abbildung 3-17:	Verbreitung von Teleservice-Anwendungen	49

## Abkürzungsverzeichnis

AR	Augmented Reality, Erweiterte Realität
BDE	Betriebsdatenerfassung
BMBF	Bundesministerium für Bildung und Forschung
BMWi	Bundesministeriums für Wirtschaft und Technologie
CBM	Condition Based Maintenance, Zustandsbasierte Instandhaltung
CM	Condition Monitoring, Zustandsüberwachung, oft Synonym für Schwingungsanalyse
CMS	Condition Monitoring System
CMMS	Computerized Maintenance Management System, Computer-unterstütztes Instandhaltungs-Management-System
DLR	Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V.
EADS	European Aeronautic Defence and Space Company
EDV	Elektronische Datenverarbeitung
EU	Europäische Union
ERP	Enterprise Resource Planning, Unternehmens-Ressourcen-Planung
FhG	Fraunhofer-Gesellschaft
FM	Facility Management
FMEA	Failure Mode and Effects Analysis, Fehler-Möglichkeiten- und -Einfluss-Analyse
Fraunhofer IML	Fraunhofer-Institut für Materialfluss und Logistik
IFM	Industrial Facility Management, Industrielles FM
HSEQ	Health, Safety, Environment, Quality
KPI	Key Performance Indicator, Schlüsselkennzahl
IKT	Informations- und Kommunikations-Technologie
IMS	Integriertes Management System (vereint Arbeits-, Umwelt- schutz- und Qualitätsmanagement)
IPS	Instandhaltungs-Planungs- und -Steuerungssystem
IR	Infrarot
IT	Informations-Technologie/-Technik
JIT-IH	Just-In-Time-Instandhaltung
KMU	kleine und mittlere Unternehmen
LCC	Life Cycle Cost, Lebenszykluskosten

LCM	Life Cycle Management, Lebenszyklusmanagement
LFO	Lehrstuhl für Fabrikorganisation
MDE	Maschinendatenerfassung
MS	Microsoft
MTBF	Mean Time Between Failure
MTBR	Mean Time Before Repair
MTTR	Mean Time To Repair
NC	Numerical Control
NIH	Nachhaltige Instandhaltung
OEM	Original Equipment Manufacturer
PdM	Predictive Maintenance, Vorausschauende Instandhaltung
PDM	Produkt-Daten-Management
PLM	Produkt-Lebenszyklus-Management
PPS	Produktionsplanung und -steuerung
RBM	Risk Based Maintenance, Risikobasierte Instandhaltung
RCM	Reliability Centered Maintenance, Zuverlässigkeitsorientierte Instandhaltung
RFID	Radio Frequency Identification, Radio-Frequenz-Identifikation / Funkerkennung
RWTH	Rheinisch-Westfälische Technische Hochschule Aachen
SGU	Sicherheit, Gesundheits- und Umweltschutz
SPS	Speicherprogrammierbare Steuerung
TPM	Total Productive Maintenance, Total Produktive Instandhaltung
VDMA	Verband Deutscher Maschinen- und Anlagenbau e.V.
VFI	VDMA Gesellschaft für Forschung und Innovation mbH
VR	Virtual Reality, Virtuelle Realität
WZL	Laboratorium für Werkzeugmaschinen und Betriebslehre

# 1 Einleitung

Die Unternehmen des produzierenden Gewerbes (ohne Baugewerbe) in Deutschland erwirtschafteten 2005 mit ihren 7,88 Mio. Beschäftigten rund 523,6 Mrd. Euro [StBA06]. Die produzierende Industrie stellt damit etwa 25,8 % des gesamten Bruttoinlandsproduktes und circa 20,3 % der Erwerbstätigen. Eine leistungsfähige industrielle Produktion ist daher für Deutschland unverzichtbar.

Die Bedeutung und der Erfolg industrieller Produktion ergeben sich aus dem Zusammenwirken vieler Faktoren. Erfolgsfaktoren sind z. B. die Innovationskraft und Marktstärke der Industrie, die Flexibilität kleiner und mittlerer Unternehmen sowie die Kompetenz der in der Industrie Beschäftigten.

Dabei sehen sich die Industrieunternehmen seit mehr als zwei Jahrzehnten grundlegenden Veränderungen in den Rahmenbedingungen industrieller Produktion gegenübergestellt. Diese Veränderungen sind noch nicht zum Abschluss gekommen, sondern haben sich in ihrer Komplexität und Dynamik noch weiter verstärkt.

## 1.1 Problemstellung der Untersuchung

### 1.1.1 Wachsende Anforderungen im Ressourcenmanagement

Die Bedeutung der Kapitalrendite als Bewertungsgröße im globalen Wettbewerb führt dazu, dass Produktionssysteme nahe an ihrer Belastungsgrenze betrieben werden. Um dabei die qualitativen und kostenseitigen Anforderungen an die Herstellungsprozesse zu erfüllen, sind die Beherrschung aller Abläufe und eine hohe technische Prozessfähigkeit notwendig.

Getrieben durch einen zunehmenden Automatisierungsgrad, die wachsende Zergliederung der Wertschöpfungskette sowie technologische Weiterentwicklungen steigen die Komplexität und damit auch die Fehleranfälligkeit von Produktionssystemen. Einer vom Laboratorium für Werkzeugmaschinen und Betriebslehre (WZL) der RWTH Aachen in der deutschen produzierenden Industrie durchgeführten Unternehmensbefragung zufolge betrug der Automatisierungsgrad im Durchschnitt 79 % [Schu05]. Unternehmen leisten heute in der Regel nur einen kleinen Wertschöpfungsanteil (vertikale Desintegration), so dass die Prozesse in starken unternehmensübergreifenden Abhängigkeiten ablaufen. Bekannt sind die Beispiele aus der Automobilindustrie, wo ein Lieferverzug zu hohen Konventionalstrafen führen kann. Die technologische Komplexität, die heute in Produktionsanlagen vorliegt, beherrschen Produzenten in der Regel nicht mehr allein (horizontale Desintegration). Die Eigenleistung beschränkt sich häufig auf die Definition des Lastenheftes und den Abnahmeprozess bei der Anschaffung sowie einfache Wartungsarbeiten im Betrieb. Über ein breites Portfolio von Spezialisten für die Instandhaltung (z. B. von Laseranlagen, Programmierung von Steuerungen, Roboteranlagen, mechatronischen Baugruppen oder gebäudetechnischen bzw. infrastrukturellen Einrichtungen) zu verfügen, ist für die Mehrzahl produzierender Unternehmen nicht wirtschaftlich.

### **1.1.2 Bedeutung des Ressourcenmanagements**

Je komplexer Produktionsanlagen sind und je gekoppelter Produktionsprozesse ablaufen, desto größer sind die Kosten und Folgeschäden im Fall einer Produktionsstörung – und desto höher sind damit die Anforderungen an die Prozessfähigkeit. Haben in der Vergangenheit die Steigerung der Produktionsgeschwindigkeit sowie die Erhöhung der Qualitätsanforderungen, d. h. vor allem prozesstechnologische Themen, den größten Raum der Innovations- und Effizienzbestrebungen eingenommen, richtet sich das Augenmerk zunehmend auf die ganzheitliche Beherrschung der Verfügbarkeit in Produktionssystemen [Niem01]. Im produzierenden Gewerbe werden heute technische Verfügbarkeiten für komplexe Systeme von 95 % angestrebt.

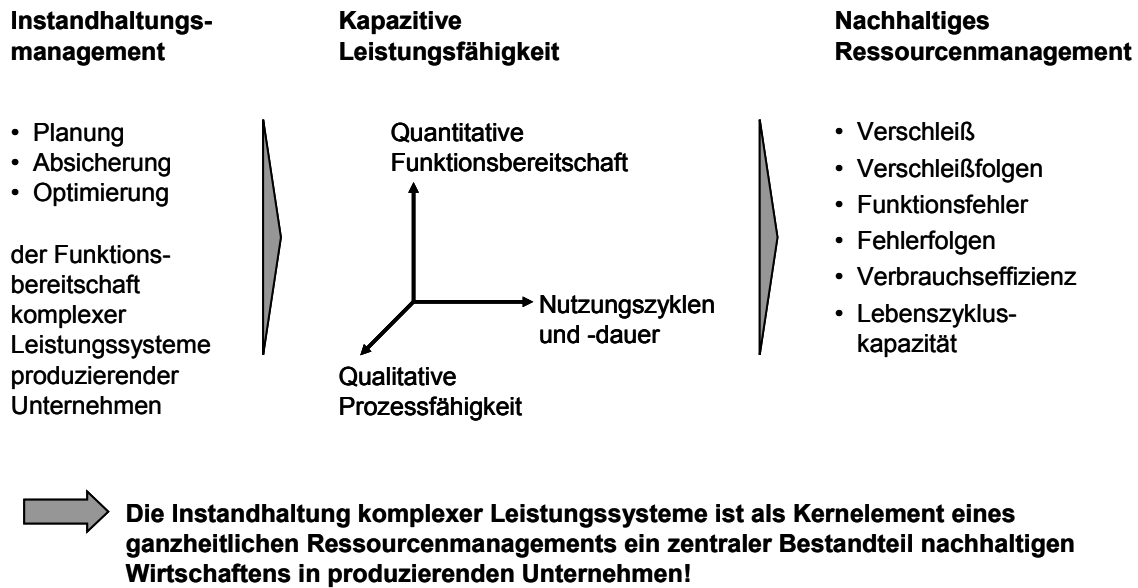
Mit der hohen wirtschaftlichen Relevanz eines ganzheitlichen Verfügbarkeitsmanagements ist ebenso der nachhaltige Ressourceneinsatz eine zentrale Handlungsmotivation für Unternehmen im Themenfeld Instandhaltung. Dies bezieht sich vor allem auf minimalen Ressourcenverbrauch bei Ausschuss, Verbrauchsstoffen und der Nutzungsdauer der Anlagentechnik. In Zukunft wird es nicht ausreichen, nur wirtschaftlich effizient zu sein. Um weiterhin am Markt erfolgreich und wettbewerbsfähig zu sein, sind die Unternehmensaktivitäten, die bisher auf ökonomische Effizienz abzielten, auf Nachhaltigkeitsaspekte zu erweitern. Zukünftig bedarf es zur Wettbewerbsprofilierung an Unternehmensstrategien, die sich durch ökonomische, ökologische und soziale Effizienz auszeichnen. Vor diesem Hintergrund wird von vielen Unternehmen der Beitrag der Instandhaltung als Bestandteil eines ganzheitlichen Verfügbarkeitsmanagements noch unterschätzt.

### **1.1.3 Instandhaltung als Kernelement eines nachhaltigen Ressourcenmanagements**

Die Instandhaltung ist als wesentlicher Bestandteil eines ganzheitlichen Ressourcenmanagements zu verstehen. Es geht dabei um die Planung, Absicherung und Optimierung der kapazitiven Leistungsfähigkeit komplexer Produktionssysteme.

Unter der Leistungsfähigkeit ist nicht nur die Funktionsbereitschaft von einzelnen Maschinen zu verstehen. Eine ganzheitliche Betrachtung richtet sich auf das gekoppelte technische Gesamtsystem und bezieht hier neben dem qualitativen Bereitschaftszustand auch die Nutzungsfähigkeit über den Lebenszyklus der Anlagen mit ein. Der Begriff der Leistungsfähigkeit umfasst gleichermaßen die Aspekte der Effizienz ("Wie viel?") als auch der Effektivität ("Für was?") im Produktionssystem.

Es sind sowohl die quantitative Funktionsbereitschaft, wie beispielsweise die technische Verfügbarkeit, als auch die qualitative Prozessfähigkeit (z. B. Reduktion von Ausschuss, Steigerung der Produktivität) zu erhöhen, um Nutzungszyklen und -dauer von Betriebsmitteln und Bauteilen zu maximieren, deren Abnutzungsvorrat möglichst vollständig auszuschöpfen und die Abnutzung der Produktionsfaktoren (Betriebsmittel, Material, Verbrauchsstoffe etc.) zu minimieren. Insbesondere die Erhöhung der Nutzungsdauer von Leistungssystemen, die eng mit der Wahl der richtigen Instandhaltungsstrategie und des Instandhaltungszeitpunktes einhergeht, ist zentraler Gegenstand nachhaltigen Wirtschaftens in produzierenden Unternehmen.



**Abbildung 1-1: Potenziale der Instandhaltung als nachhaltiges Ressourcenmanagement**

#### 1.1.4 Potenziale nachhaltiger Instandhaltung: Bedarf der Industrie

Der Beitrag der Instandhaltung zur Wertschöpfung wird inzwischen anerkannt: Instandhaltung wird nicht mehr nur als Kostenfaktor betrachtet. Gleichzeitig steigen jedoch auch die Erwartungen an die Instandhaltung kontinuierlich. Instandhaltung muss heute ergebnisorientiert sein; Routine-Prüftätigkeiten in festgelegten Intervallen oder gar nur die Instandsetzung nach Ausfällen erfüllen die Anforderungen nicht mehr. Haben in der Vergangenheit noch reaktive und präventive Instandhaltungsstrategien dominiert, richtet sich heutzutage das Augenmerk vermehrt auf zustandsorientierte Instandhaltungsstrategien – mit steigender Tendenz. Dies resultiert daraus, dass die Kosten für unterlassene oder fehlerhafte Instandhaltung ca. viermal so hoch wie die direkten Instandhaltungskosten eingeschätzt werden.

Die Potenziale und Handlungsmuster nachhaltiger Instandhaltung sind jedoch noch weitgehend unbekannt. Insbesondere werden ein nachhaltiger und ein wirtschaftlicher Ressourceneinsatz noch vielfach als widersprüchlich erachtet. Dass dies mit Konzepten nachhaltiger Instandhaltung noch nicht überwunden werden konnte, liegt an verschiedenen Gründen: Neue Technologien wie z. B. die Sensorik im Feld der zustandsorientierten Instandhaltung haben bisher eine noch zu geringe Anwendungsbreite und einen zu geringen Bekanntheitsgrad. Im Zusammenspiel der Unternehmensfunktionen wird die Instandhaltung noch oft unzureichend aufbau- und ablauforganisatorisch sowie informationstechnisch integriert. Unternehmensübergreifend haben die an der Themenstellung beteiligten Akteure wie Technologiehersteller, Maschinen- und Anlagenbauer und Produzenten aus beispielsweise der Automobil-, Konsumgüter oder Investitionsgüterindustrie bisher nur wenige und oft unzureichende Leistungsangebote, Geschäftsmodelle und Kooperationsbeziehungen entwickelt, um dem ökonomischen und ökologischen Potenzial nachhaltiger Instandhaltung gerecht zu werden.

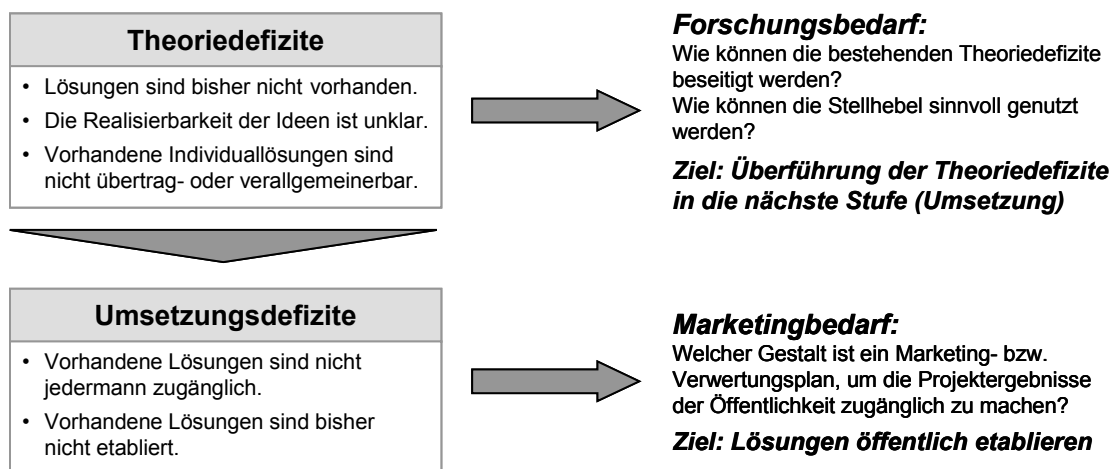
Daher besteht in der produzierenden Industrie ein großer Bedarf, zu untersuchen, welche Themenfelder im nachhaltigen Verfügbarkeitsmanagement zu adressieren sind und welche Potenziale sich damit verbinden lassen. Insbesondere sind Entwicklungspfade und Handlungsmuster aufzuzeigen, die als Leitbild herangezogen werden können.

## 1.2 Zielsetzung der Untersuchung

Die Optimierungspotenziale der Instandhaltung als wesentlicher Bestandteil eines nachhaltigen Ressourcen- und ganzheitlichen Verfügbarkeitsmanagements zur Kombination und Maximierung ökonomischer, ökologischer und sozialer Effizienz sind bisher nur unzureichend erschlossen.

Ziel des Vorhabens war die Durchführung einer detaillierten Situationsanalyse bezüglich des Problemfeldes „Nachhaltige Instandhaltung“ in unterschiedlichen Branchen der produzierenden Industrie, um in einem ersten Schritt branchenübergreifende und -spezifische Potenziale und Trends nachhaltiger Instandhaltung zu identifizieren. Diese Identifikation ging mit der Ermittlung gegenwärtiger Defizite in der industriellen Praxis einher, wobei grundsätzlich zwei Arten von Defiziten zu unterscheiden sind.

Theoriedefizite entstehen aus dem Zusammenhang, dass für Praxisprobleme entweder keine Lösungsideen existieren oder die Unternehmen an der Realisierung bzw. Generalisierung scheitern. Umsetzungsdefizite liegen in der Tatsache begründet, dass es zwar Lösungen für Praxisprobleme gibt, diese jedoch nicht etabliert und somit nicht jedermann zugänglich sind.



**Abbildung 1-2: Defizite möglicher Lösungsfelder**

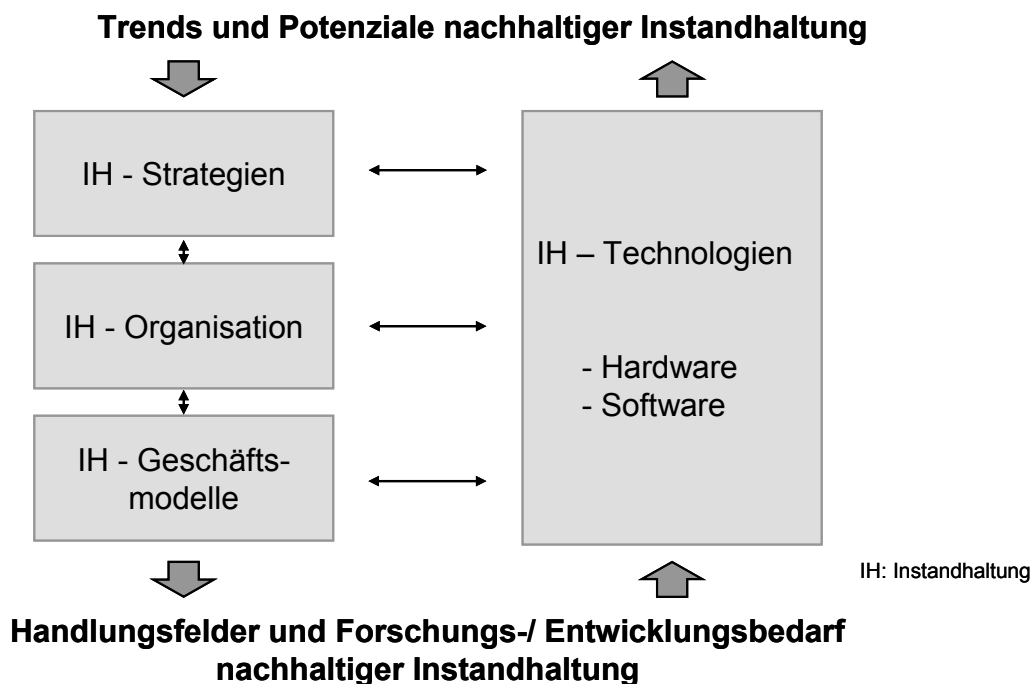
Der Identifikation der wesentlichen Entwicklungen und Defizite in dem Themenfeld (vgl. Kapitel 2) schloss sich die Ermittlung und Erarbeitung branchenspezifischer und -übergreifender Forschungsfelder und Entwicklungsbedarfe an (vgl. Kapitel 3.3). Diese dienen in Fortsetzung der Erschließung der Optimierungspotenziale nachhaltiger Instandhaltung, wie beispielsweise der zielgerichteten Integration zustandsorientierter Instandhaltung in technologischer und organisatorischer Hinsicht zur Nutzungsdauer-Verlängerung der Betriebsressourcen. Auf Basis der Forschungsfelder und Entwicklungsbedarfe werden in Kapitel 3.3 auch Handlungsempfehlungen gegeben, wie sowohl die Theoriedefizite durch Überführung in Umsetzungsdefizite als auch die Umset-

zungsdefizite durch Multiplikatoreffekte und Breitenwirksamkeit beseitigt werden können.

Um im Rahmen der detaillierten Situationsanalyse eine ganzheitliche Untersuchung der Einflüsse und Zusammenhänge zu gewährleisten, wurde das Themenfeld in anwendungs- und angebotsgetriebene Entwicklungen und Bedarfe strukturiert (vgl. Abbildung 1-3).

Im Themenfeld *Instandhaltungsstrategie* wurde ermittelt, wie die Instandhaltungsstrategie zielgerichtet auf die spezifische Unternehmensstrategie abzustimmen ist. Dabei stand die Frage im Mittelpunkt, welche Form der Instandhaltung in welchem Anwendungszusammenhang und bei welchem Objekt anzuwenden ist. Von Interesse ist in diesem Zusammenhang insbesondere eine lebenszyklusorientierte Aufwand-/Nutzen-Bilanzierung sämtlicher Instandhaltungsaktivitäten auf Grundlage der unterschiedlichen Instandhaltungsstrategien.

Im Bereich der *Instandhaltungsorganisation* war zu erforschen, wie die Instandhaltung als Bestandteil eines ganzheitlichen Verfügbarkeitsmanagements ablauforganisatorisch in die Unternehmensprozesse zu integrieren ist und welchen dienstleistenden Beitrag zur Wertschöpfung eines Unternehmens sie leistet. Aufbauorganisatorisch war die Verteilung von Instandhaltungsumfängen auf Produktions-, Instandhaltungs- sowie Fremdpersonal (externe Dienstleistung) und in Abhängigkeit von dem erforderlichen Instandhaltungszeitpunkt und unter Berücksichtigung der jeweiligen Personalqualifikation zu ergründen.



**Abbildung 1-3: Strukturierung des Themenfeldes: Ganzheitliche Untersuchung der Einflüsse und Zusammenhänge**

Im Themenfeld *Instandhaltungsgeschäftsmodelle* wurde in erster Linie die Interaktion von Ausrüstern bzw. Maschinenherstellern, Anwendern und externen Technologie- und Instandhaltungsdienstleistern untersucht. Zu beantwortende Fragestellungen in diesem Themenfeld waren beispielsweise:

- Welche Aspekte und Inhalte umfasst ein nachhaltiger Lifecycle-Engineering-Ansatz?
- Welcher Gestalt sind Kooperations- und Dienstleistungskonzepte?
- Wie kann die Methodik des Reliability Engineering in die Methoden und Prozesse der Prozess- und Ressourcenplanung integriert werden?
- Wie werden gegenwärtig (Technologie-)Lernkurveneffekte unternehmensübergreifend etabliert und genutzt?

Im Themenfeld *Instandhaltungstechnologien* wurden Hard- und Softwarelösungen adressiert. Im Bereich der Hardware waren dabei folgende Fragestellungen zu beantworten:

- Anhand welcher Kriterien wird ein nachhaltiges Ressourcenmanagement bereits bei der Planung, Entwicklung und Auswahl neuer Maschinen und Anlagen berücksichtigt?
- Welche technologische Reife besitzen innovative Sensorlösungen und Lösungen der Zustandserfassung?
- Welche Möglichkeiten der Schnittstellenstandardisierung existieren im Bereich der Zustandserfassung?
- Welche Möglichkeiten bieten Technologien wie Augmented Reality?

Im Bereich Software waren vorhandene Softwarelösungen und Datenstandards auf ihre Eignung für ein nachhaltiges Ressourcenmanagement zu erforschen. Dabei waren u. a. folgende Fragestellungen zu beantworten:

- Wie finden Daten- und Workflow-Integration in bestehende Systemumgebungen statt?
- Welche Synergien zu neuen Informations- und Kommunikationssystemen existieren?
- Welche Verbreitung und insbesondere welchen Reifegrad haben die Fernüberwachung und -diagnose mittels Online-Sensorik und -Monitoring?
- Wie lassen sich Systeme zur Zustandserfassung und IPS-Systeme verknüpfen, um die erfassten Daten zur Diagnose des Anlagenzustandes und Prognose der Restnutzungsdauer sowie zur optimierten Planung und Steuerung der Instandhaltung zu nutzen?

Im Fokus der Untersuchung standen insbesondere die Klein- und Mittelunternehmen (KMU). Nach Angaben des Bundesministeriums für Wirtschaft und Technologie (BMWi) sind etwa 99,7 % aller Unternehmen in Deutschland mittelständische Unternehmen. Sie stehen für 70 % aller Beschäftigten und bilden fast 83 % aller Lehrlinge aus. Auch im Maschinenbau dominieren mittelständische Betriebsstrukturen. Über 86 % der Unternehmen beschäftigen weniger als 250, nur 2,2 % mehr als 1000 Mitarbeiter. Mehr als zwei Drittel der Unternehmen haben sogar weniger als 100 Beschäftigte. Qualitativ ist die Bedeutung der KMU für die Wertschöpfung volkswirtschaftlich noch größer: Viele Großunternehmen »leben« von den KMU als Zulieferbetriebe für Dienstleistungen und hochwertige Produkte. Sie sind daher abhängig vom Wissen und Können der kleinen Betriebe.

Insbesondere in den Bereichen Instandhaltung und Service sind die Unternehmen ständig gefordert, mit Wissen neu oder mit neuem Wissen umzugehen, da nur so den sich ständig ändernden Anforderungen und Rahmenbedingungen Rechnung getragen werden kann. KMU sind als innovative Dienstleistungsanbieter zum Teil Vorreiter, andererseits warten sie jedoch oft, bis die großen Unternehmen mit Themen wie der nachhaltigen Instandhaltung Erfahrungen gesammelt haben, und handeln dann je nach Ergebnis. Die Ursache hierfür liegt darin begründet, dass sie in anderen Bereichen dringenderen Handlungsbedarf sehen oder an der finanziellen Machbarkeit (zu teuer) zweifeln.

Dabei könnten gerade KMU erheblich von den Einsparpotenzialen eines nachhaltigen Ressourcen- und ganzheitlichen Verfügbarkeitsmanagements profitieren. Denn Mitarbeiter in KMU tragen bereits heute weitgehend die Gesamtverantwortung für die von ihnen betreuten Maschinen und Prozesse und verfügen daher über unschätzbare Wissen zur Erschließung der Potenziale einer nachhaltigen Instandhaltung. Sie verfügen jedoch oft nicht über die entsprechenden Informationen und Werkzeuge.

Ziel dieser Untersuchung war es daher auch, aufzuzeigen, wie gerade KMU durch nachhaltige Instandhaltung die Wirtschaftlichkeit ihrer Prozesse erhöhen können, indem der Abnutzungsvorrat der Maschinen und Anlagen optimal genutzt wird, keine ungeplanten Betriebsunterbrechungen auftreten und Ausschuss sowie Nacharbeit minimiert werden.

## **1.3 Projektkonzeption**

### **1.3.1 Objektbereich**

In der Untersuchung berücksichtigt wurden alle relevanten Akteure im Themenfeld nachhaltiger Instandhaltung:

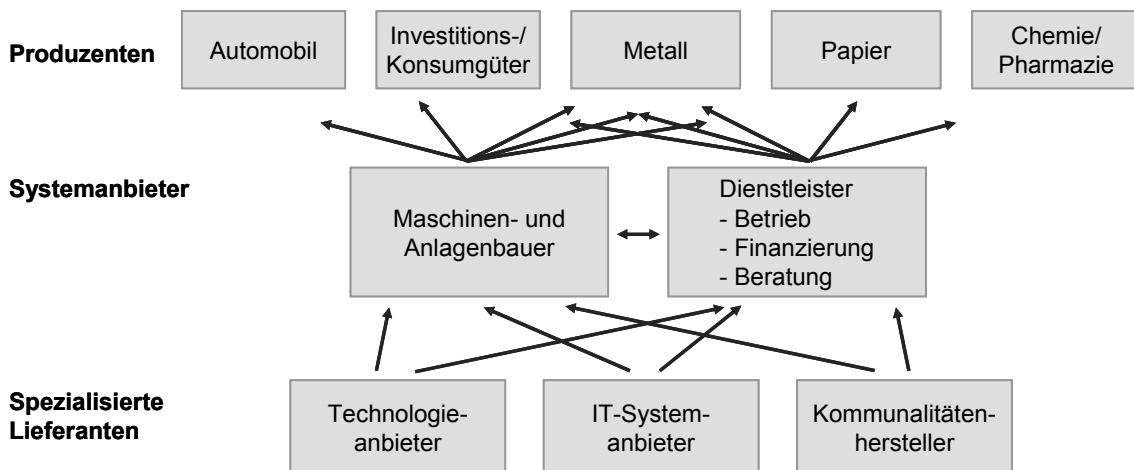
- Produzenten,
- Systemanbieter und
- spezialisierte Lieferanten.

Im Bereich der Produzenten wurden solche Industriezweige berücksichtigt, die einerseits für den deutschen Industriestandort von herausragender wirtschaftlicher Bedeutung sind, in denen jedoch andererseits eine nachhaltige Instandhaltung besonders relevant und breitenwirksam ist. Vorrangig untersuchte Branchen sind die Automobil-, die Konsumgüter- sowie die Prozess-, Metall-, Papier- und Investitionsgüterindustrie.

Zu den Systemanbietern gehören sowohl Unternehmen des Maschinen- und Anlagenbaus im Sinne von Ausrüstern der Produzenten als auch Dienstleistungsunternehmen, die die Produzenten technisch (Ausführen oder Aufrechterhalten des Betriebes) oder finanziell (Finanzdienstleistung) beraten. Als Dienstleister wurden auch unabhängige Service-Abteilungen von Maschinen- und Anlagenbauern aufgefasst, die beispielsweise für die Inbetriebnahme der Anlage beim Kunden sorgen oder Störungen der Anlage in der Betriebsphase beheben. Insbesondere den Unternehmen des Maschinen- und Anlagenbaus wurde eine Schlüsselstellung zuteil, da sie gleichermaßen Hersteller (Produzenten) und Lieferanten (Systemanbieter) von Investitionsgütern sind.

Unter spezialisierten Lieferanten wurden Technologieanbieter, IT-Systemanbieter und Kommunalitätenhersteller verstanden. Technologisch hat die Untersuchung sich in diesem Bereich schwerpunktmäßig mit Anbietern von Sensorik, Aktorik sowie von Re-

gelungs- und Steuerungssystemen beschäftigt, die entweder mit ihren Endprodukten direkt die Produzenten zur Optimierung ihrer Instandhaltungsaktivitäten beliefern oder deren Produkte bei Systemanbietern als Integralbauteile (z. B. intelligenten Spindeleinheit) verbaut werden. Seitens der IT-Systemanbieter wurden im Speziellen Hersteller und Lieferanten von ERP-Systemen, Instandhaltungsplanungs- und -steuerungssystemen sowie von Maschinensteuerungen (NC, SPS) angesprochen. Von den Kommunalitätenherstellern wurden solche angesprochen, die für Instandhaltungsfragestellungen relevante Bauteile oder Baugruppen herstellen (z. B. Dichtungen, Lager, Verschleißteile).



**Abbildung 1-4: Objektbereich: Akteure im Themenfeld nachhaltiger Instandhaltung für produzierende Unternehmen**

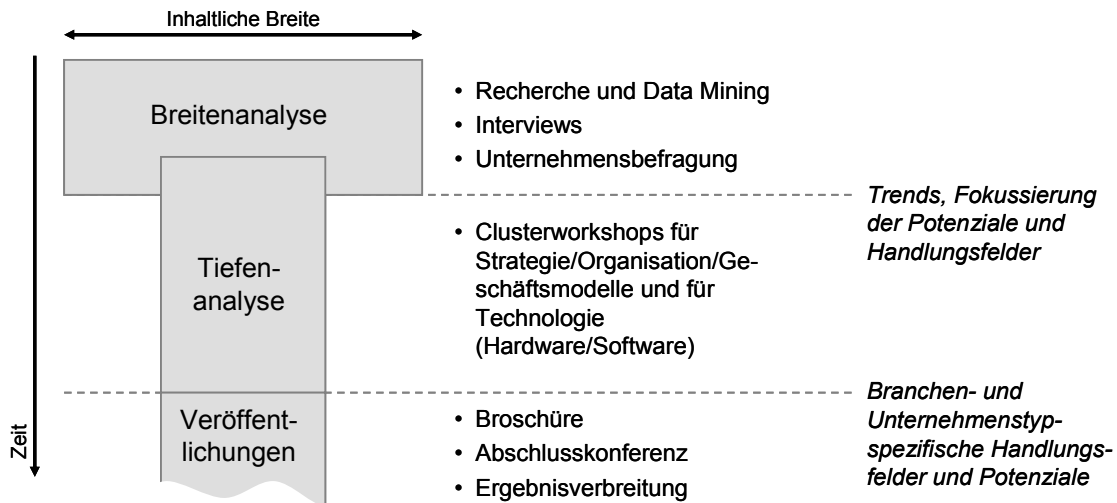
## 1.3.2 Vorgehensweise

### 1.3.2.1 Untersuchungsmethodik

Die inhaltliche Vorgehensweise des sechsmonatigen Vorhabens basierte auf der in Abbildung 1-5 dargestellten Untersuchungsmethodik.

In einem ersten Schritt wurden in der Breitenanalyse Recherche- und Data-Mining-Tätigkeiten sowie gezielte Experteninterviews mit ausgewählten Unternehmen unterschiedlicher Branchen durchgeführt. Dadurch wurden einerseits Thesen für die anonyme Unternehmensbefragung aufgebaut, andererseits die vorselektierten Themenschwerpunkte hinsichtlich ihrer Relevanz überprüft. In einer Unternehmensbefragung wurden – basierend auf einer repräsentativen Stichprobe – nicht nur allgemeine Trends und Entwicklungen identifiziert, sondern auch branchenübergreifend richtungweisende Hinweise in Bezug auf eine Fokussierung von Potenzialen und Handlungsfeldern erarbeitet.

In der sich anschließenden Tiefenanalyse (vgl. Abbildung 1-5) wurden in Workshops die in der Breitenanalyse identifizierten Potenziale und Handlungsfelder mit Unternehmen diskutiert. Hierbei wurden neben der Ermittlung von Branchenunterschieden unterschiedliche Sichtweisen in Abhängigkeit der jeweiligen Rolle eines Unternehmens im Objektbereich erfasst und bewertet. Themen der Workshops waren Strategie / Organisation / Geschäftsmodelle bzw. Technologie (Soft- und Hardware).



**Abbildung 1-5: Untersuchungsmethodik im Projekt Nachhaltige Instandhaltung**

### 1.3.2.2 Inhaltliche Arbeitspakete

#### I. Breitenanalyse

Ziel dieses Arbeitspaketes war die Erlangung inhaltlicher Breite in dem Themenfeld mit Hilfe von Recherchen und Data Mining, Experteninterviews und einer Unternehmensbefragung.

##### 1.1 Recherche und Data Mining

Durch die Recherche und das Data Mining wurden technologische Entwicklungen und Innovationen dokumentiert. Außerdem wurden der Umsetzungsstand und die Industrieverbreitung der Entwicklungen erfasst. Durch die Sammlung und Bildung aussagekräftiger Kenndaten und -zahlen wurde eine Basis für anschließende Benchmarkinganalysen geschaffen.

##### 1.2 Interviews

Zur Durchführung der Experteninterviews war die Entwicklung eines standardisierten Gesprächsleitfadens, der unternehmens- oder branchenspezifisch angepasst werden kann, erforderlich. Dieser beinhaltet Fragen zu den vier Themenfeldern Strategien, Organisation, Geschäftsmodelle und Technologien (Hard- und Software). Wichtig für den Fortgang des Vorhabens war die anlässlich der Gesprächsorganisation vorzunehmende Auswahl repräsentativer Unternehmen. Unternehmensseitige Ansprechpartner waren Verantwortliche aus den Bereichen Industrial Engineering, Instandhaltung und Produktion. Nach der Durchführung der Gespräche wurden diese zunächst separat ausgewertet und dokumentiert. Im Anschluss daran erfolgte die interne Konsolidierung der Teilergebnisse. Es wurden mehr als 20 Gespräche geführt.

### *I.3 Unternehmensbefragung*

Basierend auf den ersten Erkenntnissen der Recherche und der Interviews wurde zunächst der Fragebogen konzipiert. Anschließend wurden alle Fragebögen detailliert ausgewertet (Ergebnisse siehe Kapitel 3.2). Die Resonanz auf den Fragebogen war beachtlich; statt der geplanten ca. 50 Rückläufer wurden mehr als 200 Fragebögen ausgewertet.

## **II. Tiefenanalyse**

In diesem Arbeitspaket wurden zur Erlangung inhaltlicher Tiefe themenspezifische Workshops und Tiefeninterviews durchgeführt.

### *II.1 Ergebniskonsolidierung, Clusterbildung*

Die Ergebnisse aus den drei Arbeitsschritten der Breitenanalyse wurden miteinander abgeglichen und branchen- bzw. unternehmenstypspezifisch konsolidiert.

### *II.2 Workshops*

In mehreren Workshops wurden die Themen Strategie/Organisation/Geschäftsmodelle bzw. Technologie (Soft- und Hardware) mit zahlreichen Firmen diskutiert. Dabei wurden der Stand der Technik, aktuelle Probleme und Handlungsfelder sowie Erfolg versprechende Lösungsansätze sowie deren Probleme ausführlich diskutiert.

Mit Hilfe der Workshops wurden außerdem die Ergebnisse der Breitenanalyse von einem breiteren Expertenkreis validiert, reflektiert, ergänzt und hinsichtlich des Handlungs- und Forschungsbedarfes priorisiert.

### *II.3 Tiefeninterviews*

Im Verlauf der Tiefeninterviews wurden Unternehmen insbesondere zu vorformulierten Thesen befragt, die die erarbeiteten Ergebnisse prägnant widerspiegeln. In einem letzten Schritt wurden insbesondere die Probleme und Potenziale in den vier Themenfeldern Strategien, Organisation, Geschäftsmodelle und Technologien (Hard- und Software) diskutiert.

## 2 Betrachtungsbereich der Untersuchung

Im Folgenden wird der Betrachtungsbereich der Untersuchung *Nachhaltige Instandhaltung* vorgestellt. Zunächst werden in Kapitel 2.1 die Zusammenhänge von Nachhaltigem Wirtschaften und Instandhaltung kurz dargestellt. Dazu wird aufgezeigt, welche Bedeutung die Instandhaltung aus ökonomischer, ökologischer, sozialer und technischer Sicht hat. In Kapitel 2.2 wird der aktuelle Stand der Technik auf Basis einer eingehenden Literaturrecherche, der schriftlichen Befragung von Führungskräften der produzierenden Industrie und von Experteninterviews beleuchtet. Diese Betrachtung ist eine wesentliche Voraussetzung zur Analyse der Herausforderungen für die Instandhaltung und zur Identifikation von Handlungsfeldern, Potenzialen und Forschungsbedarf.

### 2.1 Nachhaltiges Wirtschaften

Nachhaltiges Wirtschaften – eine der zahlreichen Interpretationen des Begriffs „Sustainable Development“ aus dem Brundtland-Bericht der Weltkommission für Umwelt und Entwicklung [Hauf87] – wird heute als wesentlicher Teil erfolgreicher Unternehmensführung angesehen [Schu02]. Nachhaltiges Wirtschaften heißt, das Prinzip der Generationenverantwortung, das die Belange nachfolgender Generationen schützen soll, und die Verknüpfung von sozialen, ökonomischen und ökologischen Zielen zu verfolgen. Nachhaltigkeit kann einen maßgeblichen Beitrag für den Ausbau der wirtschaftlichen Wettbewerbsfähigkeit leisten, um mehr Wertschöpfung und Beschäftigung zu ermöglichen. Dabei soll Wertschöpfung von Ressourcenverbrauch entkoppelt sowie nachhaltige Produktnutzungsstrategien und Konsummuster berücksichtigt werden. So ist die Umsetzung von Nachhaltigkeitsstrategien in produzierenden Unternehmen entscheidend für die Zukunftsfähigkeit des Standorts Deutschland.

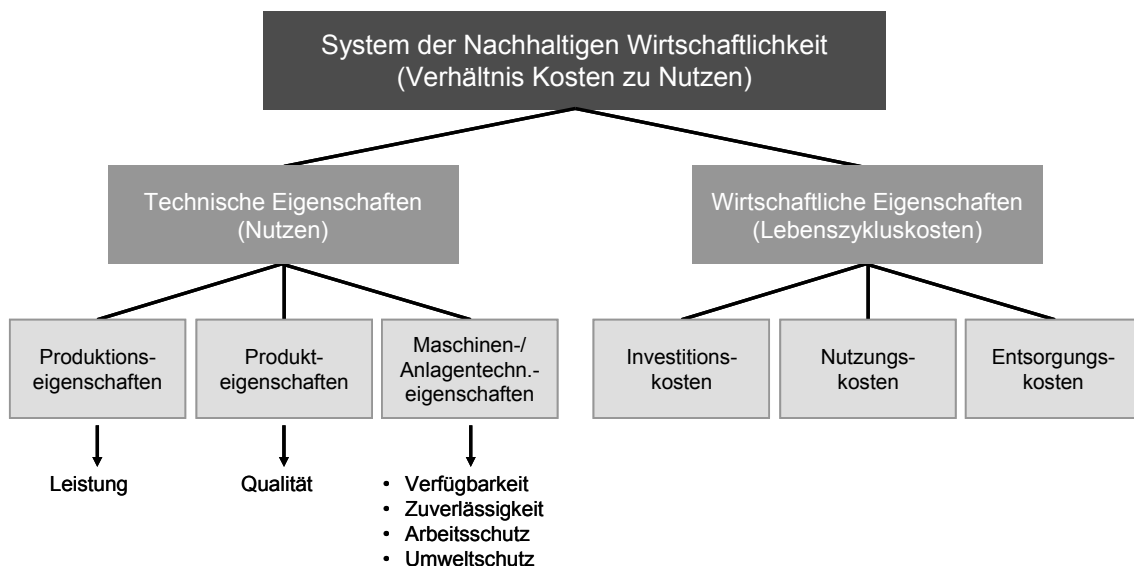


Abbildung 2-1: System der Nachhaltigen Wirtschaftlichkeit

## 2.2 Nachhaltigkeitsrelevante Tätigkeitsfelder im Unternehmen

Das Spektrum der nachhaltigkeitsrelevanten Tätigkeitsfelder steht in enger Beziehung zur Einstellung eines Unternehmens zur Umwelt und zum Umweltschutz sowie zur Sicherheit und zum Arbeitsschutz. Es ist einleuchtend, dass eine defensive, reaktive Position weniger nachhaltigkeitsrelevante Aktivitäten nach sich zieht als eine offensive, aktive Unternehmenspolitik. Insgesamt lassen sich drei Unternehmenspositionen unterscheiden (vgl. [Schr96]):

Die *ausschließliche Anpassung an gesetzlich vorgeschriebene Maßnahmen* erfordert nur wenig strategisches, unternehmensplanerisches Handeln. Vielmehr steht die praktisch-technische Umsetzung von vorgeschriebenen Einzelmaßnahmen im Vordergrund. Dabei werden anfallende Arbeits- und Umweltschutzkosten den im Falle einer Missachtung der Vorschriften zu erwartenden Bußgeldern gegenübergestellt. Dieser reine Wirtschaftlichkeitsvergleich birgt die Gefahr steigender Personen- und Umweltschäden und in Folge eine zunehmend restriktivere Gesetzgebung, die den Gestaltungsspielraum der Unternehmen stark einengt [Wiet96].

Um die gesetzlichen Vorschriften zu erfüllen, ist eine einzelfallbezogene Informationsbeschaffung, Rechtskunde sowie fallweise Schaffung organisatorischer, technischer und personeller Voraussetzungen erforderlich. Die Aktivitäten beschränken sich jedoch schwerpunktmäßig auf den operativen Bereich. Das hat zur Folge, dass nur wenige, kritische Stellen im Unternehmen mit Arbeits- und Umweltschutzaktivitäten zu tun haben. Die wesentlichen Tätigkeiten sind: warten (von Wartung, nicht von abwarten), messen, beobachten, analysieren, instandsetzen, installieren, dokumentieren und berichten.

Diese Aufzählung zeigt bereits, dass zum einen die Instandhaltung direkt genannt ist (warten und instandsetzen) und zum anderen die weiteren genannten Tätigkeiten ebenfalls typische Aufgaben der Instandhaltung sind. Denn die Instandhaltung muss im Rahmen ihrer Hauptaktivitäten Inspektion, Wartung, Instandsetzung und Verbesserung messen, beobachten, analysieren, dokumentieren und berichten.

Sobald ein Unternehmen *über das gesetzlich vorgeschriebene Maß* hinausgehende Motivationen – wie beispielsweise Kostensenkung oder Erhöhung der Marktchancen – mit der Durchführung arbeits- und umweltschützender Maßnahmen verbindet, verlagern sich die Tätigkeitsschwerpunkte und der Aufgabenkatalog wächst erheblich an. Jetzt ist vor allem das Mittelmanagement gefordert, planend, koordinierend, steuernd und kontrollierend aktiv zu werden. Um erwartete Entwicklungen aus rechtlicher, technischer und ökonomischer Sicht vorwegnehmen zu können, ist eine aktive Informationsbeschaffung und -aufbereitung, aktive Beteiligung am Wissens- und Technologietransfer sowie die Umsetzung von Maßnahmen im Betrieb einschließlich der Motivation und Aus- und Weiterbildung der Mitarbeiter erforderlich.

Hierbei kann ein Unternehmen von den Erfahrungen der Instandhaltung erheblich profitieren. Die genannten Aufgaben gehören weitgehend zum Aufgabenspektrum einer modernen Instandhaltung. Denn nur auf Basis dieser Aktivitäten kann sie die von der Produktion geforderte Verfügbarkeit der Maschinen und Anlagen sicherstellen, Schwachstellen erkennen und beseitigen, Maschinen und Anlagen an veränderte Anforderungen anpassen, die Produktionsmitarbeiter für Instandhaltungsaufgaben schulen etc. Eine Erweiterung um umweltschutzbezogene Aspekte ist daher relativ leicht möglich. Weiterhin ist die Instandhaltung durch ihre Verantwortung für Revisionen, TÜV-Überprüfungen und große Stillstandsmaßnahmen den Umgang mit Behörden gewohnt. Diese Behördenkontakte berühren bereits die gesetzlich vorgeschriebenen

Regelungen zum Gesundheits-, Arbeits- und Umweltschutz. Diese Kontakte können genutzt werden, um darüber hinausgehende Maßnahmen abzustimmen und zukünftige Änderungen vorwegzunehmen.

Voraussetzung für alle genannten Vorteile durch Rückgriff auf die Erfahrungen der Instandhaltung ist jedoch, dass die Instandhaltung im Unternehmen anerkannt und aktiv in Entscheidungen einbezogen wird. Es ist beispielsweise notwendig, Maschinen und Anlagen zu beschaffen, die von vornherein die Anforderungen des Arbeits- und Umweltschutzes sowie der Instandhaltung erfüllen. Nur so kann sichergestellt werden, dass Anpassungen an veränderte Bedingungen (z. B. niedrigere Grenzwerte für Emissionen) möglich sind und die Instandhaltung Ursachen beseitigen und nicht nur Symptome bekämpfen kann.

Erhebt ein Unternehmen die *Nachhaltigkeit* zum *Unternehmensziel*, sind alle Unternehmensbereiche und damit alle Mitarbeiter bis einschließlich des Top-Managements gefordert. Für diese Unternehmen stellen die rechtlich festgeschriebenen Mindeststandards lediglich eine Untergrenze dar, die ihnen zur Orientierung für nachhaltigkeitsbewusstes Handeln dient [Wiet96]. Nachhaltigkeit muss bei allen Aktivitäten und Prozessen ganzheitlich berücksichtigt werden. Dabei ist über die Aufgabenbereichsgrenzen hinauszublicken, um weder in den vor- noch in den nachgelagerten Prozessen bzw. Prozessschritten negative Folgen für die Sicherheit und Umwelt entstehen zu lassen. Hieraus resultieren nachhaltigkeitsbezogene Tätigkeitsfelder im gesamten Unternehmen, die sehr unterschiedlich sind und damit übereinstimmende Qualifikationen erfordern. Sie reichen von eher rechtskundiger, technischer und ökonomischer Sachverwaltung und Umgang mit Behörden über Steuerungs- und Kontrollmechanismen bis hin zu strategischer Planung.

Aus Sicht der Instandhaltung gelten hier im Prinzip die gleichen Ausführungen wie bei der vorherigen Unternehmenseinstellung zum Arbeits- und Umweltschutz. Hinzu kommt jedoch die Einbindung von Instandhaltungsaspekten in alle Unternehmensbereiche und -entscheidungen, zumindest soweit sie die technischen Maschinen und Anlagen betreffen. Nur so kann sichergestellt werden, dass von den Maschinen und Anlagen möglichst geringe negative Umwelteinwirkungen und Gefahren ausgehen und die Instandhaltung ihre Aufgaben nachhaltigkeitsgerecht durchführen kann. Dies betrifft sowohl normale als auch abnormale Betriebsbedingungen, Störfälle, Unfälle und mögliche Notfälle.

## 2.3 Managementsysteme

Durch ein Managementsystem soll erreicht werden, dass jeder Mitarbeiter im Unternehmen alle Anforderungen, die seine Aufgaben im Rahmen der betrieblichen Geschäftstätigkeit betreffen, kennt und beherrscht [Loer00]. Dabei sollen die betrieblichen Abläufe möglichst vereinfacht werden, um die Effizienz zu erhöhen.

In der Praxis finden sich zurzeit in vielen Unternehmen Managementsysteme für Qualität, Umweltschutz und Arbeitssicherheit nebeneinander. Einem Mitarbeiter, der mit den Systemen arbeiten soll, ist diese künstliche Trennung nur schwer zu vermitteln. Seine Arbeit orientiert sich an den betrieblichen Prozessen. Die Anforderungen aus den einzelnen Bereichen gehören somit für den Mitarbeiter an seinem Arbeitsplatz ganz natürlich zusammen. So ist beispielsweise ein Produktionsmitarbeiter nicht allein für die korrekte Bedienung seiner Maschine oder Anlage verantwortlich, sondern auch für den sicheren Umgang mit Gefahrstoffen oder die korrekte Entsorgung von Abfällen.

Für den einzelnen Mitarbeiter ist es daher nicht wichtig, wer Anforderungen an seinen Arbeitsprozess stellt. Er muss vielmehr wissen, welche Tätigkeiten sich für ihn aufgrund der unterschiedlichen Anforderungen ergeben. Zusätzlich muss er noch wissen, wie und woher er die hierzu notwendigen Informationen bekommt.

Ziel muss es daher sein, die unterschiedlichen Anforderungen mit den Gegebenheiten der Prozesse und Umgebung abzugleichen und sie so zu integrieren, dass sie für jeden einzelnen Mitarbeiter eine Hilfe und keine Last darstellen [Loer00].

Diese Erkenntnis hat zur Entwicklung so genannter integrierter Managementsysteme geführt. Bisher wurden erst wenige integrierte Systeme in den Unternehmen eingeführt. Diese werden dann oft noch auf Basis der Normen für die bisher getrennten Systeme aufgebaut. Nachteil dieser Vorgehensweise ist, dass solche Systeme zwar systematisch aufgebaut, jedoch streng formalisiert sind. Der Aufwand für Ihre Erstellung ist von Klein- und Kleinstunternehmen nur selten zu erbringen. Sie sind auf die Unterstützung externer Berater angewiesen.

Hinzu kommt, dass die Mitarbeiter für ihre Arbeit „vor Ort“ konkrete Handlungsanleitungen benötigen. Diese werden von den Managementsystemen meist nicht geliefert, da sie in der Regel auf der Ebene der Verfahrensanweisungen enden, die Umsetzung auf den einzelnen Arbeitsplatz erfolgt nicht.

## 2.4 Instandhaltung und Nachhaltigkeit

Die sich permanent verändernden Anforderungen der Kunden und des Marktes führen zum Einsatz hoch technisierter, komplexer Maschinen und Anlagen. Die Produktionsleistung entspricht nur dann diesen Anforderungen, wenn die technischen Maschinen und Anlagen effizient (kosten-, qualitäts- und zeitgerecht), effektiv und sicher genutzt werden können. „Sicher“ integriert hierbei Gerätesicherheit, Arbeitssicherheit und Umweltverträglichkeit.

Die Gewährleistung der Verfügbarkeit für eine derartige Nutzung ist die Hauptaufgabe der Instandhaltung.

Instandhaltung ist aufgrund folgender objektiver, im Zusammenhang zu sehender Voraussetzungen in jeder Unternehmenstätigkeit notwendig:

- Verschlechterung der Funktionsfähigkeit einer technischen Maschine oder Anlage infolge
  - Abnutzung  
Abnutzung wird durch unterschiedliche physikalische und/oder chemische Vorgänge ausgelöst und führt zu vielfältigen Erscheinungsformen, deren Wirkungen in einem Ausfall oder einer Störung des Ablaufes münden können. Verursachende Vorgänge sind Reibung, Korrosion, Erosion, Werkstoff-Alterung und Werkstoff-Ermüdung durch Wechselbeanspruchung. Die Abnutzung hängt im Wesentlichen von der Belastung, Geschwindigkeit und Auslastung einer Anlage sowie den Umweltbedingungen ab, wie z. B. Temperatur, Feuchtigkeit und Verschmutzungsgrad der Umgebung.
  - personalbedingter Fehler  
Durch Bedienungs- und Handhabungsfehler des Personals können zusätzliche Belastungen entstehen, die z. B. zu einer Überbeanspruchung der Bauteile einer Maschine oder Anlage führen und in weiterer Folge den Abnutzungsverlauf beschleunigen.

- erhöhter Anforderungen aus gesetzlichen Vorschriften oder Erwartungen des Marktes  
Die Anpassung der Maschinen und Anlagen an gestiegene Forderungen des Gesetzgebers oder des Marktes ist ebenfalls eine Aufgabe der Instandhaltung.
- Die Verschlechterung der Funktionsfähigkeit lässt sich mit einem wirtschaftlich vertretbaren Aufwand verlangsamen und/oder durch Teilmaßnahmen an der Maschine oder Anlage weitgehend kompensieren.

Den gesellschaftlichen Erwartungen an Arbeits- und Umweltschutz und damit den Anforderungen aus diesbezüglichen gesetzlichen Vorschriften kommt eine besondere Bedeutung zu; der Schutz des Lebens und der natürlichen Umwelt ist im Grundgesetz verankert. Voraussetzung für die Sicherheit dieser Schutzgüter ist wiederum die Maschinen- und Anlagensicherheit, die maßgeblich durch die Instandhaltung beeinflusst werden.

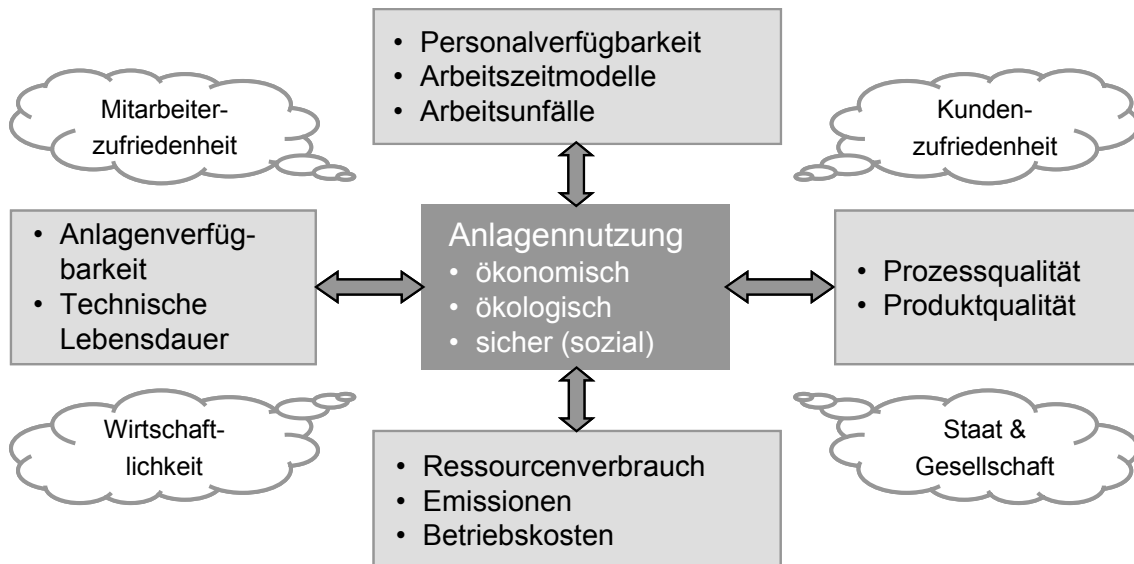
Jede Unternehmensführung trägt hierfür die volle Verantwortung. In den Unternehmen finden sich für die einzelnen Aufgabenbereiche je nach Unternehmensgröße fachlich spezialisierte Organisationseinheiten oder es erfolgt nur eine erweiterte Aufgaben- und Verantwortungszumessung innerhalb der Dienstfunktion von Managern und Mitarbeitern.

Um die Anforderungen an die Anlagen aus den verschiedenen Fachbereichen reibungslos und effizient zu erfüllen, bringt es Vorteile, sie in den Aufgabenbereich der Instandhaltung zu integrieren. Die wesentlichen Gründe hierfür sind:

- Arbeitsmethode der Instandhaltung ist die Sicherung des erforderlichen technischen Zustandes der Maschinen und Anlagen, d. h. die Einhaltung vielfältiger Zustandsparameter in einem abzustimmenden Toleranzbereich.
- Rechtzeitige Zustandserkennung und Informationen über unter den gegebenen Rand- und Rahmenbedingungen optimale Zustandskenngrößen (z. B. Abnutzungsgrenzwerte etc.) sind somit entscheidende Bestandteile einer modernen Maschinen- und Anlageninstandhaltung.
- Die Entscheidungsrahmen in diesen Prozessen wie für alle Instandhaltungstätigkeiten ergeben sich aus den Unternehmenszielen in Produktionsmenge, Produktqualität, Produktionsterminen, Arbeitsschutz- und Umweltschutzqualität sowie Produktionskosten. Darin sind auch diesbezügliche gesetzliche und branchenspezifische Anforderungen integriert.

Neue Anforderungen entstehen hierbei besonders für den Umweltschutz, da der Arbeitsschutz aufgrund der hohen Gefährdung der Mitarbeiter bei der Nutzung von Anlagen schon weitgehend berücksichtigt wird.

Integration heißt daher, dass die Instandhaltung Nachhaltigkeitsziele in ihr Zielsystem aufnimmt und aktiv zu deren Erreichung und damit zur zukunftsfähigen Entwicklung eines Unternehmens beiträgt. Dazu sind alle Aktivitäten, die für einen sicheren Betrieb der technischen Maschinen und Anlagen notwendig sind, prozessorientiert zu gestalten sowie systematisch zu planen, durchzuführen, zu steuern, zu überwachen und zu verbessern.

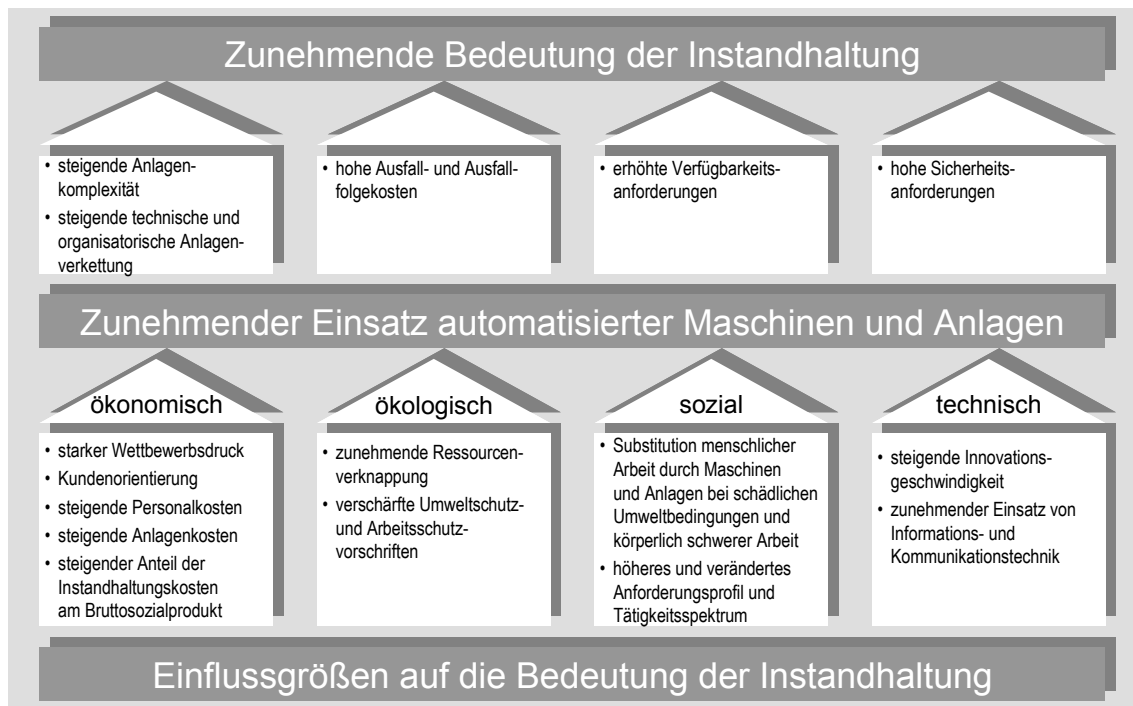


**Abbildung 2-2: Nachhaltige Instandhaltung und Nutzung von Maschinen und Anlagen**

## 2.5 Wirtschaftliche und technologische Bedeutung nachhaltiger Instandhaltung

Der erhöhte Komplexitätsgrad der in der produzierenden Industrie eingesetzten Technologien und die Zunahme komplexerer Systeme und Prozesse haben auch die Anforderungen an die produktive Nutzungszeit von Maschinen und Anlagen erheblich gesteigert. Darüber hinaus haben die gestiegenen gesetzlichen Anforderungen in den Bereichen Arbeits- und Umweltschutz zu zusätzlichen technischen Systemen, wie beispielsweise Kläranlagen oder Schmierstoffkreislaufsystemen geführt.

Da die Prozesse der Instandhaltung die Qualität, Lieferzeit und Kosten und somit das Leistungsangebot eines Unternehmens auf unterschiedliche Weise beeinflussen, determinieren diese gestiegenen Anforderungen an die Produktion die Nachfrage nach Instandhaltung. Die Bedeutung der Instandhaltung nimmt als logische Konsequenz zu.



**Abbildung 2-3: Gründe für die zunehmende Bedeutung der Instandhaltung**

### ***Ökonomische Bedeutung***

Die wachsende ökonomische Bedeutung der Instandhaltung resultiert sowohl aus ihrer gesamtwirtschaftlichen Kostendimension als auch aus ihrem einzelwirtschaftlichen Stellenwert in den Unternehmen. Die ökonomischen Ursachen für die zunehmende Bedeutung der Instandhaltung lassen sich daher in volkswirtschaftliche und betriebswirtschaftliche Einflussgrößen unterteilen.

Dabei steht die Werterhaltung der technischen Objekte im Vordergrund, um die Investitionen und Kapitalrendite zu sichern. Technische Objekte sind Mobilien und Immobilien.

### ***Volkswirtschaftliche Bedeutung***

Als gesamtwirtschaftlicher Kostenfaktor sind die Aufwendungen für die Instandhaltung von großer Bedeutung. Der Aufwand für die Instandhaltung setzt sich dabei u. a. aus den Kosten für die Arbeitslöhne, Ersatzteile, Hilfs- und Betriebsstoffe, den Abschreibungen für die Instandhaltungsausstattungen und den Versicherungsleistungen für Instandhaltungszwecke zusammen. Die Quantifizierung des Instandhaltungsaufwandes erfolgt in der Regel anhand von so genannten Bezugsplanraten. Darunter werden die jährlich aufzuwendenden Gesamtkosten für die Instandhaltung technischer Objekte in Prozent ihres Wiederbeschaffungswertes (indizierten Anschaffungswertes) verstanden. Die individuellen Bezugsplanraten verschiedener Objekte streuen in Abhängigkeit vom Wirtschaftszweig, dem Automatisierungsgrad, dem Produktionsverfahren, der Nutzungsintensität von Anlagen und der Effizienz der Instandhaltungsplanung und -durchführung allerdings erheblich. Sie liegen zwischen 0,4 und 12 %. Diese Abweichungen heben sich jedoch in der statistischen Gesamtbetrachtung weitgehend auf. Für Mobilien kann eine mittlere Bezugsplanrate von 5 % und für Immobilien von 0,6 % angesetzt werden [Lewa99].

Die Anschaffungswerte ergeben sich wiederum aus dem Bruttoanlagevermögen der jeweiligen Industriezweige. Denn das Bruttoanlagevermögen umfasst im Gegensatz zum Nettoanlagevermögen auch die bereits abgeschriebenen, jedoch weiterhin genutzten Instandhaltungsobjekte.

Das Bruttoanlagevermögen des produzierenden Gewerbes wird vom Statistischen Bundesamt im Statistischen Jahrbuch ausgewiesen [StBa06]. Der Gesamtwert des Bruttoanlagevermögens betrug für die Vermögensart Sachanlagen 2005 ca. 10.955 Mrd. Euro, wovon etwa 35,8 % auf Immobilien (ohne Wohnbauten) und etwa 17,3 % auf Mobilien entfielen. Hieraus ergeben sich Instandhaltungsaufwendungen in der Höhe von etwa 118 Mrd. Euro.

Hinzu kommen die Instandhaltungsaufwendungen der Wohnungswirtschaft (ca. 31 Mrd. Euro), der privaten Haushalte (ca. 18 Mrd. Euro) und der privaten Kfz-Versicherungen (ca. 8 Mrd. Euro). In Summe ergeben sich Instandhaltungsaufwendungen von etwa 175 Mrd. Euro. Die Instandhaltung gehört damit zu den umsatzstarken Industriezweigen in Deutschland.

Diese Schätzung berücksichtigt in erster Linie Personal- und Sachkosten, also direkte Instandhaltungskosten. Würden die Folgen einer vernachlässigten Instandhaltungspraxis – wie beispielsweise Kosten aufgrund von Maschinenausfallzeiten und Qualitätseinbußen – ebenfalls in die Betrachtungen einbezogen, so würde sich ein deutlich höherer Betrag für die volkswirtschaftliche Bedeutung der Instandhaltung ergeben. Diese indirekten Instandhaltungskosten werden auf das 3- bis 5-fache der direkten Instandhaltungskosten, also auf ca. 525 bis 875 Mrd. Euro geschätzt.

Nach anderen Schätzungen werden pro Jahr von den Wirtschaftssubjekten etwa 10 % des Bruttosinlandsproduktes für instandhaltende Maßnahmen ausgegeben [Warn92]. Damit ergibt sich für 2005 ein Gesamtinstandhaltungsaufwand von ca. 225 Mrd. Euro [StBa06].

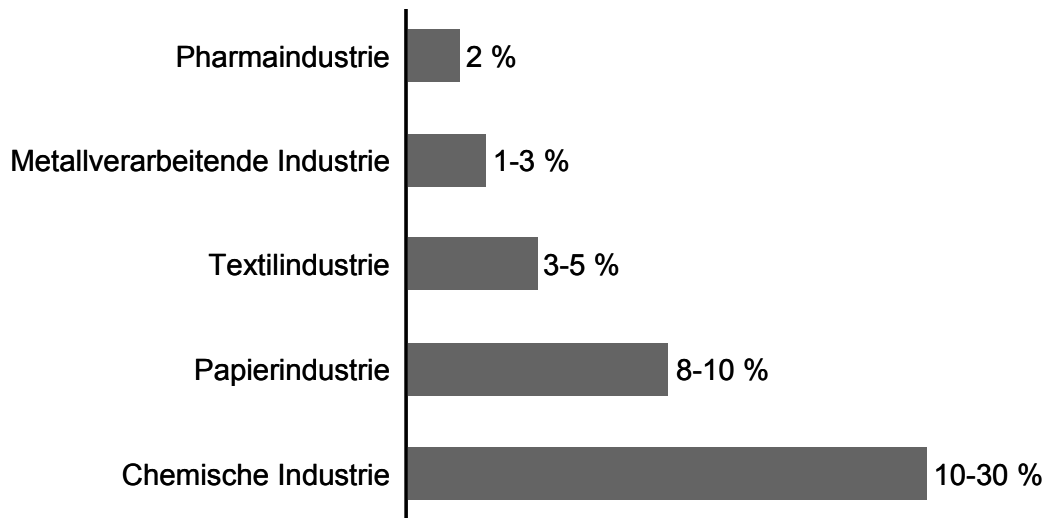
Die Bedeutung der Instandhaltung als Wirtschaftsfaktor wird künftig noch zunehmen. Immer komplexere Maschinen und Anlagen und die Alterung der Bausubstanz sind hierfür die wesentlichen Ursachen. Denn Instandhaltung erhält und steigert den Wert dieser Mobilien und Immobilien und leistet so einen nicht zu unterschätzenden Beitrag zur Zukunftsfähigkeit des Standorts Deutschland. Dies spiegelt sich auch im Geschäftserfolg der Unternehmen wider. Laut Professor Norbert Walter, Chefökonom der Deutschen Bank, zeigen die Aktienindizes von nachhaltig wirtschaftenden Unternehmen schon heute eine überdurchschnittliche Performance [EFA04].

### *Betriebswirtschaftliche Bedeutung*

Die betriebswirtschaftlichen Erfolgsfaktoren Kosten, Zeit, Qualität und Flexibilität bestimmen den Markterfolg eines Unternehmens. Dieser hängt damit in starkem Maße von der Instandhaltung ab. Denn nur die ungestörte Nutzung der Maschinen und Anlagen sowie ihre Qualitätsfähigkeit ermöglicht die Produktion der zur Deckung der gesamten Kosten erforderlichen Produktionsmenge. Plakativ lässt sich das in der Aussage „Ohne Instandhaltung kein Produkt“ zusammenfassen. Dabei hat die Instandhaltung dafür Sorge zu tragen, dass die Produktion mit möglichst niedrigen Instandhaltungskosten erreicht wird.

Der betriebswirtschaftliche Stellenwert der Instandhaltung wird durch die Instandhaltungsaufwendungen der Industrieunternehmen verdeutlicht. Diese liegen im Durchschnitt jährlich bei ungefähr 5 % des Wiederbeschaffungswertes des Bruttoanlagevermögens. Je nach Branche betragen die jährlichen Instandhaltungskosten damit zwi-

schen 2 und 6 % der Gesamtkosten eines Industrieunternehmens. Das Verhältnis von Instandhaltungs- und Produktionskosten ist stark branchenabhängig, es liegt zwischen 2 % (Pharmaindustrie) und 30 % (Chemische Industrie).



**Abbildung 2-4: Instandhaltungskosten im Verhältnis zu den Produktionskosten (Orientierungswerte)**

Die Ursachen für die branchenspezifischen Unterschiede resultieren aus dem unterschiedlichen Instandhaltungsbedarf der jeweiligen Maschinen und Anlagen. Der Instandhaltungsbedarf ist neben dem Automatisierungsgrad und der Verkettung der Anlagen von der Anlagenintensität abhängig. Er liegt zwischen 3 % bei diskontinuierlicher Produktion (Einzel- bzw. Kleinserie) bis zu 30 % (vollkontinuierliche Produktion).

#### *Betriebswirtschaftliche Optimierungspotenziale*

Nach Männel lassen sich durch optimierte Instandhaltung je nach Kostenart Einsparungen in der Größenordnung von 5-25 % erschließen [Männ01]. Diese unterstreichen nochmals die Bedeutung der Instandhaltung als Wirtschafts- und Produktivfaktor. Bei einer angenommenen 25 %-igen Ausschöpfung des Potenzials ergeben sich bezogen auf die volkswirtschaftlichen Zahlen für die Instandhaltungsaufwendungen 43,75 Mrd. Euro bei den direkten und zwischen 130 und 218 Mrd. Euro bei den indirekten Instandhaltungskosten. Zusammen sind dies etwa 8-12 % des Bruttoinlandsproduktes.

Effekt optimierter Instandhaltung	Potenzial (Spanne)	
Personalreduzierung für Instandhaltungsmaßnahmen	5 – 15 %	} direkte Kosten
Verminderung der Lagerhaltungskosten in der Instandhaltung	5 – 50 %	
Zeitreduzierung für geplante Instandhaltungsmaßnahmen	0 – 40 %	
Senkung der Störrate	10 – 30 %	
Entlastung der Meister und Vorarbeiter	10 – 50 %	
Steigerung der Werkerproduktivität	10 – 40 %	
Vermeidung von Produktionsausfall, Nacharbeit etc.	15 – 25 %	} indirekte Kosten

**Abbildung 2-5: Optimierungspotenziale in der Instandhaltung**

### **Ökologische Bedeutung**

Die Maschinen und Anlagen zur Herstellung der Produkte sind ein wesentlicher umweltrelevanter Faktor. Der Zustand der technischen Anlagen wirkt direkt auf den Energie- und Rohstoffverbrauch, die Qualität der Produkte und Prozesse sowie auf die betriebliche Umwelt. Eine Effizienzsteigerung beim Einsatz der Ressourcen bedarf des verstärkten Einsatzes von Wissen sowie weiterer Maßnahmen. Zu nennen sind vor allem: der Einsatz umweltfreundlicher Produktionstechniken, die Schließung von Stoffkreisläufen, die Verbesserung der Verträglichkeit der Stoff- und Energieströme sowie eine ganzheitliche Produktverantwortung und -nutzung (Life Cycle Management).

In Industrieunternehmen ist die Instandhaltung eine wichtige Institution zur Umsetzung und Aufrechterhaltung der genannten Maßnahmen, da durch ihre Aktivitäten die schädlichen Umweltwirkungen von Maschinen und Anlagen vermieden und wo dies nicht möglich ist, zumindest reduziert werden. Dabei muss die Instandhaltung mit den Akteuren anderer Bereiche eng zusammenarbeiten. Innerbetrieblich sind dies beispielsweise die Produktion, die Beschaffung und die Logistik. Außerbetrieblich sind zum Beispiel Behörden, Überwachungsvereine und Dienstleister als wichtige Institutionen für die Instandhaltung zu nennen. Der Einfluss der Instandhaltung auf die anderen Institutionen ist allerdings stark durch die gesellschaftlichen, politischen und unternehmensspezifischen Rahmenbedingungen eingeschränkt.

Um dieser Verantwortung gerecht zu werden, muss die Instandhaltung neue Strategien entwickeln. Hierzu gehören die umweltgerechte Durchführung aller Instandhaltungsaktivitäten und die Verlängerung der Nutzungsdauer der Maschinen und Anlagen. „Feedback to Design“ und die enge Kooperation mit der Konstruktion und Entwicklung sind wichtige Erfolgsfaktoren.

### **Soziale Bedeutung**

Soziale Einflussgrößen betreffen Themen wie beispielsweise die „Humanisierung der Arbeit“ und die Mitarbeiterorientierung. Die Mitarbeiter sind die wichtigste Größe für den Unternehmenserfolg. Ergonomie, Arbeits- und Gesundheitsschutz am Arbeitsplatz sind ebenso bedeutende Gestaltungsparameter wie flexible Arbeitszeiten und leistungsgerechte Entlohnung. Die Instandhaltung kann zur Verbesserung der ergonomischen und sicherheitstechnischen Eigenschaften einer Maschine oder Anlage und damit zur mitarbeitergerechteren Arbeitsplatzgestaltung einen wesentlichen Beitrag leisten. Nur durch regelmäßige Kontrolle und Überwachung der Maschinen und Anlagen kann eine Gefährdung für Mensch und Umwelt ausgeschlossen werden.

Die steigende Automatisierung und Verkettung der Maschinen und Anlagen in Kombination mit der Forderung moderner Produktions- und Logistikkonzepte (wie z. B. „Lean Production“, „Just-In-Time“ oder „Supply Chain Management“) nach bedarfsgerechter Verfügbarkeit sowie die hohe technologische Innovationsgeschwindigkeit verändern auch die Arbeitsplätze der Instandhaltung und die Anforderungen an das Instandhaltungspersonal.

Neben einem umfassenden technischen Sachverstand, der Fähigkeit, komplexe Prozesse systemtechnisch zu durchdringen und interdisziplinär zu denken und zu handeln, muss ein Instandhaltungsmitarbeiter auch über ökonomische, ökologische und juristische Kenntnisse verfügen.

Die Ansprüche an das Instandhaltungspersonal steigen damit ständig. Dies führt innerhalb der Personalstruktur zu einer stärkeren Spezialisierung bzw. höheren Qualifizierung.

Nur durch permanente Aus- und Weiterbildung („lebenslanges Lernen“) kann sichergestellt werden, dass ein Instandhalter inner- und außerbetrieblich ein kompetenter Gesprächspartner ist und bleibt.

Parallel dazu wächst auch die Verantwortung der Instandhaltung. Ausfälle in einer Anlage oder Maschine führen nicht selten zum Stillstand kompletter Fertigungssysteme oder -linien.

### ***Technische Bedeutung***

Neben der Leistungsfähigkeit der Maschinen und Anlagen ist durch den Einsatz moderner Technologien (Informations- und Kommunikationstechnik, Mikrosystemtechnik, Mikroelektronik, Optoelektronik, Fuzzy Logic etc.) auch ihre Komplexität deutlich gestiegen. Als Folge dieser Entwicklung wird selbst für kleinere Instandhaltungsmaßnahmen ein besonderes Fachwissen des Durchführenden notwendig. Dieses Wissen muss aufgrund der hohen Innovationsgeschwindigkeit technologischer Entwicklungen permanent aktualisiert werden.

Die Entwicklungen im Bereich der Mikrosystemtechnik eröffnen bisher ungeahnte Möglichkeiten und erschließen immer mehr neue Anwendungsgebiete. Die zunehmende Miniaturisierung bei gleichzeitig fallenden Kosten führt zu einer zunehmenden Verbreitung. In der Instandhaltung können auf der Mikrosystemtechnik basierende Sensoren genutzt werden, um das Zustandswissen über Bauteile aufzubauen bzw. zu präzisieren. Es stehen nicht nur mehr Informationen zur Verfügung, sondern auch ihre Qualität ist wesentlich besser. Auf diese Weise können beispielsweise Abnutzungskurven exakt ermittelt werden. Dies eröffnet wiederum die Möglichkeit, die Vorteile der zustandsorientierten Instandhaltung für weit mehr Bauteile als bisher zu nutzen.

Durch die Ausnutzung des Abnutzungsvorrates werden nicht nur Ressourcen geschont, sondern auch erhebliche Kosten gespart. In Kombination mit Störungsinformations- und -Rufsystemen verkürzen sich die Reaktionszeit bei Störungen und damit auch die Ausfallzeit der Maschinen und Anlagen erheblich.

### 3 Untersuchungsergebnisse

Für die Einordnung des Themenkomplexes dieser Untersuchung in den Stand der Wissenschaft sind eingehende Literaturrecherchen durchgeführt worden. Das Ergebnis dieser Recherchen zeigt, dass kein einheitliches und aussagekräftiges Bild einer nachhaltigen Instandhaltung in Praxis oder Wissenschaft existiert. Die Ergebnisse der Literaturrecherche werden auch durch die im Rahmen der Untersuchung durchgeführten Experteninterviews und schriftliche Unternehmensbefragung bestätigt. Im Folgenden werden zunächst in den Abschnitten 3.1 und 3.2 die Ergebnisse der Literaturrecherche sowie der Unternehmensbefragung kurz dargestellt. Sie spiegeln den derzeitigen Stand der Technik aussagekräftig wider. In Abschnitt 3.3 werden die identifizierten Potenziale und Handlungsfelder aufgezeigt.

#### 3.1 Ergebnisse der Literaturrecherche: Stand der Technik – Entwicklungen, Umsetzungsstand und Industrieverbreitung

Im letzten Jahrzehnt hat ein allgemeines Umdenken in der Instandhaltung stattgefunden. Der Wandel vollzog sich von der Funktionserhaltung zu einer Wertschöpfungsphilosophie [Stra04]. Früher konzentrierten sich die Anforderungen der produzierenden Industrie an die Instandhalter auf die Behebung und Vermeidung von Fehlern und Störungen. Es wurden Serviceverträge mit den verschiedenen Lieferanten der Anlage abgeschlossen. Weitergehende Anforderungen an den Betrieb der Anlagen waren eher selten. Dabei stand das Produkt im Zentrum des Interesses, und die Instandhaltung wurde genau nach der vereinbarten Aufgabe ausgeführt.

Heute hingegen steht der Kunde „Produktion“ im Zentrum des Interesses und wird in die Entscheidungsprozesse einbezogen. Anstehende Probleme werden in regelmäßigen Abständen miteinander besprochen.

Die verfügbaren Mittel für die operative Umsetzung haben sich in den letzten zehn Jahren markant geändert. Heute stehen mit Callcentern oder Hotlines, mit SAP- und anderer unterstützender Software sowie dem Teleservice viel effizientere Mittel zur Verfügung, um eine Anlage zu überwachen und zu betreiben.

Im Vergleich zu früher stellt der Kunde „Produktion“ wesentlich höhere Anforderungen an die Instandhaltung, die Informationen über die Anlagen, deren Betriebsabläufe und Betriebskostenerfassungen sowie die Kostentransparenz.

Heute werden mit den Kunden in vielen Fällen folgende Ziele festgelegt:

- Uneingeschränkte Aufrechterhaltung der Funktionsfähigkeit der Anlagen,
- Werterhaltung bzw. Wertsteigerung der Objekte,
- Optimierung des Objektnutzens,
- Minimierung des Ressourcen-Einsatzes, von Unfällen und der Umweltwirkungen der Objekte sowie
- Erreichen der bestmöglichen Kostenoptimierung und Nachhaltigkeit.

### 3.1.1 Untersuchungsbereich Organisation

Zur Durchsetzung der Ziele ist ein geeigneter organisatorischer Rahmen erforderlich. Die Aufbauorganisation beschreibt eine aufgabenorientierte Strukturierung der notwendigen Arbeitsprozesse in Form organisatorischer Elemente. Diese umfasst die Verknüpfung der Organisationselemente sowie die Beziehungen zwischen diesen Elementen. Ergänzend dazu regelt die Ablauforganisation das zeitliche, inhaltliche und räumliche Zusammenwirken von Mensch, Betriebsmittel und Instandhaltungsobjekt, das zur Planung, Steuerung, Durchführung, Überwachung und Dokumentation der Arbeitsvorgänge erforderlich ist [Roet05]. Aufbau- und Ablauforganisation werden hier nacheinander betrachtet. In der Praxis sind sie jedoch untrennbar miteinander verknüpft und stellen lediglich „zwei Seiten der gleichen Medaille“ dar.

Der *Aufbau* der Instandhaltungsorganisation hat sich nach den Servicebedürfnissen des Betriebes zu richten. Insofern gibt es keine „richtige“ zentrale, dezentrale oder integrierte Instandhaltungsorganisation. Es hängt vielmehr davon ab, die Organisationsformen mit ihren Vor- und Nachteilen für den jeweiligen Betrieb in optimaler Weise zu kombinieren. Welche Organisationsform für ein Unternehmen geeignet ist, ergibt sich zum einen aus der Personalstruktur (Qualifikation, Quantität, Anteil Eigen-/ Fremdpersonal) und zum anderen aus der fachlichen Tiefe (Mechanik, Verfahrenstechnik, Prozessleittechnik, Elektrotechnik, Mess-, Steuer- und Regelungstechnik, Produktion) der durchzuführenden Instandhaltungsmaßnahmen.

#### *Zentrale, funktional organisierte Instandhaltung (fachspezifisch)*

Eine eigene, in die Unternehmensorganisation eingegliederte Instandhaltung stellt die klassische Organisationsform dar. Die Abteilung „Instandhaltung“ ist zuständig für die Erfüllung der Instandhaltungsaufgaben, sowohl auf fachlicher als auch auf disziplinarischer Ebene. Sie legt die planbaren Instandhaltungsaufträge fest und löst sie fristgerecht aus. Für die Initiierung von Aufträgen an die Instandhaltung zur Beseitigung von ungeplanten Produktionsstörungen ist die Produktion verantwortlich. Die Gewerke sind in einer Zentralwerkstatt zusammengefasst und je nach Bedarf in einzelne Fachbereiche unterteilt, wie z. B. Schlosser, Elektriker, Mess- und Regeltechniker, Schreiner, Maler usw. Die Zentralwerkstätten kommen insbesondere dort zur Anwendung, wo die Aufgaben das Erfahrungswissen und die Qualifikation von Spezialisten bzw. den Einsatz kapitalintensiver Maschinen erfordern. In der Praxis kann kein Unternehmen auf bestimmte zentrale Instandhaltungsdienste verzichten. Denn es ist zumindest unwirtschaftlich, wenn teures und zum Teil selten gebrauchtes Spezialwerkzeug mehrfach dezentral vorhanden ist. Gleiches gilt für Instandhaltungsspezialisten, die nicht entsprechend ihrer Qualifikation eingesetzt bzw. ausgelastet werden. Die Stärke dieser Organisationsform liegt in der starken Bündelung von Fachkompetenzen, durch die der Organisationseinheit übertragene Fachaufgaben optimal erledigt werden können. Schwächen zeigt das Modell naturgemäß bei der Verzahnung von Aufgaben, bei Aufgaben die nur bereichsübergreifend zu erledigen sind und bei der Kundenorientierung.

#### *Dezentrale, bereichsbezogene Instandhaltung (fachübergreifend)*

Insbesondere bei größeren Unternehmen ergeben sich aufgrund räumlicher Distanz der einzelnen Produktionsbereiche Vorteile durch die Dezentralisierung der Instandhaltung in bereichsbezogene „Stützpunktwerkstätten“. Ziel ist die Verlagerung von Instandhaltungsaufgaben und -ressourcen an den Bedarfs-Ort der Instandhaltungsleistung. Die Stützpunktwerkstätten sind bezüglich ihrer Größe und Qualifikationsstruktur selbständige handlungsfähige Einheiten, die in der Regel der Bewältigung von Aufgaben zur Abdeckung des Grundbedarfs an Wartungs- und Inspektionstätigkeiten, vor allem aber der reaktionsschnellen Diagnose und Instandsetzung bei unvorhergesehe-

nen Produktionsstillständen dienen. In ihnen sind Instandhaltungsspezialisten unterschiedlicher Ausbildungsrichtungen tätig. Der größte Vorteil der dezentralen Organisationsform liegt im Abbau von Schnittstellen zwischen Produktion und Instandhaltung bzw. den damit verbundenen Informations- und Koordinationsproblemen. Für den Austausch einer Pumpe kommt nur ein Mitarbeiter, der den Motor abklemmt oder über Sicherheitsschalter trennt und anschließend die Pumpe demontiert. Die Gefahr dieser Organisationsform liegt jedoch darin, dass die Summe der einzelnen Betriebsoptima nicht immer zum Gesamtoptimum des Unternehmens führt. Gründe hierfür sind, dass sich Entscheidungen eines Bereichs zur Optimierung der eigenen Kosten auf benachbarte Bereiche negativ auswirken können (Verlagerung von Kosten). Darüber hinaus führt die eigene Optimierung ggf. zu einer ungebremst ausufernden Gerätevielfalt, die sich über reduzierte Einkaufsmengen pro Stück oder eine größere Bevorratung von Ersatzteilen auf die Unternehmenskosten auswirkt. Zur Absicherung dieser Organisationsform sind daher begleitende Maßnahmen durchzuführen, wie z. B. Werksnormen, übergreifende Fachkreise u. ä. Des Weiteren zeigt die Praxis, dass in den meisten Fällen ergänzend zu den dezentralen Stützpunktwerkstätten eine zentrale Instandhaltungsabteilung in den Unternehmen notwendig ist, die eine quantitative und qualifikatorische Ausgleichsfunktion wahrnimmt bzw. für Spezialaufgaben zuständig ist.

#### *Produktionsintegrierte Instandhaltung (dezentral & integriert)*

Eine weitere Möglichkeit der Verlagerung von Instandhaltungsaufgaben an die Bedarfs-Orte ist die Integration von Instandhaltungsaufgaben in die Produktion. Sie ist gekennzeichnet durch eine noch stärkere Dezentralisierung, da auch ein Teil der Entscheidungskompetenz und Instandhaltungsverantwortung wieder an den Ort der Ausführung (Produktion) zurückverlagert wird. Es sind zwei Möglichkeiten zu unterscheiden: Instandhalter werden in die Produktion entsandt bzw. die Produktionsmitarbeiter werden geschult und führen die Instandhaltungsaufgaben aus (siehe auch TPM, Total Productive Maintenance). Der in der Praxis häufigste Weg ist die schrittweise Integration von routinemäßigen Instandhaltungsaufgaben in den Verantwortungsbereich der Produktion. Dazu gehören einfache Wartungstätigkeiten (Reinigen, Schmierem), Inspektionstätigkeiten, kleine Instandsetzungen, aber auch die Beseitigung von Kleinstörungen. Die Übertragung von Instandhaltungsaufgaben in die Produktion ermöglicht die Nutzung des gesamten Leistungsspektrums der Mitarbeiter – ihrer Kreativität, ihres Wissens und Könnens. Hinzu kommt, dass langfristig das Produktionspersonal für Abweichungen sensibilisiert wird, sodass Störungen im Vorfeld bereits vermieden werden können. Die produktionsintegrierte Instandhaltung ist in den meisten Fällen nicht in der Lage, alle Instandhaltungsaufgaben allein durchzuführen. Um die erforderlichen Aufgaben dennoch bewältigen zu können, wird für die Instandhaltung zusätzlich ein „Kompetenzzentrum“ (intern oder extern) notwendig, um komplizierte oder umfangreiche, das Produktionspersonal überfordernde Instandhaltungsaufgaben, Anlagenverbesserungen sowie Planungs-, Steuerungs-, Analyse- und Koordinationsaufgaben ausführen zu können.

#### *Eigen-/Fremdinstandhaltung*

Im Rahmen der Strukturierung der Instandhaltungsaufgaben des Unternehmens ist auch zu prüfen, ob und in welchem Umfang Instandhaltungsarbeiten fremd vergeben werden können und sollen. Diese Frage kann in der Regel nicht grundsätzlich für alle Unternehmensbereiche gleich beantwortet werden. Lediglich die Leitlinien sind unternehmensweit zu formulieren.

Die extreme Entscheidung ist die umfassende Fremdvergabe der Instandhaltung (Full Service Outsourcing). Bei dieser fremden Komplettinstandhaltung hat der Anlagenbetreiber kein eigenes Instandhaltungspersonal mehr. Alle Arbeiten werden durch einen oder mehrere fremde Dienstleister ausgeführt. Wichtig hierbei ist die Vertragsgestaltung, die dafür sorgen muss, dass der „fremde“ Dienstleister – wie früher das eigene Fachpersonal – Schwachstellenanalysen durchführt und Anlagenverbesserungen umsetzt. Wichtige Hilfsmittel hierfür sind Bonus-Malus-Vereinbarungen, die das Verfehlen der festgelegten Ziele (z. B. Verfügbarkeit, Produktionsausbringung etc.) „bestrafen“ und ein Übertreffen der Ziele „belohnen“. Darüber hinaus dient eine vertraglich festgelegte Gewinnteilung bei zusätzlich erschlossenen Nutzungs-, Leistungs- und Qualitätspotentialen als Anreizsystem. Voraussetzung für die erfolgreiche Zusammenarbeit mit Dienstleistern ist dabei jedoch ein partnerschaftliches Verhältnis.

Neben dieser Maximallösung im Bereich der Fremdinstandhaltung existiert eine Reihe von Teillösungen, die sich zum einen auf bestimmte Maßnahmen der Instandhaltung beziehen. Zum anderen kann sich das Unternehmen bei der Fremdinstandhaltung auf bestimmte Instandhaltungsobjekte konzentrieren. Kombinationen dieser grundsätzlichen Varianten sind auch möglich, so dass die richtige Wahl nur für den jeweiligen Fall und die entsprechenden Rahmenbedingungen und Ziele getroffen werden kann.

Die *ablauforganisatorische* Gestaltung der Instandhaltung hat die Planung, Steuerung, Durchführung, Überwachung und Dokumentation der Instandhaltungsmaßnahmen zur Aufgabe. Die Gestaltung zielt dabei sowohl darauf, die technisch bedingten Ausfallkosten der Anlagen als auch auf die Gesamtkosten des Unternehmens zu minimieren. Daher stehen neben den Kosten die Zeit, Qualität, Flexibilität und Arbeitsbedingungen im Fokus der Ablauforganisation. Die Ablauforganisation kann nach unterschiedlichen Gesichtspunkten gestaltet werden. Eine funktionale Ablauforganisation richtet sich nach den durchzuführenden Funktionen, die auch bei der zentralen Organisationsform im Vordergrund stehen. Die Trennung in fachspezifische Abläufe hat daher entsprechende Stärken und Schwächen. Wird die Ablauforganisation an den Instandhaltungsmaßnahmen (Wartung, Inspektion, Instandsetzung und Verbesserung) ausgerichtet, wird zwar fachübergreifend gearbeitet, der Austausch zwischen den einzelnen Maßnahmen jedoch erschwert. Ähnlich verhält es sich bei einer objektbezogenen Ablauforganisation, welche die Prozesse der Instandhaltung an den Instandhaltungsobjekten ausrichtet. Dadurch entsteht Spezialistentum und ein objektübergreifender Austausch muss spezifisch geregelt werden. Eine weitere Möglichkeit zur Gestaltung der Instandhaltung basiert auf einer prozessorientierten Strukturierung der Abläufe. Dabei können zum einen die Instandhaltungsprozesse (Planung, Durchführung, Steuerung, Überwachung) und zum anderen der Produktionsprozess als Basis genommen werden. Die Orientierung an den Produktionsprozessen rückt in den letzten Jahren stärker in den Mittelpunkt, da so die unbedingt notwendige Kundenorientierung wesentlich besser realisiert werden kann. In der Praxis finden sich heute noch alle Formen der Ablauforganisation, meist in Kombination, um den jeweiligen unternehmensspezifischen Anforderungen am besten zu entsprechen. Insbesondere für die Vergabe von Aufträgen an Dienstleister bietet es sich an, maßnahmen- und objektbezogen vorzugehen. Allerdings steigt die Nachfrage nach Dienstleistungsangeboten, die eine bestimmte Verfügbarkeit oder definierte Produktivität von Anlagen oder Prozessen sicherstellen. Mit welcher Organisation der Dienstleister diese sicherstellt, ist dann für den Kunden von untergeordneter Bedeutung.

### 3.1.2 Untersuchungsbereich Strategie

Um die komplexen Vorgänge in der Instandhaltung in den Griff zu bekommen, ist es notwendig, unterstützende Konzepte zu nutzen. Die heute in unterschiedlicher Verbreitung eingesetzten Instandhaltungskonzepte lassen sich in der Regel auf zwei grundsätzliche strategische Richtungen zurückführen, die dann ergänzt um weitere Ansätze wie beispielsweise eine instandhaltungsgerechte Konstruktion oder die konstruktive Beseitigung von Schwachstellen an den Anlagen oder im Prozesse die Instandhaltung prägen. In der Literatur existieren keine belastbaren Kennzahlen, welche die Anwendungsbreite der Strategien in der produzierenden Industrie repräsentativ widerspiegeln. Entsprechendes gilt für die zum Einsatz kommenden Instandhaltungskonzepte.

Im *strategischen Bereich* wird grundsätzlich zwischen einer präventiven Instandhaltung (Werterhaltung) und einer „Crash“-/Feuerwehr-Instandhaltung, die eine reine Funktionserhaltung anstrebt, unterschieden. Im Weiteren kann die Instandhaltung als zeit- bzw. leistungs- und zustandsabhängige Instandhaltung betrieben werden. Diese Strategien werden in der produzierenden Industrie abhängig vom jeweiligen Anwendungsfall eingesetzt und haben alle ihre Berechtigung. In der Regel findet sich ein Mix aus diesen drei Strategien. Dabei wird der Mix von den Unternehmenszielen und der Bedeutung der Anlagen für den Geschäftserfolg bestimmt.

#### *Ausfallabhängige Instandhaltung (RM, Reactive Maintenance)*

Bei der so genannten Feuerwehrstrategie wird auf vorbeugende Maßnahmen verzichtet. Es wird bewusst in Kauf genommen, dass eine Anlage der Produktion zu einem unvorhersehbaren Zeitpunkt nicht mehr zur Verfügung steht und dass der Ausfall eines Instandhaltungsobjektes gegebenenfalls Folgeschäden anderer Objekte verursacht. Erst nach Eintritt des Ausfalls wird die Einheit instand gesetzt, die defekten Teile werden dabei ausgetauscht. In der Praxis kann es aus wirtschaftlichen oder technischen Gründen sinnvoll sein, ausfallabhängig instand zu halten.

#### *Zeit-/leistungsabhängige Instandhaltung (PM, Preventive Maintenance)*

Diese Instandhaltung wird unabhängig vom Zustand eines Instandhaltungsobjektes zu einem festgelegten Zeitpunkt oder nach einer festgelegten Zahl von Nutzungseinheiten (Produktionszahlen, Kilometer etc.) ausgeführt. Diese Art der Instandhaltung setzt die Kenntnis des Ausfallverhaltens, der Nutzungsintensität und Nutzungsdauer der Maschinen und Anlagen voraus. Daher werden Erfahrung, Statistiken und eventuell ein Modell für die Berechnung benötigt. Dabei gibt es keine 100 %-ige Garantie, dass Fehler verhindert werden können. Mit Sicherheit wird die Restnutzungsdauer der Anlagen nicht voll ausgenutzt.

#### *Zustandsabhängige Instandhaltung (CBM, Condition Base Maintenance)*

Die zustandsabhängige Instandhaltung richtet sich nach dem Ist-Zustand eines Instandhaltungsobjektes, der mittels regelmäßiger Inspektionen festgestellt und beurteilt wird. Aus den Ergebnissen der Inspektion werden die notwendigen Maßnahmen abgeleitet, um die Abnutzungsgeschwindigkeit zu reduzieren und den Abnutzungsvorrat der Anlagen bis zur definierten Abnutzungsgrenze möglichst vollständig auszunutzen. Das genaue Wissen über den Zustand der Anlage erfordert eine Untersuchung, die erfahrenes und fachkundiges Personal voraussetzt und daher mit größeren Kosten und Aufwand verbunden ist.

Eine heute zunehmend zum Einsatz kommende Anwendung der CBM ist die *vorausschauende Instandhaltung* (Predictive Maintenance). Dabei handelt es sich um eine zustandsabhängige Instandhaltung, die ausgeführt wird, wenn die Analyse und Bewertung maßgeblicher Parameter einer Anlage eine Verschlechterung des Zustands er-

warten lassen. So wird es möglich, den Instandhaltungsaufwand und die Ausfallwahrscheinlichkeit zu reduzieren, indem die erforderlichen Maßnahmen während eines geplanten Produktionsstillstandes durchgeführt werden. Eine unplanmäßige Unterbrechung der Produktion mit ihren negativen Folgen für den Betrieb kann so vermieden werden.

Die heute wichtigsten *Instandhaltungskonzepte*, die diese Instandhaltungsstrategien zur Basis haben, sind die zuverlässigkeits- und risikoabhängige Instandhaltung sowie die Total Produktive Instandhaltung (Total Productive Maintenance).

#### *Zuverlässigkeitsabhängige Instandhaltung (RCM, Reliability Centred Maintenance)*

Bei RCM steht die Sicherstellung einer bedarfsgerechten Zuverlässigkeit einer technischen Anlage im Vordergrund. Diese resultiert in einer hohen Verfügbarkeit und kurzen Reaktionszeit bei einer Störung oder bei einem Ausfall. Mittels RCM wird daher ermittelt, welche Instandhaltungsmaßnahmen (Wartung, Inspektion, Instandsetzung oder Verbesserung), Bedienungsregeln und konstruktiven Veränderungen die Zielerreichung gewährleisten. Eine Ausfallstatistik kann dabei helfen. Dazu ist eine genaue Analyse der eigentlichen (primären) Ursache eines Fehlers bei einem bestimmten Ausfall oder einer Störung notwendig. RCM stellt solche eine Analysemethode dar, die klare Regeln für Entscheidungen beinhaltet. Sie basiert auf der Analyse der Funktionen einer Anlage. Daraus werden die möglichen Funktionsstörungen und deren Ursachen ermittelt. Für jede Ursache erfolgt dann die Bewertung der Auswirkungen der Störung. Hierzu kommt in der Regel eine Fehler-Möglichkeit- und -Einfluss-Analyse (FMEA) oder eine FMECA zum Einsatz, wobei das C für Criticality (Kritikalität) steht. Entsprechend der Bewertung der Störungsauswirkungen wird festgelegt, welche Instandhaltungsstrategie zum Einsatz kommen sollte. Ist das Problem nicht durch entsprechende Instandhaltungsmaßnahmen zu lösen, wird geprüft, ob Konstruktionsänderungen oder geänderte Bedienungsregeln das Auftreten der Störung verhindern können. In diesen Prozess sollten nicht nur die Instandhalter, sondern auch das Bedienpersonal und die Konstrukteure eingebunden werden. Das RCM mit einem sehr aufwändigen Prozess verbunden ist, wird dieses Konzept – wenn überhaupt – nur für die kritischen Anlagen eingesetzt.

#### *Risikoabhängige Instandhaltung (RBM, Risk Based Maintenance)*

RBM stellt ein Vorgehen zur Verfügung, mit dessen Hilfe die Risiken eines Anlagenausfalls ermittelt und priorisiert werden können. Hieraus werden dann wirkungsvolle Instandhaltungsmaßnahmen zur Minimierung des Risikos abgeleitet. So wird es möglich, den Aufwand für die Instandhaltung zu reduzieren, da das Hauptaugenmerk auf die Anlagen mit den höchsten Risiken gelegt wird. Dadurch werden Kosten und Aufwände eingespart, ein definiertes Sicherheitsniveau jedoch eingehalten. Das Risiko wird nach festgelegten Kriterien beurteilt, z. B. anhand der Auswirkungen für Mensch, Umwelt und Unternehmen. Diese Bereiche werden zusätzlich in unterschiedliche Risikoklassen eingeteilt, z. B. kein Risiko, sehr geringes Risiko, geringes Risiko, mittleres Risiko, hohes Risiko und sehr hohes Risiko. Zur Einteilung in diese Risikoklassen werden häufig monetäre Maßstäbe angelegt, d. h. eine Klasse wird nach Kosten und Folgekosten bewertet. Der Hauptvorteil dieses ganzheitlichen Konzeptes zur Verbesserung der Instandhaltungspraxis gegenüber anderen Instandhaltungskonzepten liegt darin, dass risikobasierte Entscheidungen während des Instandhaltungsprozesses getroffen werden.

*Total Produktive Instandhaltung (TPM, Total Productive Maintenance)*

TPM hat zum Ziel, die Produktivität zu erhöhen, in dem die Produktionsanlagen effektiver genutzt werden. Die Effektivität wird durch Anlagenstillstände aus technischen oder produktionsbedingten Gründen sowie Leistungsminderungen wie reduzierte Geschwindigkeit und produzierte Produktqualität beeinflusst. Im TPM-Konzept fließen diese Einflussfaktoren in die Kennzahl *Gesamtanlageneffektivität* (OEE, Overall Equipment Effectiveness) ein. Zur Zielerreichung sollen alle Mitarbeiter, die Einfluss auf den effektiven Einsatz der Anlagen haben eingebunden werden. Hierzu gehören nicht nur das Bedienpersonal und die Instandhalter, sondern auch die Konstruktion, der Einkauf, die Arbeitsvorbereitung und das Qualitätsmanagement, um nur die wichtigsten Unternehmensfunktionen zu nennen. In der praktischen Umsetzung des Konzeptes liegt der Schwerpunkt bei deutschen Unternehmen auf der Implementierung der so genannten teilautonomen Instandhaltung. Über einen längeren Zeitraum (1-3 Jahre) wird das Bewusstsein für die eigene Anlage schrittweise aufgebaut und die Fähigkeiten der Bediener für Instandhaltungsarbeiten verbessert. Die Mitarbeiter der Instandhaltung wirken in diesem Prozess als Coach für das Bedienpersonal und übernehmen die Aufgaben, die spezifisches Know-how und Erfahrungen voraussetzen. Dabei hilft es, wenn Bediener und Instandhalter gemeinsam eine „Patenschaft“ für eine Anlage übernehmen. Durch die Fokussierung auf die teilautonome Instandhaltung bleiben weitreichende Potenziale außen vor, die im Gesamtkonzept des TPM-Konzeptes liegen. Zu nennen sind beispielsweise eine Reduzierung „eingekaufter“ Schwachstellen durch Integration der Instandhaltung in den Design- und Beschaffungsprozess sowie die Förderung des Verständnisses für die unterschiedlichen Sichten der Instandhalter und Controller auf die Anlagen, welches dann zur Umsetzung gemeinsam entwickelter Kompromissvorschläge führt.

Als weitere Aspekte des Untersuchungsbereiches Strategie sind vor allem das so genannte Life Cycle Management (Lebenszyklusorientierung) sowie die Nutzungsdauerverlängerung und -intensivierung der eingesetzten technischen Objekte zu nennen. Beim Life Cycle Management stehen nicht mehr die Instandhaltungs-, sondern die Lebenszykluskosten (LCC, Life Cycle Cost) im Fokus der Optimierung. In der Literatur gibt es hier zu zahlreiche Veröffentlichungen, die insbesondere die hohe Relevanz für die Praxis untermauern und Lösungsansätze zur Umsetzung aufzeigen. Dennoch haben bisher erst wenige größere Unternehmen dieses Konzept bereits umgesetzt. Aufgrund des hohen Kostendrucks durch die weltwirtschaftliche Entwicklung ist zurzeit eine weitere Umsetzung eher rückläufig. Von den Anwendern wird hier auch eine intensivere Unterstützung durch die Hersteller erwartet. Diese schaffen die Voraussetzungen tatsächlich die gesamten Lebenszykluskosten (von der ersten Idee bis zur Entsorgung) und nicht nur die Total Cost of Ownership (TCO, von der Inbetriebnahme bis zur Stilllegung) zu berücksichtigen.

Die Nutzungsdauerverlängerung und -intensivierung wird dagegen aufgrund der wirtschaftlichen Rahmenbedingungen immer wichtiger und von nahezu allen Unternehmen angestrebt. Ziel ist es, Neuinvestitionen herauszuzögern bzw. zu vermeiden, indem die Anlagen durch unterschiedliche Maßnahmen wie z. B. Remanufacturing/Revitalisierung oder Instandhaltung länger und intensiver genutzt werden können, als dies ursprünglich geplant war. Damit einher geht auch eine steigende Bedeutung von Gebrauchtmaschinenmärkten und -börsen. Die Umsetzung im Unternehmen erfolgt hauptsächlich durch die eigene Instandhaltung unter Einbindung regionaler und/oder spezialisierter kleinerer Unternehmen. Anlagenhersteller zeigen bisher nur wenig Interesse diese Prozesse zu unterstützen, da der Produkt- und Ersatzteilverkauf *noch* Haupteinnahmequelle ist.

### 3.1.3 Untersuchungsbereich Geschäftsmodelle

Früher gab es nur Instandhaltungsservice von den entsprechenden Lieferanten. Diese Inspektions- und Wartungsarbeiten erfolgten nach fixen Checklisten [Stra04]. Bei Störungen wurde je nach Art der Anlage ein externer Spezialist aufgeboten. Die Instandsetzungen und der Unterhalt an fremden Teilen, beispielsweise an Aufzügen, wurden durch spezialisierte Wartungsvertragsfirmen ausgeführt. Je nach Art der Anlagen und Gebäude waren Personen mit unterschiedlichen Funktionen für die Instandhaltung verantwortlich.

Heute ist der Instandhaltungsdienstleister ein kompetenter Anlageninstandhalter und für einen funktionstüchtigen Betrieb zuständig. Instandhalter sind vielseitig ausgebildete Techniker, die Funktionen überprüfen, Regler einstellen, den Betrieb optimieren, Kunden beraten, Angebote schreiben, Berichte erstellen, nach ausführlichen Checklisten oder standardisierten Arbeitsvorschriften arbeiten und genau so gut mit moderner Informations- und Kommunikationstechnik umgehen können wie mit den eigenen Werkzeugen.

Anstelle von Einzelaufträgen und Serviceverträgen pro Anlage werden heute zunehmend All-in-Service-Vereinbarungen mit einem einzigen Vertrag festgelegt. Dieser umfasst alle Anlagen eines Kunden einschließlich der zugehörigen Produktions- und Werkstattgebäude. Die Verträge sind zwar komplexer, da sie mehrere Anlagen beinhalten, sind aber vom Aufwand her für den Kunden, verglichen mit Einzelverträgen, und deren Zeitaufwendungen wesentlich besser zu handhaben.

Das Spektrum der angebotenen Instandhaltungsdienstleistungen ist ebenso breit gefächert wie das der einzelnen Anbieter. Neben den spezialisierten Dienstleistungsunternehmen lässt sich bei den Anlagenherstellern und -lieferanten ein immer stärkerer Trend zum Dienstleistungsgeschäft erkennen. Dabei wird zwischen produktergänzenden und produktersetzenden Dienstleistungen unterschieden.

Bei den produktionsergänzenden Dienstleistungen sind im Instandhaltungsbereich insbesondere die Online-Ersatzteilbeschaffung und der Teleservice im Angebot der meisten Anlagenhersteller. Über den Nutzungsgrad der Ersatzteilbeschaffung über Online-Mechanismen gibt es keine veröffentlichten, belastbaren Untersuchungen. Die letzte Analyse zum Teleservice liegt mittlerweile fast zehn Jahre zurück [Lay97]. Dabei wurde ermittelt, dass ca. 28 % – insbesondere größere – Unternehmen Teleservice nutzen. Als Hauptproblem wird immer noch die Sicherheit angesehen. Gerade kleine und mittlere Unternehmen befürchten Angriffe auf ihre sensiblen Daten, wenn sie für Teleservice „eine Tür“ in ihr Unternehmen öffnen. Bei den Anbietern ist die hohe Personalintensität für ein fehlendes Angebot ausschlaggebend; sie können die geforderte „rund um die Uhr“-Betreuung (7 x 24 Stunden) meist nicht leisten und bieten ihre Lösungen nur in den üblichen Kernzeiten an.

Eine besondere Bedeutung wird in der Literatur den produktersetzenden Dienstleistungen zugesprochen [Jasc00]. Schlagworte wie beispielsweise „Nutzen statt Besitzen“, „Pay For Use“ oder „Pay On Demand“ sind mittlerweile weit verbreitet. Produktersetzende Dienstleistungen werden weiter in ergebnis- und nutzungsorientierte Dienstleistungen unterteilt. Contracting von Energie, Wärme oder Druckluft sind die bekanntesten und am weitesten verbreiteten ergebnisorientierten Dienstleistungen. Aufgrund des jedoch meist hohen Risikos werden diese Leistungen eher selten von kleinen und mittleren Unternehmen genutzt. Nutzungsorientierte Dienstleistungen finden sich zunehmend auch bei KMU. Zu nennen sind beispielsweise die gemeinsame Nutzung (Sharing, Pooling) von z. B. Werkzeugen und Ersatzteilen oder durch Dienstleistungsunter-

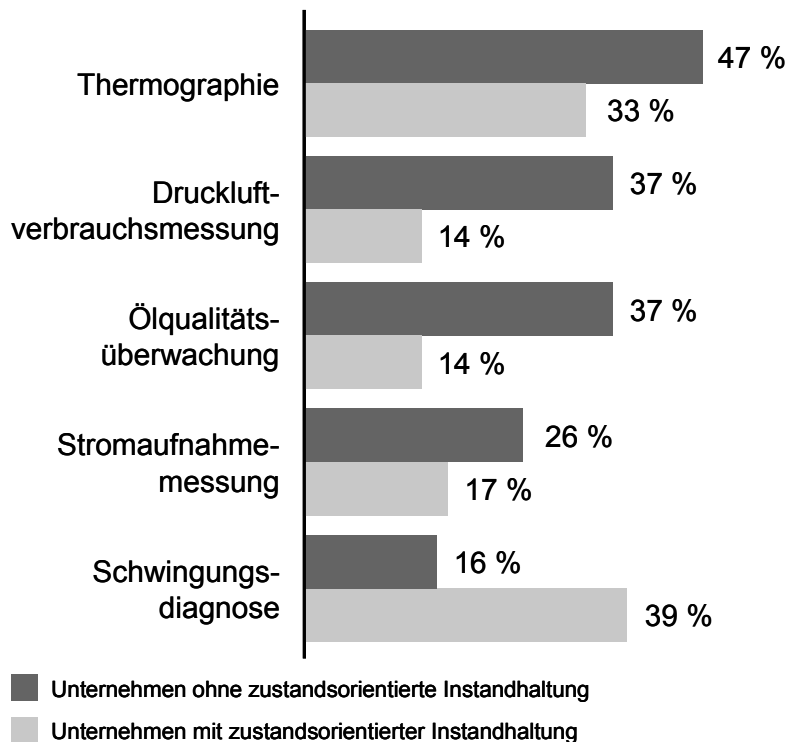
nehmen betriebene regionale Konsignationslager für Ersatzteile. Instandhaltungsparks haben im Gegensatz zu Industrieparks in der Automobilindustrie bisher hauptsächlich im Baubereich Verbreitung gefunden. Das so genannte All-Gewerke-Konzept vereinigt Unternehmen der verschiedenen im Baubereich an einem Standort, die Auftragsakquisition und -abwicklung wird dann unter Führung eines dieser Unternehmen jeweils gemeinsam zum Nutzen des Kunden abgestimmt und optimiert. Weitere verbreitete Dienstleistungen aus diesem Bereich sind die Miete und das Leasing von z. B. Flurförderzeugen (z. B. Stapler), Lagerkapazitäten oder Werkzeugen. Hier gibt es Full-Service-Angebote, welche die Unternehmen von den damit verbundenen Organisationsmaßnahmen entlasten.

### **3.1.4 Untersuchungsbereich Technologien**

Die Untersuchungsbereiche Hardware und Software lassen sich im Bereich der Instandhaltung nicht klar trennen. Für die Nutzung einer Software wird ebenso eine zugehörige Hardware benötigt wie im umgekehrten Fall die mittels Hardware erfassten Daten nur mit Hilfe von Software effizient ausgewertet werden können.

#### *Condition Monitoring Systeme*

Wie die Untersuchung „Intelligent Maintenance“ des WZL zeigt, setzen die produzierenden Unternehmen verstärkt auf zustandsabhängige Instandhaltung [Schu05]. Damit einher geht eine zunehmende Verbreitung von Condition Monitoring Systemen, die eine Zustandsüberwachung (Condition Monitoring) und -erfassung ermöglichen. Oft wird Condition Monitoring synonym zur Schwingungsüberwachung verwendet. Die Schwingungsüberwachung ist jedoch nur eine von vielen Möglichkeiten, um ein Condition Monitoring zu betreiben. Weitere Methoden sind die Thermographie-, die Drehmoment-, die Lage-, die Schmierstoff- und die Ultraschallüberwachung sowie Stromaufnahme- und Druckluftverbrauchsmessung, um nur die wichtigsten zu nennen. Oft ist es notwendig, verschiedene Methoden anzuwenden, um zu einer realistischen Aussage über den Zustand eines Objektes und zu einer guten Prognose über den zu erwartenden Abnutzungsverlauf zu kommen. Hauptgründe für den zunehmenden Einsatz von Condition Monitoring Systemen sind, dass es mittlerweile auch preisgünstige Systeme gibt (ab ca. 300,- Euro), der Nutzen unbestritten und nachweisbar ist und die Anlagenhersteller beginnen, entsprechende Systeme in die Anlagen zu integrieren.



**Abbildung 3-1: Verbreitung von Condition Monitoring Verfahren [Schu05]**

In den nächsten Abschnitten folgt ein kurzer Überblick über die wesentlichen Sensortechnologien.

- Thermographie

Die Thermographie dient der berührungslosen Bestimmung von Temperaturen zwischen  $-60\text{ °C}$  und  $+3000\text{ °C}$  sowie deren Visualisierung. Sie nutzt die durch Wärme emittierte Infrarot-Strahlung (IR), transformiert diese in einen für den Menschen sichtbaren Bereich und errechnet Falschfarbenwärmebilder bzw. -filme [Infr06; Ther06].

In den Anfängen der Thermographie wurden handelsübliche Thermometer zur punktuellen Messung der Maschinen- und Produkttemperatur eingesetzt. Heute werden mit Hilfe der Temperaturvisualisierung in der Elektronikindustrie und der Kunststoffverarbeitung Qualitätsprüfungen durchgeführt und Fertigungsprozesse überwacht [Flir06]. Zudem ist mit stationären oder portablen Messgeräten eine Oberflächendiagnose an im Betrieb befindlichen Maschinen möglich. Auf diese Weise können nicht sichtbare Problemzonen eindeutig entdeckt werden [Sysw06]. Diese Defekte und Anomalien bestehen oft aus Rissen und Materialverschiebungen, welche durch Materialermüdung sowie mechanischer oder thermischer Überlast hervorgerufen werden. Auf den Falschfarbenbildern erscheinen diese Fehler andersfarbig als ihre Umgebung. Potenzielle Folgeschäden an Maschinenteilen durch defekte Lager, Getriebe, Gelenke etc. können mittels dieser Technik vermieden werden [Ther06].

In der Petrochemie- und der Pharmaindustrie wird diese Technologie zur Rohr- und Isolationsüberwachung eingesetzt. In der Holz- und Papierindustrie sowie der Luftfahrt kommt diese Technik zur Überwachung von schnell rotierenden Bauteilen und Lagern zum Einsatz. Maschinenstillstände oder -defekte bedeuten in diesen Indust-

riezweigen Verluste in Millionenhöhe. Die Installationskosten dieser teuren Überwachungstechnik belaufen sich auf einen vierstelligen Eurobetrag pro Messstelle. Eine Bauteilüberwachung auf Basis der Thermographie rechnet sich trotzdem innerhalb der ersten sechs Monate [Flir06].

Zurzeit beschäftigt sich die Forschung mit der besseren Ausnutzung energetisch geringer Strahlungsunterschiede sowie der Erhöhung der Auflösung und der Bildrate [Ther06]. Dies ermöglicht an Maschinen und Geräten mit hohen Drehfrequenzen und/oder sich schnell ändernden Temperaturen detaillierte Analysen.

- Druckluftverbrauchsmessung

Druckluft dient in der Industrie als flexibler und teurer Energieträger [Dbin05]. Schon kleine Leckagen bei üblichen Drücken zwischen 6 und 12 bar können hohe Kosten im fünfstelligen Eurobereich jährlich zur Folge haben. Druckluftverbrauchsmesser für ca. 500,- Euro pro Messeinheit erreichen somit schon binnen weniger Monate einen hohen Return on Investment (ROI) [IFM06]. Die Verminderung von Leckageverlusten birgt eine Kosteneinsparung von bis zu 16 % [Fack05].

Mit Hilfe dieser modernen Messtechnik können Schäden frühzeitig erkannt und lokalisiert sowie Verbesserungsmöglichkeiten im Pneumatiknetz aufgezeigt werden. Mögliche Quellen des Druckluftverlustes sind Leckagen an Pumpen, Gebläsen, Druckspeichern, Ventilen usw. [Diel06]. Bei kontinuierlicher Überwachung werden einsetzende Defekte an diesen Bauteilen durch eine fortlaufende Druckänderung oder einen abweichenden Leistungsgrad deutlich [Diel06], [Soft06].

Heute werden Varianten wie die Durchfluss-, die Druckluftmengen- und die Gasmassenstrommessung zur Zustandsbestimmung und Druckluftüberwachung eingesetzt [Diel06]. Diese Messungen basieren auf verschiedenen physikalischen Effekten, z. B. der Drall- und Wirbelmessung, dem Druckvergleich (Druckwaage), der Messung der Coriolis- oder magnetisch-induktiver Kräfte. Zum anderen kann der Massenstrom als Vergleichsmaß angesetzt werden [Abb06].

Um in Zukunft Anlagenfehler und mögliche qualitative Schwachstellen vor Aufbau der Anlage zu orten, werden Simulationsprogramme entwickelt und Simulationsmodelle auf ihre Einsatzfähigkeit untersucht. Des Weiteren wird geprüft, ob verschiedene Diagnosemodi und Simulationen die heute gängige Online-Prüfung ablösen können [Ifas06].

- Ölqualitätsüberwachung

Die Ölqualitätsüberwachung stellt eine Möglichkeit zur Zustandsanalyse von Maschinenteilen dar [VDI03]. Schadensbegleitend tritt immer eine Verunreinigung des Kühlschmierstoffes durch chemische Veränderungen und Schwebteile auf. Diese Unreinheiten wirken sich negativ auf die Schmier- und Kühleigenschaften aus und führen zu weiterem Verschleiß. Mittels einer frühzeitigen Reaktion auf diese Warnsignale lässt sich eine Kostenreduzierung aufgrund einer längeren Lebensdauer des Öles und der Bauteile erzielen [Shel06].

Mittels Metalldetektoren wird heute z. B. das Öl von Windrädlergetrieben und neuartigen Schiffsantrieben (Cruiseline Pods) auf kleinste Mengen Abrieb überwacht. Da diese Technik keine Fehlalarme auslöst und eine kontinuierliche 100 %-Prüfung zulässt, hat diese bauraumsparende Technik in die Überwachung von Getriebekomponenten und Turbinen in der Luftfahrtindustrie Einzug erhalten [Gast06].

Aufwendige Spektralanalysen zur Ölreinheit und Alterung eignen sich lediglich zur Stichprobenüberprüfung, nachträglichen Schadensanalyse, Detektion geringer Mengen von Fremdstoffen ab einem Durchmesser von 2  $\mu\text{m}$  und Additiven sowie deren Veränderung und müssen vom Experten durchgeführt werden [C3an06]. Auf diese Weise kann die Spektralanalyse lediglich mit Hilfe von Erfahrungswerten zur zeitlichen Abschätzung eines Schadensfalles dienen [Amc06].

Mittels einer elektrochemischen Impedanzmessung (EIS) könnte bereits heute eine Ölqualitätsüberwachung beispielsweise im Automobil realisiert werden [C3an06]. Diese Technik basiert auf der Anregung des Öles mit verschiedenen sinusförmigen Signalen und der sich durch die Impedanz der verschiedenen Stoffe ändernden Beiträge und Phasen des Signals. So kann der Nutzer auf die Zusammensetzung und die Veränderungen des angeregten Öles schließen.

- Stromaufnahmemessung

Der elektrische Strom wird in der Physik als das Durchtreten einer bestimmten Menge elektrischer Ladungsträger durch eine Querschnittsfläche pro Zeit verstanden und landläufig als Stromstärke bezeichnet [Tip194]. Die Änderung der potentiellen Energie eines Ladungsträgers ist als Spannung definiert [Tip194]. Die elektrische Leistung ist das Produkt von Spannung und Stromstärke [Tip194].

Mit der Stromaufnahmemessung kann über den beschriebenen physikalischen Zusammenhang und den elektrischen Widerstand auf die aufgenommene Leistung von elektrischen Motoren, Spulen und Transformatoren geschlossen werden. Mit dieser ausgereiften Messtechnik lässt sich bei unüblichen Leistungsschwankungen, sei es auf Grund von Widerstandsanstiegen durch Erwärmung oder einer Verschlechterung des Wirkungsgrades durch beispielsweise Abnutzung, auf den einsetzenden Defekt der Maschine schließen.

Mit dieser weit verbreiteten und wartungsarmen Prüftechnik für ca. 500,- Euro pro Messstation wird in der Industrie meist eine stationäre 100 %-Überwachung von zentraler Stelle aus durchgeführt (Online-Monitoring). Da keine durchgängige Überprüfung der Messeinheiten in Schaltschränken möglich ist, sind diese oft zur Sicherheit direkt mit einer Notabschaltung bestückt. Portable Stromaufnehmer werden lediglich zu Installationszwecken verwendet oder um stationäre Messgeräte zu überprüfen oder zu kalibrieren.

- Schwingungsmesstechnik/Vibrometrie

Schwingungen lassen sich als eine zeitlich wiederkehrende Änderung einer oder mehrerer mechanischer, elektrischer oder auch hydraulischer Größen definieren [Geog06], [Schw06]. Die Anzahl der Wiederholungen pro Zeiteinheit stellt die Frequenz dar.

Unwuchten auf drehenden Wellen sowie Lagern, in Kolben oder auf Linearführungen etc. rufen Schwingungen hervor. Bei korrekter Funktion aller Bauteile sind diese Schwingungen zyklisch konstant. Durch beispielsweise Abrieb, Ablagerungen oder unzureichende Schmierung ändern sich Frequenz und/oder Amplitude (Ausschlag). Diese Eigenschaften nutzt die Schwingungsmesstechnik/Vibrometrie [DFG93], [VDI01].

Heute wird die Schwingungsmesstechnik an sicherheitsrelevanten Aggregaten und Bauteilen in der Medizin- und Luftfahrttechnik sowie in produzierenden Betrieben

der Automobil-, Lebensmittel-, Druck- und Papierindustrie verwendet [Eaon06], [Gast06].

Im Maschinenbau werden über Weg-, Geschwindigkeits- und Beschleunigungsmessungen verschiedenste Geräte wie z. B. Motoren, Lager, Pumpen, Turbinen und Kompressoren teilweise berührungslos überwacht [Bahr06], [Haub06]. Kapazitive, induktive und magnetische Sensoren sowie Lasertechniken mit Interferenzmessern arbeiten völlig berührungslos, wohingegen mechanische Aufnehmer die einzelnen Messgrößen direkt aufnehmen und Wegänderungen differenziert nach der Zeit in die gewünschten Kennwerte wandeln [IFM06].

Ein weiteres Einsatzgebiet dieser Technologie ist die Unterstützung zustandsorientierter Instandhaltung durch frühzeitiges Erkennen sich ändernder Schwingungen, z. B. an Wellen, Spindeln, Getrieben, Gehäusen sowie Robotern [MTS06]. Dies geschieht sowohl mit portablen Geräten als auch mit integrierten Online-Sensoren. Diese Sensoren, z. B. Schwingungswächter, können in Online-Monitoring Systeme eingebunden und mit dem Rechner überwacht werden. Unter Berücksichtigung der gewonnenen Daten können Instandhaltungsstrategien angepasst werden [IFM06]. Anschaffungspreise von unter 1.000,- Euro pro Messstelle amortisieren sich erfahrungsgemäß innerhalb von drei Monaten aufgrund einer deutlichen Erhöhung der Produktivität sowie einer Senkung der Instandhaltungskosten [Eaon06].

Große Potenziale werden der in der Forschung befindlichen luftgekoppelten Laser-vibrometrie zugesprochen. Mit ihr können Risse, Ablösungen von Beschichtungen und Einschlüsse an der Oberfläche von rotierenden Bauteilen zerstörungs- und berührungsfrei mit Hilfe verschiedener Interferenzmuster lokalisiert werden [ZFP06]. Heute dient diese kostenintensive Technik bereits zur schnellen (3.000 Messpunkte in zwei Tagen), dreidimensionalen Schall- und Schwingungsquellenortung in der Entwicklung von Automobilkarosserien. Es ist bereits möglich, strukturdynamische Untersuchungen zur Verformungsschwingung durchzuführen und Schwachstellen am Bauteil zerstörungsfrei zu lokalisieren.

### *RFID-Technologie*

Erhebliche Potenziale werden auch der RFID-Technologie (Radio Frequency Identifikation, Funkerkennung) zugeschrieben [FVI05]. Durch die Erfassung und Speicherung von Daten und Informationen direkt am Objekt wird es möglich, die Instandhaltung wesentlich effizienter und mobiler zu gestalten. Die papierlose Durchführung der Instandhaltung bei gleichzeitig steigender Verfügbarkeit der Daten, Nachweisfähigkeit und Rückverfolgbarkeit der Prozesse eröffnen für die Instandhaltung neue Möglichkeiten. Erste Anwendungen gibt es am Frankfurter Flughafen (Wartung der Brandschutzeinrichtungen), bei Rhein Papier (Mobile Instandhaltung der Papiermaschinen) und der Aluminium Norf GmbH (Ersatzteilverfolgung und -historie). Insgesamt steht die Anwendung noch am Anfang der Umsetzung, da zum einen noch wenig Anwendungserfahrungen in der Instandhaltung vorliegen und zum anderen die Einführung von RFID mit nicht unerheblichen Kosten und Anpassungen der Prozesse verbunden ist.

### *Augmented Reality und Wearable Computing*

Zwei weitere Technologien, die bisher hauptsächlich als Pilotanwendungen im Rahmen von Forschungsprojekten eingesetzt werden, sind Augmented Reality (Erweiterte Realität, d. h. die Verschmelzung von realer Umwelt und digitaler Information auf einem in eine spezielle Brille integrierten Display) und Wearable Computing (in die Kleidung integrierte Informationstechnologie zur Unterstützung der Instandhaltung) [Flei04].

Einsatzreife Produkte im Themenbereich Wearable Computing werden für das Jahr 2008 als Ergebnis des EU-Projektes wearIT@work erwartet. In Deutschland gibt es Prototypen in Form eines Inspektionsassistenten für Großkräne („Winspect“) und für die mobile Flugzeuginstandhaltung (EADS). Augmented Reality kann dabei als spezieller Anwendungsfall des Wearable Computing angesehen werden.

### *Instandhaltungssoftware*

In erster Linie zur wirtschaftlichen Bewältigung der innerhalb der Instandhaltung entstehenden Datenmengen gedacht, haben sich den Softwaresystemen zur Unterstützung der Instandhaltung aufgrund der rasanten Entwicklungen im Bereich der Soft- und Hardware zahlreiche neue Anwendungsbereiche erschlossen.

Instandhaltungssoftware bietet gegenwärtig Unterstützung

- beim Datenmanagement im Bezug auf Maschinen-, Personal- und Materialdaten und dadurch eine vereinfachte und beschleunigte Informationsbeschaffung,
- bei der optimalen Disposition der Ressourcen durch die Verwaltung von Arbeitsplänen,
- bei der Beschleunigung von Instandhaltungsvorgängen bspw. mittels automatisierter Auftragsauslösung sowie einer vereinfachten Grob- und Feinplanung der Instandhaltungsaufträge,
- bei der internen Verrechnung benutzter Faktoren und führt damit zu einer verbesserten Kostentransparenz,
- bei der Interaktion zwischen Instandhaltung und Produktion,
- bei einer effizienten Störmeldung, -analyse und -dokumentation,
- beim Material- und Lagerwesen durch automatische Bestellauslösung und vereinfachte Bestandsübersicht
- und bei einem effektivem Controlling und einer Fortschrittsüberwachung der Instandhaltungsprozesse.

Besonders für eine zustandsorientierte Instandhaltung ist die Verwendung einer Instandhaltungssoftware vorteilhaft, die eine schnelle Aufarbeitung und Auswertung von Sensorendaten ermöglicht. Angebot und Verbreitungsgrad solcher Software sind allerdings gering. Bei präventiver Instandhaltung liegt das Hauptaugenmerk eher auf einer planmäßigen, automatisierten Auftragsauslösung.

Durch das gesteigerte Interesse der Unternehmen sowie die Vielfältigkeit in der Anwendung lässt sich die Breite der angebotenen und verwendeten Softwarelösungen erklären. Bei der Entscheidung für ein bestimmtes Softwaresystem lassen sich als Einflussfaktoren unter anderem Flexibilität sowie Anpassungsbedarf, Exportfähigkeit der Daten und Betriebskosten, bestehend aus Initialkosten (Hardware, Lizenz etc.) und laufenden Kosten (Schulung, Updates etc.), identifizieren.

Dabei lassen sich bei Softwaresystemen zur Instandhaltungsunterstützung vier verschiedene Lösungsansätze unterscheiden, die in unterschiedlichem Maße und situationsabhängig von Unternehmen eingesetzt werden:

- Standard-IPS-Systeme

Instandhaltungsplanungs- und -steuerungssysteme (IPS-Systeme) sind Datenverarbeitungssysteme, die zur Unterstützung der Instandhaltung konzipiert und entwi-

ckelt wurden und durch ihre Funktionalitäten die Ausführung von Planungs-, Verwaltungs-, Dokumentations-, Kommunikations-, Steuerungs-, Controlling- und Analyseaufgaben unterstützen (VDI-Richtlinie 2898). Dabei stellen Standard-IPS-Systeme im Allgemeinen kostengünstigere, eigenständige Systemlösungen dar, die unabhängig bspw. vom im Unternehmen verwendeten ERP-System agieren und dadurch individueller und direkter auf die Einsatzbereiche der Instandhaltung abgestimmt werden können. Oft sind diese Systeme günstiger, aber etwas aufwändiger in der Anpassung und Einrichtung. Größtes bei der Verwendung von IPS-Systemen entstehendes Problem stellen die Schnittstellen beim Daten- und Informationsaustausch dar, die oft nur unzureichend ausgeprägt erscheinen.

- In ERP-System eingebettete IPS-Module

Im Gegensatz zu den eigenständigen IPS-Systemen handelt es sich hierbei um Lösungsansätze, die in das Enterprise-Resource-Planning-System des Unternehmens integriert sind. Eine dadurch existierende gemeinsame Datenbasis ermöglicht einen schnellen Austausch sowie eine unkompliziertere Auswertung der Instandhaltungsdaten für andere Unternehmensbereiche und umgekehrt. Nachteil dieser integrierten Lösung ist die resultierende Statik des Systems. ERP-Komplettlösungen sind für Teilbereiche, wie z. B. die Instandhaltung, nicht so flexibel ausgelegt und können aus diesem Grund oft nicht an komplexe Instandhaltungsprozesse angepasst werden. Hierbei stoßen diese ERP-Module oft schon bei einem Branchenwechsel an ihre Grenzen. Ein besonders bekanntes und in der Praxis häufig eingesetztes Beispiel hierfür stellt das PM-Modul von SAP dar.

- Eigenentwickelte Softwaresysteme

Begründet auf hoher Komplexität des abzubildenden Instandhaltungsprozesses oder der aufzunehmenden und zu verarbeitenden Daten stellen kommerzielle Systeme aufgrund zu hoher Anpassungs- und Einbindungskosten für einige Unternehmen keine attraktive Alternative dar. Um dennoch eine Softwareunterstützung der Instandhaltung zu gewährleisten, werden selbstprogrammierte Systeme verwendet, die individuell auf die Anforderungen der betroffenen Instandhaltung zugeschnitten sind. Dafür ist jedoch ein dementsprechendes Know-how der Mitarbeiter im Softwarebereich unabdingbar. Daraus resultiert, dass bei einem Know-how-Verlust durch ausscheidende verantwortliche Mitarbeiter diese „Do-it-yourself“-Lösungen oftmals nicht aufrechterhalten werden können oder hohen Adaptionaufwand verlangen. Eine spätere Anbindung an neue Systeme gestaltet sich ähnlich schwierig.

- MS-Office-Anwendungen

Weit verbreitet sind ebenfalls Eigenentwicklungen zur Datenaufbereitung auf Basis von MS-Office-Anwendungen (meist Excel oder Access). Treiber solcher „einfachen“ EDV-Lösungen ist oft die Tatsache, dass die abzubildenden Prozesse in den betreffenden Unternehmen kein kostspielig erworbenes Software-System extra für die Instandhaltung rechtfertigen.

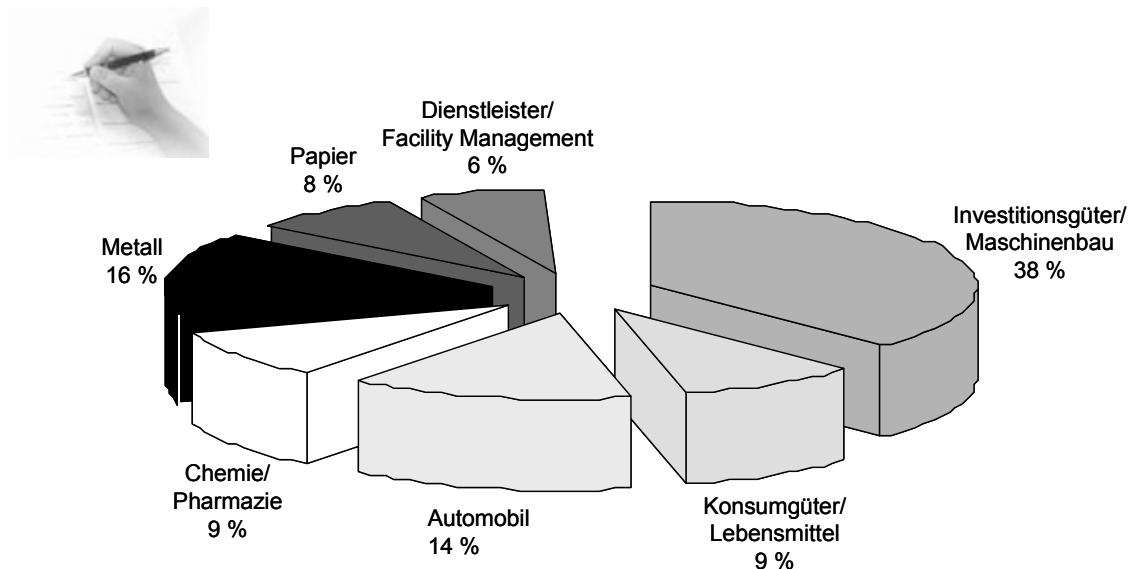
Häufig werden die MS-Office Anwendungen auch ergänzend verwendet, indem Daten aus Instandhaltungssoftware übertragen und aufbereitet werden, um sie entweder weiterverwenden zu können oder zu sie zu Informationszwecken besser zu visualisieren. Hinzu kommt die Tatsache, dass die Verwendung von MS-Office bei den meisten Mitarbeitern keiner speziellen Schulung bedarf und es sich innerhalb gewisser Grenzen um eine übersichtliche Art der Datenaufbereitung handelt und damit die Akzeptanz des Systems bei den Mitarbeitern automatisch steigt.

### 3.2 Ergebnisse der Unternehmensbefragung: Stand der Technik

Die Unternehmensbefragung stützt sich auf zwei Säulen: Die erste Säule ist eine schriftliche Befragung von Herstellern, Betreibern und Dienstleistern der Branchen

- Automobilindustrie,
- Chemie / Pharmazie,
- Dienstleistung / Facility Management,
- Investitionsgüterindustrie / Maschinen- und Anlagenbau,
- Konsumgüter- / Lebensmittelindustrie sowie
- Metall- sowie Papiererzeugung und -verarbeitung.

An dieser Befragung haben sich Führungskräfte aus 240 Unternehmen beteiligt; dies entspricht einer Rücklaufquote von 12,5 %. Es handelte sich dabei sowohl um Führungskräfte aus kleinen und mittleren Unternehmen (45 %) als auch aus Großunternehmen (55 %). Die Zugehörigkeit der Unternehmen zu diesen Kategorien wurde entsprechend der Kriterien der Europäischen Union ermittelt.



**Abbildung 3-2: Beteiligung nach Branchen**

Parallel zur schriftlichen Befragung wurde mit ausgewiesenen Experten der Branchen gezielte Interviews geführt. Für die zweite Säule der Untersuchung konnten 24 Experten gewonnen werden.

Die wesentlichen Ergebnisse und Erkenntnisse der Unternehmensbefragung werden im Folgenden kurz vorgestellt.

### 3.2.1 Untersuchungsbereich Organisation

#### *Zielprioritäten der Unternehmen*

Die drei Zieldimensionen der Nachhaltigkeit haben in den Unternehmen unterschiedliche Priorität. Die Kosten haben die größte Bedeutung (44-51 %), gefolgt von Arbeits- (28-32 %) und Umweltschutz (21-26 %). Lediglich in der Branche Chemie/Pharmazie erfolgt eine gleichmäßige Berücksichtigung der Zieldimensionen. Der Kostenfokus liegt bei allen Unternehmen auf den Gesamt- (69,3 %) und nicht den Instandhaltungs- (17,6 %) bzw. Lebenszykluskosten (10,2 %).

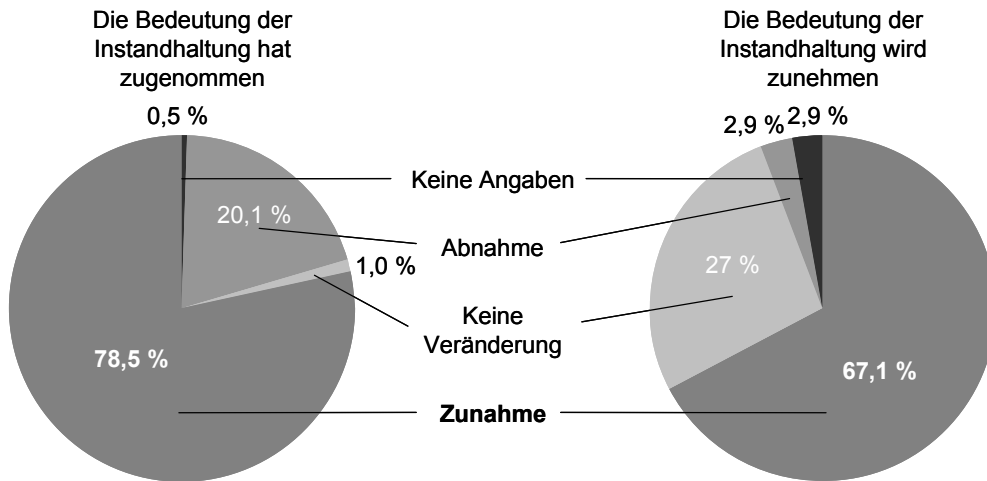
Während die Hersteller der Maschinen und Anlagen höchste Auflagen erfüllen müssen, erfüllen die Betreiber meist nur das absolut Notwendige und damit die Minimalforderungen der Gesetzgeber. Die Frage der Haftung wird so zu einem gefährlichen „Vaubanquespiel“ für die Instandhalter.

#### *Wandel der Instandhaltungsbedeutung*

Die Frage nach der Bedeutung der Instandhaltung im Unternehmen unterstreicht die Signifikanz der Thematik. Sowohl die Expertenbefragungen als auch die Fragebogenaktion haben eine deutliche Aussage: *Die Instandhaltung hat in 97,6 % der Unternehmen eine hohe Bedeutung.* Dabei hat die Bedeutung der Instandhaltung in den letzten Jahren erheblich zugenommen (78,5 %) und wird auch in Zukunft weiter zunehmen (67,1 %) (vgl. Abbildung 3-3). Diese Einschätzung bezieht sich auf die Unternehmensfunktion Instandhaltung, nicht aber auf die Instandhaltung als Organisation. Hier zeichnet sich eine steigende Verteilung „auf mehrere Schultern“ ab. Zum einen übernimmt das Produktionspersonal Aufgaben der Instandhaltung, zum anderen wird erwartet, dass Betreiber, Hersteller und Dienstleister wesentlich enger zusammenarbeiten. Die Betreiber setzen dabei vor allem auf regionale Kooperationen.

Obwohl alle Führungskräfte der Unternehmen die Bedeutung der Instandhaltung anerkennen, führt die kurzfristige Ergebnismaximierung dazu, dass „oft eine erhebliche Diskrepanz zwischen der öffentlichen Darstellung und der betrieblichen Realität besteht“. Der zukünftige Bedeutungszuwachs der Instandhaltung ist unbestritten. Sie wird mit weiter steigenden Anforderungen, wie Investitionsrückgang und Nutzungsdauerverlängerung, begründet. Es steht immer weniger Zeit für die Aufgaben der Instandhaltung zur Verfügung. Die damit in Zusammenhang stehenden Herausforderungen erfordern, Veränderungen, die sowohl das Unternehmen als auch die Instandhaltung betreffen. Zu nennen sind insbesondere die weiter zunehmenden Qualifikationsanforderungen und der Übergang von der „Feuerwehr- zur Vermeidungsmentalität“. In Zukunft werden sich die „Qualifikationsprofile verschieben, hin zu Technikern und Ingenieuren“, die mehr und mehr strategische Aufgaben übernehmen.

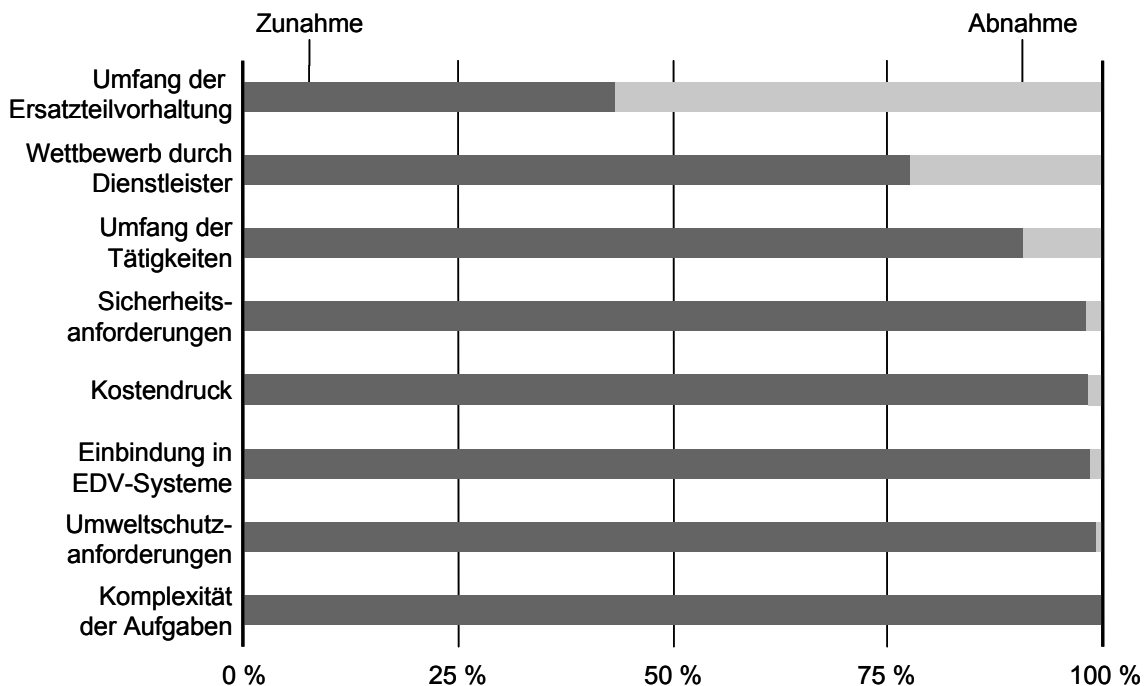
Darüber hinaus gewinnt die exakte Bilanzierung der Instandhaltung an Bedeutung. Hierfür fehlen jedoch die geeigneten Methoden und Instrumente sowie informationstechnischen Lösungen.



**Abbildung 3-3: Entwicklung der Bedeutung der Instandhaltung**

*Überwiegend äußere Einflussgrößen erzwingen Änderungen*

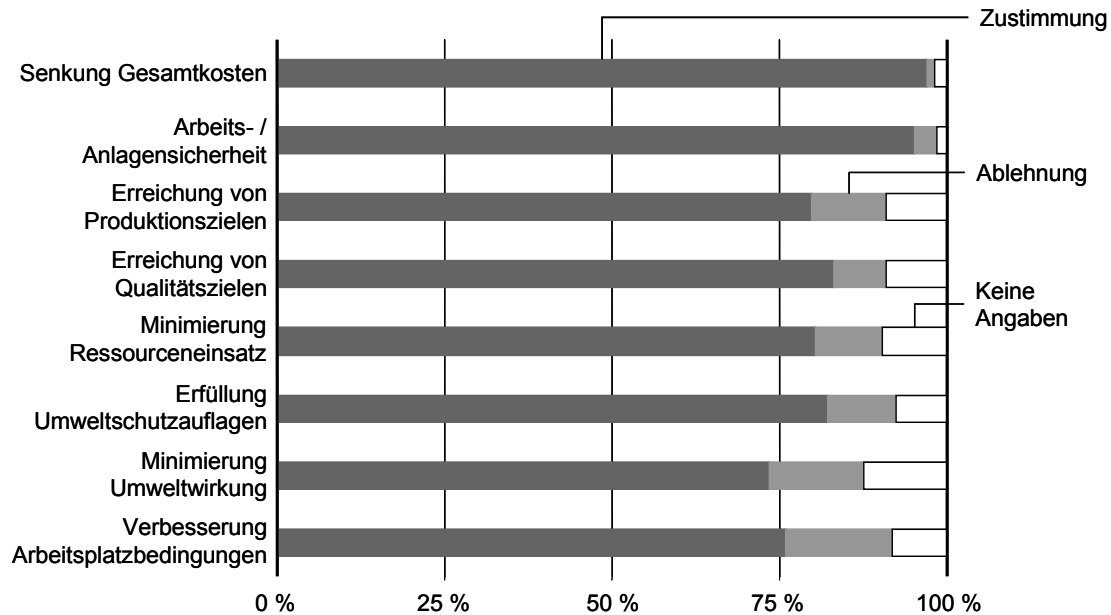
Die Bedeutungszunahme hat vielfältige Ursachen, die überwiegend auf äußere Einflussfaktoren zurückzuführen sind. Zu nennen sind u. a. gestiegene Anforderungen an die Sicherheit (98,6 %), den Umweltschutz (99,5 %) und die Kosten (98,7 %) sowie eine erhöhte Komplexität und Erweiterung des Tätigkeitsspektrums (100 %) durch zunehmende technische Komplexität und gesetzliche Forderungen. 66,4 % der Unternehmen sehen in der Globalisierung einen Grund für den Bedeutungszuwachs der Instandhaltung.



**Abbildung 3-4: Einflussgrößen für die zunehmende Bedeutung der Instandhaltung**

### Hoher Zielbeitrag der Instandhaltung

Instandhaltung trägt erheblich zur Erreichung der Produktions- (79,2 %), Sicherheits- (95,1 %), Qualitäts- (83,2 %) und der drei abgefragten Umweltschutzziele (80,3 %, 82,3 % und 73,6 %) sowie zur Reduzierung der Unternehmensgesamtkosten (97,1 %) bei (vgl. Abbildung 3-5).



**Abbildung 3-5: Durch Instandhaltung beeinflusste Zielfaktoren**

### Nutzenbewertung der Instandhaltung – Ein Buch mit sieben Siegeln

Nur 37 % der befragten Unternehmen bewerten im Mittel den Nutzen der Instandhaltung. Vorreiter sind die Automobil- (62 %), chemische (60 %) und Metallindustrie (53 %). Schlusslichter sind die Konsum- (17 %) und Investitionsgüterindustrie (19 %), während 38 % der Unternehmen der restlichen Branchen den Nutzen bewerten. Dabei verfolgt nahezu jedes Unternehmen ein individuelles Vorgehen und Kennzahlensystem, das meist monetär ausgerichtet ist. Eine Forschungsaufgabe liegt damit in der Fragestellung, ob eine Vereinheitlichung möglich ist, um so auch Benchmarking zu fördern.

### Instandhaltungskonzepte – Der Königsweg?

Die Unternehmen setzen bei der Optimierung der Instandhaltung zu 27 % auf produktivitätsorientierte Instandhaltung (TPM), 16 % auf zuverlässigkeitsorientierte Instandhaltung (RCM) und zu 44 % auf ein eigen entwickeltes Konzept. Extremwerte finden sich in der Automobil- sowie Investitionsgüterindustrie. Während die Automobilindustrie TPM favorisiert (59 %), setzt die Investitionsgüterindustrie auf selbst entwickelte Konzepte (68 %).

TPM und RCM kommen oft in Kombination vor, wobei RCM nur für die kritischen Komponenten genutzt wird, während TPM unternehmensweit zum Einsatz kommt. Die eigen entwickelten Konzepte stützen sich nicht nur auf Erfahrungen, sondern verknüpfen von den anderen Konzepten die passenden Teile.

### Insourcing vs. Outsourcing – keine entscheidende Frage mehr?

Bei der Zusammenarbeit mit Dienstleistern sehen 19 % einen Trend zum Insourcing, 27 % zum Outsourcing und 48 % keine Veränderung. Ursache sind schlechte Erfah-

rungen mit Dienstleistern, der weiter steigende Kostendruck beziehungsweise der optimale Mix von Eigen- und Fremdleistung ist schon gefunden.

Abweichungen von diesen Mittelwerten finden sich vor allem bei den externen Dienstleistern, die ihre Marktchance sehen und in der chemischen Industrie. Die Instandhaltung macht in der chemischen Industrie etwa ein Drittel der Betriebsgesamtkosten aus, durch Outsourcing-Strategien sollen hier Einsparpotenziale erschlossen werden.

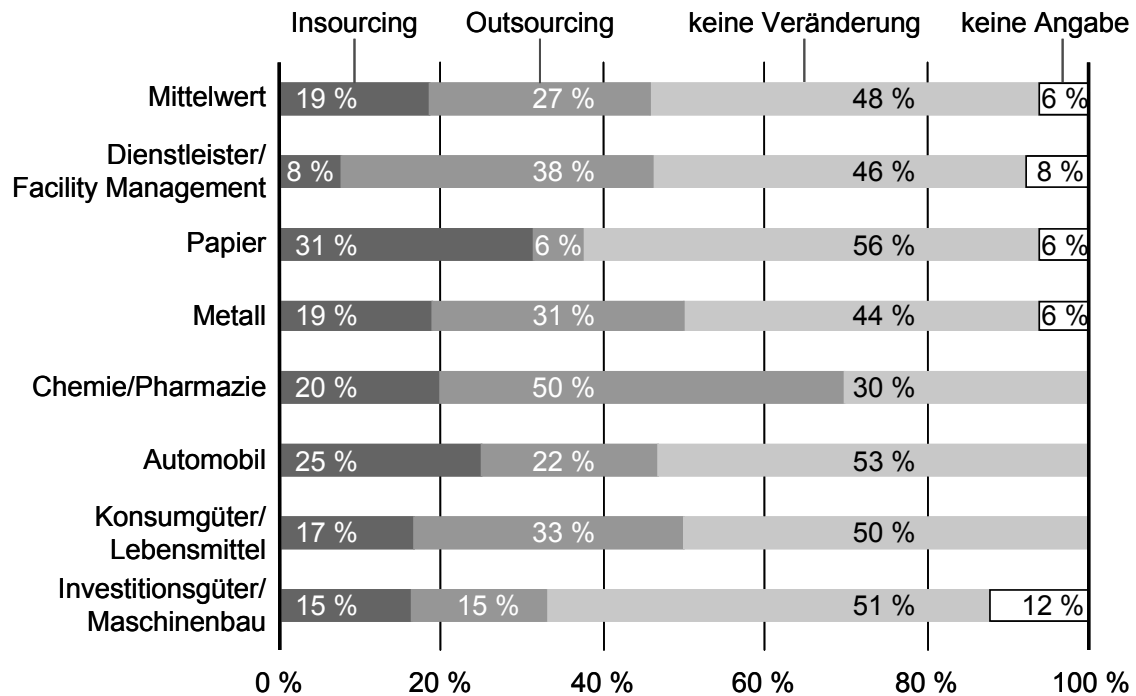


Abbildung 3-6: Trend „Insourcing vs. Outsourcing?“

### 3.2.2 Untersuchungsbereich Strategie

#### *Instandhaltungsstrategie-Mix – Der Schlüssel zum Erfolg*

Die drei „klassischen“ Instandhaltungsstrategien behalten weiterhin ihre Berechtigung. Ausfallorientiert, zeit- bzw. leistungsabhängig sowie zustandsorientiert werden Maschine und Anlagen instand gehalten. Je nach Branche sind Schwerpunkte zu erkennen, die aus gesetzlichen Anforderungen, Redundanzen oder der Kritikalität der Maschinen und Anlagen beruhen. Auch in Zukunft wird sich an einem sinnvollen, auf die Unternehmensgegebenheiten abgestimmten Mix nichts ändern (vgl. Abbildung 3-7).

#### *Verfügbarkeit als Maßstab für die Strategiewahl*

Entscheidende Kriterien für die Wahl der jeweiligen Instandhaltungsstrategie sind die Bedeutung der Anlage für den Produktionsprozess (Gesamtverfügbarkeit) und die Ausfallhäufigkeit (technische Verfügbarkeit) mit jeweils 19,7 %, gefolgt von der Sicherheit von Mensch und Maschine (14,4 %), den Instandhaltungskosten (8,9 %), den Gesamtkosten für das Unternehmen (8,0 %), Maschinen- und Anlagenkosten (6,5 %) und der Sicherheit der Umwelt (5,3 %).

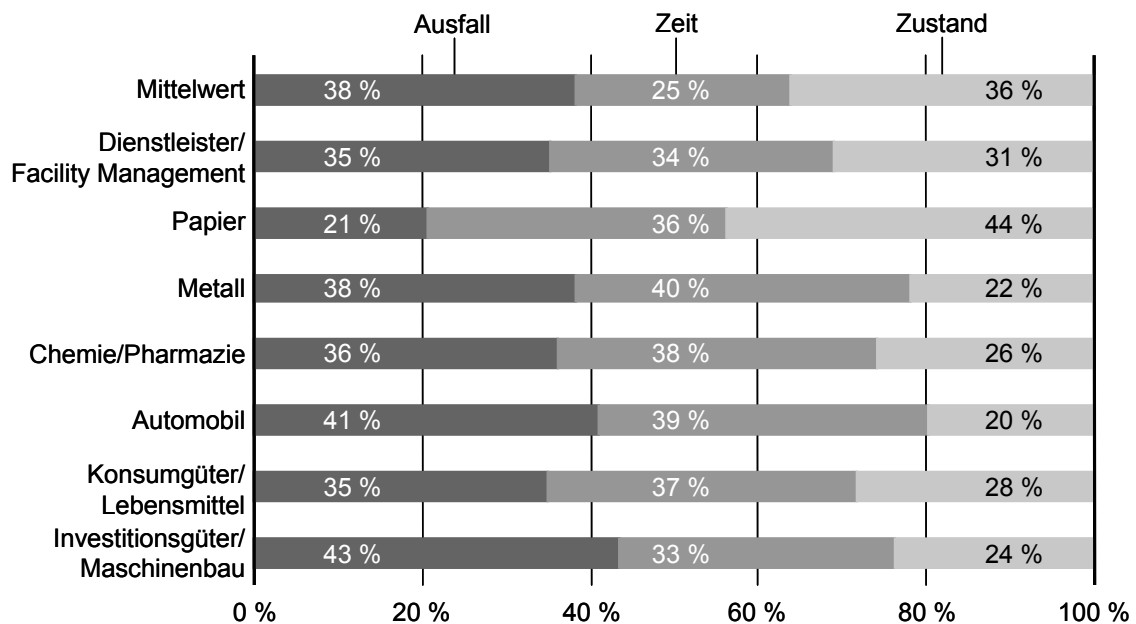
#### *Altersabhängige Strategieanpassung vs. kontinuierliche Verbesserung*

Eine an das Anlagenalter angepasste Instandhaltung wird von 55 % der Unternehmen

durchgeführt. Kontinuierliche Verbesserung ist für 41 % der Unternehmen die Alternative zur altersabhängigen Strategieanpassung.

#### *Prozesssicherheit und Anschaffungspreis dominieren Investitionen*

Bei Investitionen in neue Maschinen und Anlagen stehen hingegen andere Kriterien im Vordergrund. Zu nennen ist an erster Stelle die Prozesssicherheit der Produktion (15,5 %), gefolgt vom Anschaffungspreis (13,8 %), der Anlagenverfügbarkeit (13,3 %) und Produktqualität (13,1 %) sowie den Gesamtkosten für das Unternehmen (10,6 %), dem Arbeitsschutz (8,6 %) und der Anlagenflexibilität (7,2 %).



**Abbildung 3-7: Bedeutung der Instandhaltungsstrategien**

### 3.2.3 Untersuchungsbereich Geschäftsmodelle

#### *Partnerschaftliche Zusammenarbeit – das A&O in der Instandhaltung*

Bei der Zusammenarbeit mit Anlagenherstellern, Lieferanten und externen Dienstleistern setzen die Unternehmen vornehmlich auf feste Partnerschaften, Rahmenverträge und Schulungen. Die Zusammenarbeit mit Herstellern (Partnerschaften / Rahmenverträge / Schulungen: 34,4 % / 31,0 % / 27,1 %) ist stärker ausgeprägt als die Zusammenarbeit mit externen Dienstleistern (23,8 % / 32,6 % / 7,3 %) und Komponentenherstellern (20,2 % / 14,8 % / 14,0 %).

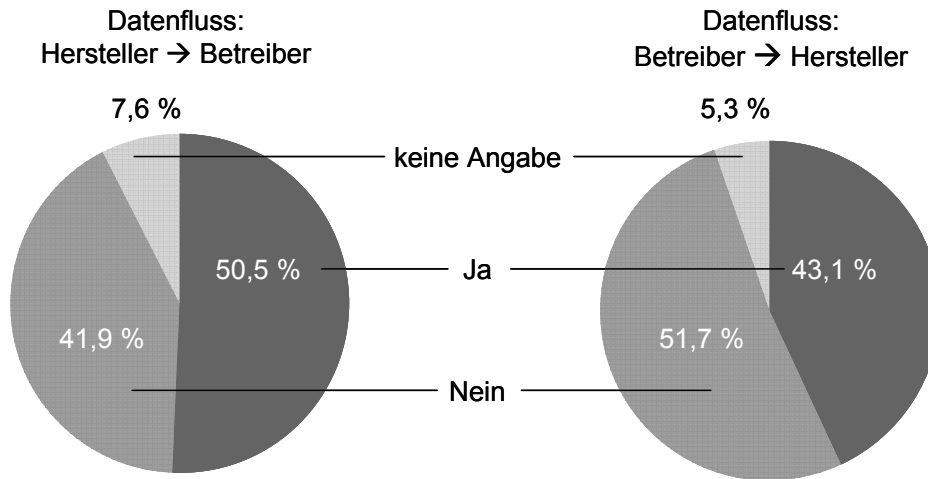
#### *Ungenutzte Potenziale im Datenaustausch zwischen Hersteller und Betreiber*

Allerdings reichen nur 50 % der Unternehmen die von den Herstellern zur Verfügung gestellten Daten über die Maschinen und Anlagen aus. Bei den Dienstleistern und der chemischen Industrie sind es sogar nur etwa ein Drittel (31 bzw. 35 %).

Die Unternehmen wünschen sich insbesondere weiterverwendbare RCM- (Reliability Centred Maintenance, Zuverlässigkeitsorientierte Instandhaltung) und Risikoanalysen sowie FMEA-Daten (Fehler-Möglichkeiten- und Einfluss-Analyse), Informationen über Schwachstellen und deren Beseitigung.

Daher ist es auch nicht verwunderlich, dass nur 43,1 % der Betreiber Daten über Schwachstellen und deren Beseitigung aus ihrer Praxis an die Hersteller weitergeben. Das viel beschworene und zitierte „Feedback to Design“ (Datenfluss vom Betreiber zum Hersteller) hat daher noch erhebliches Entwicklungspotenzial. Es fällt insbesondere

re auf, dass die zufriedenen Unternehmen nicht im gleichen Maße an den Hersteller „zurückzahlen“, während die weniger zufriedenen Betreiber wesentlich intensiver die Kommunikation mit den Herstellern suchen. Die Kommunikation und Kooperation zwischen Hersteller und Betreiber ist stark verbesserungsbedürftig. „Leuchtturmbeispiele“ sind weitgehend unbekannt. Allerdings sind hier Hersteller von Werkzeugmaschinen Vorreiter.



**Abbildung 3-8: Datenaustausch zwischen Herstellern und Betreibern**

### 3.2.4 Untersuchungsbereich Technologien

#### 3.2.4.1 Hardware

##### *Zustandserkennung mittels Sensorik wird selektiv genutzt*

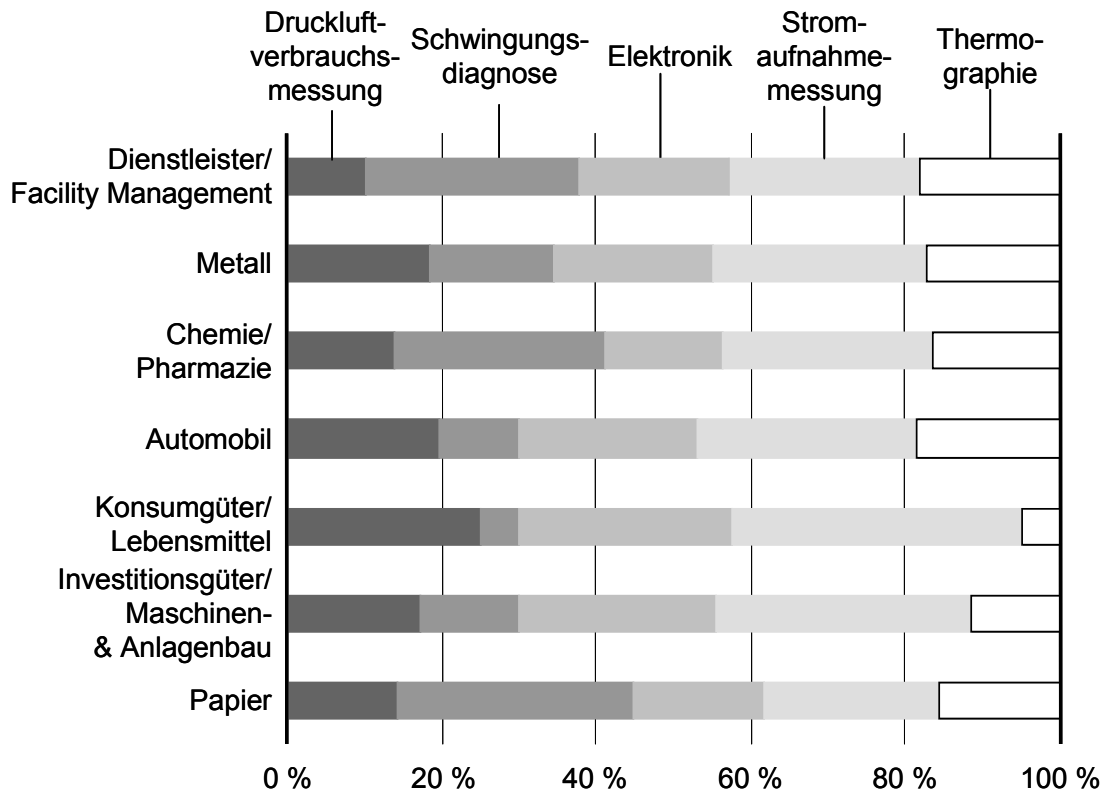
Mehr als 50 % der Unternehmen nutzen Sensoren zur Zustandsermittlung und -überwachung. Zum Einsatz kommen u. a. Verfahren der

- Thermographie,
- Schwingungsdiagnose,
- Druckluftmessung,
- Stromaufnahmemessung
- sowie der Elektroniküberwachung,

die teilweise integrale Bestandteile der Maschinen und Anlagen sind. Der Einsatz der entsprechenden Sensorik beschränkt sich jedoch zumeist auf sicherheitsrelevante oder ausfallkostenintensive Bereiche. Dies begründen die Unternehmen mit zu hohen Kosten für die entsprechende Hardware sowie dem Installationsaufwand. Des Weiteren geht aus den Aussagen der geführten Experteninterviews hervor, dass die Zuverlässigkeit der Sensoren in bestimmten Anwendungsgebieten sehr differenziert beurteilt wird. Vor allem im Bereich der Lagerüberwachung attestieren viele Unternehmen Fehldiagnosen der Sensorik, die nicht in der Lage ist, zwischen aus dem Motorlauf resultierenden Schwankungen und einem echten Lagerschaden zu unterscheiden. Im Gegenzug wird Diagnosesensorik als 100 % zuverlässig beschrieben. Die Tatsache, dass die Sensorik für den Einsatz in besonders komplexen Anlagen, vor allem Bearbeitungszentren, noch nicht ausgereift ist, stellt einen weiteren Aspekt dar, der die Akzeptanz der Sensoren schmälert. Bei den Unternehmen wächst die Forderung nach in die An-

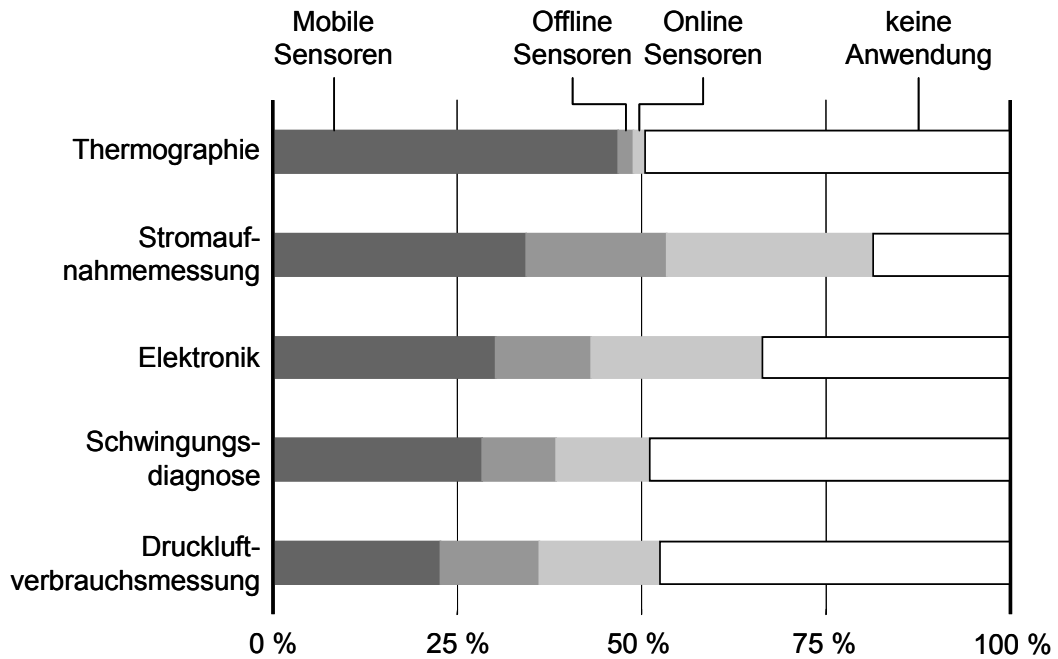
lagen integrierten Sensoren, die auf die spezielle Arbeitsaufgabe zugeschnitten und abgestimmt sind. Zumeist werden Sensoren gegenwärtig nur nachgerüstet.

Abbildung 3-9 zeigt im Branchenüberblick, dass sich die einzelnen Sensortechnologievarianten verhältnismäßig homogen verteilen.



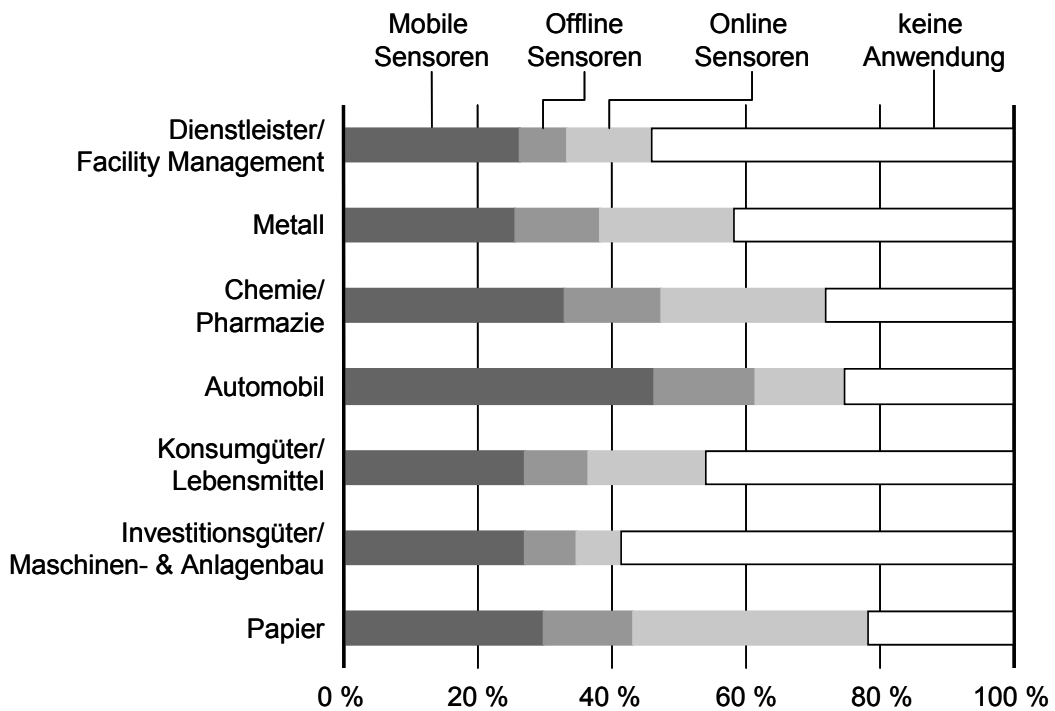
**Abbildung 3-9: Technologieeinsatz branchenspezifisch**

Eine weitere Betrachtung des Technologieeinsatzes lässt erkennen, dass es geringfügige Unterschiede in der verwendeten Sensorart gibt (vgl. Abbildung 3-10). Im Bereich der Thermographie werden hauptsächlich mobile Sensoren verwendet, da es sich häufig um Wärmebildkameras handelt, deren Festeinbau aufgrund ihres räumlichen Volumens oft nicht möglich ist. Die übrigen Sensorenarten werden gleichmäßig über die verschiedenen Technologien hinweg eingesetzt, wobei der Einsatz mobiler Sensoren überwiegt.



**Abbildung 3-10: Sensorenarten nach Technologie**

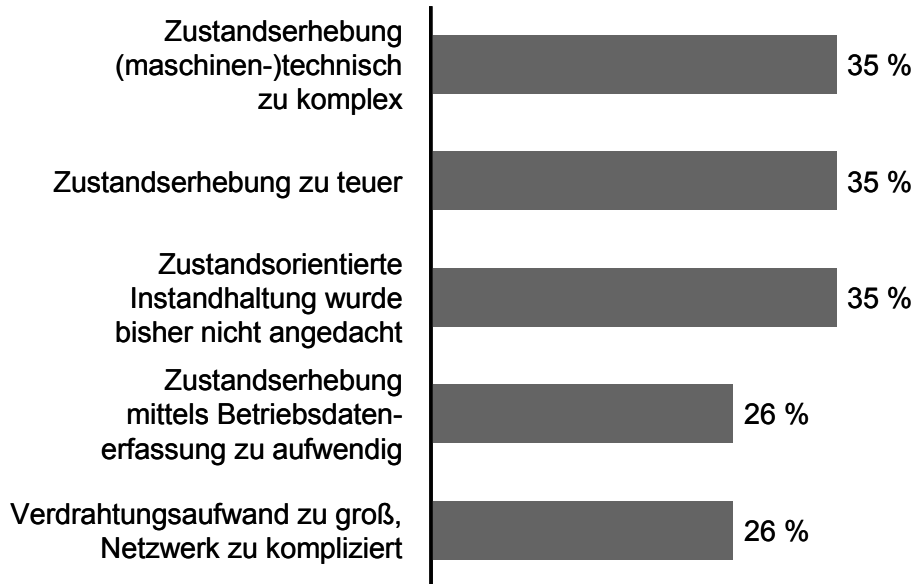
Auch aus dem Blickwinkel der Sensorenarten lässt sich erkennen, dass branchenunabhängig ca. 50 % der befragten Unternehmen mobile oder offline Sensoren verwenden. Allein die Unternehmen der chemisch/pharmazeutischen Industrie sowie der Papierindustrie stechen durch Verwendung von 25 % bzw. 35 % Online-Sensoren hervor und weisen einen Weg in Richtung zustandsorientierter Instandhaltung.



**Abbildung 3-11: Verwendete Sensorenarten**

Die geringe Durchdringung der Industrie mit Instandhaltungssensorik auf dem neuesten Stand der Technik begründen Unternehmen hauptsächlich damit, dass die Zustandserhöhung sowohl technisch zu komplex und zu teuer sei. Hinzu kommt, dass viele Unternehmen zustandsorientierte Instandhaltung bisher noch nicht einmal in Erwägung gezogen haben. Weitere Hinderungsgründe stellen für viele die aufwendige Betriebsdatenerhebung sowie die komplizierte Netzwerkanbindung dar.

Unternehmen ohne zustandsorientierte Instandhaltung zögern, weil:

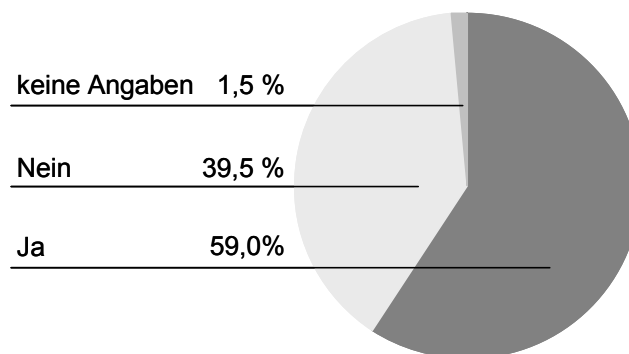


**Abbildung 3-12: Hinderungsgründe für zustandsorientierte Instandhaltung [Schu05]**

### 3.2.4.2 Software

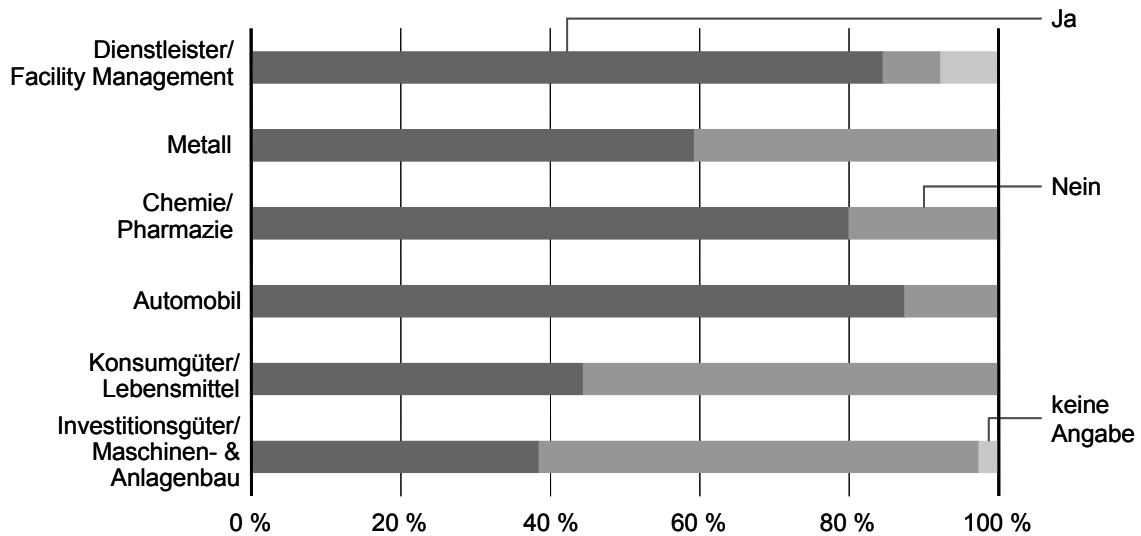
*IPS-Systeme werden vornehmlich von Großunternehmen genutzt*

Instandhaltungsplanungs- und -steuerungssysteme (IPS) werden von etwa 50 % der Unternehmen eingesetzt.



**Abbildung 3-13: Einsatz eines EDV-Systems in der Instandhaltung**

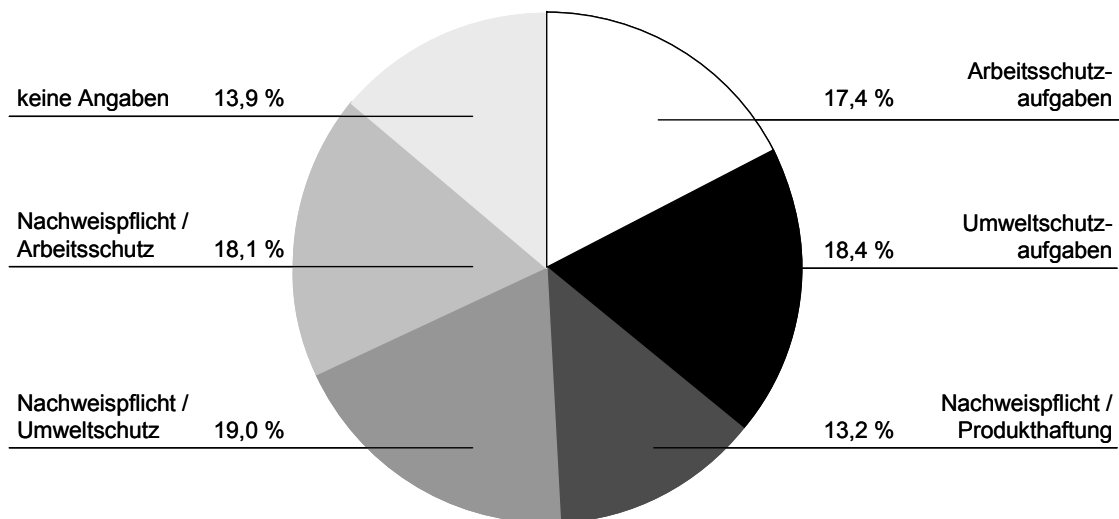
Die Konsumgüter- und Investitionsgüterindustrie haben die geringste Durchdringung mit entsprechenden Systemen (vgl. Abbildung 3-14).



**Abbildung 3-14: Nutzungsgrad von IPS-Systemen**

Auffallend ist, dass sich bereits innerhalb der befragten Unternehmen die Anzahl der unterschiedlichen Softwaresysteme auf mehr als 30 beläuft.

Dabei unterstützen ca. 40 % der genutzten Systeme zusätzlich die Berücksichtigung von Arbeits- und Umweltschutzaufgaben und/oder die zugehörige Nachweispflicht.



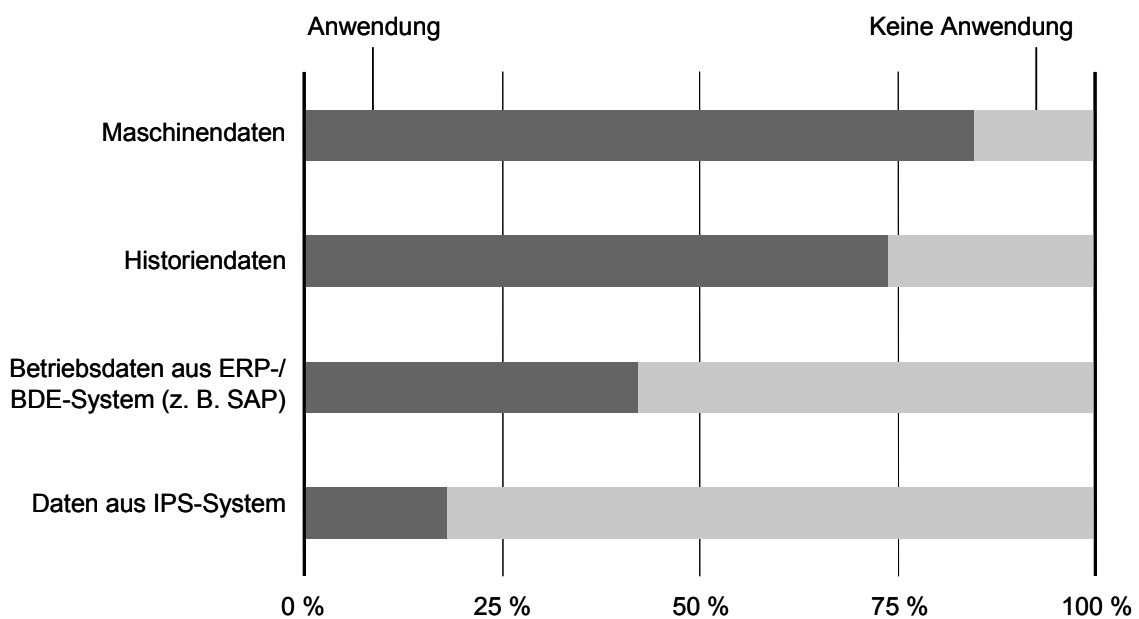
**Abbildung 3-15: Zusätzliche Funktionen der EDV-Systeme**

Bei Dienstleistern, in der chemischen Industrie und der Automobilindustrie dominieren in die ERP-/PPS-Systeme (Enterprise Resource Planning, Produktionsplanung und -steuerung) integrierte Instandhaltungssysteme, während in den restlichen Branchen eigenständige Systeme favorisiert werden. Neben dem Kostenfaktor spielt bei der Akzeptanz der Softwaresysteme eine so gut wie nie vollständig erreichbare unternehmensweite oder sogar unternehmensübergreifende Vernetzung der EDV eine wichtige Rolle. Dies trifft insbesondere auf Maschinen- und Betriebsdatenerfassungssysteme (MDE und BDE), speicherprogrammierbare Steuerungen (SPS) und Condition Monitoring Systeme (Zustandsüberwachung, -monitoring) zu. Wesentliche Ursachen hierfür sind fehlende Schnittstellenstandards, so dass ein schneller und unkomplizierter Da-

tenaustausch verhindert wird und oftmals das Einbinden von teuren Spezialisten erforderlich ist. Ähnliche Probleme herrschen auch bei der Anpassung der Software an die Arbeits- und Anlagenumgebung vor, die ebenfalls aufwendig und oft auch – abhängig von der Flexibilität des Systems – nur mit Abstrichen zu erreichen ist („customizing“). Bei Release-Wechseln der IPS-Systeme sowie Softwareupdates der Maschinensteuerungen sind diese Anpassungen zudem oft nicht kompatibel und müssen wieder angepasst werden.

Neben den integrierten und separaten IPS-Lösungen bestätigen auch die Umfrageergebnisse den weit verbreiteten Einsatz selbst programmierter oder mit Hilfe von MS-Office entstandener Eigenentwicklungen.

Bemerkenswert ist, dass weniger als ein Viertel der befragten Unternehmen die Daten aus den IPS-Systemen als für die Instandhaltung verwendbar betrachten (vgl. Abbildung 3-16).

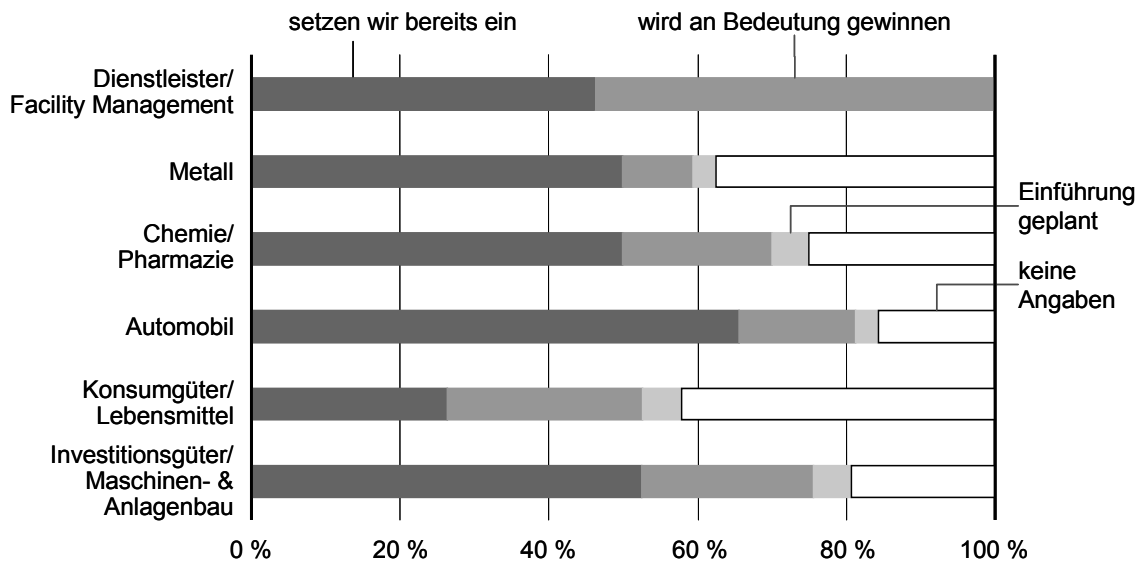


**Abbildung 3-16: Für die Instandhaltung relevante Daten**

#### *Fernüberwachung und -diagnose und Teleservice optimieren den Service*

Der Verbreitungsgrad von Teleserviceanwendungen ist in den einzelnen Branchen unterschiedlich stark ausgeprägt (vgl. Abbildung 3-17). Etwa 45-50 % der Unternehmen nutzen Teleservice. Die Automobilindustrie ist dabei „Technologieführer“, während im Konsumgüter-/Lebensmittelbereich der Einsatz unterdurchschnittlich ist. Eine besondere Bedeutung haben Teleserviceanwendungen laut Expertenaussagen für den Dienstleistungssektor und den After-Sales-Bereich fast aller Branchen, in denen häufig eine Teleservice/-wartung auch in Verbindung mit Augmented Reality (AR) oder ein kompletter Fernbetrieb über das Internet angeboten wird.

Der zunehmende Einsatz dieser Technologie wird von allen Unternehmen erwartet, wobei die heutigen Nutzer eine größere Zunahme der Bedeutung als die Nichtnutzer prognostizieren.



**Abbildung 3-17: Verbreitung von Teleserviceanwendungen**

Festzuhalten ist, dass moderne Technologien in der Instandhaltung zunehmend genutzt werden, jedoch erhebliche Umsetzungsdefizite bei den Nutzern und Anbietern bestehen. So wird vielfach die Funktionalität nur unzureichend genutzt, und die fehlenden Standards erschweren und begrenzen den aufwandsarmen Einsatz.

### 3.3 Die Handlungsfelder im Detail

#### 3.3.1 Handlungsfeld 1: Organisation

Die Schwierigkeit, die Ziele nachhaltiger Instandhaltung über den gesamten Lebenszyklus von technischen Objekten durchzusetzen, wurde in der Untersuchung mehrfach deutlich. Es gibt kein Patentrezept, wie maximale Produktionsbereitschaft und -sicherheit, niedrige Ersatzteilbestände und knapp bemessenes Instandhaltungspersonal auf einen Nenner gebracht werden können. Die *Gestaltung* einer sinnvollen zukunftsfähigen Organisation ist unter diesen Voraussetzungen eine herausfordernde Aufgabenstellung. Dabei gilt es zu klären, wer für was zuständig ist (Aufbauorganisation) und wie die verschiedenen Aufgaben ziel- und prozessorientiert (Ablauforganisation) erfüllt werden können. Mit dem prozessorientierten Ansatz ist eine Abkehr von den bisher üblichen rein tätigkeits-, objekt- oder personalbezogenen Organisationsformen deutlich erkennbar und stellt hohe Anforderungen an das *Instandhaltungspersonal*. Die *Qualifikation* und *Qualifizierung* des Personals sind ebenso wie das *Wissen* und die *Erfahrungen* jedes einzelnen Mitarbeiters entscheidende Erfolgsfaktoren. Die Sicherstellung der bedarfsgerechten Aus- und Weiterbildung sowie die Sicherung und *Dokumentation* des Wissens und der Erfahrungen sind herausfordernde Ziele für jede Organisation.

Potenziale in Bezug auf eine engere und bessere Zusammenarbeit von Anlagenherstellern, Betreibern und Dienstleistern sind hinlänglich bekannt. Zu nennen sind beispielsweise Public-Private-Partnership-Projekte der öffentlichen Hand, die Vergabe des Betriebs der industriellen Infrastruktur oder des Ersatzteillagers an spezialisierte Dienstleister sowie Contracting-Lösungen im Bereich der Energie- und Druckluftversorgung. Diese Leistungen werden meist unter dem Begriff Facility Management zusammengefasst. Die Untersuchung zeigt auch deutlich, dass die Zusammenarbeit mit den Anlagenherstellern (*externe Zusammenarbeit*) noch viele Potenziale bietet und Wünsche offen lässt.

Aber auch die Zusammenarbeit innerhalb von Unternehmen (*interne Zusammenarbeit*) wird noch zu oft aufgrund rein ökonomischer und fachlicher Gesichtspunkte erschwert. Die Bündelung der Beschaffungsprozesse über wenige Händler und das Internet, koppelt nicht nur die Instandhaltung vom Hersteller ab, sondern führt darüber hinaus oft zur Beschaffung nicht instandhaltungsgerechter technischer Objekte. Die bessere Berücksichtigung der Anforderungen der Instandhaltung durch ihre Einbindung in die Beschaffungsprozesse eröffnet ebenfalls Potenziale zur Optimierung der Organisation und Umsetzung der Ziele nachhaltiger Instandhaltung. Für die Gewährleistung der Produktion hat die Zusammenarbeit zwischen Produktion, Qualitätsmanagement, Arbeitsvorbereitung und Instandhaltung eine herausgehobene Bedeutung. Die teamorientierte Organisation ermöglicht die notwendige Transparenz, die Zuordnung der entstehenden Kosten ist nicht wichtig, sondern die schnelle Lösung für anstehende Probleme. Hierbei helfen Transparenz und Offenheit. Tägliche Lagebesprechungen („Morgenbesprechung“) über Auffälligkeiten, Unzulänglichkeiten und Probleme sowie Maßnahmen zu deren Abstellung sind in vielen Unternehmen als ein wirksames Instrument zur vertrauensvollen, offen Zusammenarbeit etabliert. Zusätzlich wird die gegenseitige Akzeptanz und Wertschätzung erhöht, Konflikte werden vermieden.

Innerhalb des Handlungsfeldes ergeben sich damit als Ergebnis der Untersuchung vier Themenfelder, für die dringend Lösungsansätze benötigt werden. Diese beziehen sich zum einen auf die typischen Fragen der Aufbau- und Ablauforganisation sowie der damit verbundenen notwendigen Zusammenarbeit im Unternehmen und über die Unternehmensgrenzen hinweg mit Anlagenherstellern, -lieferanten und Händlern sowie Dienstleistungsunternehmen. Potenziale einer bedarfsgerechten, sinnvollen und zukunftsfähigen Organisation im Zusammenspiel der verschiedenen Partner in allen Phasen des Lebenszyklus einer Anlage stoßen aufgrund typischer Barrieren – wie z. B. unzureichender Informationsweitergabe oder fehlender Informationen – sehr oft und schnell an ihre Grenzen. Zum anderen steht das Personal als wichtigste und kritische Ressource im Unternehmen im Mittelpunkt. Dabei stehen nicht allein die Qualifikation, Qualifizierung, Motivation und Selbstverständnis des Personals auf dem Prüfstand, sondern vor allem auch die Möglichkeiten der Erfahrungs- und Wissenssicherung.

### ***Forschungsbedarf im Handlungsfeld Organisation***

Das erfolgreiche Management der technischen Anlagen über ihren gesamten Lebenszyklus wird im Kontext steigender Anlagenkomplexität, erweiterter Tätigkeitsfelder für die Instandhaltung (z. B. Sicherheits- und Umweltschutzaufgaben), steigender Abhängigkeiten (z. B. niedrigere Ersatzteilbestände, weltweite Beschaffung, Einfluss der Instandhaltung auf die Gesamtkosten, den Ressourceneinsatz, die Erfüllung gesetzlicher Vorschriften) und zunehmender internationaler Unternehmenskooperationen und -aktivitäten zu einem immer wichtigeren Erfolgsfaktor für die Unternehmen. In Bezug auf die Aufbauorganisation zur Erreichung der Ziele nachhaltiger Instandhaltung gilt es, Ansätze und Wege zu entwickeln, um gezielt die relevanten Einflussfaktoren auszubalancieren und eine bedarfsgerechte, sinnvolle und zukunftsfähige Organisation für den jeweiligen Anwendungsfall „konstruierbar“ zu gestalten. Die Organisation muss dabei dynamisch an die sich verändernden Rahmenbedingungen schnell angepasst werden können. Hierzu bedarf es eines Regelwerks, das Veränderungen frühzeitig deutlich macht und in Handlungsempfehlungen für eine organisatorische Anpassung aufzeigt. Dabei sind Outsourcing-Entscheidungen ebenso zu unterstützen wie Insourcing-Entscheidungen. Nach Expertenmeinung kann nur dann eine wirtschaftlich optimale und bedarfsgerechte Organisation erzielt werden, wenn maximale Offenheit, Transparenz und gemeinsame Zielerreichung als Maßstab angelegt werden.

Für die Ablauforganisation resultiert daraus die Forderung nach einer prozessorientierten Organisation und weitgehender Standardisierung der Prozesse, um weltweit vergleichbare Leistungen auf hohem Niveau erbringen zu können.

Wesentliche Ansatzpunkte für den Anlagenhersteller liegen zum einen beim Angebotsprozess sowohl für Neuinvestitionen als auch für Modernisierungen von Anlagen und das Ersatzteilwesen. Zum anderen wird eine enge Abstimmung zwischen Produktentwicklung und Service sowie Vertrieb und Service gefordert. Während ein standardisierter Angebotsprozess die kundengerechte Abstimmung mit dem Betreiber verfolgt, betrifft die Abstimmung mit dem Service den Rückfluss von Einsatzerfahrungen und -bedingungen in die Produktentwicklung bzw. den Vertrieb. Diese Abstimmung kann zielgerichtet zur Optimierung der Anlagen sowie des Produkt- und Serviceangebots eines Anlagenherstellers beitragen. Entsprechendes gilt für das so genannte „Feedback to Design“, wodurch Betreiber-Erfahrungen zurück in die Entwicklung fließen. Funktionierende und praktikable Lösungsansätze gibt es bisher nicht, oft scheitern die Versuche an mangelnder Informationsweitergabe und -erfassung oder an unzureichendem Wissen darüber, welche Informationen überhaupt benötigt werden, um die genannten Ziele zu erreichen.

Innerhalb des Unternehmens mangelt es trotz Ansätzen wie Total Productive Maintenance an der Einbindung aller relevanten Mitarbeiter eines Unternehmens zur optimalen Lösung der Instandhaltungsaufgaben. In Bezug auf den Anlagenlebenszyklus sind unterschiedliche Partner gefordert, von der Entwicklung und Beschaffung über die Errichtung und Inbetriebnahme bis zum Betrieb und zur Entsorgung. Für die am Produktionsprozess ausgerichtete Gestaltung der Ablauforganisation gibt es weder ein Patentrezept noch ein Prozessmodell, das jeweils die ganze Prozesskette aller Prozesse transparent abbildet und die zugehörigen Verantwortlichkeiten definiert. Dies ist jedoch notwendig, um oftmals gravierende Reibungsverluste zu vermeiden und Instandhaltungsaktivitäten transparent zu adressieren und kontrollierbarer zu gestalten. Beispiele hierfür untermauern diese Aussage. Zu nennen sind die Einbindung der Produktionsmitarbeiter in die Instandhaltung, die oft daran scheitert, dass vergessen wird, dass ein Produktionsmitarbeiter zuerst einmal ein Gefühl/Gehör für die Anlage entwickeln muss, bevor er Veränderungen erkennen kann. Damit einher geht nicht selten eine Selbstüberschätzung der eigenen Fähigkeiten, die dazu führt, dass die Instandhaltung zu spät gerufen wird und hohe Folgeaufwände entstehen. „Patenschaften“ für Maschinen und Anlagen können helfen, diesen Integrationsprozess zu gestalten. Dabei übernehmen Produktions- und Instandhaltungsmitarbeiter gemeinsam die Patenschaft für eine Maschine oder Anlage. Während die Produktionsmitarbeiter einfache Instandhaltungsaufgaben selbständig durchführen, inspizieren und kontrollieren die Instandhaltungsmitarbeiter die jeweilige Maschine oder Anlage, halten sie jedoch nicht selbst aktiv instand. Des Weiteren spielt die Erreichbarkeit und Verfügbarkeit des Instandhaltungspersonals eine wesentliche Rolle. Nur so lassen sich die notwendigen kurzen Reaktions- und Aktionszeiten sicherstellen. Aufgrund des aus Kostengründen knapp bemessenen Instandhaltungspersonals können leicht Konflikte daraus entstehen, dass unzureichend geregelt ist, welche Aufgabe die höchste Priorität hat. Mit einem entsprechenden Prozess- und Verantwortungsmodell einschließlich Priorisierung von Anlagen und Aufgaben könnte eine erhebliche Optimierung der Instandhaltung erzielt werden. Dieses Modell setzt jedoch ein hohes Maß an Standardisierung voraus, die bisher nicht gegeben ist.

Insbesondere aufgrund der zunehmenden Abhängigkeiten vernetzter Produktionsprozesse, die in der Logistik zu globalen Supply Networks geführt haben, gewinnen solche Standards an Bedeutung für die Zukunftsfähigkeit eines Unternehmens. Ausfälle und Störungen der Produktion lassen sich aufgrund von „Just-In-Time“- oder „Just-In-Sequence“-Produktion nicht mehr lokal begrenzen, sondern haben Auswirkungen auf das gesamte Produktionsnetzwerk. Damit verbunden sind oft auch hohe Folgekosten aufgrund von Vertragsstrafen und/oder Lieferengpässen. Instandhaltung auf hohem Niveau, unabhängig vom Standort, ist daher unabdingbar, aber auch nur durch eine weitgehende Standardisierung realisierbar. Dabei sind die unterschiedlichen Voraussetzungen in den einzelnen Ländern Maßstab für die resultierenden Herausforderungen zur Etablierung von standardisierten Prozessen.

Die Experten fordern daher folgerichtig, die gemeinsame Entwicklung von Standards sowie der notwendigen Daten-, Informations- und Wissensbasis. Weltweiten Standards für die nachhaltige Instandhaltung, erarbeitet durch Hersteller, Betreiber und Dienstleister, werden die größten Effekte für die Wettbewerbsfähigkeit und Standorticherung deutscher Unternehmen zugeschrieben. Diese Standards beziehen sich nicht allein auf Prozesse, sondern insbesondere auch auf die technischen Objekte.

Die bedarfsgerechte Gestaltung der Aufbau- und Ablauforganisation auf Basis von weltweit einheitlichen Standards ist ohne das entsprechende zugehörige Personal nicht erfolgreich möglich. Die Dynamisierung der Prozesse und Verteilung der Aufgaben stellen eine große Herausforderung für die Qualifizierung und Qualifikation des Personals dar. Eine wesentliche Schwierigkeit liegt darin, dass es in Deutschland kein Berufsbild des Instandhalters gibt. An Hochschulen wird Instandhaltung nicht bzw. nur unzureichend gelehrt, allein in der beruflichen Ausbildung hat die Instandhaltung in den letzten Jahren einen wachsenden Anteil sowohl in der praktischen als auch der theoretischen Ausbildung gewonnen. Die Aufgaben der Instandhaltung haben jedoch einen zunehmend strategischen Charakter, dadurch wächst der Bedarf an ausgebildeten Instandhaltungsingenieuren. Diese lassen sich allerdings bisher nicht in Deutschland finden, gut ausgebildete Instandhalter sind eine „Mangelressource“. Die Unternehmen sind gezwungen, die notwendige Ausbildung selbst in die Hand zu nehmen oder im Ausland aktiv zu werden. In Europa gibt es in der Schweiz und in Österreich entsprechende Studiengänge, die zum Teil auf einem technischen Studium aufsetzen. In Deutschland setzen die Unternehmen auf den Service-Ingenieur bzw. -Manager mit einer starken Ausrichtung auf die Entwicklung von Dienstleistungen. Hier besteht erheblicher Handlungsbedarf, wenn Deutschland im zunehmend umkämpften Instandhaltungsmarkt erfolgreich und zukunftsfähig sein will. Die Experten fordern eine Ausbildung zum Instandhaltungsingenieur, die analog zur Ausbildung zum Sicherheitsingenieur gestaltet werden sollte. Dabei sollte auf den Erfahrungen zur Ausbildung von Mechatronikern aufgebaut werden. Denn diese sind in der Lage, Fehler und Schäden besser einzuschätzen als „einseitig“ ausgebildete Mechaniker oder Elektrotechniker. Nur die einheitliche Qualifizierung ermöglicht weltweit vergleichbare Leistungen auf hohem Niveau. Die Entwicklung eines Berufsbildes Instandhaltung unter Berücksichtigung interkultureller und interdisziplinärer Aspekte und eine entsprechende Ausbildung sind daher vordringliche Aufgaben.

Dies allein wird jedoch nicht genügen. Das Image des Instandhalters in der Gesellschaft wird geprägt durch die Berichterstattung über Probleme und Unfälle aufgrund mangelhafter oder unterlassener Instandhaltung. Instandhaltung wird zudem mit „Arbeit im Blaumann“ gleichgesetzt, ein Bild, das schon viele Jahre nicht mehr stimmt. Instandhalter sind zunehmend „Strategen“. Daher bedarf es einer flankierenden Imagekampagne, um bei Studierenden der Ingenieurwissenschaften das Interesse für eine Karriere in der Instandhaltung zu wecken. In den Unternehmen muss hierzu sichergestellt werden, dass eine Entscheidung für die Instandhaltung keine „Einbahnstraße“ und kein Hindernis auf dem Weg zu einer Karriere darstellt. Politik, Hochschulen und Unternehmen müssen gemeinsam daran arbeiten, junge Menschen für die Instandhaltung zu interessieren. Denn Instandhaltung ist ein wichtiger standortsichernder Faktor und Stellhebel für die Optimierung der Wertschöpfung und damit für die Zukunftsfähigkeit des Standorts Deutschland.

Welche Anforderungen an die Qualifikation sollten auf keinen Fall vernachlässigt werden? Die Experten fordern insbesondere die Qualifikation für den Teleservice und die Fähigkeit der Instandhalter, ihre Leistung auch „verkaufen“ zu können. Denn heute „sprechen“ technisch ausgebildete Instandhalter und betriebswirtschaftlich ausgebildete Controller „nicht die gleiche Sprache“, technische Argumente „verpuffen“ gegenüber wirtschaftlichen Marktzwängen. Ein gemeinsames einheitlich verstandenes Vokabular ist daher unabdingbar. Darüber hinaus benötigen die Instandhalter starke kommunikative Fähigkeiten, welche ein „Sendungsbewusstsein“ ebenso wie „Empfangsbereitschaft“ umfassen. Außerdem ist ein Bewusstseinswandel von der Feuerwehr- zur Präventivmentalität zwingend erforderlich. Solange jedoch die „schnelle Eingreiftruppe“ für

die schnelle Behebung von Störungen im Produktionsablauf belohnt wird, kann dieser Mentalitätswandel nicht gelingen. Dieser Wandel in der Betrachtung der Instandhaltung betrifft jedoch nicht allein die Motivation der Mitarbeiter der Instandhaltung, sondern vielmehr die Unternehmensführung. Diese muss erkennen, dass es sinnvoller ist, die Instandhaltung dafür zu bezahlen, dass sie Störungen und Ausfälle vermeidet als für deren Behebung. Die Entwicklung von Anreizsystemen, welche die Vermeidung in den Mittelpunkt stellen, ist daher eine wichtige Voraussetzung zur Etablierung dieser Denk- und Handlungsweise. Solche Systeme gibt es bisher nicht, ebenso fehlen Ansätze zu deren Implementierung im Unternehmen.

Der Faktor Mensch spielt in der Instandhaltung eine große Rolle. Insbesondere sind das Wissen, die Erfahrungen und Fähigkeiten der einzelnen Mitarbeiter für eine erfolgreiche nachhaltige Instandhaltung von entscheidender Bedeutung. Dabei stellt sich die Frage, welcher Wissensbedarf besteht, wie dieses Wissen gesichert und jedem Mitarbeiter bedarfsgerecht zur Verfügung (Wissensversorgung) gestellt werden kann. Eine große Hilfe wäre es bereits, wenn die Mitarbeiter darüber informiert wären, welcher Kollege was weiß. Nur so wird die Durchsetzung langfristig richtiger Instandhaltungslösungen (Best Practices) in der Praxis möglich. Die Multiplikation des Instandhaltungs-Know-hows könnte dann durch Intensivierung der Kommunikation erreicht werden. Ein heute in den Unternehmen verbreiteter Ansatz ist die Implementierung von Wissensmanagementsystemen, wohl wissend, dass Wissen nicht gemanagt werden kann. Es ist nur realisierbar, eine zentrale Anlaufstelle einzurichten, die Daten und Informationen darüber enthält, wer welches Wissen hat. Ebenso lassen sich hier Standards ablegen, auf die dann alle zugreifen können. Eine wesentliche Voraussetzung für die Funktionsfähigkeit eines Wissensmanagements ist neben der offenen, vertrauensvollen Kommunikation und Information, eine hohe Disziplin bei der Ablage entsprechender Daten und Informationen. Eine nicht zu unterschätzende Schwierigkeit liegt darin, dass Informationen und Wissen innerhalb des Unternehmens zwischen verschiedenen fachlichen Disziplinen (z. B. Technik und Einkauf) und über die Unternehmensgrenzen hinweg mit Herstellern und Dienstleistern ausgetauscht werden müssen. Defizite in der Kommunikation innerhalb des Unternehmens führen oft zu hohen Folgekosten, z. B. aufgrund des Einkaufs nicht instandhaltungsgerechter Maschinen oder Anlagen, die meist in keinem Verhältnis zum Einspareffekt liegen. Hinzu kommt, dass Techniker und Kaufleute aufgrund ihrer Ausbildung nicht die „gleiche Sprache“ sprechen. Ergänzend zu den Ausführungen zum Berufsbild Instandhaltung ist daher zu fordern, dass in den jeweiligen Disziplinen auch für die Aufgaben der jeweils anderen Disziplinen sensibilisiert wird. So sollte z. B. Betriebswirten ein Grundverständnis für die Instandhaltung und Instandhaltern ein Grundverständnis für die Betriebswirtschaft vermittelt werden. Hieraus würde eine „gemeinsame Sprache“ resultieren, da jeder das Vokabular des anderen kennen lernt. Für die unternehmensübergreifende Kommunikation sind heute verfügbare so genannte Wissensmanagementsysteme nicht konzipiert bzw. werden nur unzureichend genutzt. Mit der Integrationsplattform Instandhaltung ([www.ipih.de](http://www.ipih.de)) liegt ein erster Ansatz für eine zentrale Anlaufstelle zum Instandhaltungswissen vor. Dieser Ansatz ist geeignet, die unternehmensübergreifende Kommunikation zu unterstützen, soll den persönlichen Kontakt jedoch nicht ersetzen. In den Unternehmen fehlen jedoch Strategien, dieses Wissen im jeweiligen Unternehmen nutzbar zu machen. Entsprechendes gilt für die Einbindung des Kundenwissens in die Wissensbedarfe und Wissensversorgung von Instandhaltungsdienstleistungsunternehmen. Hieraus resultiert nicht zu unterschätzender Handlungsbedarf. Die persönliche Kommunikation und der direkten Erfahrungs- und Wissensaustausch wird über Verbände und Vereine wie VDMA oder Forum Vision Instandhaltung e.V. (FVI) unterstützt und gefördert.

Zusätzlich zur Kommunikation von Wissen und Erfahrung und deren Sicherung für das Unternehmen sind auch Daten und Informationen über die technischen Objekte über deren gesamten Lebenszyklus von entscheidender Bedeutung für eine optimale Instandhaltungsorganisation. Für die so genannte Life Cycle Dokumentation gibt es von verschiedenen Informationssystemherstellern unterschiedliche Lösungsansätze, deren Manko meist darin liegt, dass diese Systeme entweder nur bei Hersteller, Betreiber oder Dienstleister eingesetzt werden. Eine unternehmensübergreifende Dokumentation findet in der Regel nicht statt. Die liegt auch darin begründet, dass es keine normierte Mindestanforderung für die Dokumentation in der Instandhaltung gibt. Zwar gibt es Normen und Normentwürfe für die Instandhaltungsdokumentation, diese enthalten jedoch keine Hinweise dazu, welche Dokumentation unabdingbar ist. Daraus resultiert u. a. die Schwierigkeit, nach einem Outsourcing die Instandhaltung wieder selbst zu übernehmen (Insourcing). Denn welches Wissen hat der Dienstleister während der Vertragslaufzeit erworben und wie kann der Kunde dieses Wissen wieder übernehmen? Diese Frage hat auch entscheidenden Einfluss auf die mögliche Tiefe und Breite eines Outsourcings, denn sie definiert die Schwelle bis zu der Outsourcing ohne größere Gefahr für das Unternehmen möglich ist. Die Definition eines einheitlichen Dokumentationsstandards, der es ermöglicht, Daten und Informationen auch unternehmensübergreifend zu dokumentieren und austauschbar zu gestalten, ist eine weitere große Herausforderung zur Etablierung einer nachhaltigen Instandhaltung.

Ein weiterer wesentlicher Faktor ist in diesem Zusammenhang die Identifizierung rechtlicher Anforderungen an den Anlagenpark eines Unternehmens, die Risikobewertung, Maßnahmenableitung, lückenlose und gerichtsfeste Dokumentation zur Nachweissicherung, dass alle erforderlichen Maßnahmen getroffen und durchgeführt wurden, um Risiken für die Menschen, Umwelt und das Unternehmen zu vermeiden. Aufgrund der Vielzahl gesetzlicher Forderungen ist diese Aufgabe von den Unternehmen, insbesondere kleinen und mittleren Unternehmen nicht allein zu leisten. Die Anlagenhersteller sollten mit den Anlagen nicht nur die Bedienungsanleitung, sondern auch Hinweise auf relevante gesetzliche Bestimmungen und Maßnahmen zur Risikominimierung mitliefern. Der Betreiber muss diese dann „nur noch“ an seine spezifische Rahmenbedingungen und sein Umfeld anpassen, aber nicht mehr ermitteln, welche Regelungen für die Anlage relevant sind. Daher sollte genau festgelegt werden, welche Informationen und Dokumentation für eine gerichtsfeste Nachweissicherung und Risikominimierung erforderlich sind. Die gerichtsfeste Nachweissicherung und Risikominimierung können über den Bestand eines Unternehmens entscheiden. Liegen hier Mängel vor, ist es möglich, dass ein Standort geschlossen wird. Die Zukunft des Standorts Deutschland hängt daher sehr stark von der Lösung dieser Aufgabenstellung ab.

Um die mit der Dokumentation und dem Wissensmanagement verbundenen Potenziale zu erschließen, sollte eine instandhaltungsspezifische, abteilungs- und unternehmensübergreifende Wissensplattform entwickelt werden. Dabei ist besondere Aufmerksamkeit auf die Akzeptanz des Systems bei den potenziellen Nutzern sowie auf die Aufbereitung und anforderungs- sowie anwendergerechte Bereitstellung des Wissens zu legen. Hier sind zukunftsfähige Kooperations- und Referenzmodelle einschließlich Workflows zur Aufbereitung und Nutzung des innerhalb der jeweiligen Netzwerke vorhandenen Wissens und der zugehörigen Dokumentationen zu generieren. Die zu schaffende Wissensplattform sollte wirtschaftlich, nutzerspezifisch und personenunabhängig sein. Darüber hinaus ist die mobile Nutzung der Wissensplattform für die Instandhaltung unabdingbar, denn die Daten und Informationen werden vor Ort an den Anlagen benötigt.

Zusammengefasst sind die wichtigsten Stellhebel bzw. Optimierungspotenziale des Handlungsfeldes Organisation:

- Eine bedarfsgerechte Aus- und Weiterbildung des Personals sowie die Sicherung und Dokumentation des Wissens und der Erfahrungen muss sichergestellt werden.
- Die Zusammenarbeit zwischen Anlagenherstellern, Betreibern und Dienstleister im Bereich des Instandhaltungsmanagements muss verbessert werden.
- Ebenso muss die Zusammenarbeit zwischen Produktion, Qualitätsmanagement, Arbeitsvorbereitung und Instandhaltung verbessert werden.
- Aufgrund der zunehmenden Abhängigkeit vernetzter Produktionsprozesse müssen weltweite Standards für die nachhaltige Instandhaltung durch Hersteller, Betreiber und Dienstleister entwickelt und etabliert werden.
- Ein Mentalitätswandel ist gefordert: Die Vermeidung von Ausfällen ist besser als eine schnelle Behebung!

### 3.3.2 Handlungsfeld 2: Strategie

Der Begriff Strategie hat in diesem Zusammenhang mehrere Bedeutungen. An erster Stelle steht die Strategie als Weg zur Erreichung der Ziele nachhaltiger Instandhaltung. Danach folgt die Umsetzung der ausfall-, zeit- und zustandsabhängigen Instandhaltungsstrategie zur anforderungsgerechten Instandhaltung der technischen Objekte.

Das strategische Konzept muss die ständige Optimierung der Produktivität, Flexibilität, Verfügbarkeit, Zuverlässigkeit, Instandhaltbarkeit, Sicherheit und Wirtschaftlichkeit der Anlagen über die gesamte Lebensdauer in den Mittelpunkt stellen. Instandhaltung wird so zur Investition in die Zukunft und sollte daher in die strategische Unternehmensführung integriert werden. In der Praxis ist es jedoch noch ein langer Weg zur Durchsetzung dieses Verständnisses auf allen Ebenen.

Die Untersuchung machte mehrfach deutlich, dass es hierzu vor allem der Nutzen der Instandhaltung deutlich gemacht werden muss. Zum einen ist der aus den Instandhaltungskosten resultierende Nutzen nachzuweisen, zum anderen stellt sich die Frage, wie die Leistung der Instandhaltung gemessen und mit der Instandhaltungsleistung anderer Unternehmen verglichen werden kann. Heute sind zwar die Kosten der Instandhaltung transparent, eine direkte Beziehung zum Nutzen lässt sich jedoch meist nicht herstellen. Dies liegt auch darin begründet, dass sich die Wirkungen der Instandhaltung (z. B. Produktivität, Qualität, Ressourcenschonung, Sicherheit, Verfügbarkeit) erst mit einem gewissen Zeitverzug einstellen, die Kosten allerdings sofort wirksam werden. Als logische Konsequenz wird die Forderung nach geeigneten Möglichkeiten zur quantitativen Bewertung des Nutzens konkreter Instandhaltungsmaßnahmen erhoben. Heutige Ansätze liefern hierfür bisher keine einfachen und akzeptierten Lösungen. Insbesondere kleine und mittlere Unternehmen fragen nach einfachen, leicht anwendbaren Formeln.

Bei der Gestaltung des strategischen Konzeptes wird vor allem gefordert, dass die Instandhaltung dynamisch an sich ändernde Anforderungen leicht angepasst werden kann. Hierzu gehört neben einer Beschleunigung von Anpassungsmaßnahmen und

verbesserten Nutzung verfügbarer Informationen auch die zunehmende Flexibilisierung der Ausführung. Die Instandhaltung muss in die Lage versetzt werden, jede sich bietende Möglichkeit zur Durchführung der notwendigen Instandhaltungsmaßnahmen zu nutzen. Des Weiteren ist permanent in Frage zu stellen, ob die gewählte Instandhaltungsstrategie unter den gegebenen Rahmenbedingungen noch die richtige ist oder durch eine andere Instandhaltungsstrategie ersetzt werden sollte. So ist es möglich, permanent einen Beitrag zur Wertschöpfung eines Unternehmens und damit zur Wettbewerbsfähigkeit und Zukunftsfähigkeit des Standorts Deutschland beizutragen.

### ***Forschungsbedarf im Handlungsfeld Strategie***

Dass Instandhaltung eine Kernkompetenz im Unternehmen ist, die für die Produktionsfähigkeit und -sicherheit einen unabdingbaren Beitrag leistet, wird zwar zunehmend bejaht, aber auf die Frage, was diese Produktionssicherheit wert ist, gibt es keine (eindeutigen) Antworten. Die Unternehmen nutzen vor allem Kennzahlen, die den finanziellen Aspekt, die direkten Instandhaltungskosten, betrachten. Eine Gegenüberstellung von Instandhaltungskosten und Produktionsausfallkosten durch mangelhafte oder nicht durchgeführte Instandhaltung erfolgt jedoch nicht. Die Entwicklung einer entsprechenden Systematik ist jedoch unabdingbar, um aufzuzeigen, auf welche finanziellen Chancen verzichtet wird, wenn die Instandhaltung nicht so durchgeführt wird, wie es eigentlich möglich wäre. Zusätzlich wird deutlich, was Produktionssicherheit wert ist.

Ein weiter gehender Schritt wäre die Entwicklung von Instandhaltungskennzahlen, die das Kosten-Nutzen-Verhältnis exakt bewerten und widerspiegeln. Gefordert wird die Entwicklung einer Instandhaltungsbilanz, in der nicht Aktiva und Passiva gegenübergestellt werden, sondern Ursachen und Wirkungen (Sach- und Wirkbilanz). Die Bilanzierung der Instandhaltung hätte nicht nur die Transparenz des Kosten-Nutzen-Verhältnisses zur Folge, sondern würde auch dazu beitragen, aufzuzeigen, welchen Nutzen die Integration komplementärer Bereiche wie z. B. Arbeits- und Umweltschutz in die Instandhaltung bietet. Die Instandhaltung könnte darüber hinaus auch ihren Beitrag innerhalb der Risikoklassen nach Basel II verdeutlichen. Die Bilanzierung sollte auf Basis standardisierter, leicht nutzbarer Formeln die Kosten-Nutzen-Bewertung ermöglichen. Die erforderlichen Daten für diese Bewertung sollten sich rationell aus den Prozessen erheben lassen. Zur Gewährleistung der Vergleichbarkeit solcher Instandhaltungsbilanzen werden zudem branchenabhängige Benchmarks für die Instandhaltung benötigt. Diese sollten nicht nur das Kosten-Nutzen-Verhältnis innerhalb einer Branche widerspiegeln, sondern auch als Vergleichsgrößen für standardisierte Branchen-Balanced Scorecards geeignet sein. Die Instandhaltung wird so in die Lage versetzt, eine Aussage darüber zu treffen, wie gut sie im Vergleich zu anderen Unternehmen der Branche dasteht.

Das strategische Konzept sollte auf den gesamten Lebenszyklus einer Anlage ausgerichtet sein. Die Bedeutung der Lebenszykluskosten wird in der Wissenschaft, und in der Praxis schon seit mehreren Jahren betont. Die Umsetzung in die Praxis lässt jedoch noch zu wünschen übrig. Daher wird gefordert, eine Untersuchung mit Signalwirkung zu den Lebenszykluskosten von Anlagen durchzuführen. Diese sollte aufzeigen, welche Potenziale in einer lebenszykluskostenorientierten Betrachtung und -ausgestaltung der zugehörigen Prozesse liegt. Dabei sollte deutlich aufgezeigt werden, wo und wie die Kosten entstehen und wie sich die einzelnen Lebenszyklusphasen und die zugehörigen Kosten gegenseitig beeinflussen. Nahezu jeder kennt die Zehnerregel der Fehlerkosten, die besagt: Je später ein Fehler im Lebenszyklus einer Anlage entdeckt wird, desto höher sind die Kosten und desto geringer sind die Möglichkeiten zu ihrer Beseitigung. Die Kosten potenzieren sich dabei je Lebenszyklusphase auf Ba-

sis des Faktors 10. Kostet beispielsweise die Behebung eines Fehlers in der Entwicklungsphase 10 Cent, so sind es im späteren Betrieb bereits 100 Euro. Dennoch wird bei Investitionen in neue Anlagen noch zu selten auf eine instandhaltungsarme und -gerechte Konstruktion geachtet.

Es wird erwartet, dass wenn den Unternehmen durch eine solche Untersuchung die Dimensionen deutlich vor Augen geführt werden, die Lebenszykluskosten zukünftig eine herausragende Rolle bei allen Entscheidungen spielen werden und Instandhaltungsfreundlichkeit ein entscheidendes Beschaffungskriterium wird.

Da Anlagen heute intensiver und länger genutzt werden, als es eigentlich vorgesehen war, reicht eine entsprechende Untersuchung zu den Lebenszykluskosten allein nicht aus. Benötigt werden Prognosemodelle, mit deren Hilfe die Lebenszykluskosten möglichst exakt vorhergesagt werden können. Ziel sollte es sein, die Berechnung der Lebenszykluskosten dynamisch an sich verändernde Rahmenbedingungen anzupassen. Solche Prognosemodelle könnten dann auch dazu genutzt werden, Entscheidungen bezüglich Instandhaltungs-, Verbesserungs-, Modernisierungs- oder Ersatzinvestitionsmaßnahmen zu bewerten und so letztlich die Entscheidung für oder gegen eine entsprechende Maßnahme unterstützen. Allerdings sollte deutlich zwischen Instandhaltung und Ersatzinvestition differenziert werden.

Die Entwicklung der Prognosemodelle ist nur in Zusammenarbeit mit den Anlagenherstellern und ihren Sublieferanten möglich, da in der Regel nur diese Daten und Informationen über die frühen Lebenszyklusphasen in der notwendigen Vollständigkeit besitzen.

Die Zusammenarbeit zwischen dem Anlagenhersteller und seinen Lieferanten ist auch für die Parametrierung vorbeugender Instandhaltung unabdingbar. Die Unternehmen fordern für diese schwierige Aufgabe ein Instrument, das ihnen hilft zu entscheiden, welche Instandhaltungsstrategie unter welchen Randbedingungen für ein spezifisches Objekt zu wählen und wie diese im Detail auszugestaltet ist. Als Idealvorstellung sollte der Anlagenhersteller eine Anleitung zur optimalen Instandhaltung mit der Anlage ausliefern. Mit dieser Forderung müssen sich bereits viele international tätige Unternehmen auseinandersetzen. Unternehmen aus z. B. Brasilien oder Russland kaufen heute zunehmend nur noch Anlagen, bei denen das Instandhaltungskonzept einschließlich des zugehörigen Personals oder Schulungskonzeptes für das Personal mitgeliefert wird. Aufgrund der vielfältigen Einflussgrößen ist dies eine herausfordernde Aufgabe, die vom Hersteller allein nicht zu bewältigen ist. Neben der Standardisierung von Anlagenkomponenten und die Kenntnis ihrer Abnutzungsverläufe sind Erfahrungen über die Nutzungsbedingungen und das verfügbare Personal die entscheidenden Parameter für die Bestimmung der Instandhaltungsstrategie. Dabei ist die zuverlässige und praxisgerechte Prognose des Abnutzungsverlaufes und der Restnutzungsdauer von Bauteilen, Maschinen und Anlagen heute noch nicht möglich, da keine entsprechenden Prognosemodelle existieren. Die Erforschung der Prognosemodelle ist jedoch unabdingbare Voraussetzung zur Entwicklung einer Anleitung zur optimalen Instandhaltung sowie zur Parametrierung vorbeugender Instandhaltung.

Die Experten fordern die Fokussierung auf eine verfügbarkeitsorientierte Instandhaltung. Die Soll-Verfügbarkeit der Anlagen ist dabei der Maßstab für den erforderlichen Instandhaltungsaufwand. So einfach wie diese Forderung erscheint, so schwierig ist die Realisierung eines entsprechenden Lösungsansatzes. Die Ursache hierfür liegt darin, dass die Produktion meist nicht die Frage eindeutig beantworten kann, welche Verfügbarkeit wirklich benötigt wird, um die Produktionsziele sicher zu erreichen. Die

Folge ist, dass entweder zu viel oder zu wenig Instand gehalten wird. Zur Verbesserung dieser Situation wird ein Instrument benötigt, mit dessen Hilfe auf Basis der Produktionsziele und des vorhandenen Anlagenparks ermittelt werden kann, welche Verfügbarkeit bedarfsgerecht ist. Hieraus ließe sich dann der erforderliche Instandhaltungsaufwand und Ersatzteilbedarf ableiten. Da sich die Produktionsziele je nach Unternehmen und Produkt häufig ändern oder unvorhergesehene Störungen im Ablauf eintreten können, ist der Instandhaltungsaufwand und Ersatzteilbedarf nicht fix, sondern muss dynamisch an die neuen Anforderungen hinsichtlich Nutzungsintensität und -dauer angepasst werden. Dies ist nur möglich, wenn das Instandhaltungsplanungs- und -steuerungssystem mit dem Produktionsplanungs- und -steuerungssystem gekoppelt und auf Basis der Simulation aktueller und zukünftiger Nutzungsprofile die bedarfsgerechte Verfügbarkeit und den daraus resultierenden Instandhaltungsaufwand permanent abgleicht. Entsprechende Kopplungen der Systeme und zugehörige Funktionen innerhalb der Systeme existieren jedoch nicht. Erste Ansätze in der Prozessindustrie lassen sich im Rahmen des Plant Asset Management erkennen. Dabei wird für jedes technische Objekt ein Instandhaltungsplan mit definierten Zeiten (Mean Time Before Repair, Mean Time To Repair) hinterlegt, die Prozesssicherheit mittels kontinuierlicher Messungen überwacht und die Instandhaltung entsprechend der Pläne und Messungen gesteuert. Eine dynamische Anpassung erfolgt noch nicht. Zur Realisierung einer verfügbarkeitsorientierten Instandhaltung, wie sie hier verstanden wird, besteht daher noch erheblicher Forschungsbedarf.

Zusammengefasst sind die wichtigsten Stellhebel bzw. Optimierungspotenziale des Handlungsfeldes Strategie:

- Es müssen Möglichkeiten zur quantitativen Bewertung des Nutzens konkreter Instandhaltungsmaßnahmen entwickelt werden.
- Die Instandhaltungsstrategie muss permanent überprüft werden – ist sie dynamisch und anpassungsfähig, und ist sie noch die richtige?
- Die Entwicklung einer Instandhaltungsbilanz kann künftig Grundlage branchenabhängiger Benchmarks sein, die als Vergleichsgröße für standardisierte Branchen – Balanced-Scorecards dienen.
- Im Rahmen einer lebenszyklusorientierten Betrachtung und Ausgestaltung der Instandhaltungsprozesse sollte aufgezeigt werden, wo und wie Kosten entstehen und wie sich die einzelnen Lebenszyklusphasen und die zugehörigen Kosten gegenseitig beeinflussen.
- Mit der Anlage sollte eine Anleitung zur optimalen Instandhaltung ausgeliefert werden, um den Betreibern die Wahl der passenden Instandhaltungsstrategie so einfach wie möglich zu gestalten.
- Wünschenswert ist die Entwicklung von Instrumenten, die eine bedarfsgerechte Verfügbarkeit von Maschinen und Anlagen ermitteln können, um den erforderlichen wirtschaftlich sinnvollen verfügbarkeitsorientierten Instandhaltungsaufwand und Ersatzteilbedarf ableiten zu können.

### 3.3.3 Handlungsfeld 3: Geschäftsmodelle

Die Untersuchung unterstrich deutlich, dass die Ergebnisse der Mercer-Analyse „Service im Maschinenbau“ aus dem Jahre 2003 [Dera03] immer noch gültig sind. Obwohl das Ertrags- und Wachstumspotenzial im Servicegeschäft liegt, nutzt der deutsche Maschinenbau die Chancen des Servicegeschäftes nur unzureichend. Die Betreiber fordern kundenorientierte und kundennutzengerechte Dienstleistungsangebote und Geschäftsmodelle und stellen hohe Anforderungen an die Zusammenarbeit. Diese Anforderungen werden bisher jedoch nur zum Teil erfüllt und es besteht ein erheblicher Handlungsbedarf, wenn die Zukunftsfähigkeit des Maschinenbaus erhalten werden soll. Um die Chancen des Servicegeschäftes in vollem Ausmaß zu nutzen, muss das Geschäftsmodell radikal umgebaut werden [Dera03]. Führende Investitionsgüterhersteller haben bereits erfolgreiche Schritte eingeleitet. Zu nennen sind beispielsweise GE Aero Engines und Kone. Der Umsatzanteil des Servicegeschäftes beträgt bei GE bereits über 50 % und bei Kone über 60 %. Ausgangspunkt des Servicegeschäftes dieser Unternehmen ist, dass die Dienstleistungen die Wirtschaftlichkeit des Kunden erhöhen, aber auch die Ressourcen schonen. Der verantwortungsvolle Umgang mit den natürlichen Ressourcen unter Einhaltung aller gesetzlichen Regelungen ist daher Basis der Geschäftsmodelle.

Auch die Kreditgeber achten verstärkt darauf, dass das Geschäftsmodell nachhaltig ist und vor dem Urteil der Gesetzgeber und der Kunden dauerhaft standhält. Nachhaltige Instandhaltung ist Umwelt- und Arbeitsschutz und Geschäft, das belegen Zahlen. Nachhaltig wirtschaftende Unternehmen zeigen schon heute eine überdurchschnittliche Performance.

Dennoch überwiegen die alten Denkmuster. Die Mercer-Analyse benennt sechs Erfolgsfaktoren für das Servicegeschäft [Dera03]:

1. Schaffen von echtem Kunden-Mehrwert durch intelligente Services.
2. Schnüren von komfortablen Leistungsbündeln.
3. Abtrennen des Servicebereichs vom Maschinen-Neugeschäft.
4. Entwickeln einer originären Dienstleistungsmentalität.
5. Bereitschaft für substanzielle Investitionen in Dienstleistungen.
6. Transparenz der im Service erzielten Umsätze und Erträge.

Viele Instandhaltungsdienstleistungsunternehmen sind hier schon einen Schritt weiter. Dies zeigt sich in dem zunehmenden Angebot an nach Service-Levels gestaltetem Dienstleistungsportfolio, das verstärkt den Kundennutzen in den Mittelpunkt stellt. Die Dienstleistungsmentalität könnte jedoch auch hier noch wesentlich ausgeprägter sein, ebenso die kundennutzengerechte Abstimmung der Leistungen auf die Kundenprozesse. Hier erfolgt meist eine Abstimmung auf die Kundenanlage oder die Dienstleistungsprozesse, nicht aber auf den Kundenprozess.

Warum setzen sich diese Geschäftsmodelle relativ langsam durch? Hierfür lassen sich unterschiedliche Gründe benennen. Zum einen sind insbesondere kleine und mittlere Unternehmen aufgrund ihrer knappen finanziellen Mittel und niedrigen Personalkapazitäten meist nicht in der Lage, entsprechende kundennutzengerechte Geschäftsmodelle aus eigener Kraft zu entwickeln und dauerhaft zu etablieren. Dies ist auch nur bedingt möglich, da hierzu eine Zusammenarbeit aller Beteiligten Grundanforderung ist. Hersteller, Sublieferanten, Betreiber und Dienstleister müssen gemeinsam kundennutzenorientierte Dienstleistungen entwickeln. Zum anderen liegen die Investitionen in ein

service-orientiertes Geschäftsmodell und der resultierende Nutzen zeitlich auseinander. Da jedoch die Geschäftsführung heute an den kurzfristigen Ergebnissen (in der Regel 1-2 Jahre) gemessen wird, sind mittel- bis langfristige Ansätze für ein positives Geschäftsergebnis eher nachteilig. Notwendige Investitionen werden so oft hinausgezögert. Für die Zukunftsfähigkeit der Unternehmen bedeutet dies eine nicht unerhebliche Beeinträchtigung. Die Gründe liegen jedoch sicherlich nicht allein bei den Anbietern der Dienstleistungen. Die Kunden als Betreiber der Maschinen und Anlagen haben ebenfalls wesentlichen Einfluss auf dieses Dilemma. Die Kunden kaufen – aufgrund wirtschaftlicher Zwänge – die preiswerteste Anlage oder zögern Neuinvestitionen hinaus und nutzen den bisherigen Anlagenpark wesentlich länger als vorgesehen. Oft sind sie auch gar nicht bereit, für zusätzliche Dienstleistungen zu zahlen, da der Nutzen nicht transparent ist. Ursachen hierfür liegen darin, dass die Anbieter den Nutzen nicht darstellen können bzw. die Einkäufer den Nutzen nicht erkennen können, da sie nicht über das Wissen und die Erfahrungen des Betriebspersonals verfügen und dieses selten in solche Prozesse eingebunden ist.

Aus diesen Rahmenbedingungen ergeben sich insbesondere Handlungs- und Forschungsbedarfe in Bezug auf die Ausgestaltung und den Umfang des Dienstleistungsangebotes und die Zusammenarbeit zwischen Herstellern, Lieferanten, Betreibern und Dienstleistern.

### ***Forschungsbedarf im Handlungsfeld Geschäftsmodelle***

Die Experten fordern, bei Dienstleistungsangeboten und -verträgen die Nutzungscharakteristik der Anlagen (stärker) zu berücksichtigen. Heute werden die Anlagen für eine spezifische Nutzung mit einer definierten Nutzungsreserve ausgeliefert. Analog verhält es sich beim Dienstleistungsvertrag, dabei werden die Leistungen auf die aktuelle, spezifische Nutzung ausgelegt. Die Anforderungen verändern sich jedoch sehr dynamisch, so dass teilweise schon kurz nach der Inbetriebnahme die getroffenen Annahmen nicht mehr stimmen. Eine dynamische Anpassung der Anlage, aber auch der Instandhaltungsdienstleistungen erfolgt jedoch meist nicht. Hieraus resultieren viele unplanmäßige Störungen und Unterbrechungen des Anlagenbetriebs und somit eine Einschränkung der Produktionsfähigkeit. Benötigt werden Anlagen und Dienstleistungspakete, die sich flexibel und dynamisch an die sich verändernden Anforderungen und Rahmenbedingungen, die sich beispielsweise aus gesetzlichen Vorgaben ergeben, anpassen lassen. Für die Beherrschung dieser Dynamik gibt es kein Patentrezept, aber bisher auch noch kein ausreichendes Konzept bei der Gestaltung von Anlagen und Instandhaltungsdienstleistungen. Servicelevelkonzepte sind im Bereich der Dienstleistungen ein erster Erfolg versprechender Ansatz, allerdings dauert die Anpassung an die Veränderungen oft noch zu lange. Ursache hierfür ist, dass die Dienstleistungsunternehmen solche Veränderungen erst spät bemerken oder von den Kunden nur selten frühzeitig darauf hingewiesen werden, weil sie es oft auch nicht vorhersehen können. Ein Frühwarninstrument und ein dynamisches Geschäftsmodell, das sich an den Kundenprozessen und -anforderungen orientiert, sind dringend erforderlich. Dieses Modell sollte es auch ermöglichen, Dienstleistungen als Produkt und nach Verfügbarkeitsanspruch der Kundenprozesse anzubieten. Dazu gehört die Bereitstellung effektiver Instandhaltungskennzahlen ebenso wie die Ermöglichung einer Online-Instandhaltungscontrollings mit jederzeitigem Zugang zu allen relevanten Informationen des Dienstleistungsanbieters. Für den Dienstleistungsanbieter stellt sich in diesem Zusammenhang die Frage, welche Dienstleistungen (z. B. Datenerfassung) dem Kunden kostenlos bereit gestellt werden können, da der resultierende Nutzen für Kunde und Dienstleister die Kosten mehrfach wieder aufwiegt (win-win-Konstellation). Dieser

Ansatz setzt jedoch voraus, dass dem Kunden Gesamtlösungen für alle seine Servicefragen quasi als „Rundum-Sorglos“-Service angeboten werden. Der Hersteller muss den Betreiber kompetent beraten, nicht nur bei der Neuprojektierung von Anlagen, sondern vor allem bei der Betriebsoptimierung und Ressourceneinsparung. Das Modell könnte hier eine Ersparnisbeteiligungskomponente nach einem festzulegenden prozentualen Faktor enthalten. Die konzeptuelle Erarbeitung eines solchen kundenprozessorientierten Geschäftsmodells ist eine herausfordernde Forschungsaufgabe. Eine wesentliche Teilaufgabe ist die Entwicklung von Instandhaltungsprodukten, die diesen Anforderungen genügen und gerecht werden.

Ein weiterer Aspekt im Rahmen einer kundenutzenorientierten Gestaltung des Dienstleistungsangebotes ist die Gestaltung von Teleservices wie z. B. Ferndiagnostik, Software-Wartung, Web-Reporting oder Datenkonzentration. Hier sollte plausibel und nachvollziehbar aufgezeigt werden, welchen strategischen und wirtschaftlichen Nutzen diese Dienstleistungen haben. Standardargumente wie die Verringerung von Reisezeiten helfen nicht weiter. Es muss deutlich gemacht werden, dass beispielsweise Feuerwehreinätze vermieden und dadurch Folgeprobleme wie z. B. Pönale, Lieferverzug, Kundenverlust verhindert werden konnten. Das kann der Dienstleister nur in Zusammenarbeit mit dem Betreiber erreichen. Der Betreiber muss dem Dienstleistungsanbieter hierzu auch Zugang zu weitergehenden Information schaffen als er dies heute tut. Voraussetzung ist eine partnerschaftliche, offene und vertrauensvolle Zusammenarbeit.

Die partnerschaftliche Zusammenarbeit sollte Hersteller, Sublieferanten, Betreiber und Dienstleister umfassen. Sie müssen ein Netzwerk schaffen, um anderen Unternehmen als ein starker Partner gegenüber zu treten. Das Netzwerk hilft, erhebliche Potenziale zu erschließen, z. B. Mengeneffekte bei Beschaffungen, aber auch Kompetenzeffekte durch erstmalig mögliche vollständige Nutzung aller verfügbaren Daten und Informationen zu einer Anlage, einem Prozess oder einer Dienstleistung. Die notwendige Vertrauensbasis für diese partnerschaftliche Zusammenarbeit ist heute noch nicht stark genug ausgeprägt. Sie muss sich daher noch ausbilden.

Ein erster Schritt könnte das gemeinsame Engagement und die gemeinsame Erarbeitung von weltweiten Standards zur Instandhaltung, benötigten Basisdaten und -informationen (z. B. erkannte Schwachstellen und deren Beseitigung) sowie der Austausch dieser Informationen (Feedback to Design, Feedback to Customer) sein. Dabei könnten Hersteller (einschließlich Sublieferanten) und Betreiber diesen ersten Schritt anstoßen und in eine Informationspflicht umsetzen. Hierzu gehört, zu ermitteln, welche Instandhaltungsdaten überhaupt vorhanden sind und welche Daten sind die beteiligten Unternehmen bereit weiterzugeben. Denn die Transparenz der Daten und Informationen eröffnet zahlreiche Potenziale, die sich vor allem in Einspareffekten bei Ressourcen, Zeit und Geld niederschlagen. Solche Standards mit dem Fokus „Designed For Service“ würden zusätzlich den Export unterstützen, da sie die Alleinstellungsmerkmale des deutschen Maschinenbaus unterstreichen würden. Eine intensive Zusammenarbeit zur Erreichung dieser Ziele ist daher unabdingbar zur Standortsicherung.

Eine herausfordernde Aufgabenstellung ist in diesem Zusammenhang die Entwicklung eines oder mehrerer Organisationsformen für Geschäftsmodelle, welche die partnerschaftliche Zusammenarbeit regeln, die unterschiedliche Formen der Zusammenarbeit beschreiben und den Aufbau der zugehörigen Organisation unterstützen. An solche Modelle stellen die Experten unterschiedlichste Anforderungen. So wird beispielsweise gefordert, dass die Anlagenhersteller die Ersatzteildokumentation so offen legen, dass erkennbar wird, von welchem Sublieferanten welches Teil stammt. Heute ist dies nicht

möglich, da die Hersteller ihre eigene Teilenummer auch für Teile von Sublieferanten vergeben und Herstellerinformationen an den Teilen oft fehlen. Daraus resultiert auch, dass die Leistungsdaten der Teile nicht mit denen anderer Hersteller verglichen werden können, die Wahl eines adäquaten Teils wird unmöglich gemacht.

Des Weiteren sollte aus dem jeweiligen Modell klar hervorgehen, welcher der Partner in welchem Maße für welches Objekt zuständig ist. Eine Konsequenz einer klaren Regelung wäre, dass die betreffenden Mitarbeiter wesentlich besser für ihre Aufgaben sensibilisiert und motiviert werden könnten, auch in Bezug auf die erforderliche Zusammenarbeit mit Partnern. Ebenso sollte die Bildung nationaler und internationaler Kooperationsnetze Berücksichtigung finden, die dann als Instandhaltungs-Cluster am Markt agieren können. Aus technischer Sicht wurde besonders auf die Vernetzung der ERP-Systeme von Hersteller und Betreiber hingewiesen. Der Kenntnis der Planung und Steuerung wird zugeschrieben, dass zukünftig Interessenskonflikte dem Interessenausgleich unterstellt werden. Die Rechtfertigungshaltung aller Beteiligten würde durch gemeinsamen Anreiz zur Verbesserung abgelöst. Die wirtschaftliche Ausgestaltung eines entsprechenden Geschäftsmodells dürfte sich daher nicht mehr am Umsatz oder an den Umsatzzielen des Herstellers orientieren. Auf die Frage, wie ein schlüssiges Wirtschaftlichkeitsmodell aussieht, gibt es allerdings keine passende Antwort. Die Entwicklung dieses Wirtschaftlichkeitsmodells ist eine wichtige Forschungsaufgabe, da es die unabdingbare Basis für die zukünftige zukunftsfähige Zusammenarbeit zwischen Herstellern, Betreibern und Dienstleistern darstellt.

Zusammengefasst sind die wichtigsten Stellhebel bzw. Optimierungspotenziale des Handlungsfeldes Geschäftsmodelle:

- Flexible und dynamische Dienstleistungsangebote, mit denen die Nutzungscharakteristik der jeweiligen Anlagen stärker berücksichtigt wird (Servicelevelkonzepte, dynamische Geschäftsmodelle, effektive Instandhaltungskennzahlen, etc.), werden zunehmend gefordert.
- Die Vorteile einer effizienten Nutzung von Teleservices, die eine offene und vertrauensvolle Zusammenarbeit zwischen Anlagenbetreiber und Dienstleistungsanbieter bedingt, müssen den Betreibern nachvollziehbar aufgezeigt werden.
- Die Ausbildung von Netzwerken, unterstützt z. B. durch die gemeinsame Erarbeitung weltweiter Standards zur Instandhaltung, benötigter Basisdaten und -informationen sowie deren Austausch, muss vorangetrieben werden.
- Die Entwicklung einer oder mehrerer Organisationsformen für Geschäftsmodelle ist notwendig, um Zuständigkeiten und Verantwortungen eindeutig regeln zu können. In diesem Zusammenhang sollten auch eine Vernetzung der ERP-Systeme von Hersteller und Betreiber sowie die Bildung nationaler und internationaler Kooperationsnetzwerke Berücksichtigung finden.

### 3.3.4 Handlungsfeld 4: Technologien

Zunächst hat sich im Untersuchungsfeld Technologien gezeigt, dass ein nachhaltiges Ressourcenmanagement bereits bei der Planung, Entwicklung und Auswahl neuer Maschinen und Anlagen berücksichtigt werden muss. Bisher werden Instandhaltungsbelange von Unternehmen zwar „offiziell“ hoch priorisiert; bei der Auswahl von Maschinen spielen sie bisher allerdings keine Rolle.

Daher müssen bereits im Prozess der Angebotseinholung Anforderungen der Instandhaltung analysiert, formuliert und bewertet werden.

Darüber hinaus wurden im Bereich Technologien, das sowohl Instandhaltungshardware als auch -software umfasst, fünf zu priorisierende Forschungsfelder identifiziert:

#### 3.3.4.1 *Condition Monitoring Systeme*

Wie in Abschnitt 3.1.4 beschrieben, bieten immer häufiger eingesetzte Condition Monitoring Systeme (CMS) erhebliche Potenziale für die zustandsorientierte Instandhaltung. Allerdings erfüllen die heute eingesetzten Systeme die an sie gestellten Anforderungen häufig nicht.

Ein weiterverbreitetes Problem ist die Zuverlässigkeit von CMS: Beileibe nicht jede Störung kann von CMS rechtzeitig vorhergesagt oder auch nur gemeldet werden. Prinzipbedingt lassen sich zufällige Störungen oder Störungen durch Fehlbedienungen nicht ausschließen; jedoch werden auch durch normale, stetige Abnutzung verursachte Fehler nicht zuverlässig genug erkannt. Insbesondere für elektronische Anlagen fehlen adäquate Systeme. Daher muss weiter an zuverlässigen Algorithmen für CMS gearbeitet werden. Zielvorstellung ist die Einbeziehung aktueller Betriebsdaten von Online-Sensoren, aber auch der Maschinenhistorie sowie einer Datenbank mit Vergleichsdaten zur Maschinenklasse oder sogar zum konkreten Maschinentyp.

Auch CMS selbst können ausfallen – und melden deshalb entweder eine existierende Störung nicht oder eine nicht existierende Störung fälschlicherweise. Weil CMS bisher in eher kleinen Stückzahlen hergestellt werden, liegt dieser Fehler oft in mangelnder Erprobung der CMS-Bauteile begründet. Eine Lösungsmöglichkeit ist hier Standardisierung sowie der Rückgriff auf erprobte Komponenten aus sicherheitsrelevanten Baugruppen, die in großen Stückzahlen, z. B. für die Automobilindustrie, hergestellt werden. Generell sollten Standardkomponenten zur Maschinenzustandsanalyse zu CMS zusammengefügt werden, um deren Zuverlässigkeit zu erhöhen. Eine weitere prinzipielle Möglichkeit sind redundante CMS; jedoch wird sich der Aufwand dafür in den wenigsten Fällen rechnen. Außerdem steigen hierdurch die Komplexität und damit die Störungsanfälligkeit nochmals. Letztlich sind sich selbst überwachende Leitungen und Sensoren nötig.

Die Verbreitung von CMS könnte durch die standardmäßige Integration solcher Systeme in Maschinen bereits durch die Maschinenhersteller gefördert werden. Dies würde sowohl Kompatibilitätsproblemen vorbeugen als auch den Kaufprozess (interne Rechtfertigung der Mehrkosten für CMS durch die Instandhaltungsabteilung) vereinfachen.

Es fehlen jedoch Modelle der Einflussgrößen in Maschinen und Anlagen, mit deren Hilfe sich fundiert der Maschinenstatus ableiten lässt. Abhilfe schaffen könnte hier die in Abschnitt 3.3.4.2 geschilderte Systematik zur Schwachstellenanalyse.

Ein erster Schritt auf dem Weg zu einem automatisierten CMS oder zur „selbst diagnostizierenden Maschine“ könnte ein Expertensystem sein, das zunächst Auswertempfehlungen gibt und in einer späteren Entwicklungsstufe leicht verständliche, konkrete Handlungsempfehlungen erzeugt.

Die Entwicklung „lernender Sensoren“ und nutzerfreundlicher Verfahren für eine einfache Konfiguration könnten zu einer weiteren Verbreitung von CMS beitragen. Konkret sind dazu Konfigurationsmanager bzw. Algorithmusmanager für verschiedene Messgrößen zu entwickeln.

Neben den beschriebenen technische Weiterentwicklungen von CMS ist ein neutraler Marktüberblick über die existierenden Systeme wünschenswert; enthalten sein sollten u. a. Anwendungsmöglichkeiten, Einsatzgrenzen sowie generelle Informationen über den Anbietermarkt.

Außerdem müssen Verfahren zur Kosten-Nutzen-Rechnung für die Instandhaltung entwickelt und eingesetzt werden, um CMS zu einem Verkaufsargument werden zu lassen (siehe dazu Abschnitt 3.3.2). Diese Verfahren müssen u. a. die Entscheidung unterstützen, ob Diagnosesysteme oder Redundanzanlagen oder -komponenten gekauft werden.

### **3.3.4.2 Schwachstellenanalytik**

Grundsätzlich sollte mehr als bisher vermieden werden, „Schwachstellen instand zu halten“: Schwachstellen und damit laufende, teure Instandsetzungsmaßnahmen und Ausfallszeiten sollten bereits in der Maschinenkonstruktion vermieden werden. Aktuell werden 70 % der Fehler im Betrieb durch Entwicklung und Montage verursacht – das zeigt, welches Potenzial in einer schwachstellenärmeren Konstruktion verborgen liegt. Zur Ausschöpfung dieses Potenzials ist eine verbesserte Schwachstellenanalytik erforderlich, die auf große Datenmengen angewendet wird.

Zunächst muss als Basis eine saubere Berichterstattung über Maschinenzustand und -historie etabliert werden; dazu sollten Schadens- und Ursachencodes standardisiert werden (z. B. Schlüssel, Berichte, Formblätter, Masken). Wichtig ist es dabei, alle konstruktions- bzw. instandhaltungsrelevanten Schäden detailliert genug (aber nicht zu detailliert) zu erfassen. Weitere Daten können durch Nutzbarmachung von „Datenfriedhöfen“ – Ansammlungen von Daten, die auch heute schon erhoben, jedoch nicht ausgewertet werden – gewonnen werden. Hilfreich wäre dafür eine weitergehende Prozessdatenintegration.

Um die Erhebung, Vorhaltung und Auswertung relevanter Daten in produzierenden Unternehmen zu fördern, ist die Etablierung von Instandhaltungsdaten als Qualitätsdaten zu untersuchen.

Neben der individuellen Maschinenhistorie sollte auch eine Historie pro Maschinenart oder gar -typ archiviert und ausgewertet werden. Hier sind die Hersteller von Maschinen in der Pflicht; ein zu lösendes Problem ist die Vertraulichkeit von Maschinenanwendungsdaten.

Zur Nutzbarmachung dieser Daten für die Konstruktion ist eine strategische Vorgehensweise zur Problem- bzw. Konstruktionsanalyse notwendig; Expertensysteme sind eine mögliche Lösung. Maschinenkomponenten könnten mit Hilfe der erhobenen Daten beispielsweise nach Kritizität gruppiert werden. Ein möglicher Ansatz zur Datenauswertung sind neuronale Netze.

Darauf aufbauend sollten Standards zur Maschinenkonstruktion vermehrt genutzt werden; die Komplexität von Maschinen sollte u. a. durch Standards, soweit möglich, reduziert werden. Von besonderer Bedeutung sind solche Standards für den Bereich der Maschinensoftware.

Für Maschinenentwickler hilfreich wären bauteilspezifische Kennzahlen, die automatisch eine Schwachstelle mit Hilfe der Ampelsystematik anzeigen. Eine mögliche Weiterentwicklung stellt eine automatische Schwachstellenanalyse resultierend aus Instandhaltungsrückmeldungen dar.

### **3.3.4.3 IT-Systeme**

Wie in Abschnitt 3.1.4 beschrieben, existieren zahlreiche IT-Systeme zur Unterstützung der Instandhaltung. Es existieren jedoch Defizite in Funktionsumfang und Anwenderfreundlichkeit.

Zunächst müssen IPS-Systeme in die Lage versetzt werden, dynamische Instandhaltungszyklen abzubilden bzw. zu errechnen, d. h. Instandhaltungsaufträge müssen automatisch zum richtigen Zeitpunkt generiert werden. Die Soll-Verfügbarkeit muss die vom IPS-System gewählte Instandhaltungsintensität und -strategie steuern; nur so kann eine verfügbarkeitsorientierte Instandhaltung von IT-Systemen effektiv unterstützt werden.

Zur manuellen Konfiguration von Instandhaltungsstrategien und zur Rückmeldung an die Unternehmensleitung müssen IPS-Systeme instandhaltungsgerechte Kennzahlen (z. B. MTBF, MTTR, MTBR, Lambda) automatisch erzeugen. Eine Datenauswertung auf Knopfdruck ist für den täglichen Einsatz in Unternehmen zu entwickeln. Die erzeugten Kennzahlen müssen mit Bedacht ausgewählt werden und vergleichbar und sinnvoll sein. Insbesondere ist die Frage nach der richtigen Ebene der Datenaggregation zu beantworten.

Die Nutzerfreundlichkeit von Instandhaltungssoftware muss erhöht werden. Dazu ist eine einfache und praktikable Standard-IPS-Software, die eine leichte Konfiguration aller relevanten Parameter gestattet, zu entwickeln. Insgesamt müssen die Systeme deutlich weniger „bürokratisch“ werden und dafür mehr Informationen auf Auftragsebene bieten. Weiterhin muss allgemein die Bedienerfreundlichkeit erhöht werden. Zielgerichtete Schulungsangebote unter Berücksichtigung des aktuellen Wissensstandes der relevanten Mitarbeiter müssen gestaltet werden.

Zu häufige Generationswechsel bei Hard- und Software sorgen für Kompatibilitätsprobleme und Kosten. Wünschenswert ist daher die Entwicklung praktikabler Migrationsstrategien, die sowohl sich ändernde Hard- als auch sich ändernde Software und Vernetzung mit anderen IT-Systemen berücksichtigen.

Weiterhin müssen bei der Softwareentwicklung die Anforderungen interner (siehe Abschnitt 3.3.4.4) und externer (siehe Abschnitt 3.3.4.5) Vernetzung berücksichtigt werden. Die geforderte online-Schwachstellenanalyse muss durch die Erhebung und Verfügbarmachung relevanter Kennzahlen unterstützt werden (vgl. Abschnitt 3.3.4.2).

### **3.3.4.4 IT-Schnittstellen innerhalb des Unternehmens**

Die Instandhaltung muss sinnvoll in andere IT-Systeme sowie in weitere Prozesse (Controlling, Finanzen, Personal, PPS etc.) eingebunden werden.

Viele für Instandhaltungszwecke potenziell hilfreiche Daten sind durch NC/SPS bereits vorhanden, werden allerdings nicht genutzt. Daher ist zunächst eine Anknüpfung von CMS an NC/SPS erforderlich. Zu entwickeln sind daher Standards zur Datenübertragung und -verarbeitung für Schnittstellen, Protokolle und Middleware. Daten unterschiedlicher Sensorarten und -hersteller müssen dabei integriert werden. Bisher bereits durch die Maschinensteuerung erhobene Daten müssen ggf. für CMS nutzbar gemacht, d. h. durch geeignete Algorithmen weiterverarbeitet, werden.

Bei der Forschung zu berücksichtigen sind Signalübertragungssysteme für Altanlagen. Weiterhin sollte die Anzahl der „Standards“ auf wenige, praxistaugliche begrenzt werden.

Die von CMS erzeugten Daten und Auswertungen wiederum müssen an Instandhaltungsplanungs- und -steuerungs- und weiter an ERP-/PPS-Systeme übergeben werden, um so die Instandhaltungsplanung direkt in die Produktionsplanung einzubinden. In diesem Szenario werten CMS Daten der Maschinensteuerung aus und geben sie an IPS-Systeme weiter. Diese wiederum erstellen automatisch entsprechende Instandhaltungsaufträge. Diese werden an das ERP-/PPS-System weitergegeben und in den Produktionsbetrieb eingeplant.

Dazu ist als zweiter Schritt zunächst die Ankopplung von CMS an IPS-Systeme zu ermöglichen; danach ist eine möglichst einfache Ankopplung von IPS-Systemen an ERP-Systeme (z. B. SAP) zu ermöglichen.

Um eine Nutzung der Daten auch durch Instandhalter im laufenden Betrieb zu gewährleisten, müssen Instandhalter auf die Daten direkt an der Maschine einfach und schnell zugreifen können.

#### **3.3.4.5 Datenaustausch mit anderen Unternehmen**

Ein weiteres Handlungsfeld ist der Datenaustausch zwischen Unternehmen, d. h. insbesondere zwischen Herstellern und Anwendern von Maschinen und Anlagen. Erforderlich sind hier einheitliche Standards für den Datenaustausch sowohl zur Ferndiagnose als auch zur Fernprogrammierung; ein Zukunftsszenario ist die Vernetzung von ERP-Systemen der Hersteller und Betreiber von Anlagen. Die zu lösenden Probleme finden sich hier einerseits im „psychologischen“ Bereich (Vertrauen) sowie im Bereich der Datensicherheit; andererseits stellt die erforderliche Standardisierung eine Herausforderung dar.

Im Bereich der Datensicherheit muss ein zertifizierter Datenschutzstandard für das (interne und externe) Netz entwickelt werden.

Eine Standardisierung ist erforderlich für den Datenaustausch zwischen Herstellern, Betreibern und Dienstleistern. Sowohl auf BUS- als auch auf LAN- und auf Internet-Ebene müssen die erforderlichen Schnittstellen und Standards zur Datenrepräsentation, -übertragung und -verarbeitung geschaffen werden.

Ein erster Schritt hierzu könnte ein Erfahrungsaustausch, eine Art „Stammtisch“, zwischen allen Beteiligten sein. Ziel dabei wäre zunächst der Informationsaustausch zwischen Herstellern und Betreibern (mit dem Ziel der Schaffung einer Win-Win-Situation), anschließend der Aufbau einer Wissensplattform für Maschinen- und Anlagenlieferanten sowie Betreibern.

Zusammengefasst sind die wichtigsten Stellhebel bzw. Optimierungspotenziale des Handlungsfeldes Technologien:

- Die Erhöhung der Zuverlässigkeit auf dem Gebiet der Condition Monitoring Systeme durch zusätzliche Erprobung sowie Verwendung bereits erprobter, standardisierter Komponenten sollte vorausgesetzt werden.
- Durch standardmäßige Integration von CMS bereits beim Maschinenhersteller sowie eine Kosten-Nutzen-Rechnung der Instandhaltung sollte die zunehmende Verbreitung dieser Systeme forciert werden.
- Eine verbesserte Schwachstellenanalytik und deren Feedback zur Vermeidung von Schwachstellen bereits in der Konstruktion bergen großes Optimierungspotenzial.
- Im Bereich der IT-Systeme fehlt es in erster Linie an einer Erhöhung der Nutzerfreundlichkeit zur Erhöhung der Akzeptanz. Des Weiteren ist zum effektiven Einsatz eine automatische Erzeugung instandhaltungsrelevanter Kennzahlen unabdingbar.
- Den Datentransfer in der Instandhaltung betreffend ist eine Standardisierung der Schnittstellen notwendig, um einen reibungslosen Austausch zwischen Sensoren, IPS- sowie ERP-System zu gewährleisten. Diese Standardisierung erstreckt sich auch auf den Datentransfer über Unternehmensgrenzen hinaus – mit dem Ziel der Einrichtung einer gemeinsamen Wissensplattform.

### 3.3.5 Übergeordneter Handlungsbedarf

Die Untersuchung hat darüber hinaus Handlungsbedarf aufgezeigt, der sich nicht eindeutig den betrachteten Untersuchungsbereichen zuordnen lässt.

Die Teilnehmer der Expertenworkshops erwarten

- die Bereitstellung von einfachen Anleitungen zur Nutzung der heute in der Instandhaltung eingesetzten einschlägigen Methoden und Techniken,
- einen Überblick über aktuelle Forschungsprojekte im Bereich Instandhaltung und über Ergebnisse abgeschlossener Forschungsprojekte im Sinne des Ergebnistransfers,
- einen Marktspiegel zur Servicequalität von Herstellern und Dienstleistern, der zum einen aufzeigt, welches Serviceangebot die Unternehmen bereitstellen, sowie
- die Organisation eines „Stammtisches“ zum Erfahrungsaustausch und zur Unterstützung der Zusammenarbeit von Herstellern, Lieferanten und Betreibern und
- den Aufbau einer Wissensplattform, die per Internet die Kommunikation und den Informationsaustausch zwischen diesen Beteiligten fördert.

Bei den letzten beiden Punkten handelt es sich, im Gegensatz zum in den vorhergehenden Absätzen geschilderten Stammtisch und der Wissensplattform, nicht um von einzelnen Herstellern initiierte Austauschplattformen, sondern um Plattformen, die von einer übergreifenden Institution initiiert und betreut werden, um einen unternehmens- und branchenübergreifenden Wissensaustausch zu ermöglichen.

## 4 Zusammenfassung und Ausblick

Im letzten Jahrzehnt hat ein allgemeines Umdenken in der Instandhaltung stattgefunden. Der Wandel vollzog sich von der Funktionserhaltung zu einer Wertschöpfungsphilosophie.

Im Vergleich mit früher stellt der Kunde „Produktion“ wesentlich höhere Anforderungen an die Instandhaltung, die Informationen über die Anlagen, deren Betriebsabläufe und Betriebskostenerfassungen sowie die Kostentransparenz. Heute werden mit den Kunden der Instandhaltung in vielen Fällen folgende Ziele festgelegt:

- Uneingeschränkte Aufrechterhaltung der Funktionsfähigkeit der Anlagen,
- Werterhaltung bzw. Wertsteigerung der Objekte,
- Optimierung des Objektnutzens,
- Minimierung des Ressourcen-Einsatzes, von Unfällen und der Umweltwirkungen der Objekte sowie
- Erreichen der bestmöglichen Kostenoptimierung und Nachhaltigkeit.

Auch die für die operative Umsetzung verfügbaren Mittel haben sich in den letzten zehn Jahren markant geändert. Heute stehen mit Callcentern oder Hotlines, mit SAP- und anderer unterstützender Software sowie dem Teleservice viel effizientere Mittel zur Verfügung, um eine Anlage zu überwachen und zu betreiben.

Wandel, Erneuerung und Zukunftsfähigkeit sind entscheidende Erfolgsfaktoren der produzierenden Industrie am Standort Deutschland. Nachhaltige Instandhaltung schafft Werte, Werte schaffen Zukunftsfähigkeit. Nachhaltige Instandhaltung leistet damit einen wesentlichen Beitrag zur Sicherung des Standortes Deutschland.

Die Unternehmen haben dies erkannt; die Frage nach der Bedeutung der Instandhaltung im Unternehmen unterstreicht die Signifikanz der Thematik. Sowohl die Expertenbefragungen als auch die Fragebogenaktion haben eine deutliche Aussage: *Die Instandhaltung ist in den Unternehmen von großer Bedeutung*. Dies sagen 97,6 % der 240 befragten Unternehmen einvernehmlich aus. Dabei hat die Bedeutung der Instandhaltung in den letzten Jahren erheblich zugenommen (78,5 %) und wird auch in Zukunft weiter zunehmen (67,1 %).

Dieser zukünftige Bedeutungszuwachs der Instandhaltung wird mit weiter steigenden Anforderungen wie Investitionsrückgang und Nutzungsdauerverlängerung begründet. Es steht immer weniger Zeit für die Aufgaben der Instandhaltung zur Verfügung. Die damit in Zusammenhang stehenden Herausforderungen erfordern jedoch Veränderungen, die sowohl das ganze Unternehmen als auch die Instandhaltung betreffen. Zu nennen sind insbesondere die weiter zunehmenden Qualifikationsanforderungen und der Übergang von der „Feuerwehr- zur Vermeidungsmentalität“. In Zukunft werden sich die „Qualifikationsprofile verschieben, hin zu Technikern und Ingenieuren“, die mehr und mehr strategische Aufgaben übernehmen. Darüber hinaus gewinnt die exakte Bilanzierung der Instandhaltung an Bedeutung, die auf den Nutzen fokussiert.

Für viele Aufgaben der Instandhaltung fehlen jedoch die geeigneten Methoden und Instrumente sowie informationstechnischen Lösungen. Und obwohl Führungskräfte der Unternehmen die Bedeutung der Instandhaltung anerkennen, führt die kurzfristige Ergebnismaximierung dazu, dass „oft eine erhebliche Diskrepanz zwischen der öffentlichen Darstellung und der betrieblichen Realität besteht“.

Deshalb sind Forschungs- und Umsetzungsanstrengungen erforderlich, um Defizite in der Instandhaltung zu beheben.

Um Erfolg versprechende Anstrengungen zu identifizieren, wurde die vorliegende Untersuchung durchgeführt. Ziel der Untersuchung war die Beantwortung der übergeordneten Fragestellung, welchen Beitrag die Instandhaltung zum nachhaltigen Wirtschaften produzierender Unternehmen leisten kann. Dazu wurden mehr als 20 Experten produzierender Unternehmen befragt; außerdem wurde eine umfassende Untersuchung durchgeführt, an der sich 240 Unternehmen beteiligt haben. Im Fokus der Untersuchung standen insbesondere Klein- und Mittelunternehmen.

Um eine ganzheitliche Untersuchung der Einflüsse und Zusammenhänge zu gewährleisten, wurde das Themenfeld in die Bereiche Strategie, Organisation, Geschäftsmodelle und Technologien (Hardware und Software) strukturiert. In allen Untersuchungsfeldern wurden der Stand der Technik sowie wesentliche Forschungsbedarfe und viel versprechende Lösungsansätze identifiziert und im vorliegenden Dokument (siehe Kapitel 3) beschrieben.

Die identifizierten Forschungsbedarfe sollten sowohl durch Industrieforschungsprojekte als auch durch Hochschulforschung sowie Verbandsaktivitäten adressiert werden. In vielen Themenfeldern ist eine Zusammenarbeit dieser drei Akteursgruppen erforderlich, z. B. für die Entwicklung und Etablierung von Standards zum Datenaustausch zwischen verschiedenen Softwaresystemen und Unternehmen.

## 5 Verfasser und Ansprechpartner

### 5.1 Verfasser

Name	Institution	e-mail	Telefon
<b>Dr. B. Stahl</b>	<b>VFI</b>	beate.stahl@vdma.org	<b>+49 69 6603 1295</b>
<b>Prof. A. Kuhn</b>	<b>Fraunhofer IML</b>	kuhn@iml.fraunhofer.de	<b>+49 231 9743 100</b>
Dr. G. Bandow	Fraunhofer IML	gerhard.bandow@iml.fraunhofer.de	+49 231 9743 188
<b>Prof. G. Schuh</b>	<b>WZL</b>	g.schuh@wzl.rwth-aachen.de	<b>+49 241 80 27404</b>
B. Franzkoch	WZL	b.franzkoch@wzl.rwth-aachen.de	+49 241 80 27384
N. Wemhöner	WZL	n.wemhoener@wzl.rwth-aachen.de	+49 241 80 27388
Dr. A. Kampker	WZL	a.kampker@wzl.rwth-aachen.de	+49 241 80 27406

### 5.2 Ansprechpartner

Projektträger:

Dr. Peter Sliwka

Deutsches Zentrum  
für Luft- und Raumfahrt e.V. (DLR)  
Projektträger Umweltforschung und  
-technik im DLR  
Heinrich-Konen-Straße 1  
D-53227 Bonn

Telefon: 0228 81996 73

E-Mail: peter.sliwka@dlr.de

Projektkoordination:

Dr.-Ing. Beate Stahl

VDMA Gesellschaft für  
Forschung und Innovation mbH (VFI)  
Lyoner Str. 18  
D-60528 Frankfurt am Main

Telefon: 069 6603 1295

E-Mail: beate.stahl@vdma.org

## 6 Glossar

<b>Begriff</b>	<b>Erklärung</b>	<b>Quelle</b>
<b>Abnutzung</b>	Definition gemäß DIN 31051, 4.3.1: Abbau des Abnutzungsvorrates, hervorgerufen durch chemische und/oder physikalische Vorgänge.	www.ipih.de
<b>Abnutzungs- grenze</b>	Definition gemäß DIN 31051, 4.3.1.2: Im Sinne der Instandhaltung der vereinbarte oder festgelegte Mindestwert des Abnutzungsvorrates.	www.ipih.de
<b>Abnutzungsvorrat</b>	Definition gemäß DIN 31051, 4.3.1.1: Im Sinne der Instandhaltung Vorrat der Funktionserfüllungen unter festgelegten Bedingungen, der einer Betrachtungseinheit aufgrund der Herstellung, Instandsetzung oder Verbesserung innewohnt.	www.ipih.de
<b>Ausfall</b>	Definition gemäß DIN 31051, 4.5.3.1 (aus DIN EN 13306, 5.1): Beendigung der Fähigkeit einer Betrachtungseinheit, eine geforderte Funktion zu erfüllen.	www.ipih.de
<b>Ausfallabhängige Instandhaltung</b>	Bei der so genannten Feuerwehrstrategie wird auf vorbeugende Maßnahmen verzichtet. Es wird bewusst in Kauf genommen, dass eine Einheit der Produktion zu einem unvorhersehbaren Zeitpunkt nicht mehr zur Verfügung steht und dass der Ausfall eines Instandhaltungsobjektes gegebenenfalls Folgeschäden anderer Objekte verursacht. Erst nach Eintritt des Ausfalls wird die Einheit instand gesetzt, die defekten Teile werden dabei ausgetauscht.	www.ipih.de
<b>Ausfallursache</b>	Definition gemäß DIN EN 13306, 5.2: Umstände während der Entwurfs-, Fertigungs-, Inbetriebsetzungs- oder Nutzungsphase, die zu einem Ausfall geführt haben.	www.ipih.de
<b>Betrachtungseinheit / Einheit</b>	Definition gemäß DIN 31051, 4.2.1 (aus DIN EN 13306, 3.1): Jedes Teil, Bauelement, Gerät, Teilsystem, jede Funktionseinheit, jedes Betriebsmittel oder System, das für sich allein betrachtet werden kann.	www.ipih.de
<b>Ersatzteil</b>	gemäß DIN 31051, 4.6.1 (aus DIN EN 13306, 3.6): Einheit zum Ersatz einer entsprechenden Betrachtungseinheit, um die ursprüngliche Funktion der Betrachtungseinheit wiederherzustellen.	www.ipih.de
<b>Feedback to Design</b>	(dt.: Rückmeldung an die Entwicklung) Feedback to Design umfasst die Rückmeldung der gesammelten Informationen und praktischen Erfahrungen zur Verbesserung einer Einheit bezüglich ihrer Instandhaltungseffizienz an die Entwickler, Händler und Lieferanten einer Einheit.	www.ipih.de

<b>Begriff</b>	<b>Erklärung</b>	<b>Quelle</b>
<b>Fehler</b>	Definition gemäß DIN 31051, 4.4.1(aus DIN EN 13306, 6.1): Zustand einer Betrachtungseinheit, in dem sie unfähig ist, eine geforderte Funktion zu erfüllen, ausgenommen die Unfähigkeit während der Wartung oder anderer geplanter Maßnahmen oder infolge des Fehlens äußerer Mittel.	www.ipih.de
<b>Industrial Facility Management</b>	(dt. Industrielles Facility Management) Industrial Facility Management ist die ganzheitliche strategische Betrachtung, Analyse und Optimierung aller Abläufe und Dienstleistungen zur Unterstützung des Kerngeschäftes sowie für gebäudespezifische Objekte eines Industrieunternehmens.	www.ipih.de
<b>Inspektion</b>	Definition gemäß DIN 31051, 4.1.3: Maßnahmen zur Feststellung und Beurteilung des Ist-Zustandes einer Betrachtungseinheit einschließlich der Bestimmung der Ursachen der Abnutzung und dem Ableiten der notwendigen Konsequenzen für eine künftige Nutzung.	www.ipih.de
<b>Instandhaltbarkeit</b>	Definition gemäß DIN EN 13306, 4.4: Fähigkeit einer Einheit, dass sie unter gegebenen Anwendungsbedingungen in einem Zustand erhalten oder in ihn zurückversetzt werden kann, in dem sie eine geforderte Funktion erfüllen kann, wenn die Instandhaltung unter gegebenen Bedingungen mit vorgeschriebenen Verfahren und Hilfsmitteln ausgeführt wird.	www.ipih.de
<b>Instandhaltungsgerechte Konstruktion</b>	Gesamtheit der konstruktiven und logistischen Maßnahmen, die auf wirtschaftliche Weise eine den Ansprüchen genügende Zuverlässigkeit bei minimalem Instandhaltungsaufwand sicherstellen.	www.ipih.de
<b>Instandhaltungskonzept</b>	In einem Instandhaltungskonzept wird festgelegt, wie die Instandhaltung organisiert wird, u. a. wird festgelegt, wie viele Instandhaltungsstufen benötigt werden und in welcher Stufe die einzelnen Instandhaltungstätigkeiten durchgeführt werden.	www.ipih.de
<b>Instandhaltungsmanagement</b>	Definition gemäß DIN EN 13306, 2.2: Alle Tätigkeiten der Führung, welche die Ziele, die Strategie und die Verantwortlichkeiten der Instandhaltung bestimmen und sie durch Mittel wie Instandhaltungsplanung, -steuerung und -überwachung, Verbesserung der Organisationsmethoden einschließlich wirtschaftlicher Gesichtspunkte verwirklichen.	www.ipih.de

Begriff	Erklärung	Quelle
<b>Instandhaltungsmethode</b>	<p>Eine Instandhaltungsmethode ist eine Steuerungsstrategie der Instandhaltung.</p> <p>Sie umfasst:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• eine Struktur von Instandhaltungsintervallen / Instandhaltungsterminen und</li> <li>• Anweisungen für Instandhaltungsmaßnahmen an diesen Terminen.</li> </ul>	www.ipih.de
<b>Instandhaltungs-Planungs- und Steuerungs-System (IPS)</b>	Software-System zur Unterstützung der Aufgaben der Instandhaltungsplanung und -steuerung.	www.ipih.de
<b>Instandhaltungsstrategie</b>	Definition gemäß DIN EN 13306, 2.4: Instandhaltungsmethode, die benutzt wird, um die Instandhaltungsziele zu erreichen	www.ipih.de
<b>Instandhaltungsziele</b>	Definition gemäß DIN EN 13306, 2.3: Die der Führung oder der Instandhaltungsabteilung zugewiesenen oder von ihr angenommene Ziele. Diese Ziele können Verfügbarkeit, Kostenminderung, Produktqualität, Umweltschutz und Sicherheit einschließen.	www.ipih.de
<b>Instandsetzung</b>	Definition gemäß DIN 31051, 4.1.4: Maßnahmen zur Rückführung einer Betrachtungseinheit in den funktionsfähigen Zustand, mit Ausnahme von Verbesserungen.	www.ipih.de
<b>Just-In-Time-Instandhaltung</b>	Geplante Instandhaltungsmaßnahmen zu ungeplanten Zeitpunkten. Dadurch kann erreicht werden, dass Instandhaltungsmaßnahmen zu kostengünstigen Zeitpunkten veranlasst und durchgeführt werden. Die kostengünstigen Zeitpunkte können geplant sein oder durch unplanmäßige Stillstände entstehen. Damit ergeben sich Rationalisierungspotentiale.	www.ipih.de
<b>Key Performance Indicator (KPI)</b>	Strategische Kennzahlen zur Überwachung der Geschäfts- sowie Geschäftsbereichsentwicklung eines Unternehmens.	www.ipih.de
<b>KMU</b>	<p>Abkürzung für: kleine und mittlere Unternehmen</p> <p><i>KMU-Definition der EU:</i> Als kleine und mittlere Unternehmen gelten gemäß der KMU-Definition der EU-Kommission Unternehmen, die</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• weniger als 250 Mitarbeiter beschäftigen,</li> <li>• über einen Jahresumsatz von weniger als 40 Mio. Euro oder eine Bilanzsumme von höchstens 27 Mio. Euro verfügen und</li> <li>• die nicht zu 25 % des Kapitals oder der Stimmenanteile im Besitz von einem oder mehreren Unternehmen gemeinsam stehen, welche die KMU-Definition nicht erfüllen.</li> </ul>	[EUBÜ01]

<b>Begriff</b>	<b>Erklärung</b>	<b>Quelle</b>
<b>Lebenszyklus / Life Cycle (LC)</b>	Definition gemäß DIN EN 13306, 9.18: Zeitbereich, beginnend mit der Einführung der Produktidee und endend mit der Entsorgung einer Einheit.	www.ipih.de
<b>Lebenszykluskosten / Life Cycle Cost (LCC)</b>	Definition gemäß DIN EN 13306, 11.1: Alle Kosten, die während des Lebenszyklus einer Einheit auftreten.	www.ipih.de
<b>Monitoring</b>	Definition gemäß DIN EN 13306, 8.2: Manuell oder automatisch ausgeführte Tätigkeit zur Beobachtung des Ist-Zustandes einer Einheit.	www.ipih.de
<b>Nachhaltige Instandhaltung</b>	Definition in Anlehnung an DIN 31051, 4.1.1 (aus DIN EN 13306, 2.1) Kombination aller technischen und administrativen Maßnahmen sowie Maßnahmen des Managements während des Lebenszyklus einer Betrachtungseinheit zur Erhaltung des funktionsfähigen, sicheren und ressourcenschonenden Zustandes oder der Rückführung in diesen, so dass sie die geforderte Funktion erfüllen kann.	
<b>Nutzungsdauer</b>	Zeitraum von der Inbetriebnahme einer Einheit bis zum Abbruch der Nutzung.	www.ipih.de
<b>Nutzungsintensität</b>	Intensität der Belastung einer Einheit. Der Instandhaltungsbedarf ist bei der Normalintensität, für die eine Einheit konstruiert wurde, am geringsten. Abweichungen von dieser Normalintensität ziehen vielfach höhere Abnutzungen nach sich.	www.ipih.de
<b>Outsourcing</b>	Vergabe von Leistungen und Funktionen an externe Lieferanten. Durch Outsourcing entstehen Kunden- und Lieferantenbeziehungen mit Übertragung von Verantwortung.	www.ipih.de
<b>Präventive Instandhaltung</b>	Definition gemäß DIN EN 13306, 7.1: Instandhaltung, ausgeführt in festgelegten Abständen oder nach vorgeschriebenen Kriterien zur Verminderung der Ausfallwahrscheinlichkeit oder der Wahrscheinlichkeit einer eingeschränkten Funktionserfüllung einer Einheit.	www.ipih.de
<b>Proaktive Instandhaltung</b>	Alle Maßnahmen, die genutzt werden, um Ausfälle einer Einheit zu verhindern oder vorauszusagen.	www.ipih.de
<b>Prozess</b>	Aktivitäten können zu Prozessen zusammengefasst werden, wenn sie durch einen durchgängigen Material- und Informationsfluss verknüpft sind und durch eine Rückkopplung innerhalb des Prozesses der Grad der Zielerreichung überprüft wird.	[Vahl97]

<b>Begriff</b>	<b>Erklärung</b>	<b>Quelle</b>
<b>Reparatur</b>	Definition gemäß DIN EN 13306, 9.11: Physische Maßnahmen, die ausgeführt werden, um die geforderte Funktion einer fehlerhaften Einheit wiederherzustellen.	www.ipih.de
<b>Reorganisation</b>	Neugestaltung, Neuordnung der Organisation eines unrentablen Betriebes.	[Lang02]
<b>Revision</b>	Definition gemäß DIN EN 13306, 8.6: Eine umfassende Gruppe von Prüfungen und Maßnahmen zur Ertüchtigung des Standes von Verfügbarkeit und Sicherheit.	www.ipih.de
<b>Risikobasierte Instandhaltung / Risk Based Maintenance (RBM)</b>	Risk Based Maintenance ist ein Verfahren zur Ermittlung und Priorisierung der Risiken eines Anlagenausfalls und zur Entwicklung wirkungsvoller Instandhaltungsmethoden und -häufigkeiten zur Minimierung des Risikos sowie zur Bewertung der definierten Instandhaltungsprogramme.	www.ipih.de
<b>Schaden</b>	Definition nach VDI 3822: Ein Schaden entsteht durch Veränderungen an einem Bauteil, durch die seine vorgesehene Funktion wesentlich beeinträchtigt oder unmöglich gemacht wird.	www.ipih.de
<b>Schwachstelle</b>	Definition gemäß DIN 31051, 4.2.2: Betrachtungseinheit, bei der ein Ausfall häufiger eintritt, als es der geforderten Verfügbarkeit entspricht, und bei der eine Verbesserung möglich und wirtschaftlich vertretbar ist. Anmerkung: Wirtschaftlich vertretbar beinhaltet bei Nachhaltiger Instandhaltung auch ökologische (Umwelt-) und soziale (Arbeitsschutz) Aspekte.	www.ipih.de
<b>Soft skills</b>	Charaktereigenschaften wie soziale Kompetenz, Teamfähigkeit, emotionale Belastbarkeit und Kommunikationsfähigkeit, gehören zu den Schlüsselqualifikationen, auf die im Arbeitsleben neben dem fachlichen Know-how geachtet wird.	[Wiss00]
<b>Störung</b>	Definition nach DIN EN 13306, 6.10: Zustand einer Einheit, gekennzeichnet durch seine Unfähigkeit, aus beliebigem Grund eine geforderte Funktion zu erfüllen.	www.ipih.de
<b>Technische Nutzungsdauer</b>	Möglicher Zeitraum von der Inbetriebnahme einer Einheit bis zum notwendigen Abbruch der Nutzung, weil die Einheit aufgrund von Abnutzung ihre vorgegebene Funktion nicht mehr erfüllen kann.	www.ipih.de
<b>Teleservice</b>	Fernüberwachung von Anlagen sowie Ferndiagnose und -wartung. Durch ein Videokonferenzsystem erfolgt die kombinierte Übertragung von Bild, Ton und Daten über öffentliche (ISDN) und private Netze (LAN, WAN), so dass im Problemfall eine schnelle Fehleranalyse möglich ist.	www.ipih.de

<b>Begriff</b>	<b>Erklärung</b>	<b>Quelle</b>
<b>Total Productive Maintenance (TPM)</b>	Ziel dieser Unternehmensphilosophie ist die systematische und kontinuierliche Verbesserung der Wirksamkeit der Produktionsanlagen, die Maximierung von Produktivität, Qualität, Wirtschaftlichkeit und der Arbeitssicherheit unter aktiver Beteiligung aller Mitarbeiter.	www.ipih.de
<b>Uptime</b>	Definition gemäß DIN EN 13306, 9.1: Zeitbereich, während dessen sich eine Einheit in betriebsfähigem Zustand befindet.	www.ipih.de
<b>Verbesserung</b>	Definition gemäß DIN 31051, 4.1.5 (aus DIN EN 13306, 8.12): Kombination aller technischen und administrativen Maßnahmen sowie Maßnahmen des Managements zur Steigerung der Funktionssicherheit einer Betrachtungseinheit, ohne die von ihr geforderte Funktion zu ändern.	www.ipih.de
<b>Verfügbarkeit</b>	Definition gemäß DIN EN 13306, 4.2: Fähigkeit einer Einheit, zu einem gegebenen Zeitpunkt oder während eines gegebenen Zeitintervalls in einem Zustand zu sein, dass sie eine geforderte Funktion unter gegebenen Bedingungen unter der Annahme erfüllen kann, dass die erforderlichen äußeren Hilfsmittel bereitgestellt sind.	www.ipih.de
<b>Virtuelle Realität / Virtual Reality</b>	Die virtuelle Realität ist eine Mensch-Maschine-Schnittstelle, die es erlaubt, in eine computergenerierte mindestens dreidimensionale Welt einzutauschen, diese unter Ansprache mehrerer Sinne als Realität wahrzunehmen, Bestandteil dieser zu sein und mit ihr zu interagieren. Als Teil der computergenerierten Welt kann man diese unmittelbar verändern.	[VDI3633]
<b>Vorausschauende Instandhaltung / Predictive Maintenance (PdM)</b>	Definition gemäß DIN EN 13306, 7.5: Zustandsabhängige Instandhaltung, die nach einer Vorschau, abgeleitet von der Analyse und Bestimmung von Parametern durchgeführt wird, welche die Verschlechterung der Einheit kennzeichnen.	www.ipih.de
<b>Wirtschaftliche Nutzungsdauer</b>	Zeitraum von der Inbetriebnahme einer Einheit bis zum Abbruch der Nutzung, weil die Kosten die Erträge übersteigen (z. B. aufgrund hoher Ausgaben für Instandhaltung) oder der Ersatz der Einheit durch eine neue Einheit kostengünstiger als der Weiterbetrieb ist.	www.ipih.de
<b>Wartung</b>	Definition gemäß DIN 31051, 4.1.2: Maßnahmen zur Verzögerung des Abbaus des vorhandenen Abnutzungsvorrates.	www.ipih.de

<b>Begriff</b>	<b>Erklärung</b>	<b>Quelle</b>
<b>Work-Flow</b>	Ein Work-Flow stellt eine vollständige oder teilweise Automatisierung eines Geschäftsprozesses dar, in dem Dokumente, Informationen oder Aufgaben von einem Teilnehmer (Rolle) zum nächsten gegeben werden, um sie nach festgelegten Vorgangsregeln zu bearbeiten.	
<b>Zustands-abhängige Instandhaltung</b>	Definition gemäß DIN EN 13306, 7.4: Ausfallverhindernde Instandhaltung, die aus der Überwachung der Arbeitsweise und der sie darstellenden Messgrößen sowie den nachfolgenden Maßnahmen besteht.	www.ipih.de
<b>Zuverlässigkeit</b>	Definition gemäß DIN EN 13306, 4.3: Fähigkeit einer Einheit, eine geforderte Funktion unter gegebenen Bedingungen für einen gegebenen Zeitbereich zu erfüllen.	www.ipih.de
<b>Zuverlässigkeits-orientierte Instandhaltung / Reliability Centered Maintenance (RCM)</b>	<p>RCM ist ein systematischer, logischer Prozess zur Ermittlung der optimalen Instandhaltungsstrategie und basiert auf der Identifikation von Eigenschaften, Ursachen und Folgen möglicher Systemstörungen.</p> <p>Im Rahmen des RCM-Prozesses wird der optimale Mix aus den vier Bausteinen</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1 ausfallabhängige,</li> <li>2 präventive und zustandsabhängige,</li> <li>3 vorausschauende und</li> <li>4 proaktive Instandhaltung ermittelt,</li> </ol> <p>damit jede Maschine und Anlage »das tut, was sie tun soll«.</p> <p>Der Leitsatz dieser Strategie lautet daher:  »Die richtigen Dinge zur richtigen Zeit mit dem geringsten Kostenaufwand tun!«</p>	www.ipih.de

## 7 Literaturverzeichnis

- [Abb06] www.abb-scout.de 26.01.2006
- [Amc06] www.amc-unilube.de 24.01.2006
- [Bahr06] www.bahrmanngmbh.com 19.01.2006
- [C3an06] www.c3-analysentechnik.de 24.01.2006
- [Dbin05] dbindustrie.work.svhfi.de 24.01.2006
- [Dera03] Deraed, P.: Ungenutzte Chancen im Servicegeschäft. Presseinformation. Mercer Management Consulting, 2003.
- [DFG93] Deutsche Forschungsgemeinschaft; Geräusch- und Schwingungsvorgänge an Maschinen. VCH 1993.
- [Diel06] www.dielen-gmbh.de 26.01.2006
- [Eaon06] www.ea-online.de 15.02.2006
- [EFA04] Effizienz-Agentur NRW: 3. EFA-Kongress am 8. September 2004 in Düsseldorf zum Thema „Nachhaltiges Wirtschaften für grenzenlosen Erfolg“. Internetadresse: <http://www.efanrw.de>. Stand: 24.03.2006.
- [EUBÜ01] i.A. EU-Büro des BMBF: <http://www.dlr.de/eub>, DLR-PT-EU, 12/2001.
- [Fack05] Fackler, I.: Drucklufteffizienz heißt Systemkosten senken. Produktion Nr. 46, 2005.
- [Flei04] Strassner, M.; Fleisch, E.: Ubiquitous Computing in der Flugzeugwartung. März 2004. Internetadresse: [www.m-lab.ch](http://www.m-lab.ch). Stand: 29.12.2005.
- [Flir06] www.flirthermography.de 15.02.2006
- [FVI05] Forum Vision Instandhaltung e.V. (FVI): 1. Informationstag des FVI zum Thema „RFID in der Instandhaltung“ am 17. November 2005 in Dortmund.
- [Gast06] www.gastops.com 24.01.2006
- [Geog06] www.geogebra.at 19.01.2006
- [Haub06] www.hauber-elektronik.de 19.01.2006
- [Hauf87] Hauff, V.: Unsere gemeinsame Zukunft – Brundtlandbericht der Weltkommission für Umwelt und Entwicklung. Greven, 1987.
- [Ifas06] www.ifas.rwth-aachen.de 26.06.2006
- [IFM06] www.ifm-electronic.com 24.01.2006
- [Infr06] www.infratec.de 26.01.2006
- [Jas00] Jach, Ch.; Hrauda, G.: Ökologische Dienstleistungen – Markt der Zukunft. Wien: Institut für ökologische Wirtschaftsforschung, Juni 2000.
- [Lang02] Langenscheidt Lexikon online 2002: <http://www.langenscheidt.aol.de/>.
- [Lay97] Lay, G.; Dreher, C.; Michler, Th.: Teleservice in Deutschland. Mitteilungen aus der Produktionsinnovationserhebung, Nr. 6. Karlsruhe: Fraunhofer-Institut für Systemtechnik und Innovationsforschung, 1997.

- [Lewa99] Lewandowski, K.: Volkswirtschaftliche Bewertung der Instandhaltung in Deutschland. In: Werner, G.-W. (Hrsg.): Instandhaltung – Rationeller Einsatz neuer Instandhaltungstechniken. Augsburg: WEKA Fachverlag für Technische Führungskräfte, 1999-2006.
- [Loer00] Lörcher, M.; Meuche, Th.: Ein System reicht völlig: Die Verschmelzung von Umweltschutz, Arbeitssicherheit und Qualität in einem Managementsystem. In: umis 1996-2000 – Umweltmanagement-Internet-Service.
- [Männ01] Männel, W.: Kennzahlen und Kennzahlensysteme für das Instandhaltungscontrolling. Lauf a. d. Pegnitz 2001.
- [MTS06] [www.mts.ch](http://www.mts.ch) 15.02.2006
- [Niem01] Niemeier, F.: Prozesszustandsorientierte Verfügbarkeitslenkung von Produktionsanlagen. In: Redeker, G. (Hrsg.): Hannoversche Berichte zum Qualitätsmanagement, Band 7. Shaker Verlag. Aachen, 2001
- [Roet05] Rötzel, A.: Instandhaltung – eine betriebliche Herausforderung. 3. Auflage. Berlin, Offenbach: VDE Verlag GmbH, 2005
- [Schr96] Schreiner, M.: Umweltmanagement in 22 Lektionen – Ein ökonomischer Weg in eine ökologische Wirtschaft. Frankfurt/Main: Gabler-Verlag, 4., überarb. Auflage, 1996.
- [Schu02] Schulz, W. F. et al.: Industrieumfrage Nachhaltiges Wirtschaften in der Deutschland – Unternehmen im Spannungsfeld zwischen Ökonomie, Ökologie und Sozialem. Internetadresse: <http://www.oekoradar.de>, letzter Besuch: 25.07.2002.
- [Schu05] Schuh, G.; Kampker, A.; Franzkoch, B.; Wemhöner, N.: Intelligent Maintenance – Potenziale zustandsorientierter Instandhaltung. Abschlussbericht. Aachen, 2005
- [Schw06] [schwingung.know-library.net/](http://schwingung.know-library.net/) 19.01.2006
- [Shel06] [www.shell.com](http://www.shell.com) 15.02.2006
- [Soft06] [www.softflow.de](http://www.softflow.de) 26.01.2006
- [StBA06] Statistisches Bundesamt: Statistisches Bundesamt Deutschland – Internetseiten. [http://www.destatis.de/d\\_home.htm](http://www.destatis.de/d_home.htm), 02/2006.
- [Stra04] Straub, W.: Instandhaltung der Infrastrukturanlagen. In: Plastics.Now, (2004) Heft 11, S.30-32. Zürich: STV-Verlags AG, 2004.
- [Sysw06] [www.syswe.de](http://www.syswe.de) 26.01.2006
- [Tipl94] Tipler, P.A.: Physik. Spektrum Akademischer Verlag. Heidelberg 1994.
- [Ther06] [www.der-thermograph.de](http://www.der-thermograph.de) 26 + 31.01.2006
- [Vahl97] Bloech, J.; Ihde, G. B. (Hrsg.): Vahlens großes Logistiklexikon. München: Verlag Vahlen, 1997.
- [VDI01] VDI-Gesellschaft; VDI-Berichte 1630: Schwingung in Antrieben. VDI Verlag GmbH 2001.
- [VDI03] [imperiam5.vdi-online.de/vdi/pdf/tagung/318331.pdf](http://imperiam5.vdi-online.de/vdi/pdf/tagung/318331.pdf) 24.01.2006
- [Warn92] Warnecke, H.-J.: Die Bedeutung der Funktion Instandhaltung. In: Warnecke, H.-J. (Hrsg.): Handbuch Instandhaltung. Bd. 1 – Instandhaltungsmanagement. Köln: Verlag TÜV Rheinland, 2. Völlig überarb. Aufl., 1992.

- [Wiet96] Wiethoff, H.: Öko-Controlling in der Instandhaltung – Schaffung einer Informationsbasis für umweltgerechtes Handeln durch Umweltkennzahlen. In: CONTROLLING, Heft 2, März/April 1996, S. 102-109.
- [Wiss00] i.A. Wissensportal: wissen.de GmbH, Gesellschaft für Online-Information, München, 2000.
- [ZFP06] [www.zfp.uni-stuttgart.de](http://www.zfp.uni-stuttgart.de) 19.06.2006