

Harald Apel (Hrsg.)



Instandhaltungs- und Servicemanagement

Intelligente Systeme



2., aktualisierte und erweiterte Auflage

HANSER



Ihr Plus – digitale Zusatzinhalte!

Auf unserem Download-Portal finden Sie zu diesem Titel kostenloses Zusatzmaterial. Geben Sie dazu einfach diesen Code ein:

plus-6exw3-stymg

plus.hanser-fachbuch.de



Bleiben Sie auf dem Laufenden!

Hanser Newsletter informieren Sie regelmäßig über neue Bücher und Termine aus den verschiedenen Bereichen der Technik. Profitieren Sie auch von Gewinnspielen und exklusiven Leseproben. Gleich anmelden unter

www.hanser-fachbuch.de/newsletter

Herausgeber:

Prof. Dr.-Ing. Harald Apel, Hochschule Magdeburg-Stendal

Autoren:

Prof. Dr.-Ing. Harald Apel, Hochschule Magdeburg-Stendal, (Kap. 1–18)

Dipl. Wirt.-Ing. (FH) Volker Graßhoff, Schönebeck, (Kap. 9)

Dr.-Ing. Rolf Hahn, Magdeburg, (Kap. 3, 6, 8, 15)

M.A. Moritz Kokorsch, Dresden, (Kap. 15)

Dipl.-Ing. Matthias Kratochvil, Hand in Hand Consulting-Training-Audit, Schwielowsee, (Kap. 10)

Dipl.-Ing. Klaus-Jürgen Oehler, Staßfurt, (Kap. 3, 5, 8, 11, 12, 13)

Dipl. Soz.-Arb. Evelin Rothe, Ing. Kurt Rothe (†), Integriertes Management, Biederitz, (Kap. 13)

Dipl. Wirt.-Ing. (FH) Frank Schmidt, Steinbeis Innovationszentrum (IPOM), Magdeburg, (Kap. 2, 16)

Dipl.-Ing. Holger Strahl, leadeq, Wolfsburg, (Kap. 14, 15)

M. Sc. David Weigert, Hochschule Magdeburg-Stendal, (Kap. 15)

Dr.-Ing. Gerhard Wulf, Industriepark Nienburg GmbH, (Kap. 1)

Harald Apel (Hrsg.)

Instandhaltungs- und Servicemanagement

Intelligente Systeme

2., aktualisierte und erweiterte Auflage

HANSER



Print-ISBN: 978-3-446-47653-0

E-Book-ISBN: 978-3-446-47840-4

Alle in diesem Werk enthaltenen Informationen, Verfahren und Darstellungen wurden zum Zeitpunkt der Veröffentlichung nach bestem Wissen zusammengestellt. Dennoch sind Fehler nicht ganz auszuschließen. Aus diesem Grund sind die im vorliegenden Werk enthaltenen Informationen für Autor:innen, Herausgeber:innen und Verlag mit keiner Verpflichtung oder Garantie irgendeiner Art verbunden. Autor:innen, Herausgeber:innen und Verlag übernehmen infolgedessen keine Verantwortung und werden keine daraus folgende oder sonstige Haftung übernehmen, die auf irgendeine Weise aus der Benutzung dieser Informationen – oder Teilen davon – entsteht. Ebenso wenig übernehmen Autor:innen, Herausgeber:innen und Verlag die Gewähr dafür, dass die beschriebenen Verfahren usw. frei von Schutzrechten Dritter sind. Die Wiedergabe von Gebrauchsnamen, Handelsnamen, Warenbezeichnungen usw. in diesem Werk berechtigt also auch ohne besondere Kennzeichnung nicht zu der Annahme, dass solche Namen im Sinne der Warenzeichen- und Markenschutz-Gesetzgebung als frei zu betrachten wären und daher von jedermann benützt werden dürften.

Die endgültige Entscheidung über die Eignung der Informationen für die vorgesehene Verwendung in einer bestimmten Anwendung liegt in der alleinigen Verantwortung des Nutzers.

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek:

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet unter <http://dnb.d-nb.de> abrufbar.

Dieses Werk ist urheberrechtlich geschützt.

Alle Rechte, auch die der Übersetzung, des Nachdruckes und der Vervielfältigung des Werkes, oder Teilen daraus, vorbehalten. Kein Teil des Werkes darf ohne schriftliche Einwilligung des Verlages in irgendeiner Form (Fotokopie, Mikrofilm oder einem anderen Verfahren), auch nicht für Zwecke der Unterrichtsgestaltung – mit Ausnahme der in den §§ 53, 54 UrhG genannten Sonderfälle –, reproduziert oder unter Verwendung elektronischer Systeme verarbeitet, vervielfältigt oder verbreitet werden.

© 2023 Carl Hanser Verlag GmbH & Co. KG, München

<http://www.hanser-fachbuch.de>

Lektorat: Frank Katzenmayer

Herstellung: Frauke Schafft

Coverkonzept: Marc Müller-Bremer, www.rebranding.de, München

Titelmotiv: © shutterstock.com/Sergey Nivens

Satz: Eberl & Koesel Studio, Kempten

Druck: CPI Books GmbH, Leck

Printed in Germany

Vorwort

■ Vorwort zur ersten Auflage

Die Instandhaltung hat ein neues Gesicht bekommen. Das Bild von ihr, das in den achtziger Jahren Eichler formte, hat uns inspiriert, seine Ideen aufzunehmen und in die Gegenwart und Zukunft zu übertragen. Instandhaltung bedeutet nicht mehr einfach Reparatur, auch wenn der Begriff nach wie vor zu unserem Sprachgebrauch gehört. Instandhaltung erfordert auch den Einsatz moderner Tools der Organisationslehre, des Managements. Diese und auch Hinweise zu Management-Methoden und -Systemen werden im Buch genauso vorgestellt wie betriebswirtschaftliche Aspekte des Service.

Serviceprozesse, die kaufmännische bzw. betriebswirtschaftliche Wurzeln besitzen, haben die Instandhaltung durchdrungen. Nicht allein die technische Instandhaltung ist das Ziel der Serviceaktivitäten. Sie greift vor allem auf eine komplexe Versorgung mit Informationen in Form von Wissen, unter Nutzung von Kommunikations-Instrumenten und -Technik mithilfe von Sensoren und Aktoren zurück. In Industrie 4.0 hat die Instandhaltung eine umfassende Aufgabe zu übernehmen. Der Mensch spielt dabei eine wichtige Rolle.

Dieses Fach- und Lehrbuch schafft ein neues System der Koordination beider Fachdisziplinen und stellt deren wesentliche Inhalte und Aufgaben in ihren komplexen Zusammenhängen vor. Dazu wird die Betrachtung aller technischen betroffenen Objekte wie Maschinenanlagen und Produkte mit dem universellen Begriff „technisches System“ vorgenommen. Um die Zusammenhänge deutlicher als bisher zu beschreiben, werden primäre, das heißt die eigentliche Funktion erbringende, und sekundäre, d. h. die Verfügbarkeit des primären Systems sichernde, technische Systeme unterschieden. Dem Leser werden diese Zusammenhänge komplex inhaltlich vorgestellt. Dazu wurden zahlreiche neue Illustrationen zu Prozess- und Strukturübersichten geschaffen.

Nach vielen Jahren intensiver Studien, kritischer Diskussionen und aufwendiger Ausarbeitungen hat ein Team von dieser Idee inspirierter Autoren dieses Buch nunmehr fertig gestellt. Auf dem Weg zum heutigen Tag haben uns viele Frauen und Männer mit unterschiedlichen Zielen und Beiträgen begleitet. Nicht alle hatten die Möglichkeit oder die Ausdauer und Kraft, bis heute mitzuarbeiten. Es ist mir ein Bedürfnis, ihnen allen noch einmal herzlich für die Unterstützungen zu danken. Mein Dank gilt auch meinen Kolleginnen und Kollegen sowie Studentinnen und Studenten der Hochschule Magdeburg-Stendal, die ein großes Verständnis für die Umsetzung dieses Buches gezeigt haben und mit ihren Leistungen und Ideen uns wirkungsvoll unterstützten.

Als Hochschullehrer konnte ich auf eine Vielzahl von Diplom-, Bachelor- und Masterarbeiten der Fachbereiche Wirtschaft und IWID (Ingenieurwissenschaften und Industriedesign) zurückgreifen. All den vielen Absolventinnen und Absolventen und ihren Betreuern, deren Wissen aus ihren Abschlussarbeiten in dieses Buch einging, gilt mein herzlichster Dank. Es hat mich besonders gefreut, dass sich im letzten Jahr zahlreiche Fachkolleginnen und Kollegen bereitfanden, Abschnitte oder auch das ganze Buch während seiner Fertigstellung zu lesen und zu evaluieren. Ich möchte dabei ganz besonders Herrn Alexander Asmus, Herrn RA Peter Bikowski, Frau Angelina Deutsch, Herrn Sebastian Jähnke, Frau Katharina Kirmes, Frau Patricia Kirmes, Herrn Andreas Lahrius, Herrn Matthias Littig, Frau Michelle Mercier, Herrn Guido Naujoks, Herrn Mario Preis, Frau Anita Richter, Herrn Frank Schmiedel, Herrn RA Jens Siebert und natürlich alle im Buch beteiligten Autoren nennen.

Mein herzlichster Dank gilt weiterhin meiner Mitarbeiterin Frau Corinna Bunke, Herrn Johannes Bodewein, Herrn Bernd Krüger, Herrn David Chen, Herrn Prof. Holger Enge, Herrn Michael Schulz, Herrn Alexander Wagner und Herrn Jens Winkelmann. An der Bild- und Textgestaltung haben sich besonders Frau Madina Safi und Herr Marc Willecke hervorgetan. Ihnen allen möchte ich ganz herzlich danken.

Es ist es mir ein großes Bedürfnis, meiner Ehefrau Beate ganz herzlich zu danken. Sie hat in den vielen Jahren alle Sorgen und Probleme mit viel Verständnis ertragen und großen Rückhalt geboten.

Danken möchte ich abschließend dem Hanser Verlag und dabei besonders Frau Ute Eckardt, die als verantwortliche Lektorin mit hohem Engagement und sehr guter Betreuung für die professionelle Umsetzung dieses Buches gesorgt hat und Frau Katrin Wulst und Frau Christin Jahn für die technische und herstellerische Betreuung.

Abschließend wünsche ich Ihnen beim Lesen viel Spaß und hoffe, dass Ihnen die Ideen, Lösungen und Konzeptionen dieses Buches helfen, ihre Aufgaben in der Praxis und an Hochschulen und wissenschaftlichen Einrichtungen erfolgreich zu meistern und würde mich über Anregungen und Vorschläge der Weiterentwicklung aus ihrem Kreis sehr freuen.

Schönebeck im August 2018

Prof. Dr. Harald Apel
ius-apel@t-online.de

■ Vorwort zur zweiten Auflage

Nach dem erstmaligen Erscheinen dieses Buches haben tiefgreifende gesellschaftliche Veränderungen unser Leben geprägt. Forderungen nach Ressourceneinsparungen, Nachhaltigkeit u. a. haben nicht zuletzt die Rolle und Bedeutung des Instandhaltungs- und Servicemanagements erhöht. Das Interesse am Thema und die wachsende Verantwortung des IuS schlussfolgern zu einer neuen Auflage. Sie ist geprägt durch einen tieferen Eingriff digitaler Organisationslösungen in das Arbeitsgebiet. Dabei wird der Mensch nicht wegrationalisiert, sondern vielmehr unterstützt durch umfassende Formen der Informationsbereitstellung und -verarbeitung, aber vor allem der Unterstützung bei der Entscheidungsfindung. Predictive Maintenance als aktuelle Instandhaltungsstrategie mit Zukunftspoten-

zial wird durch die aktive Einflussnahme der künstlichen Intelligenz mitgestaltet. Die Grenzen zwischen Instandhaltungs- und Serviceleistung verschmelzen zunehmend.

Wir wollen in dieser Auflage verstärkt auf die neuen Tendenzen eingehen und freuen uns, Frau Evelin Rothe und Herrn David Weigert neu in unserem Autoren-Team begrüßen zu können. Frau Rothe führt die Arbeiten Ihres leider verstorbenen Ehegatten Kurt Rothe zum IT-Management weiter. Herr Weigert zeigt uns den Weg zur Integration der künstlichen Intelligenz.

Ich darf mich auf diesem Wege ganz herzlich bei beiden neuen Autoren und allen fleißigen Helfern im Hintergrund, vor allem Frau Julia Schatt und Herrn Klaus-Jürgen Oehler, ganz herzlich für die Unterstützungen zur zügigen Bereitstellung des neuen Buchmanuskripts bedanken. Das gilt auch besonders für die Redakteurin, Frau Christina Kubiak, Editorial Services, und meinen Lektor des Verlages, Herrn Frank Katzenmayer.

Ich würde mich freuen, wenn wir Ihnen, liebe Leser, hoffentlich viele interessante Fragen zum Thema beantworten können und Sie uns darüber hinaus gern Anregungen, Fachfragen und Vieles mehr an unser E-Mail-Postfach senden.

Schönebeck im August 2023

Prof. Dr. Harald Apel
ius-apel@t-online.de

Auf plus.hanser-fachbuch.de stehen ergänzende Arbeitsblätter zu den Buchinhalten zur Verfügung. Den Zugangscodes finden Sie auf der ersten Seite des Buches.

- Arbeitsblatt A – Umsetzung von WAVE zu Kap. 7
- Arbeitsblatt B – Umsetzung von WAVE zu Kap. 8, zu Kap. 9
- Arbeitsblatt D – Umsetzung von WAVE zu Kap. 10
- Arbeitsblatt E – Umsetzung von WAVE zu Kap. 13

Aus Gründen der besseren Lesbarkeit wird auf die gleichzeitige Verwendung der Sprachformen männlich, weiblich und divers (m/w/d) verzichtet. Sämtliche Personenbezeichnungen gelten gleichermaßen für alle Geschlechter.

Inhalt

■	Vorwort	5
	Vorwort zur ersten Auflage	5
	Vorwort zur zweiten Auflage	6
1	Instandhaltungs- und Servicemanagement – Überblick	19
1.1	Zuverlässiges Anlagen- und Betriebsmittelmanagement	19
1.2	Funktionsbeeinträchtigungen von technischen Systemen	23
1.3	Konsequenzen und Anforderungen	29
1.4	Differenzierende Einflussfaktoren und Wirkungen auf die Leistungserbringung	30
1.5	Bezugsbasis und Ziele des Service	36
1.6	Abgrenzung und Ziele der Instandhaltung	39
1.7	Kontrollfragen	43
1.8	Literatur	43
2	Instandhaltungs- und Serviceprozesse	45
2.1	Geschäftsprozesse	45
2.2	Aufgaben des technischen Service	47
2.2.1	Serviceleistungen für technische Systeme	47
2.2.2	Produktbegleitender Service	49
2.2.3	Produktunabhängiger Service	50
2.2.4	Typische Aufgaben des technischen Service	50
2.3	Aufgaben der Instandhaltung	51
2.3.1	Instandhaltungsarten und Grundformen	51
2.3.2	Inspektion	53
2.3.3	Wartung	57
2.3.4	Instandsetzung	60
2.3.5	Verbesserung	63
2.4	Die unterschiedlichen Sichten auf das Instandhaltungsobjekt	64
2.5	Instandhaltungsmanagement im Servicesystem	66
2.6	Kontrollfragen	68
2.7	Literatur	69

3	Funktionsstruktur technischer Systeme	71
3.1	Anwendungen technischer Systeme in Produktion und Konsumtion	71
3.2	Funktionsstruktur technischer Systeme mit Produktfunktionen	72
3.3	Funktionsstruktur der Informationssysteme im technischen System	74
3.4	Funktionsstruktur technischer Systeme mit Servicefunktionen	76
3.5	Funktionsstruktur technischer Systeme mit Produktionsfunktionen	79
3.6	Beeinträchtigungen der Funktionalitäten technischer Systeme	81
3.7	Funktionelle Einflüsse und Wirkzusammenhänge im technischen System	83
3.7.1	Funktionale Zusammenhänge	83
3.7.2	Zuverlässigkeit der technischen Komponenten	84
3.7.3	Rolle des Menschen	85
3.7.4	Organisation	85
3.7.5	Informationssystem	85
3.7.6	Rolle des Servicesystems – Sekundäre Ebene	86
3.8	Kontrollfragen	87
3.9	Literatur	87
4	Funktionserfüllung und Ausfallverhalten	88
4.1	Funktionserfüllung im System-Lebenszyklus und Konsequenzen	88
4.2	Zustandsarten eines technischen Systems	91
4.2.1	Zustände der Funktionserfüllung eines technischen Systems	91
4.2.2	Rahmenbedingungen der Funktionsfähigkeit des technischen Systems	93
4.2.3	Der Zuverlässigkeitsbegriff	95
4.3	Verfügbarkeit technischer Systeme	96
4.3.1	Einflussfaktoren und Bestimmung der Verfügbarkeit	96
4.3.2	Zuverlässigkeitsmanagement und Ausfallverhalten technischer Systeme	102
4.3.3	Sicherheit als security und safety	107
4.3.4	Instandhaltbarkeit	108
4.3.5	Instandhaltungsvermögen	111
4.3.6	Verfügbarkeit von Informationssystemen	112
4.4	Kontrollfragen	115
4.5	Literatur	115
5	Gebrauchsminderungen	118
5.1	Belastung	118
5.2	Ereignisse und Zustände der Betrachtungseinheiten	121
5.2.1	Abbau von Gebrauchseigenschaften und Ausfall	121
5.2.2	Fehler im technischen System und Fehlerarten	123
5.2.3	Störungskausalitäten	125
5.2.4	Funktionen des technischen Systems und ihre Zustandsarten aus zeitlicher Sicht	126
5.2.5	Schädigungen	127
5.3	System- und Komponentenausfälle in der Wechselwirkung	129
5.3.1	Abbau des Abnutzungsvorrates und Ausfälle der Einheit	129
5.3.2	Abnutzungen von Komponenten und ihre Wirkung	131

5.3.3	Belastungen durch Betriebsbedingungen	132
5.3.4	Funktionsbeeinträchtigende Wirkungen auf die Zuverlässigkeit des technischen Systems	138
5.4	Prozess der Abnutzung und seine Wirkungen	140
5.4.1	Gebrauchsmindernde Prozesse und Wirkungen von Schädigungen	140
5.4.2	Mechanische Belastungen	141
5.4.3	Tribologische Belastungen	142
5.4.4	Chemische/elektrochemische Belastungen	143
5.4.5	Thermische Belastung	144
5.4.6	Elektrische Belastung	145
5.4.7	Elektromagnetische Belastung	146
5.4.8	Hydrostatische/hydro- und aerodynamische Belastung	147
5.4.9	Informationsverarbeitungs-Belastung	148
5.4.10	Alterung	150
5.5	Modelle des Ausfallverhaltens und Simulation	151
5.5.1	Ausfallrate und Lebensverhalten technischer Systeme	151
5.5.2	Zeitlicher Verlauf von Ausfallverhalten und Ursachen	153
5.5.3	Abhängigkeiten der Teilkomponenten	154
5.5.4	Werkzeuge (der Simulation) zur Modellierung des Ausfallverhaltens ..	156
5.6	Zusammenfassung	158
5.7	Kontrollfragen	158
5.8	Literatur	159
6	Beeinflussung der Funktionserfüllung technischer Systeme	161
6.1	Beeinflussende Wirkungen in den Prozessphasen	161
6.2	Einflüsse auf die Primärfunktion	163
6.3	Einflüsse auf die Sekundärleistung	165
6.4	Besondere Wirkungen der Informationsbereitstellung	168
6.5	Planung von Betrieb und Nutzung technischer Systeme	169
6.5.1	Pre-Orientierung	169
6.5.2	Prognostizierung	170
6.6	Nutzung technischer Systeme – Rolle von Prävention und Reaktion	172
6.6.1	Gebrauchswertverhalten	172
6.6.2	Alternativen der Vermeidung und Beseitigung	174
6.6.3	Rolle von Prävention und Reaktion	176
6.7	Schlussfolgerungen aus dem Ausfallverhalten – Postorientierung	177
6.8	Konsequenzen der Erhaltung und Verbesserung der Leistungsfähigkeit des Systems	177
6.9	Methodenwissen – Technische Gestaltung und Dimensionierung	182
6.9.1	Redundanz	182
6.9.2	Derating	184
6.9.3	Qualifizierungstests	184
6.9.4	Normierungen und Standards	185
6.10	Methodenwissen – Mitarbeiterinbeziehung	185
6.10.1	Shopfloormanagement	185
6.10.2	Rüstzeitoptimierung mit SMED	187
6.10.3	Arbeitsplatzgestaltung mit 5S	187

6.11	Methodenwissen – Organisatorische Einbindung	188
6.11.1	Architekturkonzept der IT-Einbindung	189
6.11.2	Prinzipien der Verfügbarkeit	189
6.11.3	Overall Equipment Effectiveness (OEE)	190
6.11.4	Capability Maturity Model Integration (CMMI)	191
6.11.5	Strukturelle und vertragliche Einbindung der Service-Dienstleister ...	195
6.11.6	Lagerhaltungsstrategien für Ersatzteile und übrige Ressourcen	197
6.12	Kontrollfragen	198
6.13	Literatur	198

7 Das technische System im IuS-Management 201

7.1	Einsatz technischer Systeme	201
7.1.1	Typische Einsatzcharakteristiken und Rahmenbedingungen	201
7.1.2	Systemaufbau	201
7.2	Pre-Prozesse der Gestaltung und Auswahl des technischen Systems	202
7.2.1	Entscheidungssituation	202
7.2.2	Identifizierung und Klassifizierung der TS	203
7.2.3	Vorgabedaten der Konstruktion und Projektierung	204
7.2.4	Bedarfsplanung	206
7.2.5	Beachtung der Instandhaltbarkeit	206
7.2.6	Auswahl der Dienstleistungen aus Sicht der Serviceabsicherung	207
7.2.7	Obsoleszenzmanagement	208
7.2.8	Stammdaten-Erfassung	209
7.2.9	Konfiguration der Instandhaltungs- und Servicetechnik	209
7.3	Nutzung und Betrieb des technischen Systems	210
7.3.1	Präventive Prozesse	210
7.3.2	Aufgaben der TS in der Nutzung	211
7.3.3	IuS-Technik in Diagnose und Wartung	213
7.3.4	Aufarbeitung und Nachbau in IuS-Werkstätten	216
7.4	Post-Prozesse	219
7.4.1	Nutzung des Controllings	219
7.4.2	Übersicht der genutzten Prozesskennzahlen	219
7.4.3	Entsorgung	220
7.5	Zusammenfassung	221
7.6	Kontrollfragen	222
7.7	Literatur	222

8 Instandhaltungs- und Serviceorganisation 224

8.1	Aufbau- und Ablauforganisation	224
8.1.1	Grundlagen der Organisation	224
8.1.2	Technische und informationstechnische Rahmenbedingungen	225
8.1.3	Aufbauorganisation	226
8.1.4	Gestaltung der räumlichen und baulichen Struktur	228
8.1.5	Prozessmanagement in der Ablauforganisation	230
8.1.6	Qualitätsmanagement	231
8.1.7	Besonderheiten der mobilen Instandhaltung	233

8.2	Pre-Prozesse der Auswahl der Organisationsstruktur	236
8.2.1	Entscheidungssituation	236
8.2.2	Identifizierung und Klassifizierung der Prozesse	237
8.2.3	Fremdvergabe von Instandhaltungs- und Serviceleistungen	238
8.2.4	Entscheidung zur Aufbau- und Ablaufstruktur	240
8.2.5	technische und administrative Vorbereitung	241
8.2.6	Gefährdungsbeurteilungen und Aspekte der Arbeitssicherheit	242
8.3	Ablaufprozesse in Funktions- und Servicebereichen	242
8.3.1	präventive Prozesse	242
8.3.2	Nutzung und reaktive Prozesse	246
8.4	Post-Prozesse der Aufbau- und Ablauforganisation und Auswertung	253
8.4.1	Nutzung des Controllings	253
8.4.2	Planung und Kontrolle der Prozessleistung	254
8.4.3	Technische, organisations- und informationstechnische Konsequenzen	256
8.5	Zusammenfassung mit Bewertungsgrößen/Kennziffern	256
8.6	Kontrollfragen	257
8.7	Literatur	258

9 Ressourcen im IuS-Management 260

9.1	Einsatz von Ersatzteilen und Tools	260
9.1.1	Rolle von Ersatzteilen und Tools der Ersatzteilwirtschaft	260
9.1.2	Arten von Ersatzteilen	262
9.1.3	Strukturierung und Charakterisierung von Ressourcen	263
9.1.4	Ziele des Ersatzteil- und Toolmanagements	265
9.1.5	Anforderungen aus Sicht der Hersteller	268
9.1.6	Anforderungen aus Sicht der Betreiber	271
9.1.7	Aufgaben und Besonderheiten des Ersatzteilmanagements	272
9.1.8	Werkzeugmanagement und Management sonstiger Arbeitsmittel	274
9.2	Pre-Prozesse des Komplettierungssystems	275
9.2.1	Präventive technische Auslegung der Ersatzteilstruktur	275
9.2.2	Disposition - Planung der Versorgung	279
9.2.3	Aufgaben der Logistik und Materialwirtschaft	284
9.2.4	Zusammenarbeit mit Serviceunternehmen und Dienstleistern	289
9.2.5	Planung von Nachserienversorgungsstrategien	290
9.3	Prozesse der Bereitstellung von Ersatzteilen	292
9.3.1	Präventive Prozesse	292
9.3.2	„Background“-Absicherung	297
9.3.3	Bereitstellung und reaktive Prozesse	299
9.4	Post-Prozesse des Umgangs mit Ressourcen	302
9.4.1	Nutzung des Controllings	302
9.4.2	Auswertung der Lagerbestandsführung	303
9.4.3	Planung und Kontrolle der Prozessleistung	304
9.4.4	Technisch-organisatorischer Abschluss der Prozesse des Ersatzteilmanagements	305
9.4.5	Entsorgung von Altteilen nach Austausch im Rahmen der betrieblichen Abfallwirtschaft	305
9.5	Zusammenfassung	307

9.6	Kontrollfragen	308
9.7	Literatur	308

10 Personaleinsatz im IuS-Management 310

10.1	Planung, Qualifizierung und Einsatz von Mitarbeitern/Akteuren	310
10.1.1	Mitarbeiterereinbeziehung	310
10.1.2	Rahmenbedingungen und beteiligte Akteure	312
10.1.3	Einbindung der Mitarbeiter in Prozessstrukturen	313
10.2	Pre-Prozesse der Mitarbeiterrekrutierung	314
10.2.1	Profildefinition	314
10.2.2	Bedarfsplanung und -beschaffung	316
10.2.3	Ausbildung und Qualifikation	318
10.3	Mitarbeiterereinsatz und seine operative Planung	318
10.3.1	Präventive Prozesse	318
10.3.2	Mitarbeiteraufgaben im Einsatz	321
10.3.3	Mitarbeiteraufgaben bei reaktiven Prozessen	323
10.3.4	Begleitende Prozesse während der Leistungserbringung	324
10.4	Post-Prozesse des Mitarbeiterereinsatzes	326
10.4.1	Nutzung des Controllings	326
10.4.2	Planung und Kontrolle der Prozessleistung	327
10.5	Zusammenfassung	328
10.6	Kontrollfragen	329
10.7	Literatur	330

11 Informationssystem im IuS-Management in der primären Ebene der Funktionserbringung 331

11.1	Informationsmanagement zu Produktionssystemen, Produkten und Serviceprozessen	331
11.1.1	Das Informationssystem	331
11.1.2	Informationsprozesse der primären Ebene	333
11.2	Pre-Prozesse des Informationsmanagements	336
11.2.1	Wissensbereitstellung durch Aus- und Weiterbildung	336
11.2.2	Vorgabedaten der Konstruktion, Regeln und Erfassung	337
11.2.3	Informations- und Steuerungssysteme der Anlagen und Produkte	339
11.2.4	Ablauforganisatorische Einbindung des Informationssystems	340
11.3	Prozesse der Informationsnutzung und -verarbeitung in Produktionssystemen, Produkten und Serviceprozessen	342
11.3.1	Präventive Prozesse	342
11.3.2	Nutzung und reaktive Prozesse	345
11.4	Post-Prozesse und deren Auswertung	347
11.4.1	Qualitätssicherung	347
11.4.2	Monitoring	347
11.4.3	Informationsaufnahme und -bearbeitung	348
11.4.4	Informationsauswertung	348
11.4.5	Dokumentierte Informationen	349

11.5	Zusammenfassung	352
11.6	Kontrollfragen	352
11.7	Literatur	353

12 Informationssystem im IuS-Management der Serviceprozesse .. 354

12.1	Informationsmanagement in Servicesystemen	354
12.1.1	Leistungskategorien des Servicesystems in der sekundären Ebene der Funktionserbringung	354
12.1.2	Struktur und Inhalte des Servicesystems	356
12.1.3	Instandhaltungsplanungs- und -steuerungssysteme (IPS)	359
12.1.4	Kunden Service Center – Support-Systeme	360
12.2	Pre-Prozesse der Gestaltung und Informationsversorgung des Servicesystems	362
12.2.1	Wissensvermittlung und Qualifizierung – Zuordnung von Verantwortlichkeiten	362
12.2.2	Sondierung des Informationsbedarfs der Konfiguration der Servicetechnik	362
12.2.3	Informations- und Steuerungssysteme zur Servicetechnik	363
12.2.4	Die ablauforganisatorische Einbindung des Servicesystems	365
12.3	Ablaufprozesse und Informationsnutzung und -verarbeitung im Servicesystem	366
12.3.1	Präventive Prozesse	366
12.3.2	Nutzung und reaktive Prozesse	369
12.4	Post-Prozesse der Informationsnutzung und -verarbeitung und Auswertung ..	370
12.4.1	Qualitätssicherung	370
12.4.2	Monitoring	371
12.4.3	Informationsaufnahme und -bearbeitung	372
12.4.4	Informationsauswertung	372
12.4.5	Dokumentierte Informationen	373
12.5	Zusammenfassung	376
12.6	Kontrollfragen	376
12.7	Literatur	377

13 Serviceprozesse der Funktionserbringung – Informationstechnische Systeme (IT-Systeme) 378

13.1	Informationstechnische Systeme	378
13.1.1	IT-Dienstleistungen	378
13.1.2	IT-Grundstrukturen	383
13.1.3	Hardwarekomponenten	386
13.1.4	Softwarekomponenten	388
13.1.5	Verteilte Systeme – Netzwerke	389
13.1.6	Das Internet der Dinge (IoT)	389
13.1.7	Informationssicherheit und IT-Risiken	390
13.2	Pre-Prozesse des Aufbaus der IT-Struktur und ihre Einflussnahme auf die Serviceleistung	394
13.2.1	Strategische Planung	394
13.2.2	Vorgabedaten des Anforderungsbedarfs – Requirements Management ..	395

13.2.3	Konfiguration von IT-Systemen und Netzstrukturen – Design	398
13.2.4	Auswahl und Integration von Software	399
13.3	Prozesse der Nutzung von IT-Strukturen	402
13.3.1	Präventive Prozesse	402
13.3.2	Nutzung	403
13.3.3	Reaktive Prozesse und Eskalationsmanagement	405
13.3.4	IT-Asset-Management	406
13.4	Post-Prozesse der IT-Nutzung und -verarbeitung	406
13.4.1	Nutzung des Controllings	406
13.4.2	Planung und Kontrolle der Prozessleistung	407
13.4.3	Hardwareentsorgung und Datensicherung	408
13.5	Zusammenfassung mit Bewertungsgrößen/Kennziffern	409
13.6	Kontrollfragen	409
13.7	Literatur	410
14	Strategien des Instandhaltungs- und Servicemanagements	412
14.1	Instandhaltungsstrategien	412
14.1.1	Strategievarianten nach DIN EN 13306	412
14.1.2	Gestaltungsspielraum für Strategievarianten	414
14.2	Instandhaltung nach Ausfall oder korrektive Instandhaltung	417
14.3	Präventive Instandhaltung – vorausbestimmende Instandhaltung	417
14.4	Präventive Instandhaltung – zustandsorientierte Instandhaltung	419
14.4.1	Prinzip	419
14.4.2	Risikobasierte Instandhaltung (RBI)	422
14.4.3	Predictive Maintenance	423
14.4.4	Zuverlässigkeitsorientierte Instandhaltung	425
14.5	Selbstregelnde Instandhaltung	426
14.6	Vor- und Nachteile der Instandhaltungsstrategien	427
14.7	Auswahl der Instandhaltungsstrategie	428
14.8	Zusammenfassung	431
14.9	Kontrollfragen	431
14.10	Literatur	432
15	Instandhaltungs- und Servicemanagement im Verbesserungsprozess	434
15.1	Projektmanagement	434
15.1.1	Einsatzrahmen und Ansprüche der Instandhaltungs- und Serviceorganisation	434
15.1.2	Ziele des Projektmanagements	435
15.1.3	Methodik	436
15.1.4	Führungsaufgaben im institutionellen Projektmanagement	438
15.1.5	Projektphasen des funktionellen PM	441
15.1.6	Management von Servicesystemleistungen	444
15.1.7	Störungsmanagement	448
15.2	Risikomanagement	451
15.2.1	Einsatzrahmen	451

15.2.2	Ziele	452
15.2.3	Methodik	454
15.2.4	Risikomanagement in der Instandhaltung	457
15.2.5	FMEA in der Instandhaltung	461
15.3	Wissens- und Verbesserungsmanagement	463
15.3.1	Bedarf an Wissen	463
15.3.2	Ziele und Aufgaben des Wissensmanagements	464
15.3.3	Applikationen des Wissensmanagements	465
15.3.4	Virtuelle Modellierung	468
15.3.5	Potenzialanalyse	469
15.3.6	SWOT-Analyse	471
15.3.7	Kontinuierliche Verbesserungsprozesse KVP	472
15.3.8	Benchmarking	474
15.4	Künstliche Intelligenz	475
15.4.1	Einsatzrahmen	475
15.4.2	Ziele und Inhalte	477
15.4.3	Applikationen und Architektur	480
15.4.4	Methodik	487
15.4.5	Industrielle Anwendungen mit KI-Lösungen	491
15.4.6	IuS-Anwendungsfelder	494
15.4.7	Verantwortung und Ethik im Lebenszyklus	497
15.5	Total Productive Maintenance TPM	498
15.5.1	Einordnung des TPM	498
15.5.2	Ziele und Aufgaben des TPM	499
15.5.3	Einführung des TPM	501
15.5.4	Management und Managementsysteme des TPM	502
15.5.5	Arbeit mit TPM	503
15.6	Kontrollfragen	505
15.7	Literatur	506
16	Instandhaltungsplanungs- und Steuerungssysteme (IPS)	511
16.1	Struktur und Funktionalität von IPS-Systemen	511
16.1.1	Aufgaben	511
16.1.2	Strukturbausteine eines IPS und Funktionen	512
16.1.3	Schnittstellen der IPS-Systeme zu anderen Applikationen	516
16.2	Pre-Prozesse – Auswahl und Implementierung von IPS-Systemen	520
16.2.1	Ziele des Einsatzes	520
16.2.2	Systematische Auswahl eines IPS	521
16.2.3	Implementierung	523
16.3	Ablaufprozesse in der Nutzung von IPS-Systemen	525
16.3.1	Präventive Prozesse	525
16.3.2	Nutzung von IPS-Systemen	528
16.4	Post-Prozesse	533
16.5	Zusammenfassung und Ausblick	535
16.6	Kontrollfragen	536
16.7	Literatur	536

17	Kostenrechnung und Controlling	538
17.1	Besondere betriebswirtschaftliche Situation des Arbeitsgebietes	538
17.1.1	Kostenseitiger Rahmen – Grundkonflikt	538
17.1.2	Aufgaben des Controllings	539
17.1.3	Kostenstrukturen in Instandhaltung und Service	540
17.2	Controlling	543
17.2.1	Investitionsplanung und -entscheidung	543
17.2.2	Budgetplanung	544
17.2.3	Beanspruchung von Serviceleistungen	544
17.2.4	Controlling-Instrumente - Übersicht	545
17.2.5	Kostenwirksamkeitsanalyse	546
17.2.6	BSC Balanced Scorecard	546
17.2.7	Umsetzung einer OEE	549
17.2.8	Regelkreis des Controllings	549
17.2.9	IT-Controlling	550
17.3	Das WAVE-Modell des Controllings und die Nutzung von Kennzahlen	551
17.3.1	Stufen und Zielvorgaben der Instandhaltungs- und Servicefunktion	551
17.3.2	Validierung und Korrekturzyklus	552
17.3.3	Informationsbereitstellung und Dokumentation	553
17.3.4	Informationsaufbereitung/Monitoring	555
17.3.5	Planung und Kontrolle der Prozessleistung	556
17.3.6	Steuerung/Korrektur	557
17.4	Zusammenfassung	558
17.5	Kontrollfragen	558
17.6	Literatur	559
18	Rechtliche Aspekte zu IuS-Leistungen	560
18.1	Rechtsstrukturen	560
18.1.1	Der rechtliche Rahmen – Überblick	560
18.1.2	Wirkfelder der Prozesse von IuS rund um das technische System und daraus abgeleitete Rechtsstrukturen	561
18.1.3	Wirkende Rechtsformen	563
18.2	Pre-Prozesse der Rechtspflegeauswahl und ihre Einflussnahme auf die Funktionserfüllung	566
18.2.1	Beachtung rechtlicher Rahmenbedingungen in der Pre-Phase	566
18.2.2	Vertragliche Vereinbarungen	569
18.2.3	Gestaltung des arbeitsrechtlichen Verhältnisses	571
18.2.4	IT-Rechtsgrundlagen	571
18.3	Ablaufprozesse in Funktions- und Servicebereichen aus rechtlicher Sicht	573
18.3.1	Präventive Prozesse	573
18.3.2	Nutzung und reaktive Prozesse – rechtliche Schadenswirkungen	575
18.4	Post-Prozesse	579
18.5	Zusammenfassung	581
18.6	Kontrollfragen	581
18.7	Literatur	582
	Index	583

1

Instandhaltungs- und Servicemanagement – Überblick

■ 1.1 Zuverlässiges Anlagen- und Betriebsmittelmanagement

Prozesse der Produktion und Wertschöpfung befinden sich in tiefgreifenden Veränderungen. So ist bedingt durch den technischen Fortschritt der Charakter der Produktionsprozesse vor allem in den führenden Industriestaaten zunehmend durch Maschineneinsatz mit modernen und vernetzten Steuerungssystemen und flexible Automatisierung gekennzeichnet. Die damit verbundene Zunahme der Anlagenkomplexität wird durch Forderungen nach intensiverer Nutzung der Betriebsmittel begleitet. Diesbezüglich liegen Reserven sowohl im technischen als auch im organisatorischen Umfeld.

Im gleichen Zusammenhang ist die Bedeutung aller vor- und nachgelagerten Prozesse auch im Sinne von Dienstleistungen gestiegen. Der Einsatz von Betriebsmitteln ist nicht mehr ausschließlich auf Produktionsprozesse konzentriert. Damit ist ein verstärkter Einsatz von Hard- und Software verbunden. Deren Integration ist mit Tendenzen der Vernetzung und Digitalisierung verbunden, die in der Konzeption von Industrie 4.0 projiziert und u. a. in der Smart Factory, einer auf einen umfassenden Informationsaustausch ausgerichteten Produktionslösung, wirksam werden.

In Abhängigkeit von dem Investitionsverhalten der Betreiber ist eine zunehmende Nachfrage nach Serviceleistungen zu verzeichnen. Ein steigender Bedarf an Engineering Services und ein Umsatzwachstum auf Seiten der Serviceanbieter sind typisch für die Situation [1]. Die Nutzer orientieren bewusst auf eine Verlängerung der Produktnutzungsdauer, die sie durch gezielte Instandhaltungsmaßnahmen erhöhen. Es ist im Interesse vieler Betreiber aber auch der marktwirtschaftliche Anreiz der Hersteller, über den gesamten Lebenszyklus von Betriebsmitteln hinweg die Zuverlässigkeit und Verfügbarkeit der technischen Einrichtungen auf einem hohen Niveau zu halten. Dies erfordert eine komplexere Betrachtung, ein Anlagen- und Betriebsmittelmanagement, das sich am Lebenszyklus der Anlagen und ihrer Belastung orientiert und das gezielt Serviceleistungen integriert.

Neue Rolle der Instandhaltung

Aus dieser angepassten Sichtweise leitet sich eine neue integrierte Ein- bzw. Zuordnung der **Instandhaltung (IH)** in verbundene Prozesse und vernetzte Systeme ab. Während die IH in ihrem Ursprung vorwiegend die Rolle der Schadensbeseitigung und Funktionssicke-

rung einnahm, später eine wesentliche Rolle im Betriebsmittelmanagement insbesondere durch Zunahme des Einflusses auf die Schadensvermeidung spielte bzw. spielt, so ist sie vor allem als Bestandteil einer komplexen Strategie der Optimierung technischer und organisatorischer intelligenter Systeme mit Smart Maintenance zu betrachten.

Historisch spielt die Instandhaltung der Anlagen und Maschinen in produzierenden Unternehmen eine bedeutende Rolle für den Unternehmenserfolg. Betriebsmittel unterliegen einem nutzungsbedingten Verschleiß, der fortschreitet und schließlich auch zum Ausfall des Betriebsmittels führen kann. Damit sind häufig wesentliche Störungen des Produktionsprozesses verbunden. Die Wirkung dieser Störungen hängt stark vom Vernetzungsgrad mit dem Produktionsbereich sowie der Komplexität der Anlagen ab. Der situationsbedingt noch vorhandene Abnutzungsvorrat eines Betriebsmittels, welcher vor Eintritt eines Schadens zunächst komplett aufgebraucht wird, lässt sich in vielen Fällen nicht quantifizieren. Insofern hat und wird die Instandhaltung auch in der Zukunft immer wieder mit nicht vorhersehbaren Störwirkungen zu tun haben. Die Instandhaltung sorgt dafür, dass die Produktionsanlage ihr Niveau bezüglich der Verfügbarkeit und des Leistungsvermögens halten oder möglichst noch steigern kann. Dazu nutzt sie Methoden der Prognostizierung.

Technische Instandhaltung und Instandhaltungsmanagement

Mit dieser Strategie wandelt sich die „absolut-technisch“-orientierte Instandhaltung zu einem Instandhaltungsmanagement. Nicht allein die primär zu beherrschende technische Störung, sondern auch ihre gezielte prozessseitige Einordnung im Wechselspiel zwischen Hersteller, Servicedienstleister und Nutzer, die Sicherung und optimale Bereitstellung aller erforderlichen kapazitiven Mittel wie Werkzeuge, Energie, Ersatzteile, Logistikeinrichtungen u. a. als auch die informatorische Einbindung in Kommunikationsnetze und vieles mehr werden zu Objekten des Instandhaltungsmanagements.

Die Organisation der Instandhaltung ist eine wichtige und nicht einfache Aufgabe. Immer wieder stellt sich aufgrund der Stetigkeit der Innovationsschübe neu die Frage, wie viel eigenes Personal mit welcher Qualifikation erforderlich und einzusetzen ist. In der Praxis existieren Lösungen von vollständiger Eigeninstandhaltung bis zur kompletten Fremdvergabe. Aussagen zum Kostenanteil der Fremdinstandhaltung variieren im Bereich von 20 % bis 30 % [11] und zwischen 30 % und 60 % [2] bezogen auf die gesamten Instandhaltungskosten. Produkte und Branchen gestatten unterschiedliche Strategien. Dabei ist zu bedenken, dass sich die Unternehmen meist so aufstellen, dass die Grundlast der Instandhaltungsaufgaben mit eigenen Mitarbeitern abgearbeitet wird. Bei ungeplanten größeren Störungen, bei Werksrevisionen oder bei Spezialaufgaben, die komplexes Fachwissen der Hersteller oder teure Messgeräte benötigen wird dann auf Fremdkräfte zugegriffen. Weitere externe Aufwendungen und die damit verbundenen Kosten fallen durch gesetzliche Auflagen an, die u. a. Prüfungen einer zugelassenen Überwachungsstelle erfordern können (z. B. wiederkehrende Prüfungen von Kesselanlagen im Hochdruckbereich).

Betriebswirtschaftliche Aufgabe der Verbesserung

Grundsätzlich gibt es für das Management der Betriebsmittel auch die Möglichkeit bzw. Notwendigkeit, anstatt der weiteren laufenden Instandhaltung der installierten Anlage, diese durch eine neue Anlage zu ersetzen. Dies führt aufgrund des technischen Fortschrittes in den meisten Fällen zu gewünschten Produktivitätssteigerungen, hat aber den Nach-

teil der Aufwendung erheblicher Investitionsmittel. Hierzu werden Entscheidungsregeln auf Kosten- und Produktivitätsbasis benötigt.

In verschiedenen Fällen ist die Verbesserung vorhandener Anlagen eine wirkungsvolle Alternative. Dabei werden erkannte Schwachstellen der vorhandenen Betriebsmittel eliminiert, indem z. B. Bauteile oder auch komplette Baugruppen auf Basis neuer Technologien, besser geeigneter Werkstoffe oder auch konstruktiver Verbesserungen ausgetauscht werden. Die Verbesserung vorhandener Anlagen wird in der Praxis häufig durch die Instandhaltung in funktionaler Zuordnung umgesetzt. Auch bei Investitionen übernimmt die Instandhaltungsstruktur bei der Auswahl der Lieferanten, bei Aufbau und Inbetriebnahme oftmals eine führende Rolle oder zumindest eine Schlüsselfunktion. Produktions- oder Dienstleistungsprozesse bauen grundsätzlich auf die Kopplung zu Instandhaltungsprozessen. Dort bilden diese einen wesentlichen und unverzichtbaren Unterstützungsprozess zur Gewährleistung oder Verbesserung des Hauptprozesses. Dabei sind neben der klassischen Struktur auch Tendenzen der Verlagerung der Aufgaben in die Produktion oder zu Drittanbietern zu beachten (Bild 1.1).

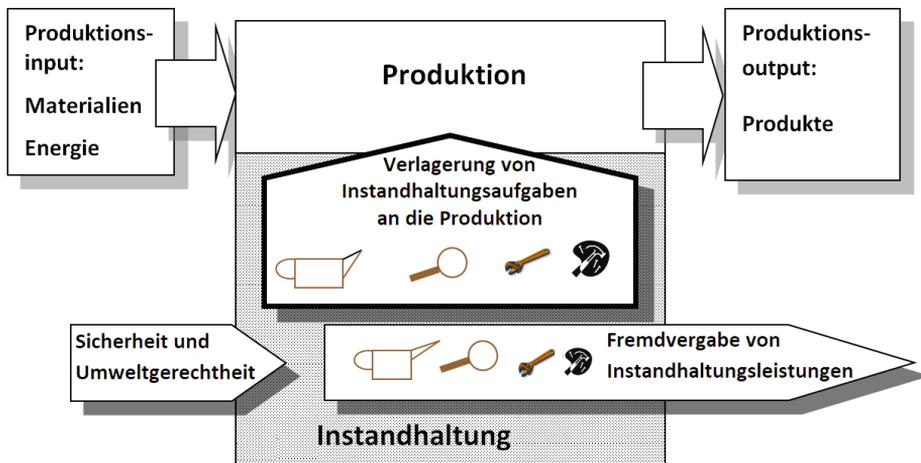


Bild 1.1 Einbindung der Instandhaltung in den Produktionsprozess – zwei grundlegende Tendenzen zur Übernahme von Instandhaltungsaufgaben in Anlehnung an [1]

Aktive Instandhaltung sorgt für hohe Verfügbarkeit der Betriebsmittel bei moderaten Kosten. Grundsätzlich gibt es eine Abhängigkeit zwischen Anlagenwert und Instandhaltungsbedarf wie auch zwischen Produktionsmenge und Instandhaltungsbedarf.

Service

Aus Sicht externer Servicedienstleister bzw. der Hersteller selbst wird die Organisation von Instandhaltungsaufgaben zunehmend zur Serviceleistung. Allein im Gebrauchsgütermarkt der Bundesrepublik wurden 2019 mit Reparaturen und Serviceleistungen in über 12 Tsd. Unternehmen rund 3,5 Mrd. € Umsatz erzielt, davon in Unternehmen der Informations- und Kommunikationstechnologie allein 1,2 Mrd. € [16]. Dabei können die Verfügbarkeit oder die Bereitstellung von technischen, aber auch organisatorischen und sicher-

heitsrelevanten Informationen oder die Schulung der Mitarbeiter des Nutzers den Wert und die Bedeutung der Leistung erheblich beeinflussen. Instandhaltung wird somit durch technischen Service aufgewertet und ergänzt. Im Zusammenhang mit dem nachhaltigen Einsatz von Produkten, Fabrikanlagen und Servicesystemen wird zunehmend über deren langlebige und effiziente Nutzung nachgedacht. Die Obsoleszenz, die in der Instandhaltung keineswegs ein Fremdwort ist, gewinnt zunehmend an Bedeutung und dies sowohl aus der Intuition der Nutzer als auch als Wettbewerbsargument der Instandhaltungs- und Servicebetriebe [8]. Die Komponentenverfügbarkeit über die tendenziell längere Nutzungsdauer trotz und gerade wegen einer steigenden Anzahl von Innovationen wird zur Herausforderung für alle Beteiligten an der Wertschöpfungskette. Dabei werden diese Bestrebungen auch im Rahmen eines aktiven Risikomanagements zu unterstützen sein [8].

Digitalisierung und künstliche Intelligenz (KI)

Klassische Instandhaltung erfolgt reaktiv oder präventiv mit bekannten Vor- und Nachteilen. Die Entscheidung dazu liegt in den Händen verantwortlicher Mitarbeiter. Das System verlangt nach angepassten Reaktionen in der Gegenwart. So steigt die Bedeutung der Informationsbereitstellung aus komplexer Sicht. Instandhaltungsprozesse sind zunehmend an die Zuführung von Informationen zu und von den Objekten der Nutzung, Produktion und Serviceerbringung sowie deren Verarbeitung gebunden. Umfassende Informationssysteme werden von einer Begleiterscheinung zu einem eindeutigen Erfordernis der organisatorischen Abläufe der Instandhaltung, die durch Serviceleistungen in Folge der Arbeitsteilung zunehmend auch an Informationsflüsse zu Dritten zu verknüpfen sind. Besonders betroffen sind aktive Reaktionen auf Ausfälle und die Ersatzteilbereitstellung.

Damit integrieren sich diese komplexen Leistungen in Tendenzen einer zunehmenden Digitalisierung, d. h. zu einem Weg, der zu automatisierten Informationsflüssen über Kanäle wie das Internet und Intranet, zu Informationsverarbeitungen mithilfe moderner IT-Technik und zu Informationserfassungen über mobile Techniken, Sensorik und Smart Objects führt. Damit sind zugleich geänderte Aufgabeninhalte und neue Informationsdienste im Rahmen von Industrie 4.0 verbunden, die übergreifende Transformationen bei stetiger Aktualisierung der Systeme und Datenquellen ermöglichen und bis zur Prognostizierung von Vorgängen reichen. Unterstützende Systeme der KI ermöglichen hierbei einen hohen Grad der Adaption der Lösungen und Lösungswege. Sie betreffen den komplexen Lebenszyklus von der Planung und Vermeidung von Störungen und Ausfällen, über die Reaktion im Ausfallzyklus bis zur komplexen bedarfsgerechten Einflussnahme im Sinne proaktiver Handlung.

Ziele/Kennzahlen

Die Planung und Überwachung von Instandhaltungs- und Serviceleistungen ist vor allem auch eine betriebswirtschaftliche Aufgabe. Diesbezüglich können einzelne Maßnahmen die Effektivität der Produktions- und/oder Dienstleistungsprozesse wesentlich beeinflussen. Typische Kennzahlen der IH können als Indikatoren für den Aufwand und die Effizienz der Instandhaltungsleistungen dienen und gleichzeitig Benchmarks ermöglichen. Bewertungen dieser Messgrößen können sowohl relativ als auch absolut erfolgen.

Die Wirkungen der IH zeigen sich direkt in den absoluten Aufwänden, die für die IH ausgegeben werden. Deutschlandweit liegen diese im hohen mehrstelligen Milliardenbereich,

in Europa bereits im Milliardenbereich. Wannenwetsch [10] schätzt sie auf ca. 250 Mrd. € für Deutschland. Dabei weisen die Statistiken nur erfassbare direkte IH-Kosten aus. Meist nicht direkt erfasste indirekte Kosten wie z. B. Ausfallkosten, Haftungs- und Qualitäts- oder Lagerhaltungskosten erreichen 5-10-fache Werte der direkten IH-Kosten [2]. D. h., dass volkswirtschaftlich von einem Instandhaltungsanteil von bis zu 10% des BIP auszugehen ist. Linsinger schätzt ihn für Österreich sogar höher auf 20% [11]. Sowohl aus Sicht der Gesamtkosten als auch aus der Anzahl der Beschäftigten in der Wirtschaft zeigt sich die große Bedeutung der Instandhaltung. Man geht davon aus, dass speziell in der Anlagenwirtschaft zu einem Anlagenwert von 10 Mio. € zwischen einem und vier Mitarbeiter in der Instandhaltung tätig sind. Sorgen bereiten allerdings zunehmend fehlende Fachkräfte.

Kostenraten der IH bewegen sich bezogen auf den Anlagenwiederbeschaffungswert in Unternehmen im Durchschnitt im Bereich zwischen 2 und 6% mit steigender Tendenz. Bezogen auf den Umsatz erreichen sie ähnliche Werte, aber auch Unternehmen mit IH-Kosten von mehr als 7% des Umsatzes sind keine Seltenheit. Ähnliche Werte können auch bezogen auf die Fertigungskosten erfasst werden, zu denen die IH-Kosten durchaus schon mal über 10% erreichen können. Dabei sind die Grenzen der Kostenanteile durch vertiefte Formen der Arbeitsteilungen kaum noch überschaubar. Die direkten und indirekten Wirkungen der Instandhaltung und ihre Einflussnahme auf die Produktion machen schon Einiges mehr als 60% der Produktionskosten aus [23]. Serviceleistungen der Maschinenhersteller gleichen vielfach flexibel deren Dellen im Verkaufsbereich kaufmännisch aus. Im Bereich von After Sales-Leistungen werden auch schon mal über 25% des Umsatzes erbracht [13].

Die Planung, Umsetzung und der Umfang von Instandhaltungs- und Serviceleistungen sind branchenabhängig. In Bereich der Serienproduktion liegen in der in der Regel höhere Aufwendungen in präventiven Bereich vor, um mögliche Anlagenausfälle, z. B. in der chemischen Industrie zu vermeiden. Ca. ein Drittel der gesamten Betriebskosten sind Instandhaltungskosten [11]. Wannenwetsch spricht von bis zu 40% [10]. Diese Tatsache liegt neben der Kontinuität der Produktion auch an den hohen Anforderungen bezüglich der gesetzlichen Auflagen und an den eingesetzten, oft hochwertigen, Werkstoffen begründet. Ursache sind vielfach auch über dem Durchschnitt liegende Vergütungen in der IH der betroffenen Branchen.

■ 1.2 Funktionsbeeinträchtigungen von technischen Systemen

Der Nutzer von Maschinen und Anlagen sowie technischen Produkten aller Art geht in der Regel davon aus, dass diese ihre zweckgebundenen Aufgaben im Sinne von technischen Funktionen zuverlässig erfüllen.

Eine **Funktion** wird dabei in Anlehnung an DIN 31051 als die bei der Herstellung der Anlage definierten Anforderungen verstanden [12]. Im Rahmen der **Funktionserfüllung** treten je nach Einsatz und Belastungswirkung unterschiedlich große Abweichungen von

den definierten Anforderungen auf. Diese stellen erwartete Leistungen oder Ergebnisse für den Nutzer in Frage und führen u. U. zu erheblichen materiellen, wirtschaftlichen, aber auch gesundheitlichen oder rechtlichen Konsequenzen. Aufgrund dieser Wirkungen und des damit verbundenen Zustandes der Betrachtungs-„Einheit“ wird dessen Fähigkeit zur Funktionserfüllung beeinflusst. Die DIN 31051 bezeichnet diese zustandsbedingte Eigenschaft als **Funktionsfähigkeit**.

Entsprechend Bild 1.2 wird die geforderte Funktion in einem Wertschöpfungsprozess im Rahmen einer Einheit erbracht und abschließend erfüllt. Der Begriff der „Einheit“, wie er im Normenwerk der Instandhaltung genutzt wird, erlaubt eine universelle Behandlung von einfachen Produkten, leistungsfähigen Maschinen bis hin zu komplexen Anlagen, auch unter Berücksichtigung von deren Komponenten.

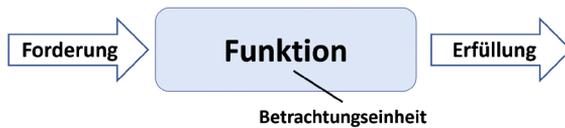


Bild 1.2 Funktion einer Betrachtungseinheit in Anlehnung an DIN 31051 [12]

Komponenten erfüllen in ihrer strukturellen Zuordnung zu Produkten, Maschinen und Anlagen Teilfunktionen, deren Anzahl faktisch unbegrenzt sein kann und deren Kombination in Relationen zueinander zu einer Gesamtfunktion des technischen Systems führt (Bild 1.3).

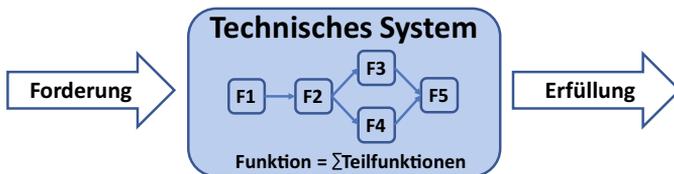


Bild 1.3 Teilfunktionen im technischen System

Dieses Buch zielt nicht auf die Betrachtung eindeutig vorgegebener Produktklassen hin. Um die Vielfalt von einfachen und einfach strukturierten Produkten bis zu komplexen Maschinenlösungen und deren Baugruppen und Komponenten beachten zu können, soll eine universelle Betrachtung gewählt werden.

Diesem Bedarf wird am deutlichsten die Systemtheorie gerecht. Sie beschreibt das System als eine Gesamtheit von Struktur und Umgebung und berücksichtigt dabei die elementaren Beziehungen zwischen den Teilsystemen und Elementen untereinander und in Bezug zum System selbst und zu dessen Umgebung. Insofern sollen „technische Systeme“ in ihrer Struktur und der Wechselwirkung von Prozessen als auch von begleitenden Serviceleistungen im Blickpunkt der Betrachtung stehen.

Aus ihrer universellen Sicht sollen sowohl die komplexe technische Anlage, aber auch deren technische(s) Produkt(e), als technisches System beschrieben werden. Das **techni-**

sche System (TS) integriert die Summe aller technischen Elemente wie Einzelteile und Baugruppen bis zur Struktur komplexer Maschinen und Anlagen (z.B. im flexiblen Fertigungssystem), z.T. auch eingeordnet in Serviceleistungen, im Wechselspiel ihrer Prozessrelationen. Im Rahmen dieser Prozesse können sowohl Produktfunktionalitäten, Funktionen der Produktion oder sonstiger Leistungserbringung im Zusammenhang mit Dienstleistungen abgebildet werden. Mit dem Begriff wird in diesem Fachbuch eine universelle Formulierung genutzt, die mögliche technische Varianten von Produkten, Anlagen und Maschinen sowie deren Gestaltungs- und Ausbaustufen unter Aspekten der **Funktionserfüllung** berücksichtigt und universell beschreibt.

In ihrer Funktionsrealisierung können technische Systeme durch eine Vielzahl und Kombination organisatorischer, technischer oder menschlicher Wirkungen gestützt aber auch beeinträchtigt werden. Nicht in jedem Falle können Instandhaltungsmaßnahmen störende Wirkungen des Systems selbst und seiner Umwelt vermeiden bzw. beeinflussen. Neben Fehlfunktionen der Systemkomponenten und ihrer Informationsbereitstellung können auch eine fehlende Ressourcenversorgung, Eingriffe durch „geplante Maßnahmen“ als auch Aktivitäten der Instandhaltung selbst die Funktionserfüllung beeinflussen [9], [14]. Technische Systeme befinden sich nicht in einer ordnungsgemäßen Funktion, wenn folgende Zustände auftreten [4]:

- technologische Tätigkeiten: Einrichten, Umrüsten, Einstellen;
- versorgungstechnische Unterbrechungen: Energie, Rohstoffe, Kühlmittel, Schmierstoffe;
- organisatorische Einflüsse wie mangelnde Bereitstellung oder Verfügbarkeit der Potenzial- und Repetierfaktoren;
- funktionelle Stillstände: Schäden durch äußere und innere Einwirkungen;
- Fehler der Informationsversorgung und -weiterbearbeitung;
- instandhaltungsbedingte Stillstände.

In allen diesen Zuständen ist es sehr wahrscheinlich, dass während ihres Auftretens keine Leistung des technischen Systems erbracht werden kann. Sie unterscheiden sich durch die Dauer, Intensität und die Art der Ausfallwirkung. Während organisatorische Einflüsse wie die termingerechte Bereitstellung von Ersatzteilen oder Materialien die Funktionalität des Systems nur ablaufbedingt einschränken, führen funktionelle Stillstände zum Teil- oder Komplettausfall des Systems, der ohne Maßnahmen der Instandhaltung nicht beseitigt werden kann.

Im Rahmen der Prozesse der Funktionserbringung, sowohl von Produkten als auch Produktions- und Dienstleistungsprozessen, ist ein Wechselspiel der Funktions- und Umgebungswirkungen des technischen Systems sowie der funktionellen Komponenten zu betrachten. Diese grundlegende Kausalität der Funktionserbringung wird durch den Prozess der **Abnutzung** von Systemeigenschaften nach DIN 31051 [12] beschrieben (vgl. Kap. 4). Natürlich sind sowohl grundsätzliche systemspezifische als auch komponententypische Vorgänge des Abbaus des Abnutzungsvorrates und ihre Wirkungen und Kausalitäten zu berücksichtigen. Auf eine Betrachtungseinheit bezogen definiert die DIN 31051 das Ereignis der Überschreitung einer zulässigen Abnutzungsgrenze als **Ausfall**. In Folge dieser Situation tritt der Fehler als nicht unmittelbar gewünschter Zustand der Einheit in Erscheinung. Den Sachverhalt beschreibt Bild 1.4.

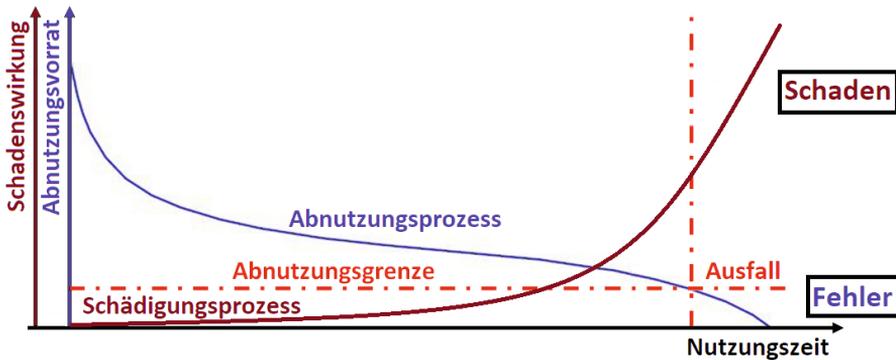


Bild 1.4 Abnutzungs- und Schädigungsprozess

Mit dem Abbau des Abnutzungsvorrates im Verlauf der Nutzungszeit schreitet gleichzeitig ein **Schädigungsprozess** voran. Die Sicherstellung einer wirtschaftlichen und funktions-sichernden Instandhaltung setzt Kenntnisse zur Entstehung und Wirkung von Schädigungen voraus. Der Schädigungsprozess ist an Schadensursachen gebunden, die im Laufe des Prozesses zu Wirkungen in Form von Schäden führen. Auch wenn aus Gründen der europäischen Harmonisierung aus deutschen bzw. europäischen Normenwerk der Begriff „Schaden“ nicht mehr berücksichtigt wird, sollen der Schaden und die Schädigung aus Sicht der wirtschaftlichen und rechtlichen Rahmenbedingungen (vgl. Kapitel 17 und 18) in einem Schädigungsmodell Beachtung finden.

Die neue Begriffswelt der DIN 31051 betrachtet primär den positiven Zustand der Nutzung und Funktionalität von Systemen aus Sicht der **Verfügbarkeit**, während in der Vergangenheit dem Schaden als unerwünschten Zustand einer Einheit die besondere Aufmerksamkeit im Rahmen der Schädigungstheorie gewidmet wurde und auch nach wie vor wird (vgl. auch [14]). Während aus technischer Sicht die Festlegung resp. Überschreitung einer **Abnutzungsgrenze** und die Gewährleistung eines **Abnutzungsvorrates** Rahmenbedingungen des Schädigungsprozesses darstellen, können Schadenswirkungen juristisch, wirtschaftlich aber auch gesundheitlich sowohl als Schaden am Produkt selbst als auch als Personen- oder Sachfolgeschäden behandelt werden. Da in diesem Rahmen nicht von einer/einem funktional einheitlichen, genormten Anlage/technischem Produkt mit einem homogenen Umfeld ausgegangen wird, sollen Schädigungen in einem universellen Modell erklärt werden.

Genauso wie Schädigungsursachen innerhalb und außerhalb des Systems auftreten können, treten auch Folgewirkungen auf das System selbst, auf die Systemleistung, aber auch seine Umgebung in unterschiedlicher Form auf. Inwieweit sich daraus ein Schaden ableitet, hängt von den Besonderheiten und Abnutzungsgrenzen der jeweiligen Betrachtungseinheiten sowie dem Umgang mit dem Schädigungsprozess ab.

Der **Schaden** stellt eine Zustands-, Eigenschafts- oder Systemverhaltensänderung eines technischen Systems oder einer Systemkomponente dar, die eine zulässige Grenze des Systemzustandes überschreitet und somit die Funktionalität wesentlich beeinträchtigt oder unmöglich macht. In der Konsequenz wird damit eine Wirkung also ein Ergebnis des Schädigungsprozesses beschrieben. Dabei können Schadens-Kausalitätenketten innerhalb des technischen Systems entstehen [3], [4].

Die Wirkzusammenhänge von Schädigungsprozessen können mithilfe einer Schadensanalyse ermittelt werden. Ursachen des Schadenseintritts können lebenszyklusbedingt, z. B. im Rahmen von Abnutzung und Verschleiß, aber auch stochastisch in Folge verschiedener Belastungen im und auf das technische System und damit auf seine Prozessleistung auftreten. Auch Wirkungen der Schädigungen sind von diesen Faktoren abhängig. Das Spektrum der beeinträchtigten Funktionsleistung erstreckt sich von keiner direkten Funktionseinschränkung über die eingeschränkte Anlagennutzung bis zur Unbrauchbarkeit. Schädigungen können auch den Menschen und die Umwelt betreffen (Bild 1.5).

Mit den Ursache-Wirkungs-Zusammenhängen aus Systemsicht setzt sich komplexer die Störungstheorie auseinander. Sie wird in einem Störungsmodell beschrieben. Eine **Störung** wird in der DIN EN 13306 als Zustand einer vorhandenen Unfähigkeit einer Einheit, eine geforderte Funktion zu erfüllen, bezeichnet (siehe auch DIN 40041[17]). Nach Grothus werden Störungen auch als Ereignis angesehen [5]. In diesem Buch werden sie so verstanden, dass sie einen (unerwünschten) Zustand eines technischen Systems oder Systemelementes darstellen können. Das betrifft nicht nur das technische System selbst. Auch Nachbarsysteme oder deren Elemente können sich in einem derartigen Zustand befinden. Der Störzustand eines technischen Systems kann gleichzeitig zu einer Wirkung auf die Umwelt oder andere Komponenten führen, der Störwirkung als Ereignis. Hier greift das Schadensmodell.

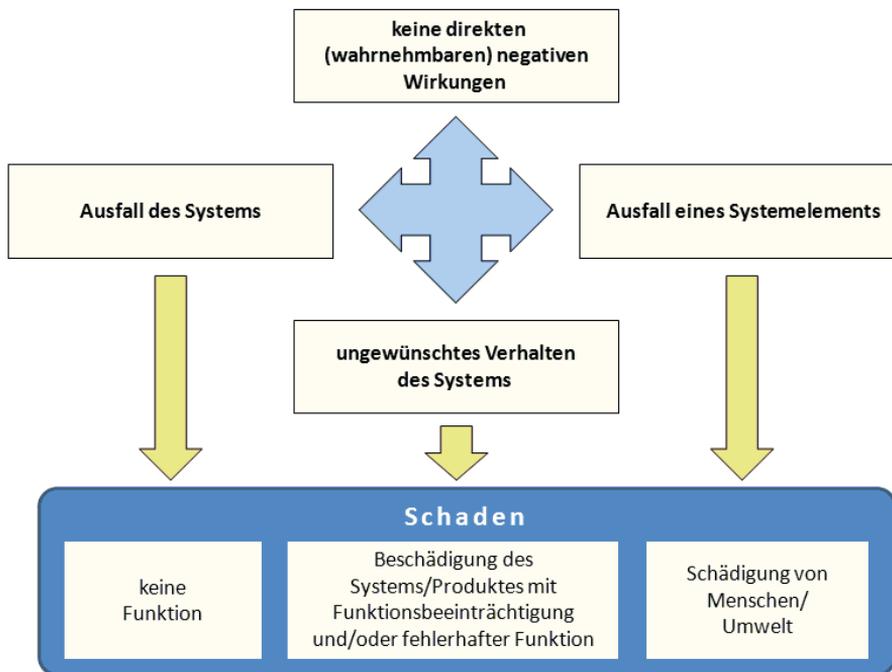


Bild 1.5 Schädigungs-Wirkungen eines Systemausfalls [21]

Ursachen bzw. Auslöser von Störungen können nach DIN 40041 fehlende, fehlerhafte oder unvollständige Funktionen sein. In der Wirkung sind interne Störungen des technischen Systems und externe Störungen als Wirkungen aus der Umwelt zu unterscheiden. Beide

können in der Folge zu Störungen von weiteren Systemkomponenten oder des gesamten Systems führen. D. h., dass so der Ausfall von Systemkomponenten einen Folgewirkungsprozess der Nachbarkomponenten im System und des gesamten technischen Systems mit bis zu sehr weit reichenden Auswirkungen als Schädigungen hervorruft (Bild 1.6).

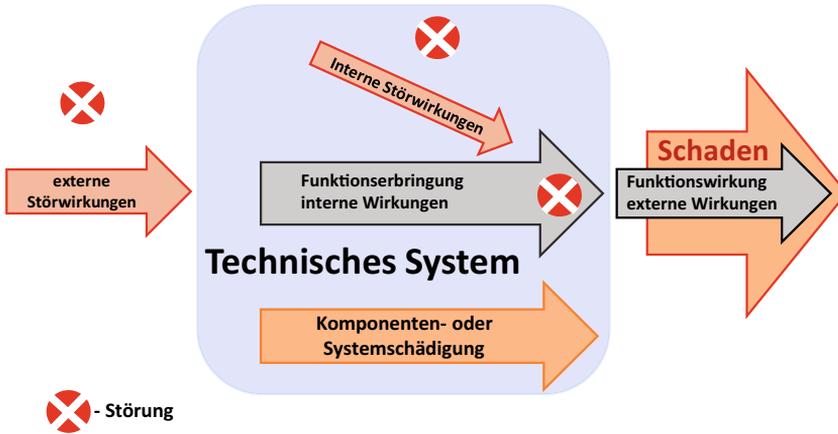


Bild 1.6 Funktionsbeeinträchtigungen durch Störwirkungen

Bild 1.7 stellt zusammenfassend die drei oben beschriebenen Modelle der Funktionsbeeinträchtigung dar und zeigt aus Sicht der Prozessinhalte, Ursachen und Wirkungen ihre Differenzen und Gemeinsamkeiten sowie die möglichen Schnittpunkte in der Abhandlung auf. Sie bildet die Grundlage weiterer Abhandlungen zu diesem Sachverhalt insbesondere in Kapitel 4.

	Objekt	Prozess	Graph	Ursache	Wirkung
Abnutzungsmodell nach DIN 31051	Einheit	Abnutzungsprozess		Abnutzung durch chem. u./od. physikal. Vorgänge (Beanspruchungen)	Ereignis: Ausfall Zustand: Fehler
Schädigungsmodell	Technisches System oder Komponenten	Schädigungsprozess		Ereignisse der Gebrauchsminderung - Schädigungen - Belastungen	Schaden: [5] - Prozesse in ihrer Funktion - technisches System - Mensch - Umgebung
Störungsmodell	Technisches System in Umgebung und Struktur (Einheit entspr. DIN 31051)	Kausalitätenkette (-netz) von Störungen Fehlertransformation		Systemkomponente/Umgebung: - keine Funktion - fehlerhafte Funktion - unvollständige Funktion	Techn. System evtl. Systemkomponente: - keine Funktion - fehlerhafte Funktion - unvollständige Funktion

Bild 1.7 Kausalitäten der Abnutzung und des Schädigungsprozesses