



---

JUSTUS-LIEBIG-UNIVERSITÄT GIESSEN  
PROFESSUR BWL – WIRTSCHAFTSINFORMATIK  
UNIV.-PROF. DR. AXEL C. SCHWICKERT

Ostheimer, Bernhard; Schwickert, Axel C.; Schreiber,  
Florian

**Mean Time Between Failures:  
Grundlagen, Konzept, Methoden,  
Werkzeuge**

ARBEITSPAPIERE WIRTSCHAFTSINFORMATIK

---

Nr. 4 / 2013  
ISSN 1613-6667

# Arbeitspapiere WI Nr. 4 / 2013

---

- Autoren:** Ostheimer, Bernhard; Schwickert, Axel C.; Schreiber, Florian
- Titel:** Mean Time Between Failures: Grundlagen, Konzept, Methoden, Werkzeuge
- Zitation:** Ostheimer, Bernhard; Schwickert, Axel C.; Schreiber, Florian: Mean Time Between Failures: Grundlagen, Konzept, Methoden, Werkzeuge, in: Arbeitspapiere WI, Nr. 4/2013, Hrsg.: Professur BWL – Wirtschaftsinformatik, Justus-Liebig-Universität Gießen 2013, 28 Seiten, ISSN 1613-6667.
- Kurzfassung:** In den letzten zwei Jahrzehnten hat die Globalisierung zu einer erheblichen Wettbewerbsverschärfung geführt. Der wachsende Kostendruck und stagnierende Preise zwangen die Unternehmen, sparsamer mit ihren Prozessressourcen umzugehen und ihre Prozesse ständig zu optimieren. Das Kostenoptimierungsproblem hatte zur Folge, dass für die Qualität von technischen Erzeugnissen Kennzahlen wie MTBF, Zuverlässigkeit und Verfügbarkeit definiert wurden.
- Im vorliegenden Arbeitspapier erfolgt die Beschreibung und Analyse der Kennzahl „Mean Time Between Failures“ (MTBF). Inhalt des zweiten Kapitels ist eine Vorstellung der Grundlagen und des Konzeptes der MTBF. Es erfolgt eine Definition der MTBF und der Begriff Ausfallrate wird definiert. Im Weiteren wird dargestellt, wie sich die MTBF auf die Zuverlässigkeit und die Verfügbarkeit auswirkt. Abschließend folgen die Anwendungsgebiete der MTBF. Das dritte Kapitel „Methoden und Werkzeuge“ beinhaltet Verfahren zur Ermittlung der MTBF sowie die Darstellung bezüglich Aggregationsmöglichkeiten der berechneten Kennzahlen. Danach schließt die Vorstellung der einzelnen Werkzeuge der MTBF an. Kapitel vier beinhaltet die Anwendung der MTBF in der Automobilwirtschaft. Das letzte Kapitel fünf des Arbeitspapiers schließt mit einer kritischen Würdigung und Anwendungsempfehlungen die Arbeit ab.
- Schlüsselwörter:** Mean Time Between Failures, MTBF, Zuverlässigkeit, Verfügbarkeit, Mean Down Time, Ausfallrate, Ausfälle, Informationssysteme, Methoden und Werkzeuge

## Inhaltsverzeichnis

	Seite
Inhaltsverzeichnis.....	I
Abbildungsverzeichnis.....	II
Tabellenverzeichnis.....	III
Abkürzungsverzeichnis.....	IV
<b>1 Problemstellung, Ziel und Aufbau .....</b>	<b>1</b>
<b>2 Grundlagen und Konzept des MTBF .....</b>	<b>2</b>
2.1. Die mittlere Betriebsdauer zwischen zwei Ausfällen(MTBF) .....	2
2.1.1. Historische Entwicklung und Definition.....	2
2.1.2. Die Definition der Ausfallrate .....	4
2.1.3. Berechnung der MTBF .....	5
2.2. Zuverlässigkeit, Verfügbarkeit und Mean Down Time .....	8
2.3. Anwendungsgebiete der MTBF .....	10
<b>3 Methoden und Werkzeuge .....</b>	<b>12</b>
3.1. Verfahren zur Ermittlung und Aggregation der MTBF .....	12
3.2. Aufbau eines Informationssystems .....	14
3.3. Werkzeuge der MTBF .....	17
<b>4 Die MTBF in der Automobilwirtschaft .....</b>	<b>18</b>
<b>5 Kritische Würdigung und Anwendungsempfehlungen .....</b>	<b>19</b>
Literaturverzeichnis.....	V

## Abbildungsverzeichnis

	Seite
Abb. 1: Die Entwicklung der Zuverlässigkeitsmessungen in Deutschland.....	3
Abb. 2: Die Ausfallrate $\lambda(t)$ in Abhängigkeit von der Zeit .....	5
Abb. 3: Einsatzzeiten einer Fertigungsanlage .....	9
Abb. 4: Datenverteilung und Informationssysteme in Fertigungsunternehmen..	16

## Tabellenverzeichnis

	Seite
Tab. 1: Ausfälle einer Fräsmaschine .....	7
Tab. 2: Ermittlung der MTBF für ein Los aus 51 Drehmaschinen .....	14

## Abkürzungsverzeichnis

ADS .....	Advanced Planning and Scheduling System
AGREE.....	Advisory Group on Reliability of Electronic Equipment
$A_S$ .....	Stationäre Verfügbarkeit
b.....	Summe der Betriebsdauern
CEN.....	Comité Européen de Normalisation
DIN .....	DIN Deutsches Institut für Normung e. V.
$Down_i$ .....	Zeitraum der Nicht-Verfügbarkeit einer Einheit
dt.....	Differential
$\otimes t$ .....	Zeitspanne
e .....	Eulersche Zahl
$E_n$ .....	Element n
ERP.....	Enterprise Resource Planning System
$f(t)$ .....	Ausfallwahrscheinlichkeitsdichte
$F(t)$ .....	Lebensdauerverteilung
FTPM.....	Ford Total Productive Maintenance
$\lambda$ .....	Ausfallrate
$\lambda(t)$ .....	Ausfallrate in Abhängigkeit von der Zeit
MDT .....	Mean Down Time
MES.....	Manufacturing Execution System
MTBF .....	Mean Time Between Failures
MTTF .....	Mean Time To Failure
MTTR.....	Mean Time To Repair
M-TCO .....	Maintenance-Total-Cost-of-Ownership
P.....	Wahrscheinlichkeit
PPS .....	Produktionsplanungs- und Steuerungssystem
R .....	Zuverlässigkeit / Überlebenswahrscheinlichkeit
$R(t)$ .....	Zuverlässigkeit / Überlebenswahrscheinlichkeit in Abhängigkeit von der Zeit
t.....	Zeit
T.....	Lebensdauer
$Up_i$ .....	Zeitraum der Verfügbarkeit einer Einheit
V1 .....	Vergeltungswaffe 1
VDI .....	Verband Deutscher Ingenieure e. V.
x .....	Anzahl aller Ausfälle
X .....	Zufallsgröße

## 1 Problemstellung, Ziel und Aufbau

Im vorliegenden Arbeitspapier erfolgt die Beschreibung und Analyse der Kennzahl „Mean Time Between Failures“ (MTBF). In den letzten zwei Jahrzehnten hat die Globalisierung zu einer erheblichen Wettbewerbsverschärfung geführt. Der wachsende Kostendruck und stagnierende Preise zwangen die Unternehmen, sparsamer mit ihren Prozessressourcen umzugehen und ihre Prozesse ständig zu optimieren.<sup>1</sup> Das Kostenoptimierungsproblem hatte zur Folge, dass für die Qualität von technischen Erzeugnissen Kennzahlen wie MTBF, Zuverlässigkeit und Verfügbarkeit definiert wurden.<sup>2</sup> Bereits gegen Ende des 19. Jahrhunderts wurden die Faktoren Qualität und Kosten als kritisch erachtet, wie folgendes Zitat von Henry Ford belegt:<sup>3</sup>

*„Es gibt eine Regel für Industrialisten, und die heißt:*

*Produziere Güter in bester Qualität,*

*die zu den geringstmöglichen Kosten erzeugbar sind,*

*während du die höchstmöglichen Löhne zahlst.“*

In diesem Arbeitspapier wird der Einsatz der MTBF zur Zuverlässigkeitsmessung von technischen Erzeugnissen dargelegt. Die Arbeit gliedert sich in 5 Kapitel. Inhalt des zweiten Kapitels sind zunächst Grundlagen und Konzeptvorstellung der MTBF. Es erfolgt eine Definition der MTBF und eine Einführung in die historische Entwicklung der Zuverlässigkeitsforschung. Der Begriff Ausfallrate wird definiert, im Anschluss erfolgt die Berechnung der MTBF. Im Weiteren wird dargestellt, wie sich die MTBF auf die Zuverlässigkeit und die Verfügbarkeit auswirkt. Abschließend folgen die Anwendungsgebiete der MTBF. Das dritte Kapitel „Methoden und Werkzeuge“ beinhaltet Verfahren zur Ermittlung der MTBF sowie die Darstellung bezüglich Aggregationsmöglichkeiten der berechneten Kennzahlen. Anschließend wird auf die Bedeutung von Datenbanken und Informationssystemen eingegangen. Danach schließt die Vorstellung der einzelnen Werkzeuge der MTBF an. Kapitel 4 beinhaltet die Anwendung der MTBF in der Automobilwirtschaft. In Kapitel 5 endet das Arbeitspapier mit einer abschließenden kritischen Würdigung und Anwendungsempfehlungen.

---

1 Vgl. Reitz, Andreas: Lean TPM, In 12 Schritten zum schlanken Managementsystem, München: mi-Fachverlag 2008, S. 18 f.

2 Vgl. Heise, Wolfgang: Praxisbuch Zuverlässigkeit und Wartungsfreundlichkeit, R&M Programm für Automobilzulieferer und den Maschinen- und Anlagenbau, München et al.: Carl Hanser Verlag 2002, S. 5.

3 Mörtenhummer, Monika; Mörtenhummer, Harald (Hrsg.): Zitate im Management, Das Beste von 2000 Top-Performern und Genies aus 2000 Jahren Weltwirtschaft, Wien: Linde Verlag 2008, S. 85.

## 2 Grundlagen und Konzept des MTBF

### 2.1 Die mittlere Betriebsdauer zwischen zwei Ausfällen (MTBF)

#### 2.1.1 Historische Entwicklung und Definition

Bereits zu Beginn des industriellen Zeitalters wurden Untersuchungen über die Zuverlässigkeit von technischen Erzeugnissen durchgeführt. Heute existieren immer noch Unterlagen einer Studie über die Lebensdauer eines Rollenlagers im Rahmen der eisenbahntechnischen Entwicklung. Bis heute entwickelte sich eine eigenständige wissenschaftliche Disziplin, die Zuverlässigkeitstheorie.<sup>4</sup>

Mit Hilfe von Verfahren aus der Statistik können Kennzahlen berechnet werden, um Aussagen über die Zuverlässigkeit technischer Systeme bzw. Produkte zu treffen.<sup>5</sup> Die Zuverlässigkeit ist die „Fähigkeit einer Einheit, eine geforderte Funktion unter gegebenen Bedingungen für ein gegebenes Zeitintervall zu erfüllen“<sup>6</sup>. Zur Beschreibung der Zuverlässigkeit ist es möglich, eine Kennzahl anzuwenden, die als „Mean Time Between Failures“ bezeichnet wird.<sup>7</sup>

Die Kennzahl Mean Time Between Failures (im Folgenden mit MTBF abgekürzt) wird im Deutschen mit der „Mittleren Betriebsdauer zwischen zwei Ausfällen“<sup>8</sup> übersetzt. Sie ist nicht nur eine eigenständige Kennzahl, sondern zugleich Inputfaktor für weitere Kennzahlen, wie z. B. der Verfügbarkeit.<sup>9</sup>

1952 entstand in den USA das Beratungskomitee „Advisory Group of Electronic Equipment“ (AGREE), das die Berechnung der MTBF für technische Systeme empfahl. In den 1980er Jahren wurden die Zuverlässigkeitskennzahlen in der Produktion in Mitteleuropa breit eingeführt. Derartige Kennzahlen sind integrale Bestandteile betriebswirtschaftlicher und ingenieurwissenschaftlicher Theorien.<sup>10</sup>

---

4 Vgl. Heise, Wolfgang: Praxisbuch Zuverlässigkeit und Wartungsfreundlichkeit, R&M Programm für Automobilzulieferer und den Maschinen- und Anlagenbau, a. a. O., S. 17f.

5 Vgl. Heise, Wolfgang: Praxisbuch Zuverlässigkeit und Wartungsfreundlichkeit, R&M Programm für Automobilzulieferer und den Maschinen- und Anlagenbau, a. a. O., S. 20.

6 CEN Europäisches Institut für Normung; DIN Deutsches Institut für Normung e.V.: DIN EN 13306, Begriffe der Instandhaltung, Berlin et al.: 09/2001, S. 13, Nr. 4.3.

7 Vgl. Sommer, Stephan: Taschenbuch automatisierte Montage- und Prüfsysteme, Qualitätstechniken zur fehlerfreien Produktion, München et al.: Carl Hanser Verlag 2008, S. 44.

8 DIN Deutsches Institut für Normung e.V.: DIN 40041, Zuverlässigkeit, Begriffe, Berlin: 12/1990, S. 8 Nr. 3.5.3.

9 Siehe auch Kapitel 2.2.

10 Vgl. Heise, Wolfgang: Praxisbuch Zuverlässigkeit und Wartungsfreundlichkeit, R&M Programm für Automobilzulieferer und den Maschinen- und Anlagenbau, a. a. O., S. 18f.

In Abbildung 1<sup>11</sup> wird veranschaulicht, wie sich die Zuverlässigkeitsmessungen in der Deutschland seit den 1940er Jahren durchgesetzt hat:

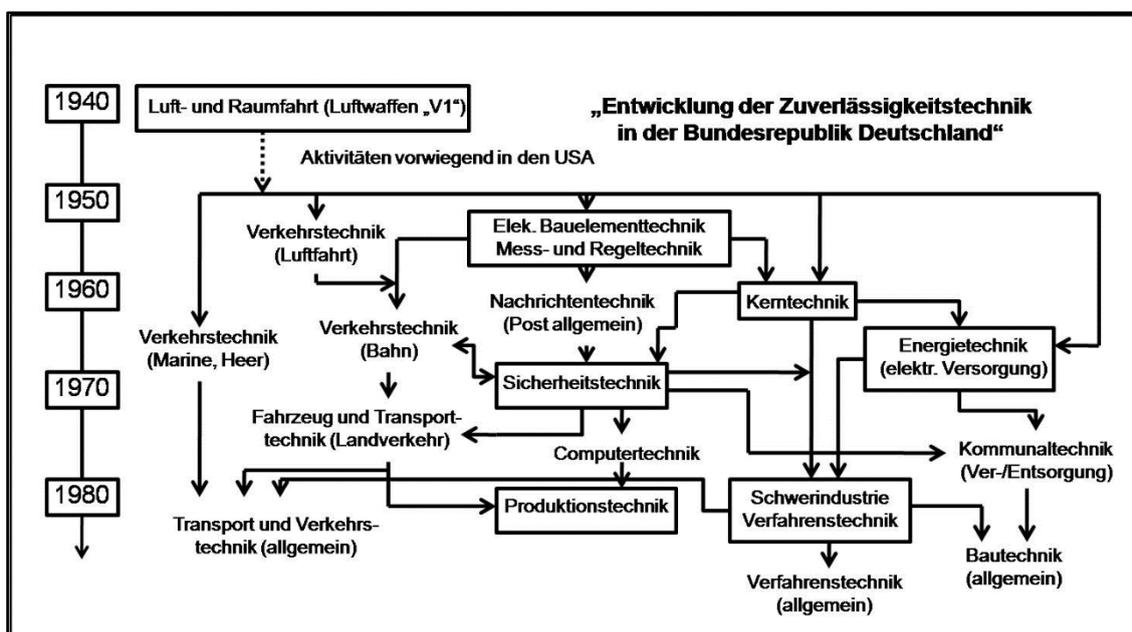


Abb. 1: Die Entwicklung der Zuverlässigkeitsmessungen in Deutschland

### 2.1.2 Die Definition der Ausfallrate

Führt eine Einheit eine geforderte Funktion nicht mehr aus, wird dies als Ausfall bezeichnet.<sup>12</sup> Ausgehend davon, dass eine Einheit zum Zeitpunkt  $t$  funktioniert, beschreibt die Ausfallrate  $\lambda(t)$  die Wahrscheinlichkeit eines Ausfalls innerhalb des Zeitintervalls  $(t; t+\Delta t)$ . Aus formaler Sicht ergibt sich die Ausfallrate  $\lambda(t)$  aus der Division der Ausfallwahrscheinlichkeitsdichte  $f(t)$  und der Überlebenswahrscheinlichkeit  $R(t)$  einer Einheit:<sup>13</sup>

$$\lambda(t) = \frac{dF(t)}{dt} \frac{1}{1-F(t)} = \frac{f(t)}{1-F(t)} = \frac{f(t)}{R(t)} = -\frac{1}{R(t)} \frac{dR(t)}{dt} \text{ mit } R(t) = 1 - F(t)$$

11 In Anlehnung an Heise, Wolfgang: Praxisbuch Zuverlässigkeit und Wartungsfreundlichkeit, R&M Programm für Automobilzulieferer und den Maschinen- und Anlagenbau, a. a. O., S. 19.

12 Vgl. Heise, Wolfgang: Praxisbuch Zuverlässigkeit und Wartungsfreundlichkeit, R&M Programm für Automobilzulieferer und den Maschinen- und Anlagenbau, a. a. O., S. 22.

13 Die Begriffe Zuverlässigkeit und Überlebenswahrscheinlichkeit werden synonym verwendet. Vgl. Neumann, Klaus: Produktions- und Operationsmanagement, Produktionsplanung, Produktionssteuerung, Produktionskontrolle, Berlin et al.: Springer Verlag 1996, S. 317. Vgl. dazu auch Sommer, Stephan: Taschenbuch automatisierte Montage- und Prüfsysteme, Qualitätstechniken zur fehlerfreien Produktion, a. a. O., S. 45 f.

Die Abkürzung  $F(t)$  steht für die Verteilungsfunktion der Lebensdauer einer Einheit und ist folgendermaßen definiert:

$$F(t) = P(T \leq t) \text{ für } t \geq 0 \text{ und } F(t) = 0 \text{ und } t \leq 0$$

Die Verteilungsfunktion der Lebensdauer  $F(t)$  gibt die Wahrscheinlichkeit an, dass die Lebensdauer  $T$  einer Einheit kleiner oder gleich  $t$  ist und addiert sich mit der Funktion der Überlebenswahrscheinlichkeit  $R(t)$  zu einhundert Prozent.<sup>14</sup> Die Praxis geht häufig von der Annahme einer konstanten Ausfallrate aus. In diesem Fall ergibt sich die Ausfallrate folgendermaßen:<sup>15</sup>

$$\lambda = \frac{\text{Anzahl der Ausfälle}}{\sum \text{Betriebsdauern}} = \frac{x}{b}$$

Trägt man die Ausfallrate  $\lambda(t)$  in Abhängigkeit von der Lebensdauer in einem Koordinatensystem ab, so wird der Verlauf als Badewannenkurve bezeichnet.<sup>16</sup> In Abbildung 2<sup>17</sup> ist die Badewannenkurve mit ihren drei Phasen dargestellt:

---

14 Vgl. Sommer, Stephan: Taschenbuch automatisierte Montage- und Prüfsysteme, Qualitätstechniken zur fehlerfreien Produktion, a. a. O., S. 45.

15 Vgl. Seaver, Matt: Gower Handbook of Quality Management, 3. Aufl., Aldershot et al.: Gower Publishing 2003, S. 123 f.

16 Vgl. Sommer, Stephan: Taschenbuch automatisierte Montage- und Prüfsysteme, Qualitätstechniken zur fehlerfreien Produktion, a. a. O., S. 45.

17 In Anlehnung an Sommer, Stephan: Taschenbuch automatisierte Montage- und Prüfsysteme, Qualitätstechniken zur fehlerfreien Produktion, a. a. O., S. 45. Dazu auch Heise, Wolfgang: Praxisbuch Zuverlässigkeit und Wartungsfreundlichkeit, R&M Programm für Automobilzulieferer und den Maschinen- und Anlagenbau, a. a. O., S. 22.

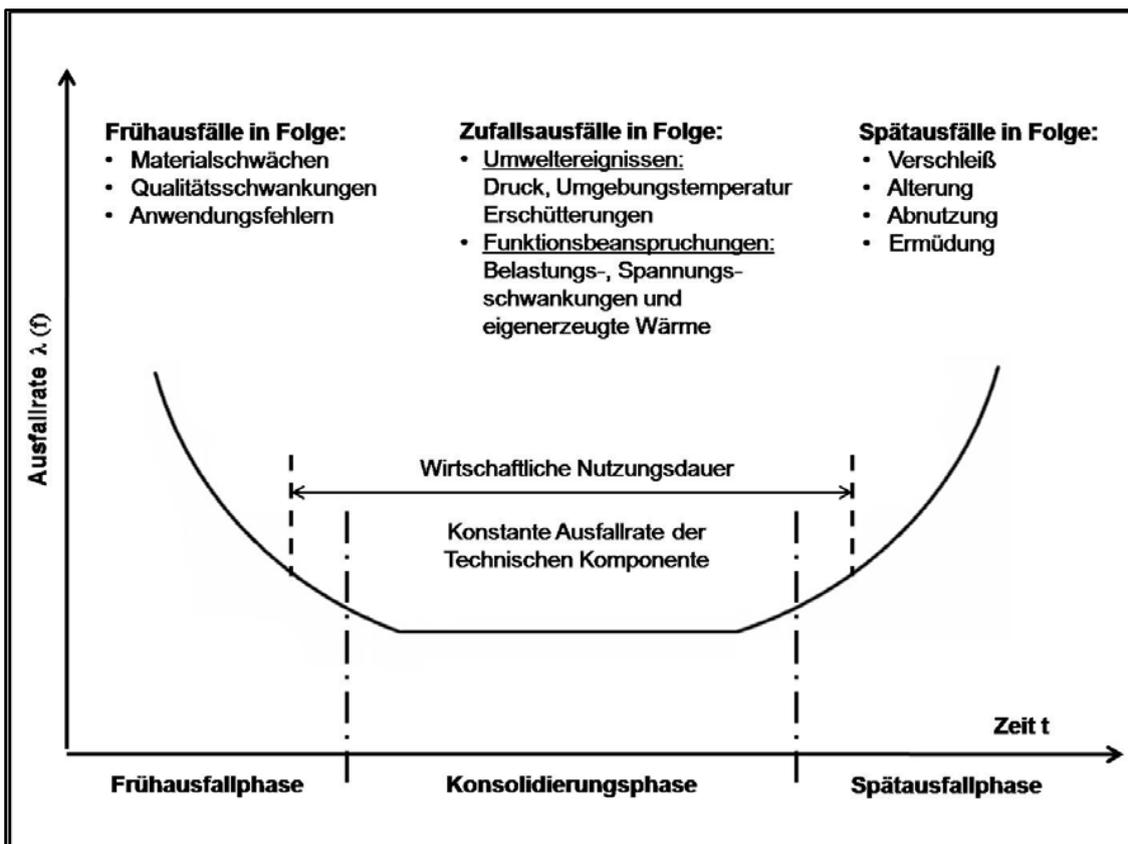


Abb. 2: Die Ausfallrate  $\lambda(t)$  in Abhängigkeit von der Zeit

### 2.1.3 Berechnung der MTBF

Die Ermittlung der Kennzahl MTBF erfolgt in Abhängigkeit von der Struktur und Definition einer Einheit. In den folgenden Ausführungen wird veranschaulicht, wie sich die MTBF bei einem Einzelement ergibt. Bei einem Einzelement besteht eine Einheit nur aus einem Objekt.<sup>18</sup> Die Verfahren zur Berechnung der MTBF eines Elements sind in der DIN Norm 40041 Nr. 3.5.3 festgelegt. Demnach ergibt sich die MTBF als „Erwartungswert zwischen zwei aufeinanderfolgenden Ausfällen“<sup>19</sup>. Die Berechnung erfolgt durch Bildung des arithmetischen Mittels, von einer Stichprobe der Betriebsdauern zwischen zwei Ausfällen im Wege der Schätzung. Werden die Verfügbarkeitszeiten einer Einheit als „Ups“ bezeichnet und die Nicht-Verfügbarkeitszeiten als „Downs“, so ergibt sich die MTBF als arithmetisches Mittel der Ups:<sup>20</sup>

18 Vgl. Konnov, Alexei: Zuverlässigkeitsberechnung und vorbeugende Wartung von komplexen technischen Systemen mittels modifizierter Markov-Methode, Dissertation, Karlsruhe: Universität Fridericana zu Karlsruhe (TU) 2007, S. 45.

19 DIN Deutsches Institut für Normung e.V.: DIN 40041, Zuverlässigkeit, Begriffe, a. a. O., S. 8 Nr. 3.5.3.

20 Vgl. DIN Deutsches Institut für Normung e.V.: DIN 40041, Zuverlässigkeit, Begriffe, a. a. O., S. 8 Nr. 3.5.3. Vgl. dazu auch Heise, Wolfgang: Praxisbuch Zuverlässigkeit und Wartungsfreundlichkeit, R&M Programm für Automobilzulieferer und den Maschinen- und Anlagenbau, a. a. O., S. 45.

$$\text{MTBF} = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n U_{p_i}$$

Sind die Betriebsdauern einer Einheit exponentiell verteilt, so lautet die Überlebenswahrscheinlichkeitsfunktion  $R(t) = e^{-\lambda \cdot t}$ . Eine exponentielle Verteilungsfunktion führt zu einer konstanten Ausfallrate, wobei die Einheit nicht altert.

Die MTBF kann sowohl mit dem Integral der Überlebenswahrscheinlichkeitsfunktion  $R(t)$  ermittelt werden als auch mit dem Kehrwert der Ausfallrate bzw. dem Quotienten aus der Summe der Betriebsdauern und der Anzahl der Ausfälle:<sup>21</sup>

$$\text{MTBF} = \int_0^{\infty} e^{-\lambda \cdot t} dt = \frac{1}{\lambda} = \frac{\sum \text{Betriebsdauern}}{\text{Anzahl der Ausfälle}} = \frac{b}{x}$$

Stehen beispielsweise in einem Drei-Schicht-Betrieb vierundzwanzig Stunden für die Produktion zur Verfügung, so ergibt sich die Betriebsdauer aus den vierundzwanzig Stunden abzüglich aller

- ungeplanten Stillstandzeiten (z. B. aus dem Fehlen von Produktionsmaterial),
- Zeiten der geplanten Instandhaltung,
- Zeiten für Werkzeugwechsel und den
- Pausen (z. B. aufgrund von Betriebsversammlungen, Sicherheitsbelehrungen oder Teambesprechungen).<sup>22</sup>

---

21 In Anlehnung an DIN Deutsches Institut für Normung e.V.: DIN 40041, Zuverlässigkeit, Begriffe, a. a. O., S. 8 Nr. 3.5.3. und Heise, Wolfgang: Praxisbuch Zuverlässigkeit und Wartungsfreundlichkeit, R&M Programm für Automobilzulieferer und den Maschinen- und Anlagenbau, a. a. O., S. 23.

22 Vgl. Heise, Wolfgang: Praxisbuch Zuverlässigkeit und Wartungsfreundlichkeit, R&M Programm für Automobilzulieferer und den Maschinen- und Anlagenbau, a. a. O., S. 153.

Die Ermittlung der MTBF wird im Folgenden an Hand einer Fräsmaschine unter Annahme einer exponentiellen Verteilung der Betriebsdauern veranschaulicht.<sup>23</sup> Eine Schicht beläuft sich auf acht Stunden. Innerhalb der letzten 5 Schichten ist es gemäß Tabelle 1 mehrfach zu Ausfällen gekommen.<sup>24</sup>

Ausfälle der Fräsmaschine			
Schicht-Nr.	Benennung der Ausfälle	Prod.-Zeit [h]	Anzahl Ausfälle
1	Neustart der Maschine, Grund unbekannt	7,5	1
2	Reparatur einer Ölundichtheit	4,5	2
3	Einstellen einer Positionseinrichtung	7	1
4	Werkzeug beschädigt	1,5	3
5	Austausch eine Näherungsschalters	5,75	1
	Summe	26,25	8

Tab. 1: Ausfälle einer Fräsmaschine<sup>25</sup>

Die MTBF ergibt sich als Verhältnis von Produktionszeit und Anzahl der Ausfälle:

$$MTBF = \frac{\text{Produktionszeit}}{\text{Anzahl der Ausfälle}} = \frac{26,25 \text{ Stunden}}{8 \text{ Ausfälle}} = 3,28125 \text{ Stunden}$$

Die MTBF beläuft sich auf ca. 3,28 Stunden.<sup>26</sup>

In den bisherigen Ausführungen wurde die MTBF für ein einzelnes Element bestimmt. In der Realität kann eine Einheit jedoch  $E_1 \dots E_n$  Elemente umfassen. Auch für komplexere Strukturen wie Serien- und Parallelsysteme ist die Ermittlung der MTBF möglich.<sup>27</sup>

23 Die Berechnung der MTBF basiert auf der reinen Produktionszeit und der Anzahl der Ausfälle.

24 In Anlehnung an Heise, Wolfgang: Praxisbuch Zuverlässigkeit und Wartungsfreundlichkeit, R&M Programm für Automobilzulieferer und den Maschinen- und Anlagenbau, a. a. O., S. 90 f.

25 In Anlehnung an Heise, Wolfgang: Praxisbuch Zuverlässigkeit und Wartungsfreundlichkeit, R&M Programm für Automobilzulieferer und den Maschinen- und Anlagenbau, a. a. O., S. 91.

26 In Anlehnung an Heise, Wolfgang: Praxisbuch Zuverlässigkeit und Wartungsfreundlichkeit, R&M Programm für Automobilzulieferer und den Maschinen- und Anlagenbau, a. a. O., S. 91.

27 Zur Ermittlung der MTBF bei Serien- und Parallelstrukturen Vgl. Konnov, Alexei: Zuverlässigkeitsberechnung und vorbeugende Wartung von komplexen technischen Systemen mittels modifizierter Markov-Methode, a. a. O., S. 45 ff. Vgl. dazu auch Putten, Anton F.P. van: Electronic Measurement Systems, Theory and Practice, 2. Aufl., Bristol et al.: IOP Publishing 1996, S. 160 ff.

## 2.2 Zuverlässigkeit, Verfügbarkeit und Mean Down Time

Die Kennzahl MTBF wirkt sich sowohl auf die Zuverlässigkeit als auch auf die Berechnung der Verfügbarkeit einer Einheit aus.<sup>28</sup> Versteht man die Zuverlässigkeit  $R$  (aus dem englischen für „reliability“) als stochastische Größe, so gibt sie die Wahrscheinlichkeit an, dass es während eines Zeitintervalls zu keinem Ausfall kommt.<sup>29</sup> Wird eine exponentiell verteilte Zuverlässigkeitsfunktion angenommen, so ergibt sich die Zuverlässigkeit in Abhängigkeit von der MTBF:<sup>30</sup>

$$R(t) = e^{-\lambda \cdot t} = e^{-\frac{1}{\text{MTBF}} \cdot t} = e^{-\frac{t}{\text{MTBF}}}$$

Die Zuverlässigkeit wird nun am Beispiel der Fräsmaschine aus Kapitel 2.1.3 veranschaulicht. Die Fräsmaschine arbeitet pro Schicht 8 Stunden und die Einsatzzeiten der letzten 5 Schichten sind in Tabelle 1 dargestellt. Die Zuverlässigkeit der letzten 5 Produktionsschichten ergibt sich aus dem MTBF-Wert in Höhe von 3,28125 Stunden und der Dauer einer Schicht:

$$R(8) = e^{-\frac{8}{3,28125}} = e^{-\frac{256}{105}} \approx 0,0873 \text{ bzw. } 8,73\%$$

Die Zuverlässigkeit beläuft sich auf ca. 8,73%.<sup>31</sup>

Die Verfügbarkeit (im engl. „availability“) ist die Fähigkeit einer Einheit, eine geforderte Funktion zu erfüllen, unter der Annahme, dass die erforderlichen Hilfsmittel bereits vorliegen.<sup>32</sup> Die Berechnung der Verfügbarkeit gliedert sich in die Berechnung der Verfügbarkeit eines vergangenen Zeitraums und in eine zukunftsorientierte Zeitpunktprognose. Bei der Zeitpunktprognose wird die Verfügbarkeit als Prognose für das zukünftige Betriebsverhalten einer Einheit berechnet.<sup>33</sup> Für instand zu setzende Einheiten

28 Vgl. Heise, Wolfgang: Praxisbuch Zuverlässigkeit und Wartungsfreundlichkeit, R&M Programm für Automobilzulieferer und den Maschinen- und Anlagenbau, a. a. O., S. 91.

29 Vgl. Heise, Wolfgang: Praxisbuch Zuverlässigkeit und Wartungsfreundlichkeit, R&M Programm für Automobilzulieferer und den Maschinen- und Anlagenbau, a. a. O., S. 22.

30 In Anlehnung an Heise, Wolfgang: Praxisbuch Zuverlässigkeit und Wartungsfreundlichkeit, R&M Programm für Automobilzulieferer und den Maschinen- und Anlagenbau, a. a. O., S. 23.

31 In Anlehnung an Heise, Wolfgang: Praxisbuch Zuverlässigkeit und Wartungsfreundlichkeit, R&M Programm für Automobilzulieferer und den Maschinen- und Anlagenbau, a. a. O., S. 90 f.

32 CEN Europäisches Institut für Normung; DIN Deutsches Institut für Normung e.V.: DIN EN 13306, Begriffe der Instandhaltung, a. a. O., S. 12, Nr. 4.1.

33 Vgl. Sommer, Stephan: Taschenbuch automatisierte Montage- und Prüfsysteme, Qualitätstechniken zur fehlerfreien Produktion, a. a. O., S. 31 f.

ergibt sich die Prognose der stationären Verfügbarkeit aus dem MTBF-Wert und der mittleren Störungsdauer „Mean Down Time“ (MDT):<sup>34</sup>

$$A_s = \frac{MTBF}{MTBF + MDT}$$

Die Mittlere Störungsdauer entspricht dem Erwartungswert der Verteilung der Störungsdauern und kann als arithmetisches Mittel der Zeiten geschätzt werden, in denen eine Einheit nicht verfügbar ist:<sup>35</sup>

$$MDT = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n \text{Down}_i$$

Im Folgenden wird gezeigt, wie die stationäre Verfügbarkeit am Beispiel einer Fertigungsanlage geschätzt werden kann. Der Betrachtungszeitraum der Einsatzzeiten der Anlage beträgt 40 Wochen und kann Abbildung 3<sup>36</sup> entnommen werden.

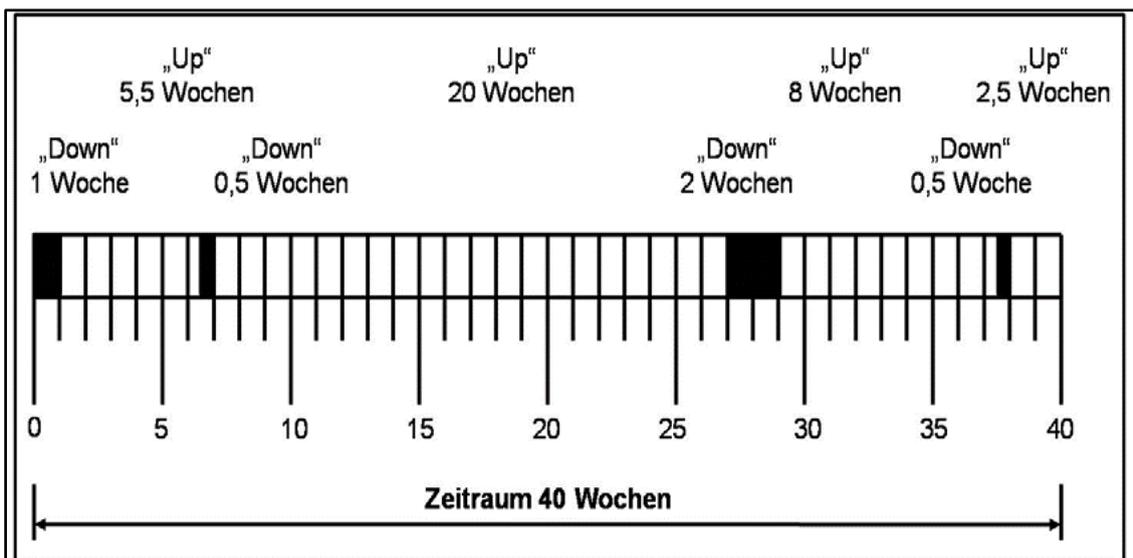


Abb. 3: Einsatzzeiten einer Fertigungsanlage

34 Vgl. DIN Deutsches Institut für Normung e.V.: DIN 40041, Zuverlässigkeit, Begriffe, a. a. O., S. 8 Nr. 3.5.8.

35 Vgl. DIN Deutsches Institut für Normung e.V.: DIN 40041, Zuverlässigkeit, Begriffe, a. a. O., S. 8 Nr. 3.5.6. Vgl. dazu auch Heise, Wolfgang: Praxisbuch Zuverlässigkeit und Wartungsfreundlichkeit, R&M Programm für Automobilzulieferer und den Maschinen- und Anlagenbau, a. a. O., S. 46.

36 In Anlehnung an Heise, Wolfgang: Praxisbuch Zuverlässigkeit und Wartungsfreundlichkeit, R&M Programm für Automobilzulieferer und den Maschinen- und Anlagenbau, a. a. O., S. 45.

Zur Ermittlung der stationären Verfügbarkeit müssen zunächst MTBF und MDT geschätzt werden:

$$\text{MTBF} = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n \text{Up}_i = \frac{1}{4} (5,5 + 20 + 8 + 2,5) = 9 \text{ Wochen}$$

$$\text{MDT} = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n \text{Down}_i = \frac{1}{4} (1 + 0,5 + 2 + 0,5) = 1 \text{ Woche}$$

Werden die MTBF- und MDT-Werte in die Formel für die Verfügbarkeit eingesetzt, so ergibt sich der Schätzwert für die Verfügbarkeit folgendermaßen:

$$A_S = \frac{\text{MTBF}}{\text{MTBF} + \text{MDT}} = \frac{9 \text{ Wochen}}{9 \text{ Wochen} + 1 \text{ Woche}} = 0,9 \text{ bzw. } 90\%$$

Die Verfügbarkeit der Fertigungsanlage beläuft sich auf 90%.<sup>37</sup>

Neben dieser Kennzahl fließt die MTBF noch in weitere Verfügbarkeitskennzahlen<sup>38</sup> ein, die in der VDI Norm 4004 Blatt 4 definiert sind. Die wichtigsten Kennzahlen sind die

- Theoretische Verfügbarkeit,
- Technische Verfügbarkeit,
- Operationelle Verfügbarkeit und die
- Praktische Verfügbarkeit.

### 2.3 Anwendungsgebiete der MTBF

Im Rahmen des Zuverlässigkeitsmanagement von technischen Erzeugnissen ist die MTBF ein wesentlicher Indikator für die Qualität eines technischen Erzeugnisses. Die zunehmende Bedeutung von Lebenszykluskosten (Life-Cycle-Cost-Management) führen zu einem verstärkten Einsatz der MTBF im Bereich des Maschinen- und Anlagenmanagements.<sup>39</sup> Im Folgenden wird der Einsatz der MTBF in den Phasen des Produktlebenszyklus eines technischen Erzeugnisses zur Qualitäts- und Zuverlässigkeitsmessung von technischen Erzeugnissen veranschaulicht.

37 Vgl. Heise, Wolfgang: Praxisbuch Zuverlässigkeit und Wartungsfreundlichkeit, R&M Programm für Automobilzulieferer und den Maschinen- und Anlagenbau, a. a. O., S. 45 f.

38 Zur Ermittlung der weiteren Verfügbarkeitskennzahlen Vgl. Verein Deutscher Ingenieure e.V.: VDI 4004 Blatt 4, Zuverlässigkeitskenngrößen, Verfügbarkeitskenngrößen, Berlin et al.: 07/1986, S. 13 Nr. 3.3.7. Vgl. dazu auch Sommer, Stephan: Taschenbuch automatisierte Montage- und Prüfsysteme, Qualitätstechniken zur fehlerfreien Produktion, a. a. O., S. 34.

39 Die Bezeichnung Lebenszykluskosten steht hier auch stellvertretend für Total-Cost-of-Ownership-Konzepte. Vgl. Heise, Wolfgang: Praxisbuch Zuverlässigkeit und Wartungsfreundlichkeit, R&M Programm für Automobilzulieferer und den Maschinen- und Anlagenbau, a. a. O., S. 5.

Der Lebenszyklus eines technischen Erzeugnisses beginnt mit der Konzept- und Studienphase. Im Rahmen der Produktentwicklung erfolgt in dieser Phase zunächst die Analyse für die auf dem Markt bestehenden Geräte und Systeme hinsichtlich Kundenerfordernissen, Zuverlässigkeit und Kosten. Ziel ist es, ein neues technisches Produkt zu entwickeln. Im Rahmen der Zuverlässigkeitsanalyse werden in dieser Phase die Grobziele für die Zuverlässigkeit des neuen Erzeugnisses festgelegt.<sup>40</sup> Grobziele sind im Allgemeinen zahlenmäßige Vorgaben wie MTBF- und MTTF-Werte.<sup>41</sup> In der Konzeptphase erfolgt die Festlegung der Standards und Verfahren zur Ermittlung und Prognose der Kennzahlen. In der Definitionsphase schließt sich, basierend auf dem ersten Grobentwurf des neuen Produktes, die Zuweisung der Zuverlässigkeitsziele auf die Teilsysteme (z. B. Baugruppen und Bauteilen) an.<sup>42</sup>

In der Entwicklungsphase ist es möglich, mit Hilfe von verschiedenen Zuverlässigkeitsmodellen die Auswirkungen verschiedenster Designs bzw. Bauteile auf die Versagenswahrscheinlichkeit zu berechnen. Sowohl in der Entwicklungsphase als auch in der Fertigungsphase wird geprüft, ob die Entwürfe bzw. Erzeugnisse, die Zuverlässigkeitsanforderungen erfüllen. Sind bestimmte geforderte MTBF- bzw. MTTF-Werte nicht erfüllt, so besteht Handlungsbedarf, einen Entwurf bzw. ein Erzeugnis zu verbessern.<sup>43</sup>

In der Nutzungsphase eines Erzeugnisses kommen die Zuverlässigkeitskennzahlen in der Instandhaltung zum Einsatz, wobei die MTBF verstärkt in der präventiven Instandhaltung von Maschinen und Anlagen verwendet wird. Ziel ist es eine hundertprozentige Verfügbarkeit von Maschinen und Anlagen zu erreichen. Die MTBF dient dort als wesentliche Kennzahl zur Optimierung der Intervalle der periodischen Instandhaltung und kommt in der Schwachstellenanalyse von Maschinen und Anlagen zur Anwendung. Ziel ist es, die Instandhaltungsaktivitäten so auszurichten, dass die MTBF gegen unendlich wächst.<sup>44</sup> Obligatorisch haben die Lieferanten von Systemkomponenten bestimmte

---

40 Vgl. Heise, Wolfgang: Praxisbuch Zuverlässigkeit und Wartungsfreundlichkeit, R&M Programm für Automobilzulieferer und den Maschinen- und Anlagenbau, a. a. O., S. 30.

41 Die MTTF ist die Betriebsdauer bis zum Ausfall und wird auf nicht-reparierbare Einheiten angewendet. Vgl. Konnov, Alexei: Zuverlässigkeitsberechnung und vorbeugende Wartung von komplexen technischen Systemen mittels modifizierter Markov-Methode, a. a. O., S. 33.

42 Vgl. Heise, Wolfgang: Praxisbuch Zuverlässigkeit und Wartungsfreundlichkeit, R&M Programm für Automobilzulieferer und den Maschinen- und Anlagenbau, a. a. O., S. 30f.

43 Vgl. Heise, Wolfgang: Praxisbuch Zuverlässigkeit und Wartungsfreundlichkeit, R&M Programm für Automobilzulieferer und den Maschinen- und Anlagenbau, a. a. O., S. 34f.

44 Für eine Reihe von Maßnahmen, die zu einer Verbesserung des MTBF-Werts einer Anlage führen Vgl. May, Constantin; Schimek, Peter: Total Productive Management, Grundlagen und Einführung von TPM - oder wie Sie Operational Excellence erreichen, Ansbach: CETPM Publ. 2008, S. 43 ff. Vgl. dazu auch Reitz, Andreas: Lean TPM, In 12 Schritten zum schlanken Managementsystem, a. a. O., S. 157 ff.

vertraglich vereinbarte Kennzahlenwerte einzuhalten. Ist das nicht der Fall, hat das ggf. die unentgeltliche Lieferung von Ersatzteilen zur Folge.<sup>45</sup>

Zur Umsetzung von Instandhaltungszielen und Maßnahmen bietet sich der Einsatz von Instrumenten wie der Balance Scorecard der Instandhaltung und der PDCA der Instandhaltung an. Die MTBF ist in beiden Instrumenten Indikator für die Verfügbarkeit einer Anlage.<sup>46</sup>

## 3 Methoden und Werkzeuge

### 3.1 Verfahren zur Ermittlung und Aggregation der MTBF

Die Ausführungen im folgenden Kapitel erläutern die Optionen zur Ermittlung der MTBF sowie die Darstellung hinsichtlich der Aggregationsmöglichkeiten der berechneten Kennzahl. Die MTBF kann während

- der Konstruktion,
- der Montage/Inbetriebnahme oder
- des während des laufenden Betriebs

eines technischen Erzeugnisses ermittelt bzw. berechnet werden.<sup>47</sup>

In der Konstruktionsphase erfolgt zunächst eine Marktanalyse hinsichtlich der Entwicklung eines neuen technischen Produktes. Erste MTBF-Werte können an Hand von bereits auf dem Markt existierenden und vergleichbaren Produkten ermittelt werden.<sup>48</sup> In der ersten Entwicklung eines Erzeugnisses erfolgt die Verwendung von Bauteilen externer Lieferanten. Sie haben oft MTBF-Werte über ihre Produkte vorliegen und können diese Informationen an ihre Kunden weiterleiten. Mögliche Aussagen über MTBF-Werte finden sich auch in Vorschlägen zu Ersatzteillisten bzw. Hinweisen zur Ersatzteilbevorratung. Ist ein Produkt bereits in Fertigung, so erhalten die Konstrukteure aus der Montage / Inbetriebnahme und der Produktion Feedback-Berichte hinsichtlich der Verbesserung von Bauteilen. Diese Berichte können ebenfalls MTBF-Werte enthalten.<sup>49</sup>

---

45 Vgl. Heise, Wolfgang: Praxisbuch Zuverlässigkeit und Wartungsfreundlichkeit, R&M Programm für Automobilzulieferer und den Maschinen- und Anlagenbau, a. a. O., S. 35.

46 Vgl. Matyas, Kurt: Taschenbuch Instandhaltungslogistik, Qualität und Produktivität steigern, 3., überarb. Aufl., München et al.: Carl Hanser Verlag 2008, S. 97. Vgl. dazu auch Reitz, Andreas: Lean TPM, In 12 Schritten zum schlanken Managementsystem, a. a. O., S. 164.

47 In Anlehnung an Heise, Wolfgang: Praxisbuch Zuverlässigkeit und Wartungsfreundlichkeit, R&M Programm für Automobilzulieferer und den Maschinen- und Anlagenbau, a. a. O., S. 59.

48 Vgl. Heise, Wolfgang: Praxisbuch Zuverlässigkeit und Wartungsfreundlichkeit, R&M Programm für Automobilzulieferer und den Maschinen- und Anlagenbau, a. a. O., S. 30.

49 Vgl. Heise, Wolfgang: Praxisbuch Zuverlässigkeit und Wartungsfreundlichkeit, R&M Programm für Automobilzulieferer und den Maschinen- und Anlagenbau, a. a. O., S. 59.

Die MTBF kann auch mittels Verwendung von Zuverlässigkeitshandbüchern bzw. Datenbanken geschätzt werden. Dabei geschieht die Ermittlung der MTBF mittels Schätzung der Ausfallrate  $\lambda$ .<sup>50</sup> Grundsätzlich wird zwischen der Bauteilzählmethode (Parts Count Method) und der Bauteilbelastungsmethode (Parts Stress Method) unterschieden. Bei der Bauteilzählmethode wird die Ausfallrate an Hand von Felddaten oder mittels Faktoren für Umwelt-, Technologie-, und Qualitätsbedingungen geschätzt. Bei diesem Verfahren hat jedes im System befindliche Element (z. B. ein Widerstand) eine eigene Formel und Berechnung. Für Bauteilbelastungsanalysen von elektronischen/elektromechanischen und mechanischen Bauteilen existieren umfangreiche Datenbanken bzw. Handbücher, mit denen die Ausfallrate ermittelt werden kann.<sup>51</sup> Ist eine Maschine bzw. Anlage in Montage bzw. geht sie in Betrieb, so können sowohl erste Maschinenmessungen beim Hersteller als auch beim Betreiber der Maschine durchgeführt werden. Während des laufenden Betriebs einer Maschine können Maschinendaten zur MTBF-Ermittlung bei vollem Einsatz der Maschine ermittelt werden.<sup>52</sup>

Nach Berechnung der MTBF-Werte einer Anlage sind die Daten systematisch zusammenzutragen und zu verdichten, so dass die berechneten Werte aussagekräftige Urteile über den Zustand einer Maschine bzw. Anlage zulassen. Die Aggregation von MTBF-Werten hängt von der Struktur und dem Aufbau einer Anlage ab.<sup>53</sup>

Im Folgenden wird an Hand eines Loses aus 51 Drehmaschinen veranschaulicht, wie aus mehreren separaten Anlagen ein gesamter MTBF-Wert ermittelt werden kann. Jede Drehmaschine besteht aus einzelnen Baugruppen, die auf Grund ihrer maschinen- und prozesstechnischen Wirkungsweise als Reihenschaltung angesehen werden können und

---

50 In Anlehnung an Sommer, Stephan: Taschenbuch automatisierte Montage- und Prüfsysteme, Qualitätstechniken zur fehlerfreien Produktion, a. a. O., S. 44 ff.

51 Vgl. Sommer, Stephan: Taschenbuch automatisierte Montage- und Prüfsysteme, Qualitätstechniken zur fehlerfreien Produktion, a. a. O., S. 53 f. Die wichtigsten Datenbanken bzw. Handbücher zur Ausfallraten-Schätzung sind zu finden ab S. 55 ff.

52 Vgl. Heise, Wolfgang: Praxisbuch Zuverlässigkeit und Wartungsfreundlichkeit, R&M Programm für Automobilzulieferer und den Maschinen- und Anlagenbau, a. a. O., S. 59.

53 Siehe auch Kapitel 2.1.3. Vgl. Heise, Wolfgang: Praxisbuch Zuverlässigkeit und Wartungsfreundlichkeit, R&M Programm für Automobilzulieferer und den Maschinen- und Anlagenbau, a. a. O., S. 52.

über einen Zeitraum von 4000 Stunden beobachtet wurden.<sup>54</sup> In Tabelle 2<sup>55</sup> wird veranschaulicht, wie sich der MTBF-Wert für das gesamte Los ergibt:

Baugruppe	Anzahl der Ausfälle	Berechnung der MTBF	MTBF Wert in Stunden
Werkzeug	288	$(4.000 * 51) / 288$	708
Hilfseinrichtung	195	$(4.000 * 51) / 195$	1.046
Handhabung	146	$(4.000 * 51) / 146$	1.397
Werkstückspannung	84	$(4.000 * 51) / 84$	2.429
Achsen	72	$(4.000 * 51) / 72$	2.833
Schaltbare Werkzeugträger	42	$(4.000 * 51) / 42$	4.857
Hauptantrieb	32	$(4.000 * 51) / 32$	6.375
Sonstiges	9	$(4.000 * 51) / 9$	22.667
Summe	868	$(4.000 * 51) / 868$	235

Tab. 2: Ermittlung der MTBF für ein Los aus 51 Drehmaschinen

Der MTBF-Wert für das Los aus 51 Maschinen beläuft sich auf 235 Stunden.<sup>56</sup>

### 3.2 Aufbau eines Informationssystems

Die Ermittlung von Kennzahlen wie der MTBF ist mit der Auswertung einer großen Datenmenge verbunden. Voraussetzung für die optimale Analyse von Anlagenkennzahlen ist ein effizientes Datenmanagement. Die wesentlichen Parameter hierfür werden in einem Datenmodell dargestellt. Es erfolgt für die unterschiedlichen Phasen des Lebenszyklus einer Maschine die Festlegung hinsichtlich Ermittlung, Aufbereitung und Archivierung des Datenmaterials. Ziel ist es, einen vollständigen Überblick über den Datenfluss einer Anlage zu erhalten. Die Daten sollten bereits am Ort der Entstehung so erfasst bzw. verfasst werden, dass das Datenmaterial strukturiert und zügig in eine Datenbank übertragen werden kann.<sup>57</sup> Damit eine Berechnung der MTBF aus den Maschinendaten einer Anlage möglich ist, sollten die folgenden Daten<sup>58</sup> erfasst werden:

- Stationsnummer bzw. Kennzeichnungs-Nummer der Anlage;
- Prozesskennzeichnung, bei dem ein Fehler auftritt;
- Standort der Anlage zur Fehlerlokalisierung;
- Fehlerbeschreibung;

54 Vgl. Heise, Wolfgang: Praxisbuch Zuverlässigkeit und Wartungsfreundlichkeit, R&M Programm für Automobilzulieferer und den Maschinen- und Anlagenbau, a. a. O., S. 52.

55 In Anlehnung an Heise, Wolfgang: Praxisbuch Zuverlässigkeit und Wartungsfreundlichkeit, R&M Programm für Automobilzulieferer und den Maschinen- und Anlagenbau, a. a. O., S. 53.

56 Vgl. Heise, Wolfgang: Praxisbuch Zuverlässigkeit und Wartungsfreundlichkeit, R&M Programm für Automobilzulieferer und den Maschinen- und Anlagenbau, a. a. O., S. 53.

57 Vgl. Heise, Wolfgang: Praxisbuch Zuverlässigkeit und Wartungsfreundlichkeit, R&M Programm für Automobilzulieferer und den Maschinen- und Anlagenbau, a. a. O., S. 49f.

58 In Anlehnung an Heise, Wolfgang: Praxisbuch Zuverlässigkeit und Wartungsfreundlichkeit, R&M Programm für Automobilzulieferer und den Maschinen- und Anlagenbau, a. a. O., S. 51.

- Datum, Uhrzeit, Schicht eines Ausfalls;
- Betriebsdauer und Stillstandzeit;
- Anzahl der Ausfälle.

Die Erfassung von Maschinendaten kann grundsätzlich automatisch oder manuell erfolgen.<sup>59</sup> Bestimmte technische Funktionen von Maschinen- und Produktionsanlagen, die früher über mechanische oder elektrotechnische Komponenten gesteuert wurden, können heute über Software bzw. Standard-IT realisiert werden. Somit stellen Maschinen und Anlagen mit ihrer Automatisierungstechnik selbst ein komplexes Informationssystem dar. Die Bediener einer Maschine nutzen industrietaugliche Personal-Computer als Schnittstelle zur Maschine, zu weiteren übergeordneten Softwaresystemen oder zur Kommunikation mit dem Internet.<sup>60</sup> Moderne IT-Systeme ermöglichen es, dass die Daten von einer Maschine in unterschiedliche Funktionsebenen eines Unternehmens verteilt werden können. Die Kennzahl MTBF kann grundsätzlich auf allen Funktionsebenen zur Analyse von Maschinen und Anlagen eingesetzt werden. In Abbildung 4<sup>61</sup> werden die horizontale und vertikale Integration von Maschinen- und Anlagendaten in einem Fertigungsunternehmen dargestellt sowie die einzelnen Informationssysteme, auf die die einzelnen Funktionsebenen zugreifen. Die Informationssysteme stehen miteinander in Beziehung.<sup>62</sup>

---

59 Vgl. Kletti, Jürgen (Hrsg.): MES Manufacturing Execution System, Moderne Informationstechnologie zur Prozessfähigkeit der Wertschöpfung, Berlin et al.: Springer Verlag 2006, S. 32.

60 Vgl. Kletti, Jürgen (Hrsg.): MES Manufacturing Execution System, Moderne Informationstechnologie zur Prozessfähigkeit der Wertschöpfung, a. a. O., S. 69 f.

61 In Anlehnung an Kletti, Jürgen (Hrsg.): MES Manufacturing Execution System, Moderne Informationstechnologie zur Prozessfähigkeit der Wertschöpfung, a. a. O., S. 36 ff.

62 Vgl. Kletti, Jürgen (Hrsg.): MES Manufacturing Execution System, Moderne Informationstechnologie zur Prozessfähigkeit der Wertschöpfung, a. a. O., S. 36 ff.

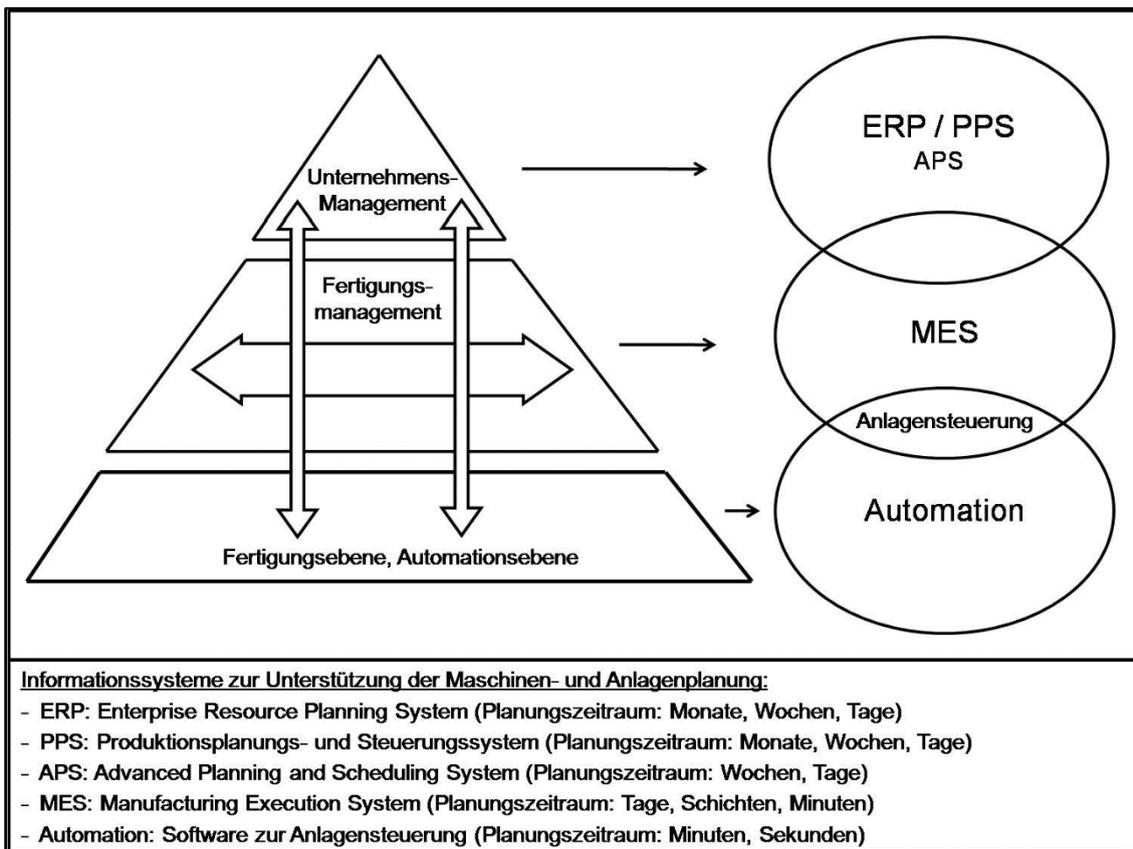


Abb. 4: Datenverteilung und Informationssysteme in Fertigungsunternehmen

Verwendet das Unternehmensmanagement beispielsweise das ERP System mySAP, so können mittels der Schnittstellensoftware SAP NetWeaver Daten aus dem MES bzw. Fertigungsmanagement fließen.<sup>63</sup> SAP kann in NetWeaver Business-Intelligence-vorkonfigurierte Objekte wie MTBF-Daten zur Verfügung stellen und ein Manager ist in der Lage, diese Daten entweder bei Bedarf abzufragen oder sich regelmäßig zukommen zu lassen.<sup>64</sup>

63 Vgl. Kletti, Jürgen (Hrsg.): MES Manufacturing Execution System, Moderne Informationstechnologie zur Prozessfähigkeit der Wertschöpfung, a. a. O., S. 221.

64 Vgl. Liebstückel, Karl: Instandhaltung mit SAP, SAP Press, Bonn: Galileo Press 2008, S. 372 ff.

### 3.3 Werkzeuge der MTBF

Die MTBF wird im Lebenszyklus eines technischen Erzeugnisses kontinuierlich ermittelt und überwacht.<sup>65</sup> Für die Darstellung und Ermittlung der MTBF gibt es eine Reihe von Werkzeugen, die zum Teil erforderlich bzw. unterstützend sind. Für die Darstellung von MTBF-Daten werden zumeist Tabellen und Grafiken (z. B. Stab- und Säulendiagramme, Kurvendiagramme, spezielle statische Darstellungsformen) eingesetzt.<sup>66</sup>

Im Bereich der Zuverlässigkeitsmessung von technischen Erzeugnissen werden oft mehrere Kennzahlen angewendet. Im Bereich der Maschinen- und Anlagenüberwachung bietet sich der Einsatz von Kennzahlencockpits bzw. „Performance Dashboards“ an. Dabei werden wesentliche Informationen bzw. Indikatoren zu einer Maschine bzw. Anlage strukturiert zusammengefasst und grafisch dargestellt. Bei Performance Dashboards werden die Daten mittels Softwareunterstützung auf einen Bildschirm übertragen, so dass eine Reihe von Kennzahlen und andere Diagramme wie eine Instrumententafel aussehen.<sup>67</sup>

Für die Berechnung bzw. Ermittlung der MTBF sind einheitliche Standards und Normen von grundlegender Bedeutung. Für eine einheitliche Ermittlung von Kennzahlen stellen institutionelle Normen (wie z. B. DIN Normen und VDI Normen in Deutschland) ein wesentliches Werkzeug dar. Diese Normen umfassen grundsätzliche Definitionen von Begriffen, mathematische Formeln zur Kennzahlenermittlung und einiges mehr. So enthält die VDI Richtlinie 2885 beispielsweise Formulare zur Erfassung von Maschinen- und Anlagendaten, mit denen die MTBF berechnet werden kann.<sup>68</sup>

Die Ermittlung der MTBF ist mittels diverser Softwarepakete möglich. Vertreiber des Programms „Exar“ ist die Firma SGS Germany GmbH. Der Einsatz von Exar wird zur Zuverlässigkeitsmessung von technischen Erzeugnissen eingesetzt. Die MTBF-Ermittlung vollzieht sich mittels Schätzung von Ausfallraten.<sup>69</sup> Im Rahmen der Instandhaltung von Maschinen- und Anlagen gibt es u. a. das Programm „TPM-Toolset“ von der Web Site Engineering GmbH. In diesem Programm steht unter dem Modul „Key-Performance-Indikatoren“ die Möglichkeit einer MTBF-Berechnung zur Verfügung.

65 Vgl. Reitz, Andreas: Lean TPM, In 12 Schritten zum schlanken Managementsystem, a. a. O., S. 164.

66 Vgl. Rinne, Horst: Taschenbuch der Statistik, 3., überarb. Aufl., Frankfurt: Verlag Harri Deutsch 2003, S. 20 f.

67 In Anlehnung an: Turban, Efraim; Leidner, Dorothy; McLean, Ephraim; Wetherbe, James: Information Technology for Management, Transforming Organizations in the Digital Economy, 6. Aufl., Hoboken et al., John Wiley & Sons 2008, 460 f.

68 Siehe auch Kapitel 2.1.1. Vgl. Verein Deutscher Ingenieure e.V.: VDI 2885, Einheitliche Daten für die Instandhaltungsplanung und Ermittlung von Instandhaltungskosten, Daten und Datenermittlung, Berlin et al.: 12/2003, S. 8 Nr. 3.3.3.

69 Vgl. SGS Germany GmbH: EXAR, Ein Softwarepaket zur Berechnung von Ausfallraten, Online im Internet: <http://www.sgs-cqe.de/mtbf-berechnung-mit-exar.html>, 11.10.2009.

Bestimmte Ausfallzeiten nimmt das Programm über ein Datenerfassungstool auf. Das Programm kann über beliebige Zeiträume diese MTBF berechnen, grafisch darstellen oder auch über mehrere Ebenen aggregieren.<sup>70</sup>

## 4 Die MTBF in der Automobilwirtschaft

Die MTBF dient in der Automobilwirtschaft als wichtige Kennzahl zur Überwachung der Lebenszykluskosten von Maschinen und Anlagen. So haben beispielsweise die Daimler AG mit dem Maintenance-Total-Cost-of-Ownership (M-TCO) Konzept und die Ford Motor Company mit dem Ford Total Productive Maintenance System (FTPM) eigene Konzepte zur Optimierung der Lebenszykluskosten ihrer Maschinen und Anlagen implementiert. Im M-TCO-Verfahren müssen Lieferanten von Maschinen und Anlagen bestimmte MTBF-Werte vertraglich zusichern. Im Rahmen der Inbetriebnahme einer Anlage wird eine neue Anlage überprüft und gemäß den Vertragsbedingungen an die neuen Gegebenheiten angepasst. Ist eine Anlage in Betrieb, so werden die MTBF-Werte einer Anlage an Hand von Grenzwerten überwacht. Die Überwachungsdauer hängt von der vertraglich vereinbarten Vertragslaufzeit ab. Der Lieferant erhält regelmäßig Berichte mit MTBF-Werten seiner Erzeugnisse. Bei Verletzung der Grenzwerte erhält dieser sofort einen Bericht und es werden Verbesserungsmaßnahmen eingeleitet. In Abhängigkeit von der Grenzwertüberschreitung erfolgt eine Kostenbeteiligung des Lieferanten an der Instandhaltungsmaßnahme.<sup>71</sup>

Als Pionier im Bereich des Maschinen- und Anlagenmanagements kann die Ford Motor Company gelten. So startete diese bereits Ende der 1990er Jahre in den USA und im Kölner Werk eine umfangreiche Lebenszykluskostenanalyse. Im Rahmen einer Ausschreibung waren die Lieferanten aufgefordert, Zuverlässigkeitsparameter wie MTBF und MTTR (Mean Time To Repair bzw. Mittlere Reparaturdauer) durch Dokumente, Testdaten und Prognosen vorzulegen. Ford fixierte an Hand von Betriebs- und Einsatzbedingungen spezifische Grenzwertangaben und entwickelte in Zusammenarbeit mit den Lieferanten Angebote, die den Vertragsanforderungen entsprachen.<sup>72</sup>

70 Für weitere Informationen zum Softwarepaket TTS siehe Web-Site-Engineering GmbH: TPM-Toolset: Total Productive Management mit dem TPM Toolset, Online im Internet: <http://www.tpm-software.com/wps/transmit/home/tts/>, 11.10.2009.

71 Vgl. Heise, Wolfgang: Praxisbuch Zuverlässigkeit und Wartungsfreundlichkeit, R&M Programm für Automobilzulieferer und den Maschinen- und Anlagenbau, a. a. O., S. 74. Vgl. dazu auch: Albrecht, Volker; Wetzlar, Peter: M-TCO - Daimler AG, in: Lebenszykluskosten optimieren, Paradigmenwechsel für Anbieter und Nutzern von Investitionsgütern, Hrsg.: Schweiger, Stefan, Wiesbaden: Gabler Verlag 2009, S. 84 f.

72 Vgl. Zick, Wolfgang: Wie LCC-Management die Produktionstechnik und die Instandhaltung verändert, in: Betriebliche Instandhaltung, Hrsg.: VDI; Reichel, Jens; Müller, Gerhard; Mandelartz, Johannes, Berlin et al.: Springer Verlag 2009, S. 101 f.

## 5 Kritische Würdigung und Anwendungsempfehlungen

Unternehmen wie die Ford Motor Company und die Daimler AG zeigen, dass die MTBF vielfach für die Zuverlässigkeitsmessung und Lebenszykluskostenoptimierung einer Maschine oder Anlage zum Einsatz kommen.<sup>73</sup> Voraussetzung für die erfolgreiche Anwendung der MTBF ist eine offene Kommunikation zwischen Unternehmen und Lieferanten.<sup>74</sup> In der Literatur besteht Dissens, ob es einen allgemeinen Zusammenhang zwischen Zuverlässigkeit und Kosten gibt.<sup>75</sup> Besonders asiatische Führungstheorien, wie das Total Productive Management, sehen das Optimum der MTBF im Maximum. Ziel ist demnach eine kontinuierliche Steigerung der MTBF.<sup>76</sup> Ein optimaler Wert der MTBF sollte im Minimum der Lebenszykluskosten liegen.<sup>77</sup>

Die effiziente Anwendung der MTBF setzt ein einheitliches Begriffsverständnis voraus. DIN- und VDI-Normen kommen in der deutschsprachigen Literatur viel zu selten als wesentliches Werkzeug der MTBF zur Geltung. Softwarepakete, in denen beispielsweise MTBF-Werte basierend auf Schichtdaten ermittelt werden, zeigen, dass noch erheblicher Verbesserungsbedarf besteht.<sup>78</sup> So bringen eine Reihe von Autoren nicht nur verschiedene Definitionen der MTBF zu Tage, sondern treffen auch inkonsistente Annahmen, in denen eine Reihe von Kennzahlen (selbst innerhalb einer Kennzahlensystems) gleichgesetzt werden.<sup>79</sup> So können Kennzahlen wie die MTBF in der Praxis falsch interpretiert und angewendet werden.

---

73 Siehe auch Kapitel 4.

74 Vgl. Zick, Wolfgang: Wie LCC-Management die Produktionstechnik und die Instandhaltung verändert, in: Betriebliche Instandhaltung, Hrsg.: VDI; Reichel, Jens; Müller, Gerhard; Mandelartz, Johannes, a. a. O., S. 107 f.

75 Vgl. Heise, Wolfgang: Praxisbuch Zuverlässigkeit und Wartungsfreundlichkeit, R&M Programm für Automobilzulieferer und den Maschinen- und Anlagenbau, a. a. O., S. 31.

76 Vgl. Reitz, Andreas: Lean TPM, In 12 Schritten zum schlanken Managementsystem, a. a. O., S. 162. Siehe auch Kapitel 2.3.

77 Vgl. Heise, Wolfgang: Praxisbuch Zuverlässigkeit und Wartungsfreundlichkeit, R&M Programm für Automobilzulieferer und den Maschinen- und Anlagenbau, a. a. O., S. 31 f.

78 Siehe auch Kapitel 3.3.

79 Ein Beispiel zur Gleichsetzung von MTTF und MTBF findet sich bei Konnov, Alexei: Zuverlässigkeitsberechnung und vorbeugende Wartung von komplexen technischen Systemen mittels modifizierter Markov-Methode, a. a. O., S. 33.

## Literaturverzeichnis

1. **Albrecht, Volker; Wetzel, Peter:** M-TCO - Daimler AG, in: Lebenszykluskosten optimieren, Paradigmenwechsel für Anbieter und Nutzern von Investitionsgütern, Hrsg.: Schweiger, Stefan, Wiesbaden: Gabler Verlag 2009, S. 81-95.
2. **CEN Europäisches Institut für Normung; DIN Deutsches Institut für Normung e.V.:** DIN EN 13306, Begriffe der Instandhaltung, Berlin et al.: 09/2001.
3. **DIN Deutsches Institut für Normung e.V.:** DIN 40041, Zuverlässigkeit, Begriffe, Berlin: 12/1990.
4. **Heise, Wolfgang:** Praxisbuch Zuverlässigkeit und Wartungsfreundlichkeit, R&M Programm für Automobilzulieferer und den Maschinen- und Anlagenbau, München et al.: Carl Hanser Verlag 2002.
5. **Kletti, Jürgen (Hrsg.):** MES Manufacturing Execution System, Moderne Informationstechnologie zur Prozessfähigkeit der Wertschöpfung, Berlin et al.: Springer Verlag 2006.
6. **Konnov, Alexei:** Zuverlässigkeitsberechnung und vorbeugende Wartung von komplexen technischen Systemen mittels modifizierter Markov Methode, Dissertation, Karlsruhe: Universität Fridericana zu Karlsruhe (TU) 2007.
7. **Liebstückel, Karl:** Instandhaltung mit SAP, SAP Press, Bonn: Galileo Press 2008.
8. **Matyas, Kurt:** Taschenbuch Instandhaltungslogistik, Qualität und Produktivität steigern, 3., überarb. Aufl., München et al.: Carl Hanser Verlag 2008.
9. **Mörtenhummer, Monika; Mörtenhummer Harald (Hrsg.):** Zitate im Management, Das Beste von 2000 Top-Performern und Genies aus 2000 Jahren Weltwirtschaft, Wien: Linde Verlag 2008.
10. **Neumann, Klaus:** Produktions- und Operationsmanagement, Produktionsplanung, Produktionssteuerung, Produktionskontrolle, Berlin et al.: Springer Verlag 1996.
11. **Putten, Anton F.P. van:** Electronic Measurement Systems, Theory and Practice, 2. Aufl., Bristol et al.: IOP Publishing 1996.
12. **Reitz, Andreas:** Lean TPM, In 12 Schritten zum schlanken Managementsystem, München: mi-Fachverlag 2008.
13. **Rinne, Horst:** Taschenbuch der Statistik, 3., überarb. Aufl., Frankfurt a.M.: Verlag Harri Deutsch 2003.

14. **Seaver, Matt:** Gower Handbook of Quality Management, 3. Aufl., Aldershot et al.: Gower Publishing 2003.
15. **SGS Germany GmbH:** EXAR, Ein Softwarepaket zur Berechnung von Ausfallraten, Online im Internet: <http://www.sgs-cqe.de/mtbf-berechnung-mit-exar.html>, 11.10.2009.
16. **Simon, Hermann:** Die besten Zitate und Aphorismen für Manager, in: Handelsblatt Management Bibliothek, Band 6, Hrsg.: Campusverlag; Verlagsgruppe Handelsblatt, Frankfurt et al.: Campusverlag 2005.
17. **Sommer, Stephan:** Taschenbuch automatisierte Montage- und Prüfsysteme, Qualitätstechniken zur fehlerfreien Produktion, München et al.: Carl Hanser Verlag 2008.
18. **Turban, Efraim; Leidner, Dorothy; McLean, Ephraim; Wetherbe, James:** Information Technology for Management, Transforming Organizations in the Digital Economy, 6. Aufl., Hoboken et al.: John Wiley & Sons 2008.
19. **Verein Deutscher Ingenieure e.V.:** VDI 4004 Blatt 4, Zuverlässigkeitskenngrößen, Verfügbarkeitskenngrößen, Berlin et al.: 07/1986.
20. **Verein Deutscher Ingenieure e.V.:** VDI 2885, Einheitliche Daten für die Instandhaltungsplanung und Ermittlung von Instandhaltungskosten, Daten und Datenermittlung, Berlin et al.: 12/2003.
21. **Web-Site-Engineering GmbH:** TPM-Toolset: Total Productive Management mit dem TPM Toolset, Online im Internet: <http://www.tpm-software.com/wps/transmit/home/tts/>, 11.10.2009.
22. **Zick, Wolfgang:** Wie LCC-Management die Produktionstechnik und die Instandhaltung verändert, in: Betriebliche Instandhaltung, Hrsg.: VDI; Reichel, Jens; Müller, Gerhard; Mandelartz, Johannes, Berlin et al.: Springer Verlag 2009, S. 98-109.



- Reihe:**           **Arbeitspapiere Wirtschaftsinformatik** (ISSN 1613-6667)
- Bezug:**           <http://wiwi.uni-giessen.de/home/Schwickert/arbeitspapiere/>
- Herausgeber:** Prof. Dr. Axel C. Schwickert  
Prof. Dr. Bernhard Ostheimer  
  
c/o Professur BWL – Wirtschaftsinformatik  
Justus-Liebig-Universität Gießen  
Fachbereich Wirtschaftswissenschaften  
Licher Straße 70  
D – 35394 Gießen  
Telefon (0 64 1) 99-22611  
Telefax (0 64 1) 99-22619  
eMail: [Axel.Schwickert@wirtschaft.uni-giessen.de](mailto:Axel.Schwickert@wirtschaft.uni-giessen.de)  
<http://wi.uni-giessen.de>
- Ziele:**           Die Arbeitspapiere dieser Reihe sollen konsistente Überblicke zu den Grundlagen der Wirtschaftsinformatik geben und sich mit speziellen Themenbereichen tiefergehend befassen. Ziel ist die verständliche Vermittlung theoretischer Grundlagen und deren Transfer in praxisorientiertes Wissen.
- Zielgruppen:**   Als Zielgruppen sehen wir Forschende, Lehrende und Lernende in der Disziplin Wirtschaftsinformatik sowie das IT-Management und Praktiker in Unternehmen.
- Quellen:**       Die Arbeitspapiere entstehen aus Forschungsarbeiten, Abschluss-, Studien- und Projektarbeiten sowie Begleitmaterialien zu Lehr- und Vortragsveranstaltungen der Professur BWL – Wirtschaftsinformatik, Univ. Prof. Dr. Axel C. Schwickert, Justus-Liebig-Universität Gießen sowie der Professur für Wirtschaftsinformatik, insbes. medienorientierte Wirtschaftsinformatik, Fachbereich Wirtschaft, Hochschule Mainz.
- Hinweise:**      Wir nehmen Ihre Anregungen und Kritik zu den Arbeitspapieren aufmerksam zur Kenntnis und werden uns auf Wunsch mit Ihnen in Verbindung setzen.  
  
Falls Sie selbst ein Arbeitspapier in der Reihe veröffentlichen möchten, nehmen Sie bitte mit dem Herausgeber unter obiger Adresse Kontakt auf.  
  
Informationen über die bisher erschienenen Arbeitspapiere dieser Reihe erhalten Sie unter der Adresse <http://wi.uni-giessen.de>.