

## **Modul 3**

# **ZUVERLÄSSIGKEIT UND ANLAGENVERFÜGBARKEIT**

### **3.1 Definition der Zuverlässigkeit**

Die Zuverlässigkeit ist die Wahrscheinlichkeit einer Anlage, die in einer bestimmten Zeit und unter bestimmten Bedingungen gewünschte Funktionen erfüllen kann.

### **3.2 Bedeutung der Zuverlässigkeit**

- Im Jahre 1985 gab es den schlimmsten Unfall in der Geschichte der indischen Industrie in Union Carbide Fabrik, im Bundesstaat Bhopal. Dieser Unfall hat Tausenden Menschen das Leben gekostet. Außerdem gab es Hunderttausende Verletzte.
- Das Weltraumschiff Challenger hat im Januar 1986 in der Luft explodiert.
- Im April 1986 gab es den schlimmsten Unfall in der Geschichte im Atomwerk in Chernobyl, UdSSR. Folgen waren Durchsickerung von radioaktiven Strahlen in die Luftatmosphäre der UdSSR und vieler anderen europäischen Länder. Ende des Jahres 2001, die ukrainische Regierung hat entschieden, Tore der 3 letzten Atomwerke für immer zu schließen.
- Im Jahre 2000 gab es einen Unfall im Atomunterseeboot „Kursk“. Die Ursache war eine Explosion eines Torpedos beim Abschießen

Im Jahre 2000 gab es einen Unfall von einem Concorde Flugzeug. Ein Reifen des Flugzeugs zerplatzte, nachdem das Flugzeug ein Metallstück auf der Startbahn überfahren hat. Der Brennstoffbehälter und damit das Flugzeug explodierten. Für große Maschinen, Anlagen wie Flugzeuge, Weltraumschiffe und Fließbandproduktionsanlagen nimmt die Zuverlässigkeit einen wichtigen Platz ein. Alle Komponenten des Systems werden so konstruiert, daß sie alle zuverlässig

sind, und es trägt zu der Zuverlässigkeit des gesamten Systems bei. In der Welt gibt es ähnliche Erfahrungen wie: ein kleiner Widerstand im Wert von 10 Cent kann bei Problemen den Abschluß von einer Rakette im Wert von 300.000USD. In der Praxis sind die Ursachen bei Anlagenausfällen nicht unbedingt zurückzuführen auf Fehler von komplexen Komponenten. Manchmal war es nur falsche Bedienung von einfachen Komponenten wie falsche Installation von elektronischen Komponenten oder hydraulischen Komponenten etc.

### **3.3 Die Zuverlässigkeit ist ein qualitativer Charakter**

Die Lebensdauer eines jeden Produktes kann nicht festgestellt werden, wenn es nicht in Betrieb in einem gewünschten Zeitraum genommen wird oder bis zum Ausfall benutzt wird. Aber man kann nicht alle Produkte erproben und verschleiß lassen, um nachzuweisen, daß diese Produkte den Qualitätsstandards entsprechen. Normalerweise nimmt man die Daten, die gesammelt werden durch Kontrolle von Musterprodukten. Die Zuverlässigkeit wird oft dargelegt durch:

Die durchschnittliche Operationszeit bis zum Ausfall, wenn das Produkt nur einmal benutzt wird und danach außer Betrieb genommen wird MTTF (*Mean Time To Failure*)

Die durchschnittliche Operationszeit zwischen den Anlagenausfällen, wenn das Produkt mehrmals benutzt wird, nachdem es instandgesetzt wird. MTBF (*Mean Time between Failures*)

*Folglich ist der Zuverlässigkeitsindex die durchschnittliche Operationszeit einer Anlage zwischen den verschiedenen Stillstand der Anlage wegen Instandhaltung.*

### 3.4 Zuverlässigkeit des Systems

$$R_s = R_1 \cdot R_2 \cdot R_3 \cdot R_4 \cdot \dots \cdot R_n$$

Erläuterung:  $R_s$  – Zuverlässigkeit des Systems

$R_i$  – Zuverlässigkeit der i-ten Komponente

### 3.5 Index der Anlagenverfügbarkeit

Der Index der Anlagenverfügbarkeit ist ein Indikator der Effektivität der Instandhaltung und kann als ein Indikator der Operationsleistung einer Anlage betrachtet werden, wobei kein Problem entsteht. Dieser Index hängt von technischen Eigenschaften des Systems sowie von der Wirksamkeit der Instandhaltung ab. Dieser Index stellt die Fähigkeiten einer Anlage, die trotz Fehler und Störungen in den Instandhaltungsressourcen operieren kann, dar.

Der Index der Anlagenverfügbarkeit umfasst 3 Komponenten:

- Index der Zuverlässigkeit
- Index der Instandhaltungsunterstützung
- Index der Instandhaltungsleistung

### 3.6 Index der Instandhaltungsunterstützung

Der Index der Instandhaltungsunterstützung wird in einer durchschnittlichen Wartezeit beim Stillstand einer Anlage gemessen (*Mean Waiting Tim, MWT*)

Dieser Index wird beeinflusst von der Organisation und Strategie der Produktionsabteilung und Instandhaltungsabteilung.

Der Index der Instandhaltungsunterstützung stellt die Fähigkeit einer Instandhaltungsorganisation dar, wie sie Ressourcen auf Wunsch unter bestimmten Bedingungen liefert, um eine Anlage instandzuhalten.

### 3.7 Index der Instandhaltungsleistung

Der Index der Instandhaltungsleistung wird in einer durchschnittlichen Reparaturzeit gemessen (*Mean Time to Repair, MTTR*). Die durchschnittliche Reparaturzeit wird in hohem Ausmaß von den Entwürfen der Konstruktion der Anlagen beeinflusst.

Dieser Index stellt die Möglichkeit einer Anlage dar, deren Zustand unter bestimmten Arbeitsbedingungen aufrecht erhalten oder wiederhergestellt werden kann.

Um den Index der Anlagenverfügbarkeit zu erhöhen, muß man in der Lage sein, den Index der Zuverlässigkeit zu erhöhen sowie den Index der Instandhaltungsunterstützung und den Index der Unterstützungsleistung zu reduzieren.

### 3.8 Durchschnittliche Ausfallzeit der Anlagen

Die durchschnittliche Ausfallzeit der Anlagen (*Mean Down Time, MDT*) ist die Summe vom Index der Instandhaltungsunterstützung (MWT) und vom Index der Instandhaltungsleistung (MTTR). In der Praxis ist es schwierig, die Wartezeit und Reparaturzeit festzustellen, deshalb benutzt man MDT.

$$A = \frac{T_{up}}{T_{up} + T_{dm}} = \frac{MTBF}{MTTE + MDT} = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR + MWT}$$

*Erläuterungen:* A – Index der Anlagenverfügbarkeit.

$T_{up}$  – Gesamtzeit der Betriebes der Anlage.

$T_{dm}$  – Gesamtzeit der Ausfälle für Instandhaltungen

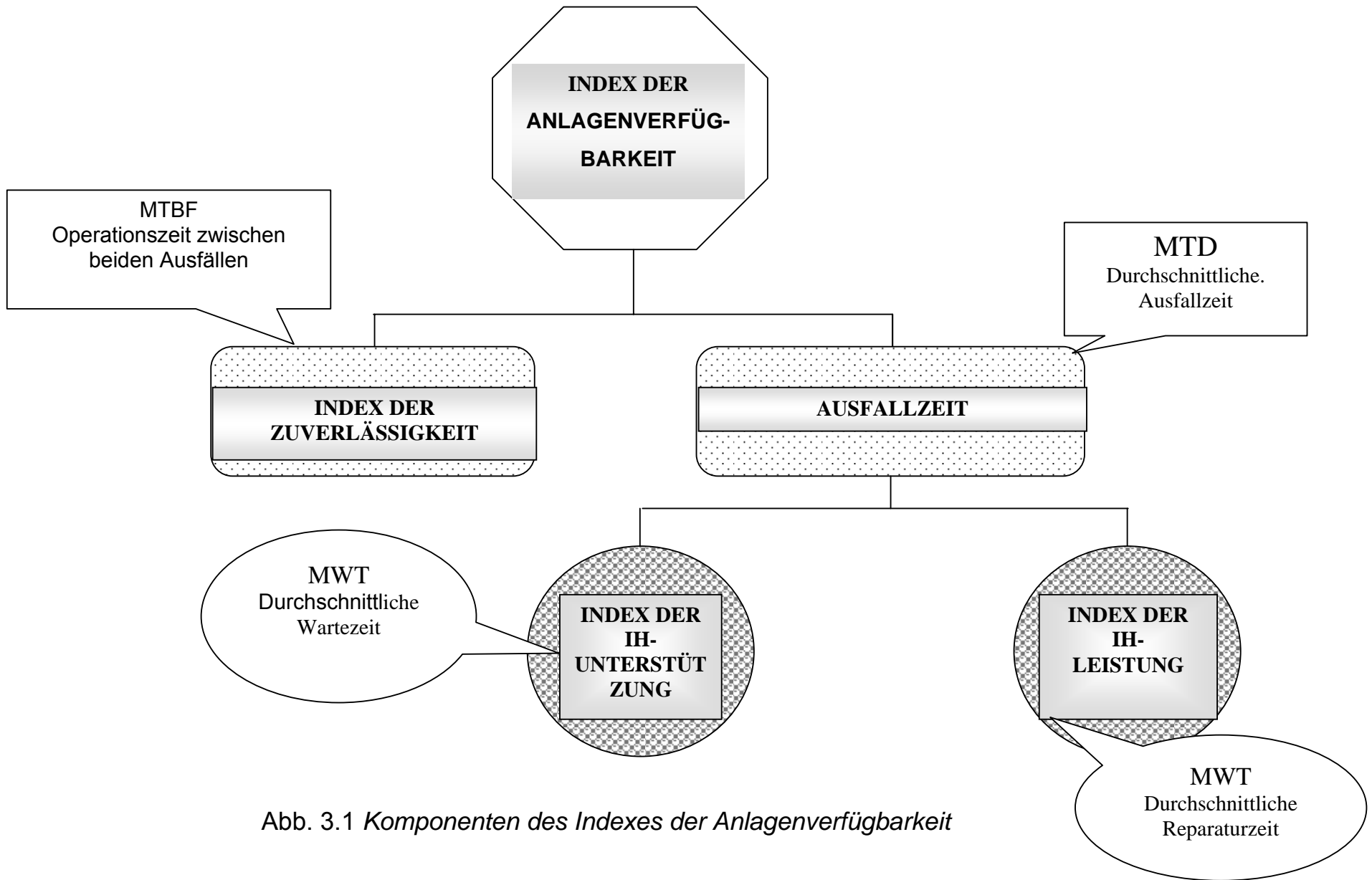


Abb. 3.1 *Komponenten des Indexes der Anlagenverfügbarkeit*

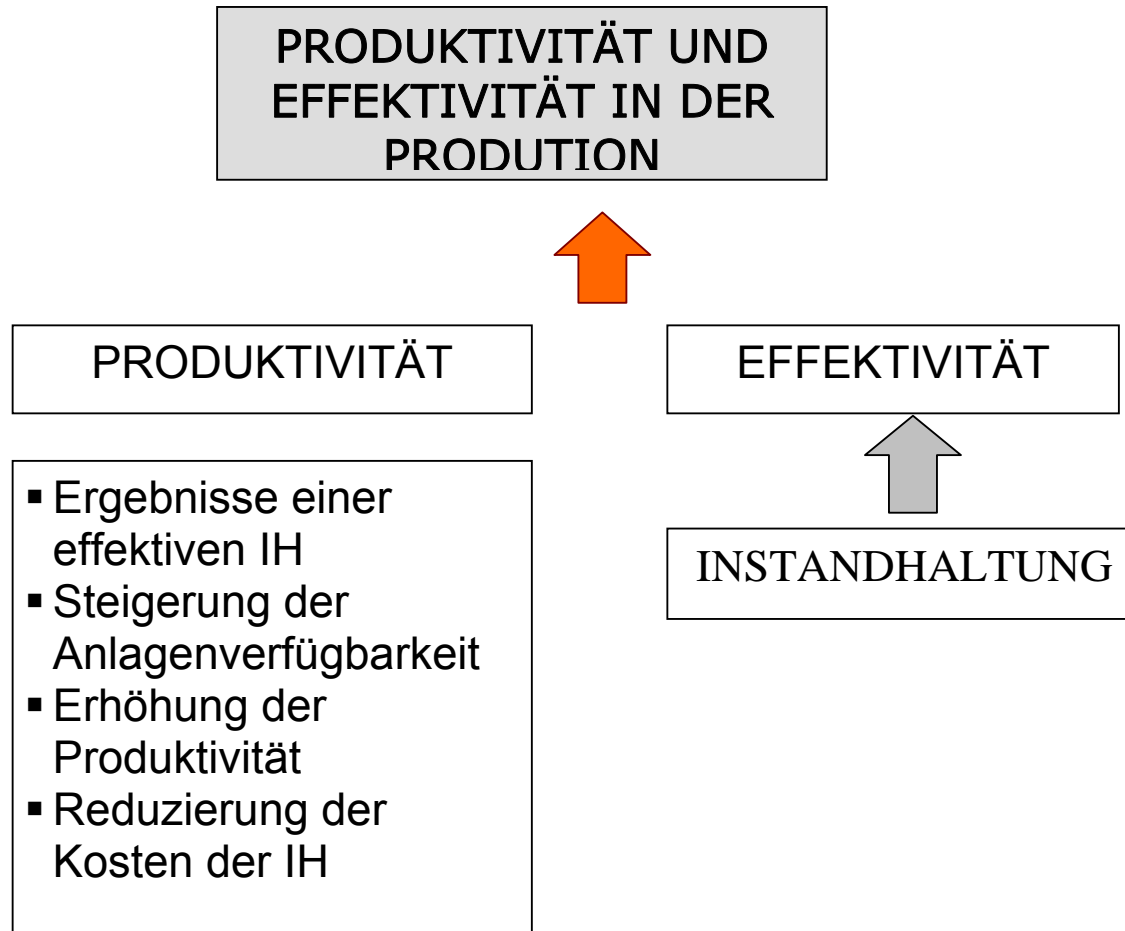
### **3.9 Produktivität und Index der Anlagenverfügbarkeit**

Wenn die Instandhaltungsabteilung richtige Methoden anwendet, wird die Arbeitsproduktivität schnell erhöht. Die Produktion hängt im großen Ausmaß von den Kapazitäten der installierten Anlagen, aber sie ist auch abhängig von vielen anderen Faktoren wie: Verluste durch Instandhaltung, qualitative Verluste und Leerlauf, die negative Wirkungen auf die Produktion und Produktivität haben. Um 100% der Kapazität der Anlage auszunutzen, muß die Anlage kontinuierlich im Betrieb sein und ohne Unterbrechung zu jedem Zeitpunkt arbeiten, wenn ein Arbeitsplan erstellt wurde. D. h. je niedriger der Index der Anlagenverfügbarkeit ist, desto niedriger ist das Produktionsvolumen.

Die Instandhaltung beeinflusst den Index der Anlagenverfügbarkeit beträchtlich, deshalb wird auch die Produktivität direkt beeinflusst. Wenn es in die Instandhaltung investiert wird, muß die Zeit kalkuliert werden, bis dahin die Investitionskosten zurückgeholt werden und die Produktivität erhöht wird. Erhöhung der Produktivität führt zur Steigerung des Produktionsvolumens, Erhöhung der Qualität der Produkte und zur Reduzierung des Investitionskapitals etc.

Bei der Erstellung eines Plans über Investitionen in die Instandhaltung, ist der erste Faktor, der in Betracht gezogen werden muß, die Identifizierung des Indexes der Anlagenverfügbarkeit nach der Genehmigung des Projektes. Zweitens muß man kalkulieren, wieviele neuen Indexe der Anlagenverfügbarkeit es gibt, die Einfluß auf die Produktivität und das Produktionsvolumen haben.

Abb. 3.2 Einfluß der Instandhaltung auf die Produktivität und Effektivität in der Produktion



Aktivitäten der Instandhaltung erhöhen den Prozentsatz (%) des Indexes der Anlageverfügbarkeit, und folglich führt es zur Erhöhung der Produktivität sowie des Gewinns.

Beispiele: der Index der Anlagenverfügbarkeit erhöht sich um 1%

750 000 USD für eine Stahlfabrik (A=85 - 90%).

90 000 USD für eine Papierherstellungsfabrik (A= 90 – 95%).

30 000 USD für eine Metallverarbeitungswerkstatt (A= 80%)

50 000 USD für eine Chemiefabrik (A=85-90%).

50 000 USD für ein Stromwerk (A=95-99%)

Eine häufig gestellte Frage “Wie hoch soll der Index der Anlagenverfügbarkeit in unserer Fabrik sein ?”.

Diese Frage kann natürlich nicht beantwortet werden, weil Unternehmen unterschiedliche Anforderungen an die Anlagenverfügbarkeit haben. Die Daten in der Tabelle 3.1 stellen die Relation zwischen den Indexen der Anlagenverfügbarkeit, der Zeit der Nichtverfügbarkeit und der Wahrscheinlichkeit der Nichtverfügbarkeit nach Jahr, Monat und Tag dar. Diese Zahlen werden so errechnet, mit der Annahme, daß die Produktion 24 Stunden pro Tag erfolgt. Wenn eine andere Produktionszeit als Grundlage genommen wird, müssen die Zahlen in der Tabelle mit einem Nutzungsfaktor:

6 Stunden pro Tag – der Nutzungsfaktor ist 0,66

8 Stunden pro Tag - der Nutzungsfaktor ist 0,33



Tabelle 3.1 *Relation zwischen den Indexen der Anlagenverfügbarkeit und der entsprechenden Zeit*

Index der Anlagenverfügbarkeit, %	Zeit der Nichtverfügbarkeit, %	Wahrscheinlichkeit der Nichtverfügbarkeit		
		Jahr	Monat	Tag
0	100	8760 h	730 h	24 h
50	50	4380 h	365 h	12 h
80	20	1752 h	146 h	4,8 h
90	10	876 h	73 h	2,4
99	1	87,6 h	7,3 h	14,4'
99,9	0,1	8,76 h	43'	1,4'
99,99	0,01	53'	4,3'	8,6''
99,999	0,001	5,3'	26''	0,86''
99,9999	0,0001	32''	2,6''	0,086''

### 3.10 Errechnung des Indexes der Anlagenverfügbarkeit

Der Hauptteil des Instandhaltungsmanagements ist die Errechnung des Indexes der Anlagenverfügbarkeit. Ein Gedanke über die Wirtschaftlichkeit in der Instandhaltung muß bei der Errechnung des Indexes der Anlagenverfügbarkeit ansetzen, um den Index der Anlagenverfügbarkeit durch geplante Änderungen zu erhöhen und zu verbessern.

#### 1- Formeln:

- A: Index der Anlagenverfügbarkeit
- MTBF (die durchschnittliche Zeit zwischen beiden Ausfällen) = Zuverlässigkeit
- MWT (die durchschnittliche Wartezeit) = Index der Instandhaltungsunterstützung.
- MTTR (die durchschnittliche Reparaturzeit) = Index der Instandhaltungsleistung.

$$A = \frac{\text{MTBF}}{\text{MTBF} + \text{MWT} + \text{MTTR}} \times 100\%$$

$$\text{Oder } A = \frac{\text{MTBF}}{\text{MTBF} + \text{MDT}} \times 100\% ; \quad (\text{MDT} = \text{MWT} + \text{MTTR})$$

$$\text{Oder } A = \frac{T_{\text{up}}}{T_{\text{up}} + T_{\text{dm}}} \times 100\% ;$$

Wobei:  $T_{\text{up}}$  – die gesamte Zeit des Betriebes der Anlagen (time up for production)

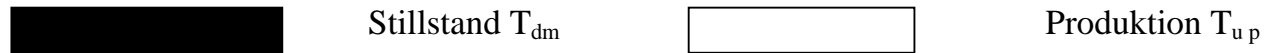
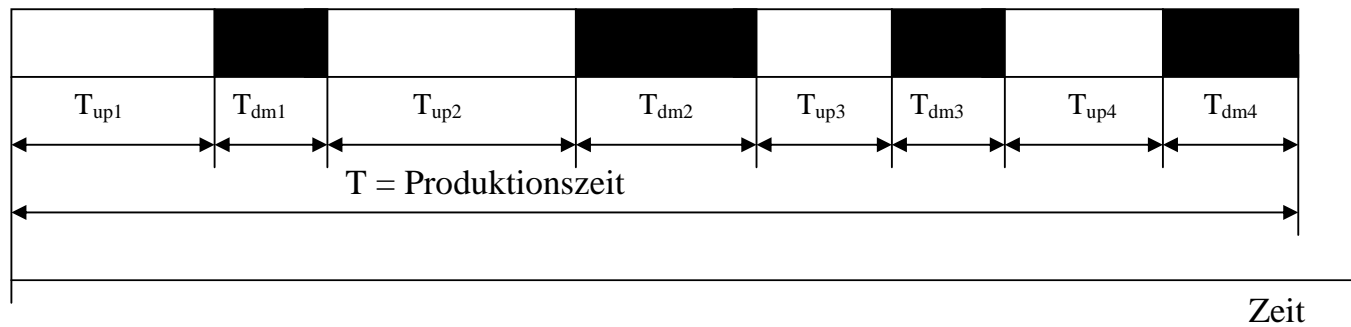
$T_{\text{dm}}$  – die gesamte Ausfallzeit für die Instandhaltung.

$$\text{MTBF} = \frac{T_{\text{up}}}{\text{(Stunde/Ausfall)}}$$

Wobei:  $a$  – Anzahl der Unterbrechungen des Betriebes der Anlagen wegen der Instandhaltung.

In der Praxis ist es schwierig zu unterscheiden zwischen der Wartezeit und der Reparaturzeit. In diesem Fall betrachtet man die Zeit des Anlagenstillstands, d. h. die Zeit des Anlagenstillstands = Wartezeit + Reparaturzeit.

$$MDT = T_{dm}/a \text{ (Stunde/Ausfall).}$$



$$MTBF = \frac{T_{up1} + T_{up2} + T_{up3} + T_{up4}}{4}$$

$$MDT = \frac{T_{dm1} + T_{dm2} + T_{dm3} + T_{dm4}}{4}$$

$$T_{up} = (T - T_{dm}) ; T_{md} = (T + T_{up}).$$

## 2 – Berechnung:

- Solche Daten müssen vorliegen
- Stundenzahl der Produktion ( $T_{up}$ ).
  - Zeit des Anlagenstillstands für die Instandhaltung ( $T_{dm}$ ).
  - Anzahl der Unterbrechungen des Betriebes der Anlagen ( $a$ ).

Beispiel: Ist-Zustand

$$T_{up} = 940; \quad T_{dm} = 160 \text{ h}; \quad a = 70 \text{ Mal.}$$

$$\Rightarrow \text{MTBF} = \frac{940}{70} = 13,4 \qquad \text{MDT} = \frac{160}{70} = 2,3$$

$$\Rightarrow \text{MTTR} = 0,7; \qquad \text{MWT} = 1,6.$$

$$A = \frac{940}{940 + 160} = 0,85 \quad \text{oder} \quad \text{MDT} = \frac{13,4}{13,4 + 0,7 + 1,6} = 0,85 = 85\%$$

Tabelle 3.2 Auswertung der Instandhaltungsaktivitäten

Ist-Zustand	Aktivitäten	Auswertung der Ergebnisse	
Anzahl der Ausfälle a = 70	Systematische Überwachung des Zustands, regelmäßige Instandhaltung und Ölschmieren	Gut a = 30	Noch nicht gut a = 50
MTTR = 0,7 h  MWT = 1,6 h MDT = 2,3 h	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Erhöhte Vorbeugungsinstandhaltung.</li> <li>- Durchführungssystem und Prozeduren zur Vorbereitung und Erstellung der Pläne.</li> <li>- Verbesserung von technischen Unterlagen.</li> <li>- Verbesserung der Lagerhaltung.</li> </ul>	MTTR = 0,7 h  MWT = 0,8 h MDT = 1,5 h	MTTR = 0,7 h  MWT = 1,2 h MDT = 1,9 h

### 3 – Gute Ergebnisse

$$T_{dm} = a \times MDT = 30 \times 1,5 = 45 \text{ h.}$$

$$T_{up} = T - T_{dm} = 1.100 - 45 = 1.055 \text{ h}$$

$$A = \frac{1055}{1055 + 45} = 0,96$$

Erhöhung des Produktionsvolumens um 12,9 % + niedrigere Instandhaltungskosten

#### **4 – Noch keine guten Ergebnisse**

$$T_{dm} = a \times MDT = 50 \times 1,9 = 95 \text{ h.}$$

$$T_{up} = T - T_{dm} = 1.100 - 95 = 1.005 \text{ h}$$

$$A = \frac{1005}{1005 + 95} = 0,91$$

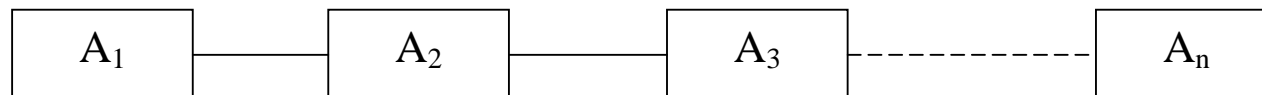
Erhöhung des Produktionsvolumens um 7,1% + niedrigere Instandhaltungskosten

Folglich: Erhöhung des Produktionsvolumens um 7,1% bis 12,9 %.

### **3.11 Index der Anlagenverfügbarkeit in verschiedenen Produktionssystemen.**

Der Index der Anlagenverfügbarkeit ist unterschiedlich, abhängig von den verschiedenen Verkettungsarten von Anlagen im System.

#### **1 – System der Reiheverkettung**



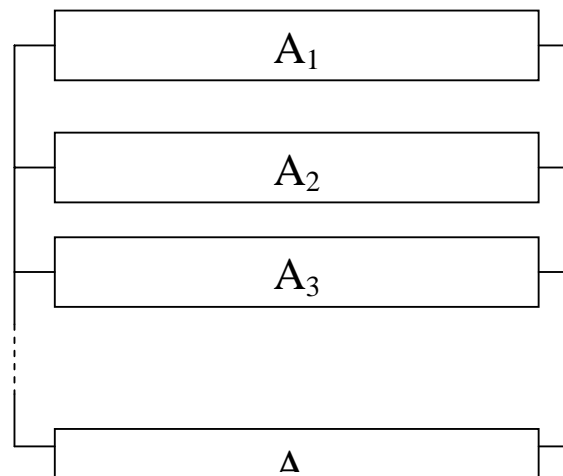
Unter dem Gesichtspunkt des Indexes der Anlagenverfügbarkeit, haben die Maschinen, die aneinander in einer Reihe verkettet, hohe Empfindlichkeit. Wenn eine Maschine ausfällt, kommt das ganze System zum Stillstand. Um den Index der Anlagenverfügbarkeit des ganzen Reihenverkettungssystems zu errechnen, benutzt man die folgende Formel:

$$A_{\text{system}} = A_1 \cdot A_2 \cdot A_3 \cdot A_n$$

In diesem Fall braucht man sehr hohe Indexe der Anlagenverfügbarkeit jeder einzelnen Maschine, um einen hohen Index der Anlagenverfügbarkeit des ganzen Systems erreichen zu können.

## **2 – System der parallelen Verkettung**

In einem System der parallelen Verkettung ist die Empfindlichkeit niedriger. In einem solchen System sind alle Maschinen parallel zueinander installiert und zur gleichen Zeit im Betrieb. Wenn eine der Maschinen ausfällt, dann ist der Schaden auch nicht so hoch, weil die anderen Maschinen weiter im Betrieb sind.



Um den Index der Anlagenverfügbarkeit eines Systems, das aus 4 Maschinen besteht, benutzt man die folgende Formel:

$$A_{\text{system}} = [ A_1 \cdot A_2 \cdot A_3 \cdot A_4 ] + [A_1 \cdot A_2 \cdot A_3 \cdot (1 - A_4)] + [A_1 \cdot A_2 \cdot A_4 \cdot (1 - A_3)] + [A_1 \cdot A_3 \cdot A_4 \cdot (1 - A_2)] + [A_2 \cdot A_3 \cdot A_4 \cdot (1 - A_1)]$$

### **3 – Ersatzsystem**

In einigen Fällen sollten die neben einander stehenden Maschinen miteinander verkettet werden. In diesem Fall ist die Empfindlichkeit des Systems niedriger als bei den anderen Fällen, aber die Investitionskosten für dieses System sind mehrfach höher. Dieses System wird als Ersatzsystem genannt. In einem Ersatzsystem ist es nicht erforderlich, daß alle Maschinen zum gleichen Zeitpunkt im Betrieb sind. Manchmal reicht es, daß eine Maschine im Betrieb ist und die anderen im Wartemodus sind. Diese werden in Betrieb genommen, falls die im Betrieb befindliche Maschine ausfällt.

Um den Index in einem solchem System zu berechnen, benutzt man die folgende Formel:

$$A_{\text{system}} = 1 - [(1 - A_1) (1 - A_2) (1 - A_3) (1 - A_4) \dots\dots\dots (1 - A_n) ]$$



### 3.12 Index der Effektivität der gesamten Anlage

Der Index der Effektivität der gesamten Anlage (OEE – Overall Equipment Effectiveness) wird benutzt zur vielseitigen Auswertung der Effektivität einer Anlage in der industriellen Produktion. **OEE** wird wie folgt errechnet:

$$\text{OEE}^* = A \cdot H \cdot C$$

Wobei: **A** = Index der Anlagenverfügbarkeit.

**H** = Auslastung der Anlage (*gleich Ist-Produktionsvolumen dividiert durch Produktionsvolumen, das die Anlage produzieren kann*).

**C** = Qualitätsfaktor (*gleich Anzahl der qualitativen Produkte dividiert durch die Gesamtzahl der hergestellten Produkte*).

In guter Produktion (world class manufacturing), sollte **OEE** den folgenden Wert haben:

- A ≥ 90%;            - H ≥ 95%;            - C ≥ 99%.

d. h.  $\text{OEE}^* \geq 85\% \geq (90\% \ 95\% \ 99\%)$

## **Anmerkung:**

### **OEE**

**OEE** (*Overall Equipment Effectiveness* bzw. Efficiency) ist eine der Kennzahlen für die Wirtschaftlichkeit eines Unternehmens.

Die Kennzahl **OEE** errechnet sich aus der Formel:

$(\text{Leistungsrate} * \text{Nettoverfügbarkeit} * \text{Qualitätsrate}) / 10.000$

Sie bezeichnet die Effizienz von Produktionsanlagen.

Je näher die **OEE** bei 100% liegt, desto besser ist die Leistungsfähigkeit, Erzeugnisqualität und der Nutzungsgrad der Maschine.

In vielen Unternehmen gilt eine OEE von 85% als erstrebenswert.

### **Bilanzanalyse**

Die **Bilanzanalyse** stellt ein Mittel dar, den wirtschaftlichen Erfolg und die Situation eines Unternehmens, an Hand seiner Bilanz zu ermitteln.

Im Rahmen der Bilanzanalyse werden dabei verschiedene Kennzahlen des Unternehmens ermittelt, die über Möglichkeit zur Erfüllung externer Forderungen sowie zur Erzielung von zukünftigen Gewinnen und Wachstum Auskunft geben sollen.

Insbesondere sind hierbei die Eigenkapital-quote und die Liquidität zu nennen.

Zu den Kennzahlen aus dem Bereich der Fertigung zählen: **OEE, PTS** (Performance To Standard) und Produktivität