

Produktivität der Anlagen

1 Grundlagen

Total Productive Maintenance (TPM) ist eine Betriebsphilosophie aus Japan mit dem Ziel der kontinuierlichen Verbesserung in allen Bereichen eines Unternehmens.¹

Die acht Säulen von TPM sind:

- 1) Kontinuierliche Verbesserung: Anwendungsbezogene Eliminierung der 16 Verlustarten nach JIPM (Japan Institute of Plant Maintenance).
- 2) Autonome Instandhaltung: Der Anlagenbediener soll Inspektions-, Reinigungs- und Schmierarbeiten im ersten und in weiteren Schritten auch kleine Wartungsarbeiten selbstständig durchführen.
- 3) Geplante Instandhaltung: Sicherstellung der 100%igen Verfügbarkeit der Anlagen sowie Ausweisen von Kaizen-Aktionen durch die Instandhaltung.
- 4) Training und Ausbildung: Mitarbeiter bedarfsgerecht zu qualifizieren zur Verbesserung der Bedienungs- und Instandhaltungsqualifikationen.
- 5) Anlaufüberwachung: Eine nahezu senkrechte Anlaufkurve bei neuen Produkten und Anlagen zu realisieren.
- 6) Qualitätsmanagement: Realisierung des «Null Qualitätsdefekte»-Ziels bei Produkten und Anlagen.
- 7) TPM in administrativen Bereichen: Verluste und Verschwendungen in nicht direkt produzierenden Abteilungen eliminieren.
- 8) Arbeitssicherheit, Umwelt- und Gesundheitsschutz: Die Umsetzung der Null-Unfälle-Forderung im Unternehmen.

Die Weiterentwicklung des TQM-Begriffes zu *Total Quality Management* (TQM) in der Japanischen Autoindustrie bezeichnet die durchgängige, fortwährende und alle Bereiche einer Organisation erfassende aufzeichnende, sichtende, organisierende und kontrollierende Tätigkeit, die dazu dient, Qualität als Systemziel einzuführen und dauerhaft zu garantieren. TQM benötigt die volle Unterstützung aller Mitarbeiter, um zum Erfolg zu führen.

Zu den wesentlichen Prinzipien der TQM Philosophie zählen:

- Qualität orientiert sich am Kunden
- Qualität wird mit Mitarbeitern aller Bereiche und Ebenen erzielt
- Qualität umfasst mehrere Dimensionen, die durch Kriterien operationalisiert werden müssen
- Qualität ist kein Ziel, sondern ein Prozess, der nie zu Ende geht
- Qualität bezieht sich nicht nur auf Produkte, sondern auch auf Dienstleistungen
- Qualität setzt aktives Handeln voraus und muss erarbeitet werden.

¹ Heute wird TPM auch als *Total Productive Manufacturing* oder *Total Productive Management* im Sinne eines umfassenden Produktionssystems interpretiert. (Wikipedia)

2 Anlageneffektivität

2.1 Gesamtanlageneffektivität

Die *Gesamtanlageneffektivität* oder Brutto-Anlageneffektivität² (Abb. 1) ist eine vom „Japan Institute of Plant Maintenance“ entwickelte Grösse, welche zusammen mit der *Gesamtserviceeffizienz*³ die *Overall Administration Effectiveness* eines Unternehmens ergibt.

Die OEE-Kennzahl ist ein Maß für die Wertschöpfung, welche an einer Anlage entsteht. Der Wertebereich erstreckt sich von 0 % bis 100 %. Liegt die Gesamtanlageneffektivität bei 85 % oder höher, so ist die Leistung einer Produktionslinie erstklassig.

Im einfachsten Fall berechnet sich die Gesamtanlageneffektivität wie folgt:

$$OEE \approx \frac{\text{Ist Produktionsmenge}}{\text{Soll Produktionsmenge}}$$

Beispiel:

Die Versiegelungsstrecke der King-Linie hat einen Durchlauf von 22 Gläsern pro Minute. Bei optimalem Verlauf sind bis zu 35 Gläser möglich. Wie gross ist die Gesamtanlageneffektivität?

$$OEE_{\text{Versiegelung}} = \frac{22}{35} \cdot 100 \% = 62.85 \%$$

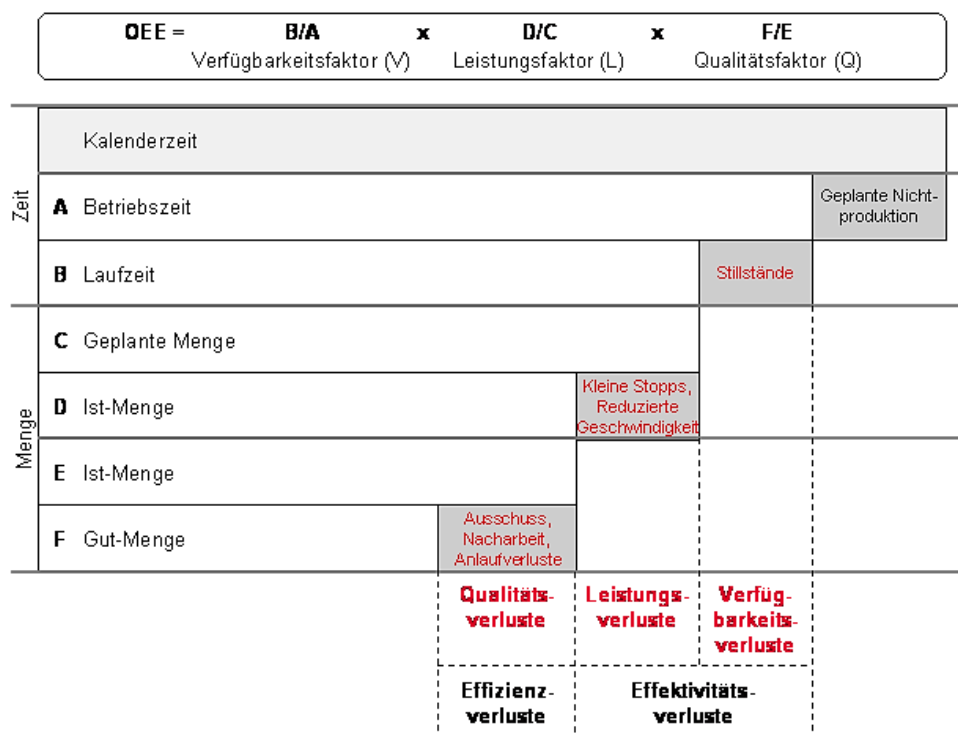


Abb. 1
Gesamtanlageneffektivität⁴

² Englisch Overall Equipment Effectiveness (OEE)

³ Englisch Overall Service Effectiveness (OSE)

⁴ <https://de.wikipedia.org/wiki/Gesamtanlageneffektivit%C3%A4t>

Anm.: Die Begriffe *Gesamtanlageneffizienz* und *Gesamtanlageneffektivität* werden in der deutschen Sprache synonym verwendet – auch wenn dies im Kontext nicht korrekt ist. Unter Effizienz versteht man ein ökonomisches Prinzip, nämlich so zu arbeiten, dass das erzielte Ergebnis und die eingesetzten Mittel in einem möglichst günstigen Kosten-Nutzen-Verhältnis stehen und der Nutzen dabei größer ist als die Kosten. Effektivität dagegen bedeutet, so zu arbeiten, dass ein angestrebtes Ergebnis erreicht wird.

Die Gesamtanlageneffektivität einer Anlage ist als das Produkt der folgenden drei Faktoren definiert:

$$\text{Nutzungsgrad (Availability)} = \frac{\text{Gesamtverfügbarkeitszeit} - \text{geplante Stillstandszeit}}{\text{Gesamtverfügbarkeitszeit}}$$

$$\text{Leistungsgrad (Performance Rate)} = \frac{\text{Geplante Taktzeit} * \text{Anzahl produzierter Teile}}{\text{Maschinenlaufzeit}}$$

$$\text{Qualitätsrate (Quality Rate)} = \frac{\Sigma \text{ produz. Teile} - \Sigma \text{ Nacharbeitsteile} - \Sigma \text{ Ausschussteile}}{\Sigma \text{ produzierter Teile}}$$

Zusammen bilden diese Faktoren die Basis für die Bestimmung der Gesamtanlageneffektivität. Wird einer dieser Faktoren verbessert, dann verbessert sich auch die Gesamtanlageneffektivität.

$$OEE = \text{Verfügbarkeitsrate} * \text{Leistungsrate} * \text{Qualitätsrate}$$

Beispiel:

Eine Produktionsanlage verzeichnet 90 % Verfügbarkeit, 95 % Leistung sowie 99,9 % Qualität. Wie gross ist die Gesamtanlageneffektivität?

$$OEE = (0.9) \cdot (0.95) \cdot (0.999) \cdot 100 \% = 85.4 \%$$

Verfügbarkeit ist die tatsächliche Betriebszeit im prozentualen Verhältnis zur geplanten Produktionszeit. Eine Verfügbarkeit von 100 % bedeutet, dass die Produktionslinie ohne ungeplante Unterbrüche gelaufen ist. Die Kalenderzeit abzüglich geplanter Stillstände ergibt die Betriebszeit – als Zeitbasis für die Beurteilung der Gesamtanlageneffektivität.

$$\text{Verfügbarkeitsfaktor} = \frac{\text{Laufzeit}}{\text{Laufzeit plus Stillstandszeit}}$$

Leistung ist der tatsächliche Durchsatz im prozentualen Verhältnis zum maximalen oder Nenndurchsatz. Sie ist ein Maß für die Fähigkeit einer Produktionsanlage, mit dem maximalen Nenndurchsatz zu arbeiten. Eine Leistung von 100 % bedeutet, dass der Prozess kontinuierlich den maximalen Nenndurchsatz aufrechterhält.

$$\text{Leistungsfaktor} = \frac{\text{Ist Leistung}}{\text{Soll Leistung}} ; \text{Leistung z. B. in Teile/Std.}$$

Qualität ist die Menge an Gutprodukten im prozentualen Verhältnis zu allen gefertigten Produkten. Eine Qualität von 100 % bedeutet, dass keine Produkte ausgeschleust oder nachgearbeitet wurden.

2.2 Netto-Anlageneffektivität

Die Berechnung der *Netto-Anlageneffektivität*⁵ erfolgt gleich wie die Berechnung der Gesamtanlageneffektivität mit der Abweichung, dass die Verfügbarkeit nicht berücksichtigt wird.

$$NEE = \text{Produktionsbereitschaft} * \text{Leistungseffizienz} * \text{Qualitätsrate}$$

Mittels der Netto-Anlageneffektivität wird die Effektivität der Anlage während ihres Betriebes berechnet.

2.3 Totale Anlageneffektivität

Die *Totale Anlageneffektivität*⁶ ist nach Hartmann das wirkliche Maß für die Produktivität der Anlagen, weil damit die «geplanten Stillstandzeiten» des TPM- Ansatzes miteinbezogen werden.

$$TEEP = \text{Nutzungsgrad} * \text{Brutto Anlageneffektivität}$$

Das Säulendiagramm (Abb. 2) zeigt exemplarisch die prozentualen Anteile von TEEP, OEE und NEE.

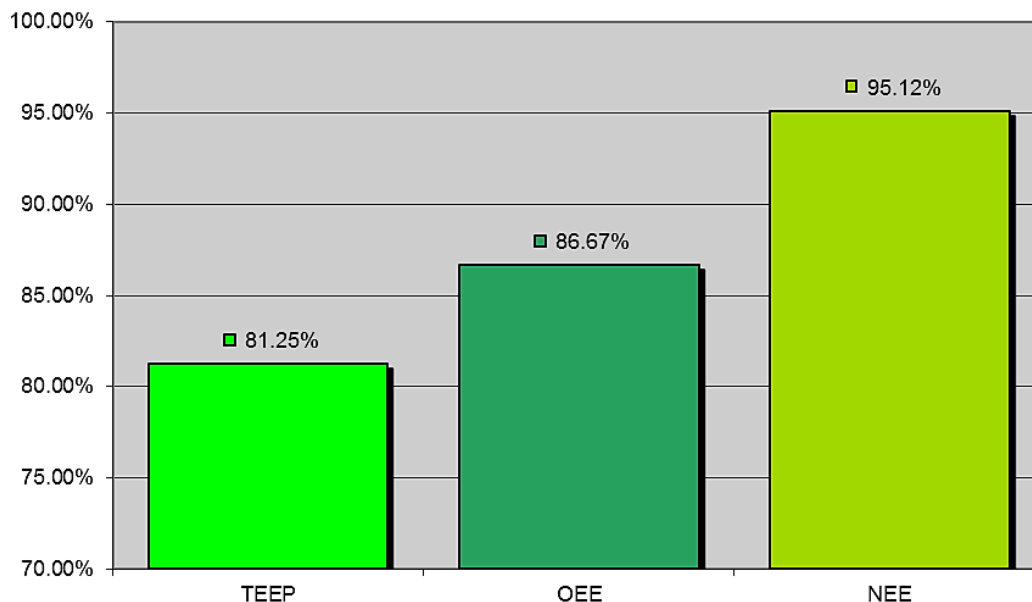


Abb. 2
Anlagenproduktivität

2.4 Kostenmanagement in der Instandhaltung

Kostenminimierung ist ein wichtiges Ziel in der Instandhaltung. Prinzipiell ist ein Optimum zwischen dem Verhältnis der Instandhaltungskosten und den Kosten für Maschinenausfälle (Lieferverzug) zu finden.

Die Grafik (Abb. 3) zeigt die diesbezüglichen Zusammenhänge auf.

⁵ Net Equipment Effectiveness (NEE)

⁶ Total EffektivEquipment Productivity (TEEP)

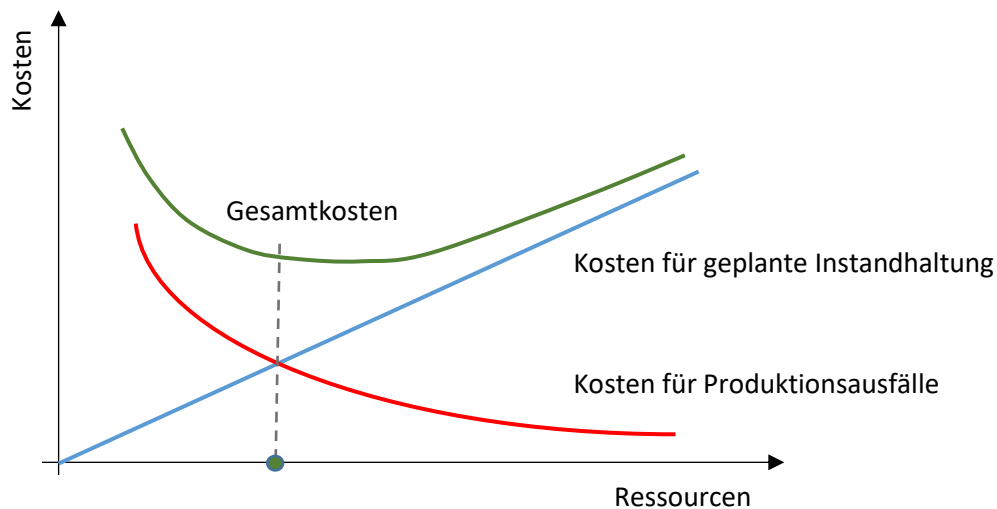


Abb. 3
Kostenoptimum in der Instandhaltung

3 Lebensdauer von Geräten und Komponenten

3.1 Lebensdauer

Bei technischen Objekten ist der Graph der sog. «Badewannenkurve» (Abb. 3) geprägt durch:

- Frühausfälle (Inbetriebnahme und Einfahrphase)
- charakteristische Ausfälle (nominale Betriebszeit)
- Spätausfälle (Verschleissphase, End of Life)

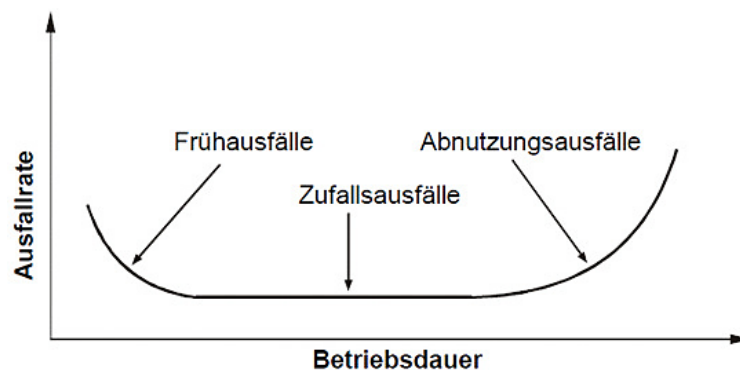


Abb. 4
Charakteristische Gerätelebensdauer

3.2 Betriebsdauer

3.2.1 Mean Time Between Failure

Als *Mean Time Between Failure* (MTBF) bezeichnet man die mittlere Betriebsdauer zwischen Ausfällen für instandgesetzte Einheiten (Abb. 4). Die Betriebsdauer meint dabei die Betriebszeit zwischen zwei aufeinanderfolgenden Ausfällen einer instandzusetzenden Einheit. Als *Mean Time Between Failure* (MTTR) bezeichnet man die Zeit für eine Instandsetzung. Bei Bauteilen wird oft der Terminus FIT (failures in time) verwendet.

1 FIT = 10^{-9} Fehler/Std.

Die MTBF wird ermittelt durch die Addition der FIT-Werte der einzelnen Bauelemente.

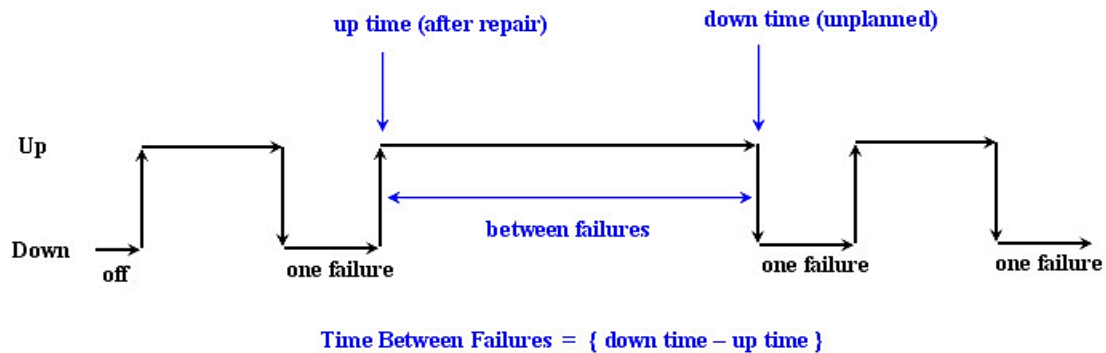


Abb. 5
Mean Time Between Failure

Je höher der MTBF-Wert, desto „zuverlässiger“ ist das Gerät. Ein Gerät mit einer MTBF von 100 Stunden wird im Mittel öfter ausfallen als ein gleichartiges Gerät mit einer MTBF von 1000 Stunden.

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

λ Ausfallrate [1/Zeiteinheit] z. B. 1/h

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

3.2.2 Ausfallwahrscheinlichkeit

Um die Ausfallwahrscheinlichkeit $F(t)$ von elektronischen und elektrotechnischen Komponenten zu bestimmen, lässt sich die Exponentialverteilung anwenden.

$$F(t) = 1 - e^{-\lambda t}$$

Die obige Beziehung gilt nur für die Phase mit konstanter Ausfallrate der Badewannenkurve (also für $\lambda = \text{konstant}$)!

Ersetzt man die Ausfallrate (λ) durch den Term $\frac{1}{MTBF}$ ergibt sich:

$$F(t) = 1 - e^{-\frac{t}{MTBF}}$$

Beispiel:

Nach einem Jahr befinden sich 20'000 Komponenten mit einer MTBF von 60 Jahren im Einsatz. Wie hoch ist die Ausfallwahrscheinlichkeit der Komponenten?

Mit $F(t) = 1 - e^{-(1/60)}$ ergibt sich ein Wert von 0,0165. Daraus folgt, dass die Ausfallwahrscheinlichkeit der Komponenten 1,65 % beträgt. Bei 20'000 Komponenten bedeutet dies statistisch gesehen, dass 330 Komponenten innerhalb eines Jahres ausfallen. In praxi hat sich gezeigt, dass die tatsächlichen Ausfälle wesentlich geringer sind.

3.2.3 Technische Verfügbarkeit

Letztlich interessiert den Anlagenbetreiber die technische Verfügbarkeit der Anlagen und Maschinen.

$$TV = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR} \cdot 100 \%$$

MTBF Mean Time between Failures (durchschnittliche Zeitspanne zwischen zwei Ausfällen)

MTTR Mean Time to repair (durchschnittliche Reperaturzeit bei einem Anlagenstillstand)

Beispiel:

Im Dreischichtbetrieb hat ein Schraubautomat durchschnittlich einmal in der Woche (5 x 24 Std.) eine technische Störung. Die Reparaturzeit beträgt im Durchschnitt 3 Std.

$$TV = \frac{5 \cdot 24 h}{5 \cdot 24 h + 3 h} \cdot 100 \%$$

Es ergibt sich eine Verfügbarkeit von 97,56 %.

Quellenverweise

Fachliteratur

Mittelhäußer: Die TPM-Fibel (Adept Media).

Koch: OEE für das Produktionsteam (CETPM Publishing).

May, Schimek: TPM Total Productive Management (CETPM Publishing).

Hartmann: TPM – Effiziente Instandhaltung und Maschinenmanagement (Vahlen).

Westkämpfer, Sihn: Instandhaltungsmanagement in neuen Organisationsformen (Springer)

Wikipedia

<https://de.wikipedia.org/wiki/Gesamtanlageneffektivit%C3%A4t>

https://de.wikipedia.org/wiki/Total_Productive_Maintenance

<http://oeeindustrystandard.oeefoundation.org/>