



Matthias Strunz

Instandhaltung

Grundlagen – Strategien -Werkstätten

Übungsbuch zum Lehrbuch

© Springer Vieweg, Springer Verlag Berlin Heidelberg 2012

978-3-642-27389-6

M. Strunz

Instandhaltung

Grundlagen – Strategien -Werkstätten

Übungs- und Kontrollfragen

© Springer Vieweg, Springer Verlag Berlin Heidelberg 2012

978-3-642-27389-6

IMPRESSUM

Verfasser

Prof. Dr.-Ing. Matthias Strunz

Professor for Factory Planning and Maintenance Management

Matthias.Strunz@hs-lausitz.de

University of Applied Science

Hochschule Lausitz

01968 Senftenberg

Großenhainer Str. 59

Diese Unterlage ist urheberrechtlich geschützt. Die dadurch begründeten Rechte, insbesondere die der Übersetzung und des Nachdrucks, des Vortrags, der Entnahme von Abbildungen und Tabellen, der Funksendung, der Mikroverfilmung oder Vervielfältigung auf anderen Wegen und Speicherung in Datenverarbeitungsanlagen, bleiben auch bei nur auszugsweiser Verwertung vorbehalten. Eine Vervielfältigung dieses Werks oder von Teilen dieses Werks ist auch im Einzelfall nur in den Grenzen der gesetzlichen Bestimmungen des Urheberrechtsgesetzes der Bundesrepublik Deutschland vom 9. September 1965 in der jeweils geltenden Fassung zulässig. Sie ist grundsätzlich vergütungspflichtig. Zuwiderhandlungen unterliegen den Strafbestimmungen des Urheberrechtsgesetzes.

© Prof. Dr.-Ing. Matthias Strunz

Printed in Germany

Germany 2011

ISBN

Inhaltsverzeichnis

Kapitel 1 Gegenstand, Ziele und Entwicklung betrieblicher Instandhaltung.....	4
A Das instandhaltungsorientierte Zielsystem	4
B Aufgaben und Funktionsbereiche der Instandhaltung	6
C Produktionsfunktion der Instandhaltung	7
D Zielgrößen, Zielfunktionen und Zielkonflikte der Instandhaltung	7
E Methoden und Hilfsmittel der Instandhaltung.....	11
F Qualitätsmanagement in der Instandhaltung	12
G Entwicklung der Instandhaltung.....	12
Kapitel 2 Elemente betrieblicher Instandhaltung.....	13
A Wartung und Pflege.....	13
B Umgang mit Schmierstoffen.....	22
C Instandsetzung.....	27
D Verbesserung.....	28
Kapitel 3 Grundlagen der Schädigungstheorie und Schwachstellenbeseitigung.....	28
A Grundlagen der Tribologie	28
B Tribologische Beanspruchung.....	31
C Reibung	33
D Verschleiß	37
E Korrosion	41
Kapitel 4 Arbeitssicherheit und Umweltverträglichkeit als Instandhaltungsziele.....	45
Kapitel 5 Zuverlässigkeitstheoretische Grundlagen	52
Kapitel 6 Planung und Optimierung von Instandhaltungsstrategien für Elemente und Systeme.....	61
A Grundlagen der Instandhaltungsplanung.....	61
B Bestimmung der optimalen Instandhaltungsmethode für Elemente	66
C Vorhersagen für die Planung aus der Verlustfunktion	70
D Bestimmung der Kostenparameter	74
E Bestimmung optimaler Instandhaltungsstrategien für Elemente und Systeme	78
Kapitel 7 Strukturierung und Dimensionierung von Instandhaltungswerkstätten.....	82
Kapitel 8 Organisationsstrukturen von Instandhaltungsbereichen im Unternehmen	91
Kapitel 9 Ersatzteilemanagement	97
Kapitel 10 Kennzahlen zur Beurteilung der Instandhaltung	101

Kapitel 1 Gegenstand, Ziele und Entwicklung betrieblicher Instandhaltung

A Das instandhaltungsorientierte Zielsystem

1. Definieren Sie den Begriff „*Instandhaltung*“ nach DIN 31051!

Tätigkeiten, die **gewünschten Zustände** von technischen Objekten (Betrachtungseinheiten BE) zu erhalten bzw. wiederherzustellen. Mit diesen Zuständen sind bestimmte Fähigkeiten oder Gebrauchseigenschaften verbunden, denen unser Interesse gilt.

2. Worin besteht die Notwendigkeit von Instandhaltungsmaßnahmen für technische Objekte?

Instandhaltung nach DIN 31051 wird immer und überall dort ausgeübt, wo es gilt, die Funktionsfähigkeit und damit den Wert technischer Objekte sicherzustellen und zu erhalten.

3. Welche Ursachen hat Instandhaltung und welche inhärente Eigenschaft technischer Objekte bestimmt die Notwendigkeit von Instandhaltung entscheidend?

Während des Nutzungsprozesses einer BE bewirken Abnutzung und Verschleiß Zustandsänderungen.

4. Nennen Sie die wichtigsten Abnutzungsursachen und erläutern Sie diese an konkreten Beispielen!

(Be)Nutzung, Fremdeinwirkungen mechanischer, thermischer, chemischer, physikalischer Art, z. B. mechanische, Wärme, aggressive Medien (Säuren, Basen, Dämpfe, Elektrolyte, Salze usw.) Strahlung (Licht, Gamma-Strahlung, elektromagnetische Wellen).

5. Erläutern Sie den Arbeitsgegenstand der Instandhaltung und ihr Hauptziel!

Verhinderung/ Verzögerung von Verschleiß, Abnutzung, Zerstörung und Verfall von Betrachtungseinheiten. Ziel ist eine möglichst störungsfreie Nutzungsdauer der technischen Objekte bei möglichst geringen Kostenbelastungen.

6. Worin besteht die volkswirtschaftliche Bedeutung der Instandhaltung?

Quantifizierung durch Bezugsplanrate: jährlich aufzuwendende Instandhaltungsgesamtkosten eines Objekts oder einer Objektgruppe in % ihres Wiederbeschaffungswertes (indizierter Anschaffungswert).

7. Wie hoch ist der volkswirtschaftliche Gesamtaufwand der Instandhaltung? Aus welchen Bereichen rekrutiert sich diese Gesamtleistung?

Die volkswirtschaftliche Gesamtleistung der *Instandhaltung* beträgt quer durch alle Wirtschaftszweige beträgt ca. 265 Mrd. € Umsatz (1. Platz der umsatzstarken Industriezweige). Bereiche sind:

1. Unternehmen, staatl. Institutionen und private Organisationen
2. Wohnungswirtschaft
3. privater Bereich
4. Versicherungsleistungen

8. Erläutern und begründen Sie die steigende unternehmensbezogene Bedeutung der Instandhaltung!

a) aus der Sicht des Instandhalters:

Schaffung von Abnutzungsvorrat

b) aus der Sicht des Managements:

Vermeiden von technisch bedingten Produktionsunterbrechungen, Folgekosten und gesundheitlichen Schäden

Instandhaltung

Grundlagen – Strategien -Werkstätten

Übungs- und Kontrollfragen

© Springer Vieweg, Springer Verlag Berlin Heidelberg 2012

978-3-642-27389-6

9. Worin bestehen Hauptziel und Hauptnutzen der Instandhaltung?

Zielstellung des Fertigungsbereichs: "Maschinenauslastung maximieren" = für die Instandhaltungsabteilung: Technisch bedingte Ausfallzeiten an Engpassanlagen minimieren" für beide Bereiche: "Instandhaltungszeiten(kosten) gering halten"

10. Nennen Sie die bekannten Hauptfunktionen der Instandhaltung im Unternehmen!

Quantifizierung durch Bezugsplanrate: jährlich aufzuwendende Instandhaltungsgesamtkosten eines Objekts oder einer Objektgruppe in % ihres Wiederbeschaffungswertes (indizierter Anschaffungswert).

11. Erläutern Sie den Zielkonflikt der Instandhaltung! Welche Lösungskonzepte werden zur Konfliktlösung eingesetzt?

Kosten senken und Verfügbarkeit sichern. Optimieren der Kosten.

12. Welche Ursachen hat die steigende Bedeutung der Instandhaltung?

1. Überproportionaler Anstieg der Instandhaltungskosten
2. Zunehmende Automatisierung, Verkettung und Komplexität von Anlagen
3. hohes Fachwissen des IH-Personals erforderlich, höherer spezifischer Schwierigkeitsgrad der IH-Arbeit, wachsender Aus- und Weiterbildungsbedarf.
4. Steigende Anforderungen an die Betriebssicherheit.
5. steigendes Anlagevermögen
6. Umweltschutz

13. Was verstehen Sie unter RAMS-Strategie?

"Zuverlässigkeit, Verfügbarkeit, Instandhaltbarkeit, Sicherheit" (*Reliability, Availability, Maintainability, Safety*). Nach der Definition ist die RAMS-Strategie von EN 50126 ein Prozess oder eine Methodik, die mithelfen soll, Fehler schon in der Planungsphase von Projekten zu verhindern. RAMS kann angewendet werden bei der Entwicklung und Einführung von neuen Produkten, aber auch bei der Planung und Realisierung von neuen Anlagen. Ein RAMS Management stellt sicher, dass Systeme definiert, Risikoanalysen durchgeführt, Gefährdungen ermittelt, detaillierte Prüfungen gemacht und Sicherheitsnachweise erstellt werden.

14. a) Was verstehen Sie unter „Zustandsabhängige Instandhaltung“?

b) Welche Voraussetzungen sind dazu erforderlich?

c) Wie kann der Anlagenzustand erfasst werden?

- a) Es handelt sich um eine Form der Inspektionsmethode, die ihren Input aus Informationen bezieht, die den momentanen konkreten Anlagenzustand beschreiben. Das Ergebnis der Daten- bzw. Informationsaus- und -bewertung können Maßnahmen für Wartung/Pflege oder präventiven Teile- bzw. Modulwechsel sein oder eine Risikoentscheidung zu treffen (s. *risk based maintenance*).
- b) Die zustandsabhängige Instandhaltung setzt voraus, dass die kritischen Anlagenzustände, die bestimmte Maßnahmen erforderlich machen, bekannt sind. Ebenso muss ein Zusammenhang zwischen Anlagenzustand und notwendigen Maßnahmen bestehen.
- c) Der Anlagenzustand ist automatisch oder manuell zu erfassen (prüfen, messen). Die Daten und Messwerte sind in ein Betriebsdatenerfassungssystem einzupflegen. Die Leistungserfassung erfolgt auf der Grundlage zugeordneter Zähler oder Messpunkte an den technischen Anlagen. Einer Anlage können ein oder mehrere Zähler bzw. Messpunkte zugeordnet werden. Zur

Instandhaltung

Grundlagen – Strategien -Werkstätten

Übungs- und Kontrollfragen

© Springer Vieweg, Springer Verlag Berlin Heidelberg 2012

978-3-642-27389-6

Erfassung und Übertragung der Daten muss das System offene Schnittstellen bereitstellen, damit die Schwellenwerte, deren Überschreitung zu Maßnahmen führen, im SAP System zugänglich sind.

15. a) Was verstehen Sie unter *Risk Based Maintenance* (RBM)?
- b) Erklären Sie den Begriff, wie er im deutschen Sprachraum zu interpretieren ist!
 - c) Welche Entscheidungssituationen ergeben sich?
 - d) Wie sind die Ergebnisse zu bewerten?
- a) Es handelt sich grundsätzlich um die Inspektionsmethode. Jede Inspektion hat ihrer Definition entsprechend die Aufgabe, den Ist-Zustand des Inspektionsobjekts festzustellen. Das kann durch Prüfen und/oder Messen bestimmter Eigenschaften oder Parameter erreicht werden (Technische Diagnose). Im Ergebnis der Inspektion ist eine Entscheidung darüber zu treffen, ob die BE sofort oder später zu ersetzen ist. Im zweiten Fall geht der Inspekteur das Risiko einer Fehlentscheidung ein. Daher rührt auch die englische Bezeichnung her „*risk based maintenance*“
- b) Das Risiko einer Fehlentscheidung ist hoch, wenn nicht genügend Daten zur Verfügung stehen und/oder das Zustandswissen der Inspektionsverantwortlichen nicht ausreicht, um eine verantwortungsbewusste Entscheidung zu treffen.
- c) Für den Instandhalter gibt es folgende Entscheidungssituationen:
- Weiterbetrieb bis zum Eintreten eines Fehlers (*Run to Failure*).
 - Risikoentscheidung: Weiterbetrieb bis kurz vor Erreichung der Schadensgrenze (*Predictive Maintenance*)
 - Vorbeugende Instandhaltung: sofortiger Teile- oder Modultausch (*Preventive Maintenance*)
- d) Das Risiko eines möglichen Fehlers und die Abgabe einer Restbetriebsdauerprognose leitet der Inspektionsverantwortliche aus der Wahrscheinlichkeit eines Ausfalls vor dem festgesetzten Termin für eine Erneuerung ab und den Schweregrad des Schadensausmaßes. Die Gefährdung durch ein Fehlerereignis beschreibt reelle oder mögliche Folgen für Menschen, Eigentum und die Umwelt.

Auf Grundlage der Risikobewertung können Instandhaltungsmethoden und -zyklen festgelegt werden. Ein wesentlicher Gesichtspunkt ist hierbei die Nutzung von *Reliability Centered Maintenance*, durch das die Auswirkungen eines Fehlerereignisses abgeschätzt werden.

B Aufgaben und Funktionsbereiche der Instandhaltung

1. Welche Aufgaben hat die betriebliche Instandhaltung?

Die Aufgabe besteht in der Sicherung der geforderten Verfügbarkeit und damit in der Realisierung der geplanten Produktionsausbringung pro Fertigungsschicht. Gleichzeitig sollen die anteiligen Instandhaltungskosten als Bestandteil der Fertigungskosten gering gehalten werden.

2. Welche Hilfsfunktionsbereiche verfügt ein produzierendes Unternehmen?

Zu den Hilfsfunktionsbereichen produzierender Unternehmens zählen die Produktionsplanung – und Arbeitsvorbereitung, die Arbeitsgestaltung, die Instandhaltung der Produktionsanlagen, Transport- und Lagerwesen, Energie- und Wasserwirtschaft, das Rechnungswesen sowie die betriebliche Datenverarbeitung.

Instandhaltung

Grundlagen – Strategien -Werkstätten

Übungs- und Kontrollfragen

© Springer Vieweg, Springer Verlag Berlin Heidelberg 2012

978-3-642-27389-6

3. Welche Struktureinheiten zählen zum Instandhaltungsbereich der Industriebetriebe im weiteren Sinn?

1. Reparaturwerkstätten einschließlich dazugehöriger Ingenieurabteilungen für Maschinen, Elektroanlagen, Fahrzeuge, Telekommunikationseinrichtungen und technische Versorgungssysteme,
2. betriebliche Bauwerke
3. Nebenbetriebe (Erzeugung und Verteilung von Strom, Dampf, Warmwasser, und Druckluft)
4. Werkzeug- und Formenbau
5. Fuhrpark und Fahrdienst
6. Feuerwehr, Werkschutz, Sicherheits- und Einlassdienste, Botendienst/Kantine
7. Einkauf, Materialwirtschaft und Lagerwesen.

4. Nennen Sie bekannte Tätigkeitsschwerpunkte der Instandhaltung!

1. Reparatur vor und nach Störung
2. Gewerke bezogene Reparaturen
3. Teilfunktionen für das Betreiben von Maschinen und Anlagen der Fertigung:
 - Verändern von Maschinen (technisch), räumliche Maschinenumstellung,
 - Warten und Inspizieren von Entsorgungssystemen für Abwässer, Abluft, Entstaubung,
 - Gefährdungsanalyse an Maschinen, Arbeitsschutz,
 - Umweltanalyse und Umweltschutz.

C Produktionsfunktion der Instandhaltung

1. Definieren Sie die Hauptfunktionen der Instandhaltung!

Die Instandhaltung hat allgemein eine notwendige Erhaltungsfunktion des Sachanlagevermögens und Produktionsfunktion für den Abnutzungsvorrat.

2. Erläutern Sie den Wirkungszusammenhang von Hauptfunktion und Produktionsfunktion der Instandhaltung!

Die Hauptfunktion der Instandhaltung besteht in der Produktion von Abnutzungsvorrat. Abnutzungsvorrat ist notwendig, um die für die Erreichung des Produktionsziels erforderliche Verfügbarkeit zu sichern.

3. Begründen Sie die ertragswirtschaftliche Produktionsfunktion der Instandhaltung!

Der Ertrag der Instandhaltung besteht darin, dass durch die Sicherung und Erhöhung der Verfügbarkeit keine Produktionsverluste eintreten können bzw. der Output erhöht wird, ohne zusätzliches Kapital einzusetzen. Insofern leistet die Instandhaltung einen nachhaltigen Beitrag zur Steigerung der Produktivität und damit zur Verbesserung der Ertragssituation.

D Zielgrößen, Zielfunktionen und Zielkonflikte der Instandhaltung

1. Welche grundsätzlichen Zielarten kennen Sie? Welche Ziele unterstützt die Instandhaltung in erster Linie?

1. Nach der Ausrichtung:
 - 1.1 Monetäre Ziele (werden in GE gefasst): Leistungsziele (z.B. Gewinnsteigerung, Umsatzrentabilitätserhöhung), Finanzziele (z.B. Liquiditätsverbesserung)
 - 1.2 Nicht monetäre Ziele: Marktziele (z.B. Kundenzufriedenheit), soziale Ziele (z.B. Mitarbeiterzufriedenheit, Arbeitssicherheit), Macht-/Prestigeziele (z.B. politischer Einfluss).
2. Nach dem Zusammenhang zwischen zwei Zielen:

Instandhaltung

Grundlagen – Strategien -Werkstätten

Übungs- und Kontrollfragen

© Springer Vieweg, Springer Verlag Berlin Heidelberg 2012

978-3-642-27389-6

Maßnahmen, die zur Erreichung eines Ziels gleichzeitig die Erreichung eines anderen Ziels fördern (komplementäre Ziele), behindern (konkurrierende Ziele) oder ohne Einfluss auf die Zielerreichung sind (indifferente Ziele)

3. Nach der Fristigkeit: kurz-, mittel- und langfristige Ziele
4. Haupt- und Nebenziele
5. Ober- und Unterziele

2. Welche wesentlichen Ziele verfolgen Produktions- und Instandhaltungsmanagement?

1. Auslastung maximieren
2. Kostensenken
3. Verfügbarkeit sichern

3. Welche Dimensionen hat ein Ziel? Nennen Sie ein Beispiel für den Instandhaltungsprozess!

1. Zielinhalt (z.B. Gewinn als Differenz aus Aufwand und Ertrag)
Die Steigerung der Verfügbarkeit erhöht mit dem Output auch den Gewinn.
2. Zielmaß (Die Steigerung der Verfügbarkeit eines Drehautomaten von 4000 h/a um 10 % auf 4400 h/a sichert einen zusätzlichen Output, der auf Grund dieses Kapazitätswachses erzielt werden kann. Angenommen innerhalb von 400 h könnten ca. 10.000 Ankerwellen für Elektromotoren zusätzlich hergestellt werden. Bei einem Deckungsbeitrag von 0,5 €/Welle ergäbe sich ein Gesamtdeckungsbeitrag von 5000 €/a).
3. Zeitlicher Bezug (Zeitraum, Zeitmaß und Zeitpunkt, für den das geforderte Zielmaß gilt).

4. Was sind Zielkonkurrenzen in der Instandhaltung? Nennen Sie Beispiele!

Die Zielerfüllung eines Ziels führt zur Nicht- (bzw. Negativ-)Erfüllung eines anderen Ziels. Erkennen und Auflösen der Konkurrenzen.

Beispiele:

- hohe Lieferbereitschaft, hohe Materialqualität *versus* günstige Einkaufspreise *versus* geringe Kapitalbindung.
- Vermeiden von Brachzeiten von Produktionsanlagen *versus* Liegezeiten der Produkte vermeiden
- Ausfallzeiten an den Engpassanlagen minimieren *versus* Instandhaltungskosten minimieren

5. Was sind

- a) Entscheidungsziele,
- b) Sachziele,
- c) Formular-/Wertziele,
- d) Humanziele

in der Instandhaltung? Nennen Sie einige Beispiele!

- a) Entscheidungsziele: Instandhalter von einem Einsatzort abziehen, um eine Engpass-Maschine kurzfristig instand zu setzen, Fremdleistungen nach plötzlichem Ausfall anfordern, teure Ersatzteile beschaffen.
- b) Sachziele: Verbesserung der Materialflussteuerung, wirksamere Koordinierung der Instandhaltungsaktivitäten durch Erhöhung des Planungsgrades
- c) Formular-/Wertziele: z.B. Gewinn-, Rentabilitäts-, Absatz-, Umsatzziele
- d) Humanziele (individuelle Humanziele, unternehmensbezogene Humanziele), z. B. durch instandhaltungsgerechte Konstruktion Arbeitserleichterungen erzielen.

6. Definieren Sie den Begriff Verfügbarkeit!

Die Verfügbarkeit ist definiert als die Wahrscheinlichkeit dafür, dass eine Betrachtungseinheit zum betrachteten Zeitpunkt, während der vorgesehenen Einsatzzeit funktionsfähig ist.

Allgemein gilt:

$$V = \frac{T_{Ist}}{T_{Soll}} * 100\%$$

7. Welche Kriterien bestimmen die Verfügbarkeit eines technischen Systems?

- Zuverlässigkeit (Ausfallabstand, und die Ausfallwahrscheinlichkeit)
- Reparaturzeit
- Planungsgrad
- instandhaltungsfreundlichen konstruktiven Gestaltung,
- Betriebsweise,
- Organisation und Durchführung der Instandhaltungsmaßnahmen,

8. Erläutern Sie die Begriffe Produktionsverfügbarkeit, theoretische technische Verfügbarkeit, tatsächliche Auslastungsverfügbarkeit und Qualitätsverfügbarkeit!

Produktionsverfügbarkeit

$$V_{Pr od} = \frac{T_{Soll} - \sum_{i=1}^n T_{Org}}{T_{Soll}} * 100\%$$

Soll-Einsatzzeit vermindert um organisatorisch bedingte Stillstandszeiten

Theoretische technische Produktionsverfügbarkeit

$$V_{th} = \frac{T_{Soll} - \left[\sum_{i=1}^n T_{org} + \sum_{i=1}^m T_{pi} \right]}{T_{Soll}} * 100\%$$

Verfügbarkeit vermindert um technologisch bedingte Stillstandszeiten und geplante Instandhaltungsarbeiten, die während der Produktionszeit durchgeführt werden. Verfügbarkeit hat theoretischen Charakter, weil die technischen Störungen unberücksichtigt bleiben.

Auslastungsverfügbarkeit

Für Produktionssysteme gilt die tatsächliche Auslastungsverfügbarkeit. Das ist die durch technische Störungen und störungserzwungene Instandhaltungsarbeiten verringerte theoretische technische Verfügbarkeit:

$$V_{Aus} = \frac{T_{Soll} - \left[\sum_{i=1}^n T_{Org} + \sum_{i=1}^m T_{pi} + \sum_{i=1}^k T_{techi} \right]}{T_{Soll}} * 100\%$$

Effektive Verfügbarkeit

Leistungsabhängige Faktoren beeinflussen die tatsächliche Verfügbarkeit. Meist liegt die ausgebrachte Produktionsmenge unter der vom Hersteller im Pflichtenheft angegebenen Stückzahl bzw. projektierten Soll-Menge. Auch Abnutzungserscheinungen bewirken Leistungsverluste, so dass ein zeitlicher Mehraufwand erforderlich ist. Unter Berücksichtigung dieser Verluste ergibt sich die effektive Verfügbarkeit zu:

$$V_{eff} = \frac{N_{IST}}{N_{Soll}} * V_{Ausl} \quad 100\%$$

Qualitätsverfügbarkeit

Die Qualitätsverfügbarkeit berücksichtigt weitere Verfügbarkeitseinbußen infolge Ausschussproduktion:

Instandhaltung

Grundlagen – Strategien -Werkstätten

Übungs- und Kontrollfragen

© Springer Vieweg, Springer Verlag Berlin Heidelberg 2012

978-3-642-27389-6

$$V_{Qual} = \frac{N_{IST} - N_{Ausschuss}}{N_{Soll}} * V_{Aus} * 100\%$$

9. Was verstehen Sie unter dem Auslastungsgrad einer Maschine bzw. Anlage und wie können Sie diesen beeinflussen?

$$\text{Auslastungsgrad} = \frac{\text{tatsächliche Nutzungszeit}}{\text{maximal verplanbare Maschineneinsatzzeit}}$$

10. Erläutern Sie den Begriff Produktionsbehinderung! Was drückt diese aus und wie können Sie diese vorteilhaft beeinflussen?

$$\text{Behinderungsgrad} = \frac{\text{IH-Aufwand in der nicht produktionsfreien Zeit}}{\text{IH-Gesamtaufwand}}$$

1. Geplante IH: Verringerung techn. bedingter Störungen
2. Geplante IH-Maßnahmen in die produktionsfreie Zeit legen

11. Welchen Zusammenhang drückt die Stillstandsquote aus?

$$\text{Stillstandsquote} = \frac{\text{technisch bedingte Stillstandszeit}}{\text{Produktive Betriebszeit}}$$

Geplante Instandhaltung: Verringerung techn. bedingter Stillstandszeit
Präventivmethode, oder zustandsabhängig m. H. der Inspektionsmethode

12. Was verstehen Sie unter dem Störungsgrad einer Fertigung und mit welchen organisatorischen Maßnahmen erzielen Sie eine Verringerung des Störungsgrades?

$$\text{Störungsgrad} = \frac{\text{Störungsbedingte Zahl der Stillstände}}{\text{Produktive Betriebszeit}}$$

Verringerung der Zahl der techn. bedingten Störungen durch geplante Instandhaltung
(Präventivmethode, zustandsabhängig m. H. der Inspektionsmethode)

13. Was verstehen Sie unter dem Abhängigkeitsgrad, wie ermitteln Sie diese Kennzahl und welche Kriterien bestimmen diese?

$$\text{Abhängigkeitsgrad} = \frac{\text{Instandhaltungsfremdleistung}}{\text{IH-Gesamtleistung}}$$

Es ist ein optimaler Unabhängigkeitsgrad anzustreben. Dazu sollte man sich auf Engpassmaschinen konzentrieren. Die richtigen Kompetenzen auslagern, die Kernkompetenzen der Instandhaltung sind zu erhalten, Instandhaltungsstrategien sind zu optimieren, um Kosten zu senken.

14. Definieren Sie den Begriff Instandhaltungsgrad! Welchen Zusammenhang drückt diese Kenngröße aus?

$$\text{Instandhaltungsgrad} = \frac{\text{IH-Gesamtkosten}}{\text{Produktive Betriebszeit}}$$

15. Welche Faktoren vermindern die verplanbare Einsatzzeit einer technischen Anlage?

1. Umrüst-Werkzeugwechsel-, Reinigungszeiten
2. Betriebsorganisatorische Mängel (z.B. fehlende(s) Material/Werkzeug/Arbeitskraft)
3. technisch bedingte Ausfälle und Störungen (infolge normaler Abnutzung, Überlastung, Ermüdung, Korrosion, Bedienungsfehler u.s.w.)

4. geplante Instandhaltungsarbeiten.

16. Welche Verfügbarkeit gilt für technische Produktionsanlagen?

Technische oder Auslastungsverfügbarkeit, um Verlustzeiten verminderte Solleinsatzzeit:

$$V_{Aus} = \frac{T_{Soll} - \left[\sum_{i=1}^n T_{orgi} + \sum_{i=1}^m T_{Pi} + \sum_{i=1}^k T_{Techi} \right]}{T_{Soll}} * 100\%$$

T_{org} = organisatorisch bedingte Ausfallzeit /h/Periode/

T_P = Ausfallzeit durch geplante Instandhaltung /h/P./

T_{tech} = mittlere Ausfalldauer durch technisch bedingte Störungen /h/Periode/

17. Welche Instandhaltungsstrategie ist anzustreben, wenn bei einem Ausfall einer Anlage mit gesundheitlichen Schäden, Folgeschäden oder hohen wirtschaftlichen Verlusten zu rechnen ist?

Präventivmethode

18. Was verstehen Sie unter Lebensdauer, effektiver Lebensdauer und Betriebsdauer einer Betrachtungseinheit? Wie können Sie die Betriebsdauer aus der Sicht des Instandhalters optimieren?

a) Lebensdauer einer BE ist das Alter eines Elements vom Herstellungszeitpunkt bis zum Schadenseintritt. Die effektive Lebensdauer ist die Betriebsdauer bis zum Schadenseintritt.

b) Die B. ist ein Maß für die Inanspruchnahme eines technischen Arbeitsmittels oder seiner Elemente infolge der Nutzung --> umfasst die Dauer der tatsächlichen Arbeit.

19. Erläutern Sie, was unter Grundzahlen, Verhältniszahlen, Gliederungszahlen und Indexzahlen zu verstehen ist! Worin unterscheiden sich diese untereinander und welche Aussagekraft besitzen sie im Einzelnen?

Grundzahlen sind einfache Werte, die z.B. zu Vergleichs- oder auch als Zielgröße verwendet werden können.

Verhältniszahlen sind Quotienten, die die Proportionen zweier oder mehrerer Größen zum Ausdruck bringen. Je nach der Art der Werte, die gegenübergestellt werden, unterscheidet man zwischen **Gliederungszahlen, Beziehungszahlen und Veränderungszahlen**. Verhältniszahlen werden im Rahmen der Kostenanalyse, der Wirtschaftlichkeitskontrolle und der Kennzahlenrechnung verwendet.

Gliederungskennzahlen, eine Unterart der Verhältniszahlen, finden überwiegend in der betrieblichen Kostenstatistik Verwendung. Sie werden in Quotientenform gebildet (der Nenner steht für den Gesamtwert, der Zähler für einen Teilwert des Nenners) und bringen den Anteil eines Teils am Ganzen zum Ausdruck. Die Angabe erfolgt häufig als Prozentwert, beispielsweise der Anteil der Instandhaltungskosten an den Gesamtkosten.

Indexzahlen sind Messzahlen, die Daten in ihrer zeitlichen Veränderung dadurch übersichtlicher aufbereiten, dass der Anfangs-, Mittel- oder Endwert einer Reihe als Basiswert oder Grundzahl gleich 100 gesetzt wird und die übrigen Werte im Verhältnis dazu umgerechnet werden.

E Methoden und Hilfsmittel der Instandhaltung

1. Nennen Sie Methoden und Hilfsmittel der Instandhaltung und erläutern Sie diese kurz!

Es handelt sich um technische Systeme zur Erfassung (Weiterleitung, Verarbeitung und Speicherung) instandhaltungsrelevanter Daten. Ziel ist die Entwicklung und Planung optimaler Inspektionsstrategien, insbesondere zur Fehlerfrühd Diagnose, Fehlerdiagnose, Maschinendiagnose

Technische Methoden sind:

- Überwachungseinrichtungen,

Instandhaltung

Grundlagen – Strategien -Werkstätten

Übungs- und Kontrollfragen

© Springer Vieweg, Springer Verlag Berlin Heidelberg 2012

978-3-642-27389-6

- Redundanz als Konstruktionsprinzip (heiß, kalt, warm),
- Instandhaltungsgerechtes Konstruieren (Reliability & Maintainability),
- Tribotechnische Einrichtungen.

Organisatorische Methoden und Hilfsmittel sind:

- Kapazitätsengpassbezogene Aufbau- und Ablaufstrukturen,
- Systeme (konventionelle EDV-Systeme bzw. wissensbasierte Systeme) zur Informationsbereitstellung in Entscheidungssituationen (Schadensort, -ursache, Ersatzteillieferbereitschaft, Anlagenlebenslauf),
- bedarfsorientierte Ersatzteilbewirtschaftung,
- Spezialwerkzeuge.

Personelle Methoden sind:

- Arbeitsanweisungen, Bedienungs- und Wartungsanleitungen
- Aus- und Weiterbildung
- Motivationsmechanismen, Innovative Entlohnungssysteme

2. Worin besteht das Ziel des Einsatzes von Diagnosemethoden? Nennen Sie Beispiele!

Diagnosemethoden haben die Aufgabe, Abnutzungsprozesse zu identifizieren und zu bewerten, um rechtzeitig noch vor einem Ausfall präventiv die BE instandzusetzen.

F Qualitätsmanagement in der Instandhaltung

1. Welche Kriterien bestimmen die komplexe Qualität von Maschinen wesentlich?

Qualität, Termintreue, Service

2. Welche grundlegenden Anforderungen sind an die Konstruktion einer Betrachtungseinheit zu stellen?

1. Abnutzungsarm
2. Instandhaltungsarm
3. Optimale Instandhaltungsorganisation
4. Modernisierungsgerecht

3. Was verstehen Sie unter instandhaltungsarmer und instandhaltungsgerechter Konstruktion?

1. Abnutzungsarm:

Konstruktionsbedingt und durch eine optimale Wartung und Inspektion muss die Lebensdauer aller Bauteile möglichst groß sein und die Gefahr abnutzungsbedingter Ausfälle gering.

2. Instandhaltungsarm:

Konstruktionsbedingt und durch eine zweckmäßige Instandhaltungsorganisation müssen Instandhaltungsaufgaben zu Komplexen zusammengefasst werden, damit möglichst wenige Produktionsunterbrechungen notwendig sind.

4. Warum sollte die konstruktive Gestaltung einer Werkzeugmaschine Modernisierungsinstandsetzungen (Verbesserungen) in einem sinnvollen abzusehenden Umfang gestatten?

Die konstruktive Gestaltung des Erzeugnisses muss Modernisierungsinstandsetzungen (Verbesserungen) in einem sinnvollen abzusehenden Umfang gestatten (z. B. den nachträglichen Austausch von Steuerungen oder von Antrieben), um finanziell verträglich den Anschluss an das gestiegene technische und technologische Niveau halten zu können.

G Entwicklung der Instandhaltung

1. Welche Ziele verfolgt die integrierte Instandhaltung? Welche Vorteile hat sie und wo sind dieser Philosophie Grenzen gesetzt?

Die integrierte Instandhaltung

Instandhaltung

Grundlagen – Strategien -Werkstätten

Übungs- und Kontrollfragen

© Springer Vieweg, Springer Verlag Berlin Heidelberg 2012

978-3-642-27389-6

1. ist durch ihre Wartungs-, Inspektions-, Instandsetzungs- und Modernisierungstätigkeiten ein Bestandteil des Qualitätssicherungssystems im Unternehmen
2. nutzt Ergebnisse der Qualitätsüberwachung für die Organisation ihrer spezifischen Prozesse
3. stimmt Messgeräte und Diagnosesysteme bezüglich austauschbarer Erfahrungen, Eichanforderungen u. ä. mit der Qualitätsüberwachung in der Produktion ab
4. organisiert ein Qualitätssicherungssystem in der Anlageninstandsetzung selbst.

Grenzen liegen bei umfangreichen Maßnahmen, die spezielle Kompetenzen und Werkzeuge erfordern oder der Weiterbetrieb Genehmigungspflichten unterliegt.

2. Was verstehen Sie unter *Total Productive Maintenance*? Welche Ziele verfolgt das Management mit der Einführung dieser Organisationsform? Welche wesentlichen Beiträge leistet die Einführung von TPM zur allgemeinen Kostensenkung?

TPM wird Sinne eines umfassenden Produktionssystems interpretiert (Parallelen zu Kaizen oder *Lean Production*). TPM ist ein Programm zur kontinuierlichen Verbesserung in allen Bereichen eines Unternehmens. Dabei geht um die Eliminierung von Verschwendung. Ziele sind Null Defekte, Null Ausfälle, Null Qualitätsverluste, Null Unfälle usw. Der Hauptfokus liegt im Bereich der Produktion. Der komplette Umfang von TPM beinhaltet die bekannten acht unterschiedlichen Säulen, die jeweils Ansätze zur Eliminierung der sechs Verluste beinhalten.

3. Welche wesentlichen Festlegungen sollte Instandhaltungshandbuch beinhalten?

- Qualitätsparameter des Produktionsprozesses, die permanent oder periodisch mit Methoden der demontagelosen Zustandsüberwachung instandhaltungsseitig kontrolliert und beeinflusst werden können
- Definierte Abnutzungsgrenzen
- Ergebnisse und Instrumente der Qualitätsüberwachung, die der Anlageninstandhaltung zur Erhöhung ihrer Effektivität zur Verfügung gestellt werden können
- Aufbau eines einheitlich geführten Mess- und Diagnosegeräteparks im Unternehmen bzw. Kooperation mit einem kompetenten Dienstleistungsunternehmen auf diesem Gebiet
- Qualifizierte und motivierte Instandhalter, dem Qualitätsanspruch genügen
- Klar geregelte Verantwortlichkeiten und Befugnisse für eine eindeutige und kontrollierbare Organisation in der Qualitätssicherung.

Kapitel 2 Elemente betrieblicher Instandhaltung

A Wartung und Pflege

1. Was ist beim Einsatz von technischen Arbeitsmitteln für die Erreichung einer optimalen Lebensdauer von besonderer Bedeutung?

1. Sachgemäßer Einsatz und entsprechende Bedienung/Betreuung der Maschine(n)/Arbeitsmittel,
2. Verminderung der Abnutzungsgeschwindigkeit durch ordnungsgemäße regelmäßige Wartung und Pflege,
3. Vermeidung von Überlastungen und damit einer vorzeitigen Schädigung des Arbeitsmittels

2. Erläutern Sie anhand des Verlaufs der Abnutzungskurve die einzelnen Aufgabenbereiche der Instandhaltung.

Abnutzungs-
vorrat



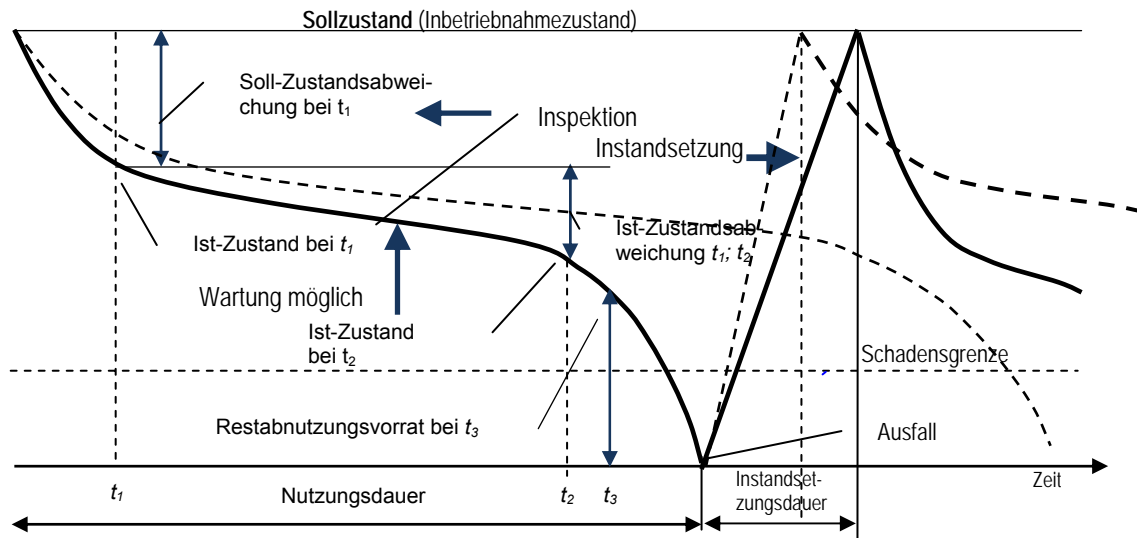
Instandhaltung

Grundlagen – Strategien -Werkstätten

Übungs- und Kontrollfragen

© Springer Vieweg, Springer Verlag Berlin Heidelberg 2012

978-3-642-27389-6



3. Welche Dokumente bilden die Grundlage des Einsatzes von technischen Arbeitsmitteln? Erläutern Sie diese kurz!

1. Bedienungs- und Wartungsanleitungen

2. Betriebsvorschriften

Einsatzbedingungen (Umgebungstemperatur, Klima, Luftqualität, Anschlusswert, Frequenz, Sicherheit, Querschnitte, Versorgungsbedarf, Qualität der Versorgungsmedien : Spannung, Druck, Reinheit),

- Aufstellungsbedingungen,
- Pflege- und Wartungsanweisungen,
- Unterweisungen im Umgang mit technischen Arbeitsmitteln zur Unfallverhütung,
- Algorithmen der Störungssuche,
- Abnahmevorschriften.

4. Welche Maßnahmen sind zu treffen, um die Funktionsfähigkeit von technischen Arbeitsmitteln zu sichern und Ausfälle zu vermindern?

1. Sachgemäße Bedienung durch Lehrgänge und Qualifizierung
2. Überlastung vermeiden
3. Gefährdungspotenziale ermitteln und beseitigen
4. Ordnungsgemäße Wartung und Pflege

5. Was verstehen Sie allgemein unter Wartung? Erläutern Sie die Hauptaufgaben der Wartung und Pflege!

Generell: Maßnahmen zur Herstellung der Betriebsbereitschaft und zur Verzögerung der Abnutzung

1. Feststellung des Ist-Zustands von technischen Einrichtungen
2. Auswertung, Vergleich und Ermittlung von Abweichungen der Ist-Zustandsinformationen,
3. Beurteilung des Ist-Zustands
- 4..Veranlassung von Instandhaltungsmaßnahmen aufgrund des beurteilten Ist-Zustands

Im Einzelnen:

Reinigen; Konservieren (Schutzmaßnahmen gegen Fremdeinflüsse zum Zwecke der Haltbarmachung einer BE); **Schmieren** (Gleitfähigkeitserhaltung), mit dem Schmieren ist i. d. R. **Ergänzen, Auswechseln** (Ersetzen von Hilfsstoffen und Kleinteilen; z. B. turnusmäßiger Getriebeölwechsel); **Nachstellen** (Beseitigung einer Abweichung mit Hilfe dafür vorgesehener Einrichtungen)verbunden;

Instandhaltung

Grundlagen – Strategien -Werkstätten

Übungs- und Kontrollfragen

© Springer Vieweg, Springer Verlag Berlin Heidelberg 2012

978-3-642-27389-6

Ergänzen (Nach- und Auffüllen von Hilfsstoffen, z. B. Hydraulikflüssigkeit);

6. Wie kann Wartung erfolgen?

- a) intervall-/zustandsabhängig
- b) kontinuierlich/diskontinuierlich (insbesondere Reinigung und Schmierung)
- c) manuell/maschinell

7. Warum ist die Maschinenreinigung ein wesentlicher Bestandteil von Wartung und Pflege?

- Verschmutzung fördert die Abnutzung durch Korrosion und Eindringen von Staub in Lager,
- Nachteile hinsichtlich der Einhaltung von Betriebsvorschriften,
- Förderung der Unfallgefahr,
- Instandsetzungen an verschmutzten technischen Arbeitsmitteln sind völlig unmöglich

8. Erläutern Sie die allgemeinen Grundsätze der Maschinenreinigung!

- Reinigung zwischen zwei Schichten als Pflegemaßnahme (Schmutzfreiheit),
- Reinigung mit Endkonservierung als Vorbereitung für Instandsetzungen (Schmutz- und Konservierungsmittelfreiheit),
- Reinigung als Vorbereitung für die Farbgebung (Fettfreiheit)

9. Erläutern Sie die Bedingungen für die Gestaltung von Reinigungsprozessen!

- hinreichender Reinigungseffekt (ggf. Verwendung schmutzlösender Mittel)
- hohe Produktivität und zumutbare Arbeitsbedingungen (Verfahren --> Sandstrahlen, Einsatz von Wasserdampf, Heißdampf, CO₂ -Eis)
- keine korrosive und Farbschicht schädigende Wirkung (Autowäsche --> Bürsten)
- Sicherung der Umweltschutzbedingungen:
- Abwassermengen, Ölabscheider, Filterung, chem. Abscheiden von unzulässigen Bestandteilen, Recycling der Waschflüssigkeit)
- Entsorgung von Putzlappen und der abgeschiedenen Bestandteile (Sand, Öl, usw.)

10. Was verstehen Sie unter Messen und Prüfen?

Messen ist ein experimenteller Vorgang, durch den ein spezieller Wert einer physikalischen Größe als Vielfaches einer Einheit oder eines Bezugswertes ermittelt wird.

Prüfen heißt Feststellen, ob der Prüfgegenstand eine oder mehrere vereinbarte, vorgeschriebene oder erwartete Bedingungen erfüllt, insbesondere, ob vorgegebene Fehlergrenzen oder Toleranzen eingehalten werden. Mit dem Prüfen ist immer eine Entscheidung verbunden.

11. Welche Möglichkeiten der Durchführung einer Inspektion gibt es?

- direkt/indirekt
- qualitativ/quantitativ
- kontinuierlich/diskontinuierlich
- gerätelos/instrumentell

12. Erläutern Sie den Unterschied zwischen Inspektion, Überwachung und technischer Diagnose!

Anlagenüberwachung und Technische Diagnose sind eng miteinander verknüpft. Die Anlagenüberwachung geht über die TD hinaus. Sie umfasst:

- technologische Prozessführung
- Wirkungsgradüberwachung
- Beanspruchungsüberwachung,
- Abnutzungsgradüberwachung
- Schadensüberwachung.

13. Was verstehen Sie unter Fehlerfrühdiagnose (Schädigungsfrüherkennung) und worin unterscheidet sie sich von der Fehlerdiagnose?

Die Fehlerfrühdiagnose beginnt im Gegensatz zur Fehlerdiagnose bereits vor Eintritt der Maschinenstörung, die Zustandsverschlechterung des Prozesses oder der Fertigungseinrichtung wird anhand des Driftverhaltens von ausgewählten Kennwerten im Zeit- und Prozessablauf frühzeitig erkannt und gemeldet, um mögliche Qualitätsminderungen und drohende Verluste durch eine Maschinenstörung zu vermeiden. Grundlage bilden statistische Auswertungen regelmäßiger Messungen von Prozessparametern und Maschinenkennwerten sowie Erfahrungs- bzw. Sollwerte über Abnutzung von BE durch Verschleiß, Ermüdung und Korrosion im Zeitablauf sowie deren Auswirkung auf messbare Größen.

14. Womit befasst sich die Tribotechnik und worin besteht ihre Hauptaufgabe?

Die Tribotechnik befasst sich mit der Oberflächenbeschaffenheit und der konstruktiven Gestaltung von Gleit- und Wälzlager, Zahnflanken, Steuerungselementen der Hydraulik und allen sonstigen Arten von Reibflächen und den entsprechend erforderlichen Schmierstellen (Trennmitteln) sowie deren Verteilung (Schmiervverfahren). Hauptaufgabe ist die Optimierung technischer Systeme.

15. Worin besteht die Aufgabe der Schmierung?

Die Aufgabe der Schmierung besteht in der Ableitung der durch Reibung entstehenden Wärme und der Vermeidung des Eindringens von Verunreinigungen.

16. In welchen Aggregatzuständen befinden sich Schmierstoffe (a) und welche Stoffe bilden die Grundlage der Schmierstoffe (b)?

- (a) Gas, Flüssigkeit, plastische Stoffe, Festschmierstoffe,
- (b) Mineralöle und synthetische Öle

17. Was ist beim Einsatz von Schmierstoffen grundsätzlich zu beachten? In welchen Anwendungsbereichen kommen Schmierfette prinzipiell zum Einsatz?

Es ist zu beachten, dass

- 1. Vermischung von Mineralölen und synthetischen Ölen,
- 2. Mischung unlegierter gebrauchter Mineralöle mit neuen legierten Mineralölen,
- 3. die eigenmächtige Zumischung von Additiven in unlegierte Öle und Feststoffen (z.B. von Grafit, Molybdändisulfid) ist zu vermeiden.

Dort, wo sie wegen ihrer Konsistenz und Penetration gut haften bleiben und somit eine gute Depot-schmierung gewährleisten (Fettfüllungen, For-Live-Schmierung).

18. Warum dürfen Fettkragen an Lagerrändern bzw. an der Außenseite von Dichtelementen keinesfalls entfernt werden?

Aufgrund ihrer Abdichtwirkung sollten Fettkragen nicht entfernt werden. Sie verhindern das Eindringen von Schmutz, Staub und Wasser.

19. Wodurch erhält das Schmierfett seine Konsistenz?

Schmierfette enthalten einen Verdicker, in dessen Kapillaren sich das Schmieröl befindet. Durch die Druckbelastung wird es an die zu schmierenden Reibstellen abgegeben. Der Verdicker dient als „Öl-Gefäß“ (Schwamm) und trägt nicht unmittelbar zur Schmierung bei.

20. Welche Auswirkungen kann eine Mangelschmierung verursachen?

- zu hohe Druckbelastung
- übermäßige Erwärmung
- bei sehr tiefen Temperaturen (Regeneration durch Anwärmen oder Walken) „Ausbluten“ des Schmierfetts

Instandhaltung

Grundlagen – Strategien -Werkstätten

Übungs- und Kontrollfragen

© Springer Vieweg, Springer Verlag Berlin Heidelberg 2012

978-3-642-27389-6

21. Warum ist das Vermischen von Schmierfetten mit unterschiedlichen Verdickern zu vermeiden und warum sind bei Fettwechsel vorher die Leitungen zu säubern!

Durch unterschiedliche Konsistenz der einzelnen Schmierstoffe kommt es zu unterschiedlichen Schmiereffekten.

22. Was ist eine Mineralölemulsion? Was bewirkt sie und welche Auswirkungen hat ein zu rascher Durchlauf von Emulsionen im System?

Mineralölemulsionen (enthalten Emulgatoren und Stabilisatoren) sind Öl-Wasser-Gemische, die eine gleichmäßige und stabile Verteilung kleiner Öltröpfchen im Wasser bewirken. Ist die Mineralölemulsion stark verschmutzt, wird sie unbrauchbar. Filtern ist nicht möglich. Wird die Emulsion mit zu hohem Druck durch das System gepumpt, kommt es zur vorzeitigen Trennung von Öl und Wasser und damit zur Zerstörung der Emulsionsfunktion (Schmier- und Kühlwirkung an der **Wirkpaarung Werkzeug-Werkstück**).

23. Erläutern Sie die Grundsätze für das Schmieren!

1. Verwendung des vorgeschriebenen Schmierstoffs nach Art und Menge (nicht nach dem Motto - "viel hilft viel"),
2. Sichern der Sauberkeit (verölte Fußböden bilden Gefahrenquellen für die Beschäftigten aber auch für das Grundwasser),
3. Restloses Entfernen des gealterten und/oder verunreinigten Schmierstoffs,
4. Einhalten der Schmierintervalle,
5. Vermeiden des Eindringens von Fremdstoffen in die Schmierstellen während des Schmierens,
6. Einsatz von Ölwechsel- und Spülgeräten,
7. Voraussetzung: richtiges Lagern und Verwalten des Schmierstoffs.

24. Warum ist die Einbindung der Instandhaltung einschließlich des Schmierdienstes in das betriebliche Informationsflusssystem für das Unternehmen von Bedeutung und wie erfolgt diese?

Es dient der effektiven Auswertung der Erkenntnisse der Instandhaltung zur Optimierung technischer Anlagen und Maschinen.

25. Welche Aufgabe hat die IH-Organisation?

Die Sicherstellung, dass der richtige Schmierstoff zur richtigen Zeit in ausreichender Menge an die vorgesehene Stelle aufgetragen wird; sie plant, regelt und steuert die Arbeiten unter Nutzung von Daten aus dem Informationssystem und befasst sich mit der räumlichen und zeitlichen Folge des Zusammenwirkens von

- verfügbarem Personal,
- zugeordneten Maschinen- und Anlagengruppen und
- den erforderlichen Werkzeugen und Betriebsstoffen.

26. Warum müssen vor Ort festgestellte Mängel oder Schäden an zu schmierenden Maschinenteilen und Schmiereinrichtungen sofort gemeldet werden?

Weil bei Nichtbeachtung in absehbarer Zeit mit einem Schaden und damit mit einem Ausfall zu rechnen ist.

27. Warum ist eine optimale Schmierung und tribotechnische Betreuung von Maschinen und Anlagen für jeden Betrieb von entscheidender wirtschaftlicher Bedeutung?

Dies bewirkt eine einwandfreie Funktion der Maschinen und eine Minimierung des Verschleißes an aufeinander gleitenden oder abrollenden Maschinenteilen.

28. Welche Ziele hat eine optimale Organisation der Schmierung?

1. ein störungsfreier und verschleißarmer Betrieb der eingesetzten Maschinen und Anlagen,

Instandhaltung

Grundlagen – Strategien -Werkstätten

Übungs- und Kontrollfragen

© Springer Vieweg, Springer Verlag Berlin Heidelberg 2012

978-3-642-27389-6

2. eine den Betriebsnotwendigkeiten angepasste Anzahl von Schmierstoffen,
3. minimaler Zeitaufwand bei der Schmierstoffversorgung und Sichtkontrolle der Maschinen,
4. einfache, übersichtliche und fachgerechte Lagerhaltung (Umwelt-, Brandschutz), fachgerechte Ausgabe und Transport der Schmierstoffe im Betrieb (saubere, dichte Behälter, schnelle Ausgabe, kurze Wege),
5. niedrige Lagerkosten, fachgerechte Handhabung,
6. kostengünstiger Einkauf durch größerer Bestelleinheiten, fachgerechter Auswahl der Schmierstoffe,
7. fachgerechte vorschriftsmäßige Entsorgung von Altschmierstoffen

29. Was verstehen Sie unter Stammdaten im Bereich Wartung und in welche beiden Hauptgruppen werden sie eingeteilt?

Man unterscheidet einmalig zu erfassende Stammdaten (die allerdings in Abständen aktualisiert werden müssen) und laufend zu erfassende Bewegungsdaten.

a) Statische Daten sind:

- Inventar-Nummer
- Technische Daten, Schmierstoffspezifikationen,
- Wiederbeschaffungswert,
- Standortdaten, Anlagendaten,
- Kostenstelle,
- Bezeichnung von Ersatzteilen (Code),
- Standardarbeitstexte,
- Inspektions-, Wartungs-, Schmier- und Instandsetzungspläne.

b) Bewegungsdaten (dynamische Daten) sind: Schadensbeschreibungen und -analysen, Materialverbräuche, Personalaufwände, Maschinenausfallzeiten, Ausführungstermine, Folgekosten usw.

30. Für welche Zwecke werden die Bewegungsdaten permanent ausgewertet? Wozu werden Plandaten benötigt?

Bewegungsdaten werden u.a. für Soll-Ist-Vergleiche, die Schwachstellenforschung, Schadensanalyse, Ersatzteilmwirtschaftung, Schmierstoffbevorratung und die Erarbeitung von Plandaten benötigt.

Die Plandaten werden benötigt für die

- Kapazitätsermittlung von Instandhaltungswerkstätten,
- Bildung anlagenspezifischer Kennzahlen (nach VDI 2893),
- Budgeterstellung,
- Vorbereitung von Ersatz- und Erweiterungsinvestitionen.

31. Warum muss die Einführung und Überwachung des Schmierdienstes ausschließlich von auf dem Gebiet der Tribotechnik geschulten Fachkräften innerhalb der Instandhaltung durchgeführt werden?

Die Schmierdienstorganisation und -planung stellt hohe Ansprüche an das Personal, um die Qualität der Schmierleistung zu gewährleisten.

32. Welches Instrument bildet die Grundlage für die optimale Planung und Durchführung des Schmierdienstes und welche Informationen liefert es?

Eine elektronische Schmierdienstdatenbank bildet die Grundlage für ein optimales Schmiermanagement. Die Datenbank ist zu pflegen. Die Planungsdaten sind zu optimieren. Die Datenbank enthält:

- die Bezeichnung der zu schmierenden Anlagen, Aggregate und Maschinen,
- die zu versorgenden Maschinenteile,
- Art und Anzahl der Schmierstellen (z. B. Größe und Art der Schmiernippel)
- Sorten und Mengen des erforderlichen Schmierstoffs pro Schmierstelle,
- Angaben zu den Schmierungs- und Schmierstoffwechselintervallen,

- zu beachtende Umweltprobleme.

33. Welche Dokumente werden zur Erstellung der Wartungsunterlagen herangezogen?

- Betriebs- und Wartungsanleitungen mit Schmierstoffempfehlungen und Zeichnungen des Maschinenherstellers,
- betriebsinterne Hinweise zur Sortenstandardisierung,
- Anweisungen des leitenden Fachpersonals zur Einordnung von Schmierstoffempfehlungen in die betriebsinterne Sortenauswahl.

34. Welche Aufgabe hat der Schmierplan und wie ist er aufgebaut?

Der Schmierplan dient als Datenträger zur Ablaufplanung im Instandhaltungssystem und bildet die Grundlage der Arbeitsabläufe und Kostenplanung/-optimierung. Der Schmierplan (Arbeitsplan) besteht aus einem Kopfteil mit den Stamm- und Auftragsdaten sowie dem danach folgenden beschreibenden Teil des organisatorischen und technischen Ablaufs (VDI 2890: Erstellung eines Wartungs- und Inspektionsplanes). Der Schmierplan wird dem Schmierauftrag (Wartungsauftrag) beigelegt.

35. Wozu dient der Schmierauftrag und welche Daten enthält er?

Der Schmierauftrag bildet die Grundlage für die ordnungsgemäße Durchführung der Wartungsmaßnahme und die Sammlung und Weitergabe von Informationen. Zur Ermittlung der Kosten muss der Arbeitsumfang ausreichend definiert sein. Im Einzelnen enthält der Schmierauftrag folgende Daten:

- o Auftragsnummer und -datum,
- o Objektbenennung (Anlagen-Nr., Inventar-Nr., Standort-Nr.),
- o Maschine, Maschinenteil,
- o Auftragsbeschreibung, ggf. Schadencodierung,
- o Termine,
- o Art der Schmierung,
- o Art der durchzuführenden Arbeiten,
- o Schmierstoffart und -menge,
- o Intervall der durchzuführenden Arbeiten,
- o Plan-/Istzeit durchzuführender Arbeiten

36. Warum sollte die Anzahl der Schmierstoffsorten so gering wie möglich gehalten und die Sortenbereinigung als eine kontinuierlich zu verfolgende Maßnahme angesehen werden?

Es werden Kostenvorteile erzielt durch:

- Mengenrabatte bei größeren Bestelleinheiten,
- Einsparungen in der Lagerwirtschaft (geringere Kapitalbindung),
- Vermeidung von Schäden durch Verwechslung und Verlusten durch Überlagerung,
- Verringerung der Restmengen und der damit verbundenen Entsorgungsaufwendungen.

37. Welche Dokumente bilden die Grundlage für die Auswahl der Schmierstoffe und durch wen erfolgt die Beschaffung?

Die Grundlage für die Auswahl der Schmierstoffe bilden die Konstruktionsunterlagen (DIN 24420) sowie die Betriebs- und Wartungsanleitungen. Die Beschaffung erfolgt grundsätzlich nur durch die für den Schmierdienst zuständigen Instandhaltungsabteilung (kompetenter Fachmann für Schmierstofftechnik).

38. Nennen Sie die Hauptziele der Schmiermittelbeschaffung!

- Lieferantenzahl minimieren,
- Sortenzahl gering halten,
- hohe Abnahmemengen realisieren.

Instandhaltung

Grundlagen – Strategien -Werkstätten

Übungs- und Kontrollfragen

© Springer Vieweg, Springer Verlag Berlin Heidelberg 2012

978-3-642-27389-6

39. Warum sind Schmierstoffe bei vielen Konstruktionen in Abständen zu erneuern und wovon ist der Erneuerungszeitpunkt von Schmierstoffen abhängig?

Schmierstoffe sind hochmolekulare Verbindungen, die aufgrund ihrer chemischen Struktur (Molekülketten organischer Natur) in der Lage sind, Reibungs- und Wärmeenergie sowie Abrieb und Schmutz aufzunehmen und abzuleiten, im Laufe der Nutzung verringern Molekülabbau und Verschmutzung die Schmiereigenschaften. Der Erneuerungszeitpunkt ist abhängig:

1. von der Art,
2. vom Abnutzungs- sowie Alterungsverhalten und/oder
3. vom Verschmutzungsgrad
des Schmierstoffs.

40. Erläutern Sie die Grundsätze des Schmierens!

1. Verwendung des vorgeschriebenen Schmierstoffs nach Art und Menge (nicht nach dem Motto - "viel hilft viel")
2. Sauberkeit (verölte Fußböden bilden Gefahrenquellen für die Beschäftigten aber auch für das Grundwasser)
3. Restloses Entfernen des gealterten und/oder verunreinigten Schmierstoffs
4. Einhalten der Schmierintervalle
5. Vermeiden des Eindringens von Fremdstoffen in die Schmierstellen während des Schmierens
6. Einsatz von Ölwechsel- und Spülgeräten

41. Welche Schmierv Verfahren kennen Sie? Erläutern Sie diese kurz!

1. Lebensdauerschmierung

Der Schmierstoff wird der Reibstelle nur einmal zugeführt und bleibt entweder für die gesamte Lebensdauer des Maschinenteils funktionstüchtig oder für die Dauer eines absehbaren Zeitraums, nach dem die Aufarbeitung eines Aggregates erforderlich ist.

2. Durchlaufschmierung

Der Schmierstoff wird der Reibstelle mehrfach während der Lebensdauer des Maschinenteils zugeführt, es wird unterschieden in

- a) Intervallschmierung
- b) Dauerdurchlaufschmierung (kontinuierliche Zufuhr von Schmierstoff; Varianten: Verlustschmierung, Umlaufschmierung)

42. Was verstehen Sie unter Bedarfskenngrößen im Bereich des Schmiermitteleinsatzes! Nennen Sie drei bis vier Beispiele!

1. Schmierstoffbedarf

$SB = \text{Schmierstoffmenge/Bezugsgröße}$

2. Schmierstoffverbrauch

Durch Verluste bedingte Nachfüllmenge je Bezugseinheit (z. B. Filtrierverluste):

$SV = \text{Verlustmenge/Bezugsgröße}$

3. Rückgewinnungsgrad

Altschmierstoffanteil der zugeführten Schmierstoffmenge, vom Schmierv Verfahren und dem Zustand der Maschine abhängig

$\text{Altschmierstoffmenge/Bezugsgr.}$

$RG = \frac{\text{Altschmierstoffmenge/Bezugsgr.}}{\text{zugeführte Schmierstoffmenge/Bezugsgr.}} \cdot 100\%$

4. Wiedergewinnungsgrad

Der nach Aufbereitung als Schmierstofffiltrat oder -regenerat wieder verwendbarer Anteil des eingesetzten Schmierstoffs, von der Güte des eingesetzten Öls und dem Aufbereitungsverfahren abhängig.

43. Welche Ziele hat die Abstellorganisation und wie hoch schätzen Sie die entstehenden Schäden infolge ineffizienter Abstellorganisation?

Ziele sind:

1. optimaler Schutz gegen Korrosion,
2. max. Schutz gegen Alterung,
3. max. Schutz gegen Veränderung von Einstellmaßen und gegen Verformung,
4. Schutz vor Verlust.

Fehler beim Abstellen verursachen Schäden bis zu 10 % der Instandhaltungskosten.

44. Welche Kriterien bestimmen Inhalt und Umfang der Abstellmaßnahmen?

Die Konstruktion, die Klimabedingungen sowie die Abstelldauer.

45. Welche wichtigen Maßnahmen sind beim Abstellen von Bedeutung?

1. Reinigen, Schmieren
2. Unterstellen, wenn im Freien unzulässig
3. Aufbocken luftbereifter Fahrzeuge, $p=0,1$ MPa
4. Werkzeuge und Zubehör auf Vollständigkeit prüfen, Betriebstauglichkeit kontrollieren, Konservieren, Einlagern
5. Keilriemen entspannen, Klemmen und Kontakt elektrischer Anlagen reinigen und mit Polfett konservieren
6. Rollenteile, Ketten, Bänder usw. demontieren
7. Akkus reinigen, geladen in trockenen Räumen lagern
8. Kühlflüssigkeit ablassen
9. Verbrennungsmotoren konservieren, abdichten
10. Sichtbare Schäden für die geplante Instandhaltung registrieren
11. Korrosionsschutz: langfristig > 1 Jahr; kurzzeitig (temporär) < 1 Jahr
12. Abstellräume -> Bereitschaft für Katastrophenfall, Zugang ist jederzeit zu gewährleisten

46. Welche Aufgabe hat die Abstellorganisation? Was beinhaltet die betriebliche Abstellordnung?

Die Aufgabe besteht darin, alle im Betrieb vorübergehend oder endgültig nicht mehr benötigte Ausrüstungsgegenstände, Werkzeuge, Vorrichtungen und Prüfmittel so anzustellen, dass sie bei Bedarf wieder auffindbar und in funktionsfähigem bzw. verwendungsfähigen Zustand sind.

Die Abstellordnung des Betriebes enthält die Bezeichnung des abgestellten Gegenstandes mit Angabe entsprechender Daten, z.B. Alter, Abmessungen, Gewicht, Zeitwert, Anschaffungswert, Abstelltermin, Abstellort, Abstellmaßnahmen (z.B. Korrosionsschutz) und Verantwortlichkeit

47. Durch welche Faktoren wird die Soll-Zeit einer technischen Anlage vermindert?

1. um produktionsorganisatorische (Umrüst-Werkzeugwechsel-, Reinigungszeiten)
2. um betriebsorganisatorische (z.B. fehlende(s) Material/Werkzeug/Arbeitskraft)
3. um technisch bedingte Ausfälle und Störungen (infolge normaler Abnutzung, Überlastung, Ermüdung, Korrosion, Bedienungsfehler usw.)
4. geplante Instandhaltungsarbeiten

Produktionsorganisatorische Stillstände sind aus technologischen Gründen unvermeidbar und geplante Instandhaltung ist notwendig.

48. Was verstehen Sie unter dem Mikro-Dieseleffekt?

Es handelt sich dabei um eine Selbstzündung eines Gas-Luft-Gemischs im Hochdruckbereich (ähnlich der Kavitation). Die Gasblasen gelangen, z. B. im Hydrauliksystem, in den Dichtungsspalt sowie an die Spaltkanten der Ventile und explodieren infolge der Verdichtung. Dabei werden die Dichtungen in kürzester Zeit zerstört und Spaltkanten an Ventilen beschädigt. Der Mikrodieseleffekt beschleunigt die Alterung des Öls erheblich.

49. Welche Faktoren beschleunigen die Alterung des Schmieröls?

Übermäßige Verschmutzung, vermischte Öle, zu hohe Temperaturen, schlechte Metallverträglichkeit bei Hydraulikölen, zu geringe Oxidationsstabilität der Grundöle, ungenügende Ölkühlung.

B Umgang mit Schmierstoffen

1. Nennen Sie die Grundvoraussetzungen für den Erhalt der geforderten Eigenschaften des Schmierstoffs?

Grundvoraussetzungen sind eine fachgerechte Lagerung, Ausgabe und Rücknahme der Leergebinde und Entsorgung von Restmengen.

2. Worin bestehen die Hauptziele des Schmierstoffmanagements?

Das Hauptziel des Schmierstoffmanagements besteht darin, alle Schmierstellen zu den geplanten Zeitpunkten ausreichend mit dem optimalen Schmiermittel zu versorgen, Restmengen ordnungsgemäß zu lagern und umweltgerecht zu entsorgen.

3. Wie erfolgt i.d.R. die Anlieferung der Schmierstoffe und wie sind die Lagerräume grundsätzlich zu gestalten?

Die Anlieferung erfolgt in 200 l Fässern (Drums), kleinere Mengen in Eimern, Kanistern oder Dosen. Bei Großabnahmen erfolgt sie in Containern, Tank- oder Kesselwagen. Die Lagerung hat in geschlossenen Räumen zu erfolgen. Dabei ist zu beachten:

4. Womit sollten Schmierstofflagerbehälter grundsätzlich ausgerüstet sein?

Mit Schrägböden sowie Entlüftungs- und Entwässerungsmöglichkeit (am besten: schräg liegende zylindrische Tanks).

5. a) Welche Anordnung und Verteilung sollte bei der Lagerung der Schmierstoffe beachtet werden?

- ein Zentrallager bietet eine bessere Kontrolle und Übersicht als eine dezentrale Lagerung, außerdem ist eine Verteilung über Rohrverteilungsnetze möglich,
- der Standort sollte schmutz- und staubfrei, nicht feuergefährdet sein,
- für angemessene Be- und Entlüftung ist zu sorgen,
- gute Lesbarkeit aller Kennzeichen an den Gebinden sichern,
- Zapfstellen sind mit Tropfgefäßen zu versehen,
- leichte und saubere Entnahme ist zu ermöglichen,
- Kennzeichnung von außerhalb des Gebäudes installierten Rohrleitungen zum Befüllen der Tanks.

b) Wie sollten Schmierstoffe gelagert werden?

- Behälter sind in trockenen Räumen ohne große Temperaturschwankungen zu lagern. Schmierstoffgebinde „atmen“ bei Temperaturschwankungen aufgrund des relativ hohen Ausdehnungskoeffizienten des Öles. Dabei dringt mehr oder weniger feuchte Luft ein, wobei sich bei niedrigerer Temperatur Kondenswasser bilden kann.

Instandhaltung

Grundlagen – Strategien -Werkstätten

Übungs- und Kontrollfragen

© Springer Vieweg, Springer Verlag Berlin Heidelberg 2012

978-3-642-27389-6

- Die Lagertemperatur sollte zwischen 15 und 25 °C liegen. Frost und übermäßige Erwärmung sind zu vermeiden. Besonders bei Freilagerung sollten Kunststoffgebinde keinem starken Wärmeeinfluss oder intensiver Sonneneinstrahlung ausgesetzt werden.
- Wenn eine Lagerung im Freien nicht vermeidbar ist, sind die Gebinde nicht stehend, sondern liegend zu lagern, um die Lesbarkeit der Beschriftung zu sichern und das Eindringen von Feuchtigkeit zu vermeiden. Die Gebinde sollten vor Frost und übermäßiger Sonneneinstrahlung geschützt werden.
Fettgebinde sollten aufrecht unter einer Überdachung gelagert werden. Sie sind vor extremen klimatischen Einflüssen wie Sonneneinstrahlung und starkem Frost sowie vor Staub und Schmutz zu schützen.
- Vermischungen von Ölen aus verschiedenen Gebinden oder gar Sorten sind grundsätzlich zu vermeiden. Reste dürfen nicht in andere Gebinde umgefüllt werden, da es zu Verwechslungen kommen kann, wenn das Etikett nachher nicht mehr mit dem tatsächlichen Inhalt übereinstimmt oder die vermischten Öle unterschiedliche Leistungsprofile aufweisen.
- Besonders bei Motorenölen wird das Leistungsniveau ständig den neuesten technischen Entwicklungen angepasst. Liegen hier Produkte länger im Lager, darauf zu achten, dass die jeweiligen Spezifikationen und Freigaben noch den aktuellen Anforderungen des Fahrzeugherstellers entsprechen.

6.

a) Welche gesetzlichen Regeln gelten für Umgang mit Schmierstoffen?

Betriebssicherheitsverordnung (BetrSichVO)

Richtlinie 67/548/EWG

Verordnung zum Schutz vor gefährlichen Stoffen (Gefahrstoffverordnung - GefStoffV) vom 26. 11. 2010

Wasserhaushaltsgesetz (WHG)

b) Wie sollten Schmierstoffe gelagert werden?

Schmiermittel etc. werden zur Wartung der Betriebsmittel und Transportfahrzeuge benötigt. Aus Brand- und Schutzgründen sind diese Produkte in einem abschließbaren Raum (Schmierstofflager), aufbewahrt werden. Es ist sicherzustellen, dass nur ausgewählte und unterwiesene Personen Umgang mit Schmierstoffen haben.

Das Schmierstofflager darf keinen Bodenablauf haben und muss mit einer Auffangvorrichtung (z.B. Auffangwanne) versehen sein, um zu verhindern, dass auslaufendes Öl ins Erdreich oder Grundwasser gelangt.

c) Wie sind mit Schmiermitteln in Berührung gekommene Stoffe und Materialien zu entsorgen?

Mit Schmiermitteln verschmutzte Stoffe (z. B. Putzmaterial) sind in nicht brennbaren Behältern zu sammeln, die geschlossen zu halten sind. Gebrauchte Putztücher, die wieder verwendet werden sollen, sind mindestens in schwer entflammenden Behältern zu sammeln. Abgelöste Ablagerungen, Putzklappen und gebrauchte Lösemittel sind in getrennten, nicht brennbaren Behältern zu sammeln, und täglich aus den Arbeitsräumen zu entfernen.

7. Was verstehen Sie unter wassergefährdenden Stoffen und wie stuft der Gesetzgeber Mineralölprodukte und synthetische Schmierstoffe in Bezug auf die Wassergefährdung ein?

Das Wasserhaushaltsgesetz (WHG) in der seit dem 1.3.2010 geltenden Fassung definiert **wassergefährdende Stoffe** als „feste, flüssige und gasförmige Stoffe, die geeignet sind, dauernd oder in einem nicht nur unerheblichen Ausmaß nachteilige Veränderungen der Wasserbeschaffenheit herbeizuführen“. Dazu zählen auch alle Mineral- und Teeröle und deren Produkte.

Instandhaltung

Grundlagen – Strategien -Werkstätten

Übungs- und Kontrollfragen

© Springer Vieweg, Springer Verlag Berlin Heidelberg 2012

978-3-642-27389-6

8. Welche Mengen dürfen in Vorratsräumen anzeige- und erlaubnisfrei nach dem Geweberecht gelagert werden (feuerhemmende Abtrennung von angrenzenden Räumen allerdings erforderlich):

Tabelle 1: Lagermenge in Litern

Bei einer Grundfläche	A I	A II
bis 60 m ²	60	120
über 60 m ² bis 500 m ²	200	400
über 500 m ²	300	600

9. Welche Mengen müssen bei Lagerung in Vorratsräumen nach dem Geweberecht angezeigt werden? (feuerhemmende Abtrennung von angrenzenden Räumen allerdings erforderlich):

Tabelle 2: Anzeigepflichtige und genehmigungsbedürftige Mengen für Lagerräume nach dem Geweberecht

	A I	A II
anzeigepflichtig	450 bis 1.000	3.000 bis 5.000
genehmigungsbedürftig	ab 1.000	ab 5.000

10. Welches Gesetz regelt den Besorgnisschutz im Zusammenhang mit der Instandhaltung?

Nach dem Wasserhaushaltsgesetz (WHG) § 19 g (1) müssen Anlagen zum Lagern, Abfüllen, Herstellen, Behandeln und Verwenden Wasser gefährdender Stoffe so beschaffen und eingebaut, aufgestellt, unterhalten und betrieben werden, dass keine Verunreinigung der Gewässer oder sonstige nachteilige Veränderung ihrer Eigenschaften zu besorgen ist.

Fachbetriebspflicht (§ 19 I Abs. 1 WHG)

Bau, Aufstellung, Instandhaltung und Reinigung nur von Fachbetrieben

Überwachungspflicht (§ 19 i Abs. 2 WHG)

Dichtheit und Funktionsfähigkeit, Überwachung von Befüllung und Entleerung, Kontrolle der Sicherungseinrichtungen. Prüfpflicht ist in § 19 i Abs. 2 WHG geregelt. Zugelassene Sachverständige prüfen:

- vor Inbetriebnahme oder nach wesentlichen Änderungen,
- spätestens 5 Jahre nach der letzten Überprüfung,
- vor Wiederinbetriebnahme einer länger als ein Jahr dauernden Stilllegung, auf behördliche Anordnung,
- bei Stilllegung der Anlage.

11. Worin bestehen die Pflichten des Unternehmers?

Betriebspflichten: Feste Leitungsanschlüsse, Überfüllsicherung

Anzeigepflicht: Beim Austreten Wasser gefährdender Stoffe hat der Betreiber der Anlage bei der zuständigen Behörde unverzüglich Anzeige zu erstatten (Kanalisation, Oberflächengewässer).

Überwachung von Schmierstoffen

- Regelmäßige Kontrolle des Ölstands (Ölstandsschaugläser, Maßstäbe)
- Feststellung des Alterungs-(Oxidations-) und Verschmutzungsgrads
- Tropfenprobe auf Filterpapier
- Vergleich einer Gebrauchtölprobe mit einer Neuölprobe im Reagenzglas (Alterungszustand prüfen)
 - ➔ Entnahme als Umlaufprobe
 - ➔ Probe aus dem Ölsumpf

12. Erläutern Sie die bekannten Methoden der Bestimmung der Wasseranteile im Schmieröl!

Instandhaltung

Grundlagen – Strategien -Werkstätten

Übungs- und Kontrollfragen

© Springer Vieweg, Springer Verlag Berlin Heidelberg 2012

978-3-642-27389-6

Spratzprobe: die verunreinigte Ölprobe wird im Reagenzglas über einer Flamme (Kerze, Feuerzeug) erhitzt: Knacken und Spratzen ab 0,1 % Wasser, Übersäumen ab 3% Wassergehalt.

Absetzprobe: Im Standgefäß setzt sich Wasser am Boden ab (ab ca. 5 % Wasseranteil).

Schmieröle, die eine höhere Dichte als Wasser haben, scheiden das Wasser an der Oberfläche ab. Wird Wasser durch feinste Staubteilchen gebunden, erscheint das Schmieröl trübe. Entwässern und Reinigen erfolgen durch Zentrifugieren bei tropfenweiser Zugabe des Demulgators.

13. Begründen Sie, warum überhitzte Schmierfette nicht wiederverwendbar sind?

Da meistens der Verdicker geschmolzen und verkocht ist, das Grundöl ist ausgeblutet. Dadurch hat das Schmierfett seine Schmierwirkung verloren.

14. Wie reagiert ein nicht wasserbeständiges Schmierfett bei Wassereintritt?

Es emulgiert bei Wasserzutritt, wird weich und tritt aus dem Gleit- oder Wälzlager aus.

15. a) Welche bekannten Methoden der Schmierstoffreinigung kennen Sie?

b) Welche ist die einfachste und damit billigste Reinigungsmethode (b)?

a) Zum Einsatz kommen mobile und stationäre Reinigungs- und Pflegegeräte.

Mobile Pflegedienstgeräte: Absaugung, Filterung, Spülung und Befüllung vor Ort bzw. Anpassung von Einzelfunktionen an den jeweiligen Bedarf.

Geräte enthalten:

- elektrische Durchlauferwärmung,
- Filter
- Zentrifuge

Stationäre Anlagen: Anlagen zum Absetzen, Filtern und Separieren

Einsatz: Reinigung ausgetauschter Ölfüllungen bzw. für aufzuarbeitendes Altöl

Auswahl der Reinigungsart: ist abhängig von Art und Grad der Verunreinigung sowie Durchsatzmenge je Zeiteinheit

b) Absetzen: Voraussetzung ist, dass genügend hohe Stillstandszeit zur Verfügung steht.

Verfahren hat hohen Wirkungsgrad ist aber zeitaufwändig, (senkrecht stehende, große zylinderförmige Absetzbehälter mit kegelförmigem Boden und Schmutzanlass)

Anwendung: Vorreinigung großer Mengen gleichartigen Gebrauchsöls (Additivierung und Viskosität)

16. Welche gültigen Verordnungen zur Altöl- und Schmierstoffentsorgung kennen Sie?

Abfallrecht:

- Abfallgesetz (AbfG vom 27.08.86)
- Altölverordnung (AltöIV vom 27.10.87)
- Abfallnachweisordnung (AbfNachwV)
- Abfallbeförderungsverordnung (AbfBefV)
- Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetz (Krw-/AbfG)

Altöl ist Abfall im Sinne des AbfG. Der Anspruch auf kostenloses Abholen des Altöls durch Altölsammler ist entfallen. Für die ordnungsgemäße Entsorgung ist grundsätzlich der Altölbesitzer verantwortlich. Es gilt das Verursacherprinzip.

17. Wie werden gemäß Altölverordnung (AltöIV) Altöle eingeteilt?

Kategorie 1: Aufarbeitungsfähige Altöle, Grenzwerte: PCB-Gehalt < 4 ppm und /oder 0,2 % Gesamthalogene, (Verbrennungsmotoren- und Getriebeöle, Turbinen-, Maschinen- und Hydrauliköle, Isolieröle, Metallbearbeitungsöle auf Mineralölbasis)

Kategorie 2: Altöle für Energienutzung, sind zwar verunreinigt, dürfen aber in dafür zugelassenen Anlagen verbrannt werden (Metallbearbeitungsöle, Isolieröle auf Mineralölbasis, pflanzliche Schmieröle)

Kategorie 3: Altöle = Sonderabfälle: Altöle, die als Sonderabfälle entsorgt werden müssen (alle aus dem Steinkohlenbergbau stammenden Hydraulikflüssigkeiten sowie andere gebrauchte Öle, soweit sie nicht den Kategorien 1 und 2 angehören, sowie Öle unbekannter Herkunft, deren Analyseergebnisse keine Zuordnung zu Kat. 1 oder Kat. 2 erlaubt, z.B. Kleinmengen)

18. Mit welchen Stoffen dürfen verwertbare Altöle der Kategorien 1 und 2 gemäß Altölverordnung keinesfalls vermischt werden?

Ein Vermischungsverbot gemäß AltöIV

- Korrosionsschutzmittel,
- Bremsflüssigkeit,
- Wasser,
- Wasser-Öl-Gemischen,
- Emulsionen,
- Frostschutzmitteln,
- Reinigungsmitteln (Tri- und Perchloräthylen),
- Kaltreinigern,
- Nitroverdünnung,
- Inhalten von Öl- und Benzinabscheidern,
- Batteriesäure,
- Lackrückständen,
- Rückständen aus der Entwachsung einschl. Wachspflegemitteln,
- Sonstigen Chemikalien.

19. Wie regelt das Gewerberecht den Umgang mit Schmierstoffen?

Das Gewerberecht regelt den Umgang mit Schmierstoffen durch die *Verordnung über Anlagen zur Lagerung, Abfüllung und Beförderung brennbarer Flüssigkeiten zu Lande (VbF)*

Brennbare Flüssigkeiten

1. Altöle mit Flammpunkten von 55 bis 100 °C und alle Altöle bekannter Herkunft mit einem Flammpunkt > 100 °C → VbF-Gefahrenklasse AIII.
2. Altöle bekannter Herkunft mit einem Flammpunkt von 21 bis 55 °C → VbF-Gefahrenklasse AII
3. Altöle bekannter Herkunft mit einem Flammpunkten < 21 °C → VbF-Gefahrenklasse AI.

20. Wie sind Altöle unbekannter Herkunft zu lagern?

Nach der TRbF (Technische Regeln für brennbare Flüssigkeiten) sind Altöle unbekannter Herkunft (VbF-A I) in Behältern mit einem Fassungsvermögen über 60 l nur gelagert werden, wenn sie als ortsfeste Behälter die TRbF 120 und 121 und als bewegliche Behälter die TRbF 142 bzw. 143 erfüllen.

21. Wie regelt der Gesetzgeber

a) die Schmierstoffentsorgung?

Gemäß Altölverordnung § 8 (1) sind Unternehmen, die gewerbsmäßig Verbrennungsmotoren- oder Getriebeöl an Endverbraucher abgeben, verpflichtet, vor einer Abgabe eine Annahmestelle nach Absatz 1a für solche gebrauchten Öle einzurichten oder eine solche durch entsprechende vertragliche Vereinbarung nachzuweisen. Bei der Abgabe an private Endverbraucher ist durch leicht erkennbare und lesbare Schrifttafeln am Ort des Verkaufs auf die Annahmestelle nach Absatz 1a hinzuweisen.

Nach Absatz (1a) muss die Annahmestelle gebrauchter Verbrennungsmotoren- oder Getriebeöle bis zur Menge der im Einzelfall abgegebenen Verbrennungsmotoren- und Getriebeöle kostenlos annehmen. Sie muss über eine Einrichtung verfügen, die es ermöglicht, den Ölwechsel fachgerecht durchzuführen. Absatz (3) regelt die räumliche Entfernung. Befindet sich die Annahmestelle nicht am Verkaufsort, so muss sie in einem solchen räumlichen Zusammenhang zum Verkaufsort stehen, dass

ihre Inanspruchnahme für den Käufer zumutbar ist. Die Absätze 1 bis 2 gelten sinngemäß auch für Ölfilter und beim Ölwechsel regelmäßig anfallende ölhaltige Abfälle.

- b) die Anforderungen an das Entsorgungsunternehmen hinsichtlich Betriebsorganisation und Personalausstattung?

Mit der Entsorgungsfachbetriebsverordnung (EfBV) regelt der Gesetzgeber die Anforderungen an das Entsorgungsunternehmen hinsichtlich Betriebsorganisation und Personalausstattung. Darüber hinaus werden Anforderungen an das Management bzw. die Geschäftsführung bezüglich Qualifikation und Zuverlässigkeit definiert¹.

C Instandsetzung

1. Was verstehen Sie unter Instandsetzung?

Instandsetzung (Reparatur) ist nach DIN 31051/10 die Wiederherstellung des Sollzustands durch Ausbessern und Austauschen.

2. Welche Teilmaßnahmen sind bei der Instandsetzung von technischen Mitteln eines Systems erforderlich?

Maßnahmen enthalten:

1. Auftrag, Auftragsdokumentation und Analyse des Auftragsinhalts
2. Planung im Sinne des Aufzeigens und Bewertens alternativer Lösungen unter Berücksichtigung betrieblicher Forderungen
3. Entscheidung für eine Lösung
4. Vorbereitung der Durchführung (Kalkulation, Terminplanung, Abstimmung, Bereitstellung von Personal, Mitteln und Material, Erstellung von Arbeitsplänen)
5. Vorwegmaßnahmen (Arbeitsplatzausrüstung, Schutz- und Sicherheitseinrichtungen)
6. Überprüfung der Vorbereitung und der Vorwegmaßnahmen einschließlich der Freigabe der Durchführung
7. Durchführung
8. Funktionsprüfung und Abnahme
9. Fertigmeldung
10. Auswertung einschl. Dokumentation, Kostenerfassung, Aufzeigen und ggf. Einführen von Verbesserungen

3. Wie kann Instandsetzung erfolgen?

Intervallabhängig

Die Einleitung von Maßnahmen erfolgt in Abhängigkeit von der Zeit, Betriebszeit, Stückzahl oder ähnlichen Parametern, wenn diese ein vorgegebenes Intervall überschreiten.

Zustandsabhängig:

Einleitung von Maßnahmen aufgrund des bei der Inspektion festgestellten Ist-Zustandes. Der Zeitpunkt ist aus dem jeweiligen Ist-Zustand oder seinen wahrscheinlichen Verlauf in der nächsten Zukunft (Trend) bestimmbar

Schadensbedingt

Die Maßnahme wird *erst bei Eintritt des Schadens* durchgeführt, kann aber durchaus nach Art und Umfang vorgeplant sein.

Geplant

¹ Entsorgungsfachbetriebsverordnung (Verordnung über Entsorgungsfachbetriebe) vom 10. September 1996 ([BGBl. I S. 1421](#)), letzte Änderung am 29. Juni 2002 (Art. 7 VO vom 24. Juni 2002)

Maßnahmen, die nach Zeitpunkt, Art und Umfang geplant werden und zur Wiedererlangung der vollen Funktionsfähigkeit ergriffen werden, bevor ein Schaden zum Ausfall führt.

a) aufgrund von Erfahrungen (intervallabhängig)

b) bei erkennbar zu erwartender Beeinträchtigung der Funktionsfähigkeit (zustandsabhängig).

Vorbereitet: Maßnahmen, die nach Art und Umfang geplant werden, für die der Zeitpunkt jedoch zunächst offen bleibt.

Unvorhergesehen: Maßnahmen, deren Eintrittszeitpunkt, Art und Umfang vor Ausfall der Anlage nicht bekannt sind. Voraussetzung der Planung sind Arbeitspläne gemäß DIN 31052.

D Verbesserung

1. Was verstehen Sie unter „Anlagenverbesserung“?

Unter Verbesserung ist allgemein eine Erhöhung der Qualität und die Berichtigung von Fehlern durch Korrekturen zu verstehen. Bei der Anlagenverbesserung handelt es sich in erster Linie um Maßnahmen Steigerung der Funktionssicherheit.

2. Welche Ziele verfolgt ein Unternehmen mit der Strategie „Anlagenverbesserung“?

Die Anlagenverbesserung hat das Ziel, das gesundheitliche Risiko im Schadensfall (sofern ein solches besteht) zu reduzieren)

3. Welche technischen Maßnahmen würden Sie ergreifen, um eine Anlage zu verbessern?

Einsatz einer verbesserten Maschinensteuerung, vermehrter Einsatz von prozessmesstechnischen Systemen zur Erfassung und Bewertung des Zustandes (Fehlerfrüherkennung), Einbau von Schutzmechanismen (z. B. aut. Abschaltvorrichtung) usw.

Kapitel 3 Grundlagen der Schädigungstheorie und Schwachstellenbeseitigung

A Grundlagen der Tribologie

1. Definieren Sie den Begriff Schaden!

Unter einem Schaden versteht man Veränderungen an einem Bauteil, die seine vorgesehene Funktion beeinträchtigt oder unmöglich macht oder eine Beeinträchtigung zu erwarten lässt.

2. Was ist ein Folgeschaden?

Ein Schaden, der durch einen vorangegangenen Schaden am gleichen oder einem anderen Bauteil ausgelöst wird.

3. Welche Maßnahmen der Schadensverhütung kennen Sie?

Alle vorbeugenden Maßnahmen gegen das Auftreten von Schäden. (Fehlerfrüherkennung, Inspektion)

4. Was verstehen Sie unter dem Schädigungszustand eines technischen Arbeitsmittels und von welchen Kriterien wird das Ausmaß eines Schadens bestimmt?

a) Eine unerwünschte, nicht gerechtfertigte Abweichung von dem in den Konstruktionsunterlagen festgelegtem Sollzustand.

b) von der Art, dem Umfang, der Wirkung und den Bedingungen der Schädigung und von der Betriebsdauer.

5. Was verstehen Sie unter Gebrauchseigenschaft und in welche Kategorien wird sie eingeteilt?

Instandhaltung

Grundlagen – Strategien -Werkstätten

Übungs- und Kontrollfragen

© Springer Vieweg, Springer Verlag Berlin Heidelberg 2012

978-3-642-27389-6

Fähigkeit, eine bestimmte Funktion, z. B. eine bestimmte Zuverlässigkeit, einen bestimmten Energiebedarf, ergonomische Eigenschaften oder ästhetische Eigenschaften) zu erfüllen. Dabei wird grundsätzlich unterschieden in

- a) notwendige
- b) erwünschte

Gebrauchseigenschaften.

6. Was sind

- a) objektiv bedingte Ursachen eines Schadens? Nennen Sie ein Beispiel!

Verfahrensbedingt oder umweltbedingte Schäden, z. B. unterliegt ein Schaufelrad- oder Eimerkettenbagger im Abraum weitaus größerem Verschleiß als im Kohleabbau. Während Kohle wie ein Schmiermittel wirkt, bewirkt Abraum durch seinen Abriebfördernden Effekt wie Schleifmittel).

- b) subjektiv bedingte Ursachen eines Schadens? Nennen Sie ein Beispiel!

Konstruktions-, Fertigungs-, Bedienungs- und Instandhaltungsfehler.

8. Erläutern Sie den Unterschied zwischen einem Drift- und einem Sprungausfall!?

Der Verlust der Gebrauchseigenschaften erfolgt kontinuierlich, charakteristisch ist ein steigender Bedarf an Antriebsenergie, Kraft- und Betriebsstoffen. Zeichnen Sie den Funktionsverlauf der Abnutzung. Der Verlust der Gebrauchseigenschaften erfolgt schlagartig, charakteristisch ist ein schlagartiger Verlust der Gebrauchseigenschaften.

9. Erläutern Sie Unterschiede des Maschinenbaues, der Produktionstechnik und der Informatik bezüglich der Mechanismen der Energie-, Stoff- und Informationsflüsse!

- (A) Energie- und stoffdeterminierte Systeme erfordern für ihre technische Funktion häufig mechanische Kontakt- und Bewegungsvorgänge von Bauteilen und Substanzen, d.h. von Festkörpern, Flüssigkeiten und Gasen.
- (B) Signal- und informationsdeterminierte Systeme werden meist elektronisch realisiert, d.h. sie basieren auf submikroskopischen Bewegungs- und Schaltvorgängen von Elektronen, Ionen oder elektromagnetischen Feldern und können m. H. der Digitaltechnik optimiert werden.

10. Worin besteht das allgemeine Kennzeichen der Energie- und Stoffumsätze in technischen Systemen?

Bewegungswiderstände treten in Form von Reibung sowie Veränderungen der bewegten Bauteile und Stoffe durch Verschleiß auf.

11. Worin besteht das Ziel der Ingenieurtechnologen in Bezug auf die Gestaltung tribologischer Systeme?

- Minimierung reibungs- und verschleißbedingter Energie- und Stoffverluste durch Verschleiß.
- Gewährleistung eines möglichst störungsfreien Betriebs mit hohem Wirkungsgrad
- hohe Zuverlässigkeit.

12. Was verstehen Sie unter Tribologie und welche Aufgabe hat sie?

Nach DIN 50323 gilt:

Tribologie ist die Wissenschaft und Technik von aufeinander einwirkenden Oberflächen in Relativbewegung. Sie umfasst das Gesamtgebiet von Reibung und Verschleiß, einschließlich Schmierung und inbegriffen sind entsprechende Grenzflächenwirkungen sowohl zwischen Festkörpern als auch zwischen Festkörpern und Flüssigkeiten oder Gasen ein.

13. Was ist charakteristisch für tribologische Prozesse?

Nach den Gesetzen der Thermodynamik sind alle makroskopischen technischen Prozesse irreversibel und benötigen zu ihrer Durchführung Energie.

Werden zwei Festkörper relativ gegeneinander bewegt, so besitzen alle Moleküle jedes Körpers neben der Molekularbewegung gleich gerichtete und gleich große Geschwindigkeitskomponenten.

14. Wodurch entsteht Reibung?

Durch Reibung wandelt sich die relativ geordnete Bewegung in weniger geordnete Molekularbewegungen, d.h. in reibungsinduzierte Wärmeschwingungen um. Reibung stört ferner die geordnete Form der Festkörper, z. B. können durch Verschleiß kleinere Teilchen (Verschleißpartikel) entstehen. Reibung vergrößert das „Maß der Unordnung“.

15. Erläutern Sie die Elementarvorgänge, die Reibung und Verschleiß hervorrufen!

Elementarprozesse von Reibung und Verschleiß sind stochastischer Natur, sie laufen als dissipative, nichtlineare, dynamische Vorgänge in zeitlich und örtlich verteilten Mikrokontakten chaotisch ab.

16. Worin besteht die wissenschaftliche Aufgabe der Tribologie?

Erforschung dieser reibbedingten Energiedissipationen und verschleißbedingten Materialschädigungsprozesse.

17. Womit steht die Funktion tribotechnischer Systeme in unmittelbarem Zusammenhang?

Tribotechnische Systeme sind Gebilde, deren Funktion definitionsgemäß mit Kontaktvorgängen und „aufeinander einwirkenden Oberflächen in Relativbewegung“ d.h. mit tribologischen Prozessen verbunden ist.

18. Erläutern Sie die wichtigsten Funktionen energiedeterminierte Systeme und nennen Sie je ein Beispiel!

- Bewegungsübertragung: Führungen, Lager
- Bewegungshemmung: Bremsen, Stoßdämpfer
- Kraftübertragung: Kupplungen
- Energieübertragung: Getriebe

19. Erläutern Sie einige wichtige Funktionen stoffdeterminierter Systeme und nennen Sie je ein Beispiel!

- Urformen: Gieß-, Press-, Extrudierwerkzeuge
- Umformen: Biege-, Walz-, Schmiede-, Ziehwerkzeuge
- Trennen: Bohr-, Dreh-, Fräs-, und Schleifwerkzeuge
- Fügen: Passungen, Reibschweißen
- Beschichten: Spritzdüsen
- Stoffeigenschaft ändern: Oberflächenverfahren
- Stofftransport: Rad/Schiene, Reifen/Straße, Förderband, Pipeline
- Stoffabdichtung: Ventile, Kolben/Zylinder

20. Erläutern Sie die wichtigsten Funktionen informationsdeterminierte Systeme und nennen Sie je ein Beispiel!

- Signalspeicherung: Plattenspeicher, Floppy-Disk
- Signalübertragung: Nocken/Stößel, Schaltkreis
- Signalausgabe: Audio-Vidio-Abtast/Leseköpfe

21. Was verstehen Sie unter der dualen Rolle der Tribologie?

Nur Kontakt- und Bewegungsvorgänge von Bauteilen und Stoffen realisieren die technisch gewünschte Umwandlung der Eingangsgrößen in Nutzungsgrößen, andererseits verursachen in Abhängigkeit

Instandhaltung

Grundlagen – Strategien -Werkstätten

Übungs- und Kontrollfragen

© Springer Vieweg, Springer Verlag Berlin Heidelberg 2012

978-3-642-27389-6

vom Beanspruchungskollektiv der Eingangsgrößen die tribologischen Prozesse reibungs- und verschleißbedingte Materialverluste.

22. Erläutern Sie anhand der Struktur eines tribologischen Systems die ingenieurtechnischen Möglichkeiten zur Verbesserung der Zuverlässigkeit technischer Systeme!

Ein tribotechnisches System besteht aus

1. Grundkörper
2. Gegenkörper
3. Zwischenstoff (Schmierstoff, Mahlgut)
4. Umgebungsmedium

23. Was verstehen Sie unter einem geschlossenen tribotechnischen System? Nennen Sie ein Beispiel! Primär energie- und signaldeterminiert, Bewegungs-, Kraft-, Energie- oder Signalübertragung (z. B. Getriebe, Relais), Systemelemente sind permanente Bestandteile der Systemstruktur.

24. Was verstehen Sie unter einem offenen tribotechnischen System? Nennen Sie ein Beispiel! Primär stoffdeterminiert, es findet ein ständiger „Stofffluss“ in das tribotechnische System und heraus statt.

25. Wodurch sind die Bestandteile tribotechnischer Systeme bei der Erfüllung ihrer funktionellen Aufgaben (Energie-, Stoff- oder Signalumsetzung) verschiedenen tribologischen Beanspruchungen ausgesetzt?

Über Kontakt- und Bewegungsvorgänge durch das Einwirken des „Beanspruchungskollektivs auf die Systemkomponenten.

26. Wie sind die Kenngrößen tribotechnischer Systeme gegliedert?

1. Funktion und Nutzgrößen:
2. Struktur
 - a. Grundkörper
 - b. Gegenkörper
 - c. Zwischenstoff
 - d. Umgebungssituation
3. Beanspruchungskollektiv
 - Kinematik (Bewegungsart und -ablauf)
 - Normalkraft F_N
 - Geschwindigkeit v
 - Temperatur
 - Beanspruchungsdauer
4. Störparameter: Vibrationen, Strahlung usw.

B Tribologische Beanspruchung

1. Was verstehen Sie unter tribologischer Beanspruchung?

Nach DIN 50320 ist unter tribologischer Beanspruchung „die Beanspruchung der Oberfläche eines festen Körpers durch Kontakt- und Relativbewegung eines festen, flüssigen oder gasförmigen Gegenkörpers zu verstehen.

2. Erläutern Sie den mikrogeometrischen Aufbau einer technischen Oberfläche!

Es handelt sich um einen Abbruch eines mehr oder weniger periodischen Kristallgitters. Die Elektronen verursachen an der Begrenzung des periodischen Gitterpotentials bzw. die nicht abgesättigten Bindungen der Oberflächenatome charakteristische Umordnungen. Je nach Reaktivität des Grundwerkstoffs

kann es zum Einbau von Bestandteilen des Umgebungsmediums in die Oberfläche des Grundwerkstoffs kommen. Dabei ist der Einfluss der Fertigung von Bedeutung.

3. Welche wichtigen Größen charakterisieren eine technische Oberfläche?

Das Fertigungsverfahren, Werkzeug Bearbeitungsparameter bestimmen die Oberflächenrauheit. Diese stellt eine 3-dimensionale stochastische Verteilung von Rauheitshügeln und Rauheitstälern dar.

Beschreibung erfolgt durch Senkrechtkenngößen und Waagrechtkenngößen, die sich auf einen Profilschnitt der betrachteten technischen Oberfläche beziehen.

Mittenrauheitswert R_a nach DIN 4768

Gemittelte Rautiefe R_z

4. Wodurch sind Kontaktvorgänge gekennzeichnet?

a) atomare und molekulare Wechselwirkungen, die in Form einer Adhäsion an Festkörper/Festkörper-Grenzflächen oder einer Physi- bzw. Chemisorption an Festkörper/Flüssigkeit/Festkörper-Grenzflächen technisch von besonderer Bedeutung sind.

b) Mechanische Wechselwirkungen, verbunden mit einer Kontaktdeformation, der Ausbildung der realen Kontaktgeometrie und der Übertragung kinetischer Bewegungen und Energie.

5. Erläutern Sie das Grundprinzip der Adhäsion? Was sind die Ursachen von Adhäsion!

Bei der Berührung von Oberflächen kann durch molekulare Wechselwirkungen in der Kontaktgrenzfläche eine Adhäsion auftreten. Die Ursachen sind die chemischen Bindungen des Materials der kontaktierenden Körper, die auch die Kohäsion bewirken, d.h. den inneren Zusammenhalt fester Körper:

6. Welche sind Grundformen chemischer Bindung?

1. starke Hauptvalenzbindungen

➤ Ionenbindung

➤ Atombindung

➤ metallische B.

2. schwache Nebervalenzbindungen (van-der-Waals-Bindungen)

7. Wie entsteht die Bildung des Adhäsionskontakts?

- Berührung der Rauheitshügel von Werkstoffoberflächen
- Zerstörung von Verunreinigungen und Kontaminationsschichten
- Elastisch-plastische Deformation zur Ausbildung der realen Kontaktfläche
- Erhöhung der Dichte von Gitterfehlstellen und Versetzungen.

8. Wie sind molekulare Bindungen aufgebaut?

- Elektronenreaktionen im Kontaktbereich
- Ladungsumlagerungen
- Diffusionsprozesse
- Ausbildung von chemischen Bindungen je nach stofflicher Natur und Elektronenstruktur

9. Wie kann der Adhäsionskontakt getrennt werden?

- Entstehung von Einschnürungen und Rissen im Kontaktbereich
- Abscherungen im Bereich geringster Trennfestigkeit
- Wechselseitiger Materialabtrag
- Zugabe von Anti-Wear-(AW-)Additiven in den Schmierstoff -> infolge von Physisorption, Chemisorption oder chemische Deckschichtenbildung entstehen reibungs- und verschleißmindernde Grenzschichten.

Instandhaltung

Grundlagen – Strategien -Werkstätten

Übungs- und Kontrollfragen

© Springer Vieweg, Springer Verlag Berlin Heidelberg 2012

978-3-642-27389-6

10. Warum ist die wahre Kontaktfläche für alle tribologischen Systeme von zentraler Bedeutung?

Weil in ihr die primär die reibungs- und Verschleißprozesse ablaufen.

11. Was verstehen sie unter elastischem Kontakt nach der Hertzschen Theorie?

Die Oberflächenrauheit wird durch kugelförmige Rauheitshügel unterschiedlicher Radien approximiert. Diese starke Vereinfachung realer technischer Oberflächen zeigt jedoch, dass die reale Kontaktfläche bei der elastischen Kontaktdeformation der Normalkraft nahezu proportional ist.

12. Welcher Verteilung genügen die Rauheitshügel?

Gaußsche Normalverteilung, die Gesamtzahl der Mikrokontakte ist näherungsweise der Normalkraft F_N proportional,

Die wahre Kontaktfläche ist proportional der Anzahl der Mikrokontakte, d.h. dass die wahre Kontaktfläche ist näherungsweise der Normalkraft F_N proportional ist ($A_f = \text{konst } F_N$).

Die mittlere Größe eines Mikrokontakts ist nahezu Normalkraft unabhängig.

13. Erläutern Sie den viskoelastischen Kontakt an Hand des Burger-Modells?

Die Feder mit dem E-Modul E_0 kennzeichnet die rein elastische Komponente, während das Voigt-Kelvin-Modell die zeitabhängige viskoelastische Komponente kennzeichnet, d.h. eine Kombination von Feder mit dem Relaxationsmodul E_r und einem Dämpfungsglied mit der Viskosität η .

14. Wie ist die Relaxationszeit definiert?

Die Relaxationszeit ist diejenige Zeit, nach der eine Anfangsspannung auf den e-ten Teil abgeklungen ist (zeitabhängige Abnahme der Spannung).

15. Was verstehen Sie unter Kinematik?

= kennzeichnet die Bewegungsverhältnisse zwischen kontaktierenden Bauteilen und Stoffen, durch eine geeignete Kontaktgeometrie müssen die für die zu erfüllende technische Funktion erforderlichen Freiheitsgrade der Bewegung realisiert werden.

16. Welcher Begriff kennzeichnet Flüssigkeiten und Gase im Kontakt mit Festkörpern?

Grenzvorgänge, Gleitvorgänge: Begriff „Strömen“, Stoß- und Prallvorgänge.

17. Welche grundlegenden Bewegungsarten und Bewegungsabläufe kennen Sie?

- Gleiten: Translation der Kontaktflächen
- Rollen: Rotation um eine Momentan-Achse in der Kontaktfläche (Rollen mit mikros- oder makroskopischen Gleitanteilen: Wälzen)
- Bohren: Rotation senkrecht zur Kontaktfläche
- Stoßen: Translation senkrecht zur Kontaktfläche mit intermittierendem Kontakt („Prallen“)

C Reibung

1. Was ist Reibung?

Reibung ist der Bewegungswiderstand, der eine Relativbewegung kontaktierender Körper verhindert. (Ruhereibung = statische Reibung) oder einer Relativbewegung entgegenwirkt (Bewegungsreibung = dynamische Reibung)

2. Was verstehen Sie

- a) unter Festkörperreibung
- b) Grenzreibung
- c) Flüssigkeitsreibung
- d) Gasreibung

Instandhaltung

Grundlagen – Strategien -Werkstätten

Übungs- und Kontrollfragen

© Springer Vieweg, Springer Verlag Berlin Heidelberg 2012

978-3-642-27389-6

e) Mischreibung?

Nennen Sie Beispiele!

- a) Reibung beim unmittelbaren Kontakt fester Körper
- b) Festkörperreibung, bei der die Oberflächen der Reibpartner mit einem molekularen, von einem Schmierstoff stammenden Film bedeckt sind.
- c) Reibung in einem die Reibpartner lückenlos trennenden flüssigen Film, der hydrostatisch oder hydrodynamisch erzeugt werden kann
- d) Reibung in einem die Reibpartner lückenlos trennenden gasförmigen Film, der aerostatisch oder aerodynamisch erzeugt werden kann
- e) Reibung, bei der Festkörperreibung und Flüssigkeit- bzw. Gasreibung nebeneinander liegen

3. Erläutern Sie die Energiebilanz der Reibung!

Energieeinführung

Energieumsetzung

- Deformationsprozesse
- Adhäsionsprozesse
- Furchungsprozesse

Energiedissipation

- thermische Prozesse : Erzeugung von Wärme

Energieabsorption

Energieemission

4. Welchen Zusammenhang interpretiert eine Reibungsmessgröße? Erläutern Sie die wichtigsten Reibungsmessgrößen!

Eine Reibungsmessgröße muss stets auf die Material-Paarung, d.h. allgemein auf das betreffende tribologische System bezogen werden, nicht auf die Eigenschaft eines einzelnen Körpers oder Stoffes. Reibungskraft ist die Kraft, die infolge der Reibung als mechanischer Widerstand gegen eine translatorische Relativbewegung auftritt und der Bewegungsrichtung entgegen gerichtet ist. Reibungsmoment ist das Moment, das infolge der Reibung als Widerstand gegen eine rotatorische Relativbewegung auftritt

a) Reibungszahl!

$$f = F_R / F_N$$

Quotient aus Reibungskraft F_R (parallel zur Kontaktfläche) und Normalkraft F_N (senkrecht zur Kontaktfläche)

b) Reibungsarbeit

Reibungsarbeit dient der zur Aufrechterhaltung eines Bewegungsvorgangs, unter Reibung zu verrichtende (Verlust-)Arbeit, bezogen auf die vorliegende Kinematik.

c) Reibungsleistung?

Die Reibungsleistung ist die zur Aufrechterhaltung eines Bewegungsvorgangs unter Reibung aufzuwendende (Verlust-)leistung, definiert als Momentanleistung.

5. Welche Aussagekraft besitzt die Systemstruktur?

= die Systemstruktur beschreibt die direkt am Reibungsvorgang beteiligten Körper und Stoffe sowie ihre relevanten Eigenschaften.

6 Welche Komponenten bestimmen das Beanspruchungskollektiv?

- Kinematik
- Normalkraft F_N

Instandhaltung

Grundlagen – Strategien -Werkstätten

Übungs- und Kontrollfragen

© Springer Vieweg, Springer Verlag Berlin Heidelberg 2012

978-3-642-27389-6

- Geschwindigkeit v
- Temperatur T
- Beanspruchungsdauer t

7. Warum können Reibungsmessgrößen nur mit geeigneten Mess- und Prüftechniken experimentell bestimmt werden?

Reibungsmessgrößen können i.d.R. nicht berechnet werden.

8. In welchem Verhältnis nimmt bei Berührung technischer Oberflächen die Anzahl der Mikrokontakte zu?

Etwa linear mit der Normalkraft F_N .

Reibungskraft $F_R \sim$ Anzahl der Mikrokontakte \sim Normalkraft F_N

9. Wie lautet das Reibungsgesetz nach *Amontons-Coulomb*?

Die Reibungskraft F_R nimmt mit der Normalkraft F_N zu, oft annähernd linear und unabhängig von der Größe der Kontaktfläche
f Reibungskoeffizient

$$F_R = f \cdot F_N$$

10. Wie erfolgt die Einteilung der Reibungsmechanismen?

- Adhäsion und Scheren
- Plastische Deformation
- Furchung
- Elastische Hysterese und Dämpfung

11. Worin besteht die Adhäsionskomponente der Reibung?

Ursache der Adhäsionskomponente der Reibung ist die Bildung und das Zerstören von Adhäsionsbindungen in der wahren Kontaktfläche A_r

12. Was verstehen Sie unter dem Stufenprozess der Adhäsionskomponente der Reibung?

- Bildung von Mikrokontaktflächen: Einfluss des Formänderungsvermögens der Kontaktpartner
- Bildung von Adhäsionsverbindungen
 - o Einfluss von Elektronenstrukturen
 - o Einfluss von Oberflächenschichten
 - o Einfluss von Zwischenstoffen und Umgebungsmedien

13. Worin besteht der Einfluss des Formänderungsvermögens?

Bei der Ausbildung der wahren Kontaktfläche können plastische Formänderungen unter Annahme einkristalliner Rauheitshügel nach der Versetzungstheorie durch Abgleitung in vorhandenen kristallografischen Gleitsystemen beschrieben werden.

14. Welchen Einfluss auf die Adhäsionskomponente der Reibung besitzt die Elektronenstruktur?

Die Ausbildung der Adhäsionsbindung in metallophysikalischer Hinsicht hängt mit der Elektronendichte im Kontaktgrenzflächenbereich zusammen.

Metalle mit hoher Dichte beweglicher Elektronen, wie beispielsweise die Edelmetalle, neigen eher zur metallischen Adhäsion, als Metalle mit geringer Dichte freier Elektronen wie z. B. die Übergangsmetalle.

15. In welcher Reihenfolge nimmt die Adhäsionskomponente mit der Stellung im Periodensystem der Elemente zu?

- Übergangsmetalle
- Edelmetalle

Instandhaltung

Grundlagen – Strategien -Werkstätten

Übungs- und Kontrollfragen

© Springer Vieweg, Springer Verlag Berlin Heidelberg 2012

978-3-642-27389-6

- B-Metalle

Außerdem nimmt die in der Kontaktfläche verfügbare Dichte an freien Elektronen mit dem d-Bindungscharakter der Elektronen ab.

16. Welchen Einfluss haben

a) Oberflächenschichten

b) Zwischenstoffe und Umgebungsmedien

auf die Adhäsionskomponente der Reibung?

a) Unter den Bedingungen des Ultra-Hochvakuums von 10^{-10} Torr liegt eine extrem hohe Reibungszahl von $f \sim 4$ vor. Mit der Zunahme von O_2 werden Eisenoxide gebildet, die m. H. der Auger-Spektroskopie und der ESCA-Analyse nachgewiesen werden können. Wegen der Bildung von FeO , Fe_3O_4 und Fe_2O_3 wird die metallische Adhäsionsbindung im Kontaktbereich sukzessive verringert und damit die Reibungszahl erheblich reduziert.

b) Reibungszahlen metallischer und nichtmetallischer Materialpaarungen sind im Ultrahochvakuum gegenüber der Normalatmosphäre mit einem Mineralöl als Zwischenstoff wesentlich schlechter.

17. Welche markante Erscheinung ist ein wichtiges Indiz nicht nur für reibungsbedingte Energiedissipationen, sondern auch für die Entstehung von reibungsbedingten Zerrüttungsrissen an tribologisch wechselbeanspruchten Tribokontakten und womit wird sie gemessen?

Messung triboinduzierter Schallabstrahlungen mittels Schallemissionsanalyse und Vibrationsmessungen (Kugellager)

18. Was verstehen Sie unter Photonenemission (Tribolumineszenz)?

Emission optisch sichtbarer Strahlung, die bei Temperaturen weit unterhalb des Einsetzens einer thermisch bedingten Emission auftreten kann (beim Reiben, Zerschlagen oder Spalten von Kristallen: LiF , ZnS , $NaCl$).

19. Welche Reibungsarten kennen Sie?

Die Unterteilung der Reibung erfolgt nach der Kinematik:

- Gleitreibung,
- Rollreibung,
- Bohrreibung

einschließlich Überlagerungen.

20. Erläutern Sie die Begriffe Gleiten, Rollen und Bohren?

Gleiten: Translatorische Relativbewegung zweier Körper, bei denen ihre jeweiligen Einzelgeschwindigkeiten nach Größe und Richtung unterschiedlich sind. Eine Gleitbewegung ist i.d.R. mit Gleitreibung verbunden (z. B. Gleitlager).

Rollen: Ein Drehkörper, dessen Achse parallel zur Kontaktfläche angeordnet ist, und dessen Bewegungsrichtung senkrecht zur Drehachse (z. B. Kugel- und Wälzlager).

Bohren: Die Drehachse eines Drehkörpers steht senkrecht zur Kontaktfläche, es findet nur eine Drehung um diese Achse statt, makroskopisch liegt ein Beharrungszustand der Berührungsfläche in der Bezugsebene vor. Bohrreibung ist phänomenologisch als Gleitreibung mit einem Geschwindigkeits-

gradienten der kontaktierenden Flächenelemente vom Mittelpunkt der Drehachse in radialer Richtung bis an den Rand des Kontaktbereiches zu verstehen (z. B. Spitzenlager).

D Verschleiß

1. Was verstehen Sie unter tribologischer Beanspruchung? Beschreiben Sie kurz Beispiele für unterschiedliche Beanspruchungen von Maschinenelementen!

Beanspruchungskollektiv wirkt auf Systemstruktur (Kontaktvorgänge, die Kinematik und thermische Vorgänge) -> Wechselwirkungsparameter existieren als dynamische Systemparameter nur beim Betrieb des tribotechnischen Systems. Sie können nicht aus den Einzeleigenschaften der Komponenten hergeleitet werden.

Beispiele sind:

- Kontaktgeometrie
- Flächenpressung
- Werkstoffanstrengung
- Eingriffsverhältnis der Kontaktpartner
- Schmierfilmdicke/Rauheits-Verhältnis

2. Warum ist die Dauerfestigkeit von Werkstoffen bei dynamischer Belastung geringer als bei statischer?

Auf Grund der Wechselbeanspruchung kommt es schneller zur Materialermüdung.

3. Was sind tribologische Prozesse?

Tribologische Prozesse sind dynamische physikalisch-chemische Mechanismen von Reibung und Verschleiß und die Grenzflächenvorgänge ihrer Beeinflussung. Sie kennzeichnen die Prozesse der Energie- und Materialdisposition in tribologischen Systemen und resultieren aus tribologischen Vorgängen.

4. Definieren Sie den Begriff Verschleiß nach DIN 50 320!

Verschleiß ist der fortschreitende Materialverlust aus der Oberfläche eines festen Körpers (Grundkörper), hervorgerufen durch mechanische Ursachen, d.h. Kontakt und Relativbewegung eines festen, flüssigen oder gasförmigen Gegenkörpers.

5. Was verstehen Sie unter Festkörperverschleiß?

Festkörperverschleiß = direkter Kontakt Festkörper-Festkörper

6. Welche Arten von Werkzeugverschleiß unterscheidet man?

Freiflächenverschleiß, Kolkverschleiß, Aufbauschneidenbildung, plastische Verformung, Ausbröckelung, Kerbverschleiß, Kammrisse

7. Erklären Sie den Verschleißmechanismus und wie äußert sich Verschleiß?

Bei einem Verschleißvorgang infolge der kräftemäßigen bzw. energetischen und stofflichen Wechselwirkungen zwischen den Kontaktpartnern ablaufenden physikalische und chemische Prozesse.

Der Verschleißmechanismus ist ein komplex ablaufender Prozess.

Teilvorgänge:

- Anscheren (Mikroschneiden von Rauheitsbergen)
- Elastische Deformationen
- Plastische Deformationen
- Kraftwirkungen infolge freier Oberflächenvalenzen
- Erhitzungen im mikrogeometrischen Bereich
- Physikalisch und chemisch Stoffveränderungen.

Instandhaltung

Grundlagen – Strategien -Werkstätten

Übungs- und Kontrollfragen

© Springer Vieweg, Springer Verlag Berlin Heidelberg 2012

978-3-642-27389-6

Verschleiß äußert sich in kleinen losgelösten kleinen Teilchen (Verschleißpartikel) sowie in Stoff- und Formänderungen der tribologisch beanspruchten Oberflächenschicht.

8. Was verstehen Sie unter Verschleißmessgrößen?

Die messtechnische oder zahlenmäßige Kennzeichnung des V. und der Resultate von Verschleißvorgängen erfolgt im W. durch die folgenden zwei Begriffsarten:

1. Verschleißmessgrößen kennzeichnen durch Maßzahlen die Änderung der Gestalt oder Masse eines Körpers durch Verschleiß (DIN 50 321).
2. Verschleißerscheinungsformen beschreiben die sich durch Verschleiß ergebenden Veränderungen der Oberflächen tribologisch beanspruchter Werkstoffe oder Bauteile (chem. Zusammensetzung, Mikrostruktur) sowie Art und Form von anfallenden Verschleißpartikeln.

9. Was sind Indirekte Verschleiß-Messgrößen?

Verschleiß wird in Relation gebracht zu einer Bezugsgröße:

- Verschleißrate : Verschleißgeschwindigkeit
- Verschleiß-Weg-Verhältnis oder Verschleißintensität
- Verschleiß-Durchsatz-Verhältnis

Verschleißmessgröße = f(Systemcharakter, Beanspruchungskollektiv)

10. Welche physikalische Größe bestimmt das Verschleißvolumen?

Verschleißkoeffizient $k[\text{mm}^3/\text{Nm}]$

$$W_V = k * F_N * s$$

11. Erklären Sie den Unterschied zwischen Komponenten- und Systemverschleiß!

- a) einzelne Verschleißmessgrößen von Grund- und Gegenkörper
- b) Summe der Verschleißmessgrößen von Grundkörper u. Gegenkörper.

Verschleißmessgrößen sind aufgrund der Komplexität nicht berechenbar → mess- und prüftechnische experimentelle Bestimmung.

12. Welche physikalische Größe bestimmt das Verschleißvolumen?

Bei der Berührung technischer Oberflächen die Größe der wahren Kontaktfläche zu und damit die Anzahl der Mikrokontakte näherungsweise linear mit der Normalkraft F_N

Verschleißvolumen $W_V \sim$ Normalkraft F_N

Verschleißvolumen $W_V \sim$ Weg s

Archardsches Gesetz des Gleitverschleißes

13. Was verstehen Sie unter Oberflächenzerrüttung? Erläutern Sie diesen Prozess!

Die von den kontaktierenden Oberflächenbereichen aufzunehmenden Kräfte verursachen im Zusammenhang mit der Relativbewegung eine Werkstoffanstrengung. Bei Misch-, Grenz-, und Festkörperreibung nimmt die Zahl der Mikrokontakte der wirkenden Oberfläche zu. Es kommt zur Werkstoffermüdung. Das Langzeitermüdungsgebiet kennzeichnen niedrige Belastungsamplituden und große Lebensdauern. Der Ermüdungsprozess ist eine Funktion der Lastspielzahl.

Einteilung:

1. Inkubationsperiode (Akkumulation von Gitterzerrungen, und -fehlern)
2. Entstehung und Entwicklung von Submikrorissen bis zu Mikrorissen
3. Rissausbreitung, Vereinigung von Rissen
4. Endgültiger Bruch

14. Was verstehen Sie unter Abrasion und welche Voraussetzungen sind dazu erforderlich?

Bei einer Relativbewegung der Beanspruchungspartner kann aus dem weichen Grundkörper durch verschiedene Materialabtrennprozesse abrasiver Verschleiß entstehen.

Abrasion entsteht

- a) wenn der Gegenkörper beträchtlich härter und rauer als der tribologisch beanspruchte Grundkörper ist oder
- b) harte Partikel in den weicheren Grundkörper eingedrückt werden.

15. Beschreiben Sie die Detailprozesse der Abrasion!

- Mikropflügen: der Werkstoff verformt sich unter der Wirkung des abrasiven Teilchens stark plastisch und wird zu den Furchungsrändern hin aufgeworfen.
- Mikroermüden: infolge lokaler Werkstoffermüdungsprozesse erfolgt bei einer wiederholten mikropflügenden Beanspruchung der Oberfläche durch mehrere abrasive Teilchen ein Materialabtrag (Oberflächenzerrüttung).
- Mikrospanen: es bildet sich vor dem abrasiv wirkenden harten Teilchen ein „Mikrospan“, dessen Volumen im Idealfall gleich dem Volumen der entstehenden Verschleißfurche ist.
- Mikrobrechen: tritt oberhalb der kritischen Belastung besonders bei spröden Werkstoffen auf, wodurch es durch Rissbildung und Rissausbreitung zu größeren Materialausbrüchen längs der Verschleißfurche kommt.

16. Was verstehen Sie unter Adhäsion? Beschreiben Sie den Adhäsionsvorgang!

Infolge hoher lokaler Pressungen werden an einzelnen Oberflächenrauheitshügeln schützende Oberflächendeckschichten durchbrochen die zu lokalen Grenzflächenbindungen (Kaltverschweißungen) führen, die ggf. eine höhere Festigkeit besitzen als die eigentlichen Kontaktpartner.

Deshalb kann bei Relativbewegung der Kontaktpartner -> Trennung oder Verschiebung der kontaktierenden Material-Bereiche nicht in der ursprünglichen Kontaktgrenzfläche, sondern im angrenzenden Volumen eines Kontaktpartners erfolgen („Fressen“).

Beschreibung

- Deformation kontaktierender Rauheitshügel unter den wirkenden lokalen Normal- und Tangentialspannungen
- Zerstörung der Oberflächen- Deckschichten (speziell Oxidschichten bei metallischen Kontaktpartnern)
- Bildung adhäsiver Grenzflächen in Abhängigkeit von der chemischen Natur der Kontaktpartner
- Zerstörung der Grenzflächenbindungen und Materialübertrag
- Modifikation übertragener Materialfragmente

17. Welche sind die wichtigsten Einflussgrößen auf die Abrasion?

1. Elastisch –plastische Kontaktdeformation bei der Bildung der wahren Kontaktfläche und das Formänderungsvermögen der Kontaktpartner
2. chemische und mikrostrukturelle Schichtstruktur der Werkstoffoberflächen und das Durchbrechen der Oberflächendeckschichten
3. chem. Natur adhäsiver Grenzflächenbindungen und die Elektronenstruktur der Kontaktpartner
4. die Bruchmechanik zur Trennung der Adhäsionsbrücken und Entstehung loser Verschleißpartikel.

18. Nennen Sie Maßnahmen gegen Abrasion!

Maßnahmen gegen Abrasion

- möglichst hohe Härte bei ausreichender Zähigkeit, z. B. durch Kaltverfestigung im Verschleißprozess,
- spannungsinduzierte, martensitische Umwandlung ergibt Verfestigung und Druckeigenspannungen,
- Einlagern von Hartphasen mit ausreichender Menge, Größe und Härte, die von den angreifenden abrasiven Teilchen nicht gefurcht werden.

19. Was verstehen Sie unter tribochemischer Reaktion?

Bei tribochemischer Reaktion (auch Tribooxidation oder Reaktionsschichtverschleiß) bilden sich Zwischenschichten, z.B. Oxidschichten, infolge chemischer Reaktion und ihre Zerstörung durch Bewegung der Bauteile. Sie läuft meist zusammen mit adhäsivem Verschleiß ab. Der Verschleißmechanismus entsteht durch chemische Reaktion und mechanische Zerstörung der Reaktionsschicht. Ein typisches Beispiel ist Passungsrost.

18. Welche sind die wichtigsten Einflussgrößen auf die tribochemische Reaktion?

Umgebungsbedingungen, Zwischenstoff, Belastung des Systems

20. Nennen Sie Maßnahmen gegen tribochemische Reaktionen!

Einhaltung der Fertigungstoleranzen; gute Lagerabdichtung, um das Eindringen von Staub und Wasser zu vermeiden, gut funktionierendes Schmierungssystem, regelmäßige Wartung des Schmier Systems (Filterwechsel, Reinigung, Durchspülen), Schmierstoffwartung (Reinigen und Ergänzen oder vollständiger Wechsel), Verwendung optimaler Schmierstoffe.

21. Welchen Zweck haben Kühlschmierstoffe bei der spanenden Fertigung?

Kühlschmierstoffe leiten die Wärme auf der Wirkpaarung Werkzeug – Werkstück ab und wirken gleichzeitig schmierend

22. Nennen Sie wesentliche Ursachen von Wälzlagerschäden! Wie schaffen Sie Abhilfe?

Laufspuren bei ungenügender Schmierung:

Ursache 1: Mangelschmierung durch Fehler des Schmier Systems

Abhilfe: Schmier System reinigen, Schmierstoffzufuhr verbessern (konstruktiv überplanen),

Ursache 2: Gealterter Schmierstoff infolge unterlassener Wartung, ungeeigneter Schmierstoff (ungenügende Viskosität)

Abhilfe: Wartungszyklen auf korrekte Einhaltung kontrollieren, auf Verwendung geeigneter Schmierstoffe achten (Verwendung geeigneter Additive), Oberflächengeschützte Lagerteile verwenden.

Laufspuren bei Verschmutzung im Lager oder Schmierstoff:

Ursachen: Verunreinigung des Lagers durch Feststoffe und Flüssigkeiten infolge ungenügender Abdichtung, unsaubere Montagebedingungen, Fertigungsrückstände (Formsand, Späne), Temperaturunterschiede (Kondenswasser)

Abhilfe: konstruktive Verbesserung, saubere Montage, nur saubere Bauteile verwenden (ev. Lackieren, Waschen) gesamtes Ölsystem vor Inbetriebnahme durchspülen (vor der ersten Lagerumdrehung).

Laufspuren bei Radialverspannung:

Ursachen: zu hohe Passungsüberdeckung, zu hohe Temperaturunterschiede zwischen Innen- und Außenring, zu geringe Lagerluft

Abhilfe: unrunde Gehäuse oder Wellen, unterschiedliche Gehäusesteifigkeit, stehende Aufbewahrung dünnwandiger Lager

Laufspuren bei Axialverspannung:

Instandhaltung

Grundlagen – Strategien -Werkstätten

Übungs- und Kontrollfragen

© Springer Vieweg, Springer Verlag Berlin Heidelberg 2012

978-3-642-27389-6

Ursachen: gestörte Loslagerfunktion (falsche Passung, radialwirkende Wärmedehnung, Verkantung, Passungsrost), unerwartet hohe axialwirkende Wärmedehnung

Abhilfe: Passungs- und Formgenauigkeit der Umbauteile überprüfen, Änderung der Einbau und Betriebsbedingungen, Lager mit axialer Verschiebbarkeit verwenden (z. B. Zylinderrollenlager)

23. Wie lassen sich Reibung und Verschleiß an Führungen von WZM vermindern?

Beschichtungen, Kunststoff-Gleitführungen, hydrodynamische Durchlaufschmierung

24. Erklären Sie den Verschleißmechanismus bei der Kavitation! Wo tritt dieser Verschleißmechanismus vorwiegend auf?

Unter Kavitation versteht man die Bildung und Auflösung von dampfgefüllten Hohlräumen (Dampfblasen) in Flüssigkeiten. Es gibt zwei Grenzfälle, zwischen denen es zahlreiche Übergangsformen gibt. Bei der Dampfkavitation oder harten (transienten) Kavitation kommt es in den Hohlräumen zur Dampfbildung aus der umgebenden Flüssigkeit. Unter Einwirkung des äußeren Drucks fallen diese Hohlräume durch Blasenimplosion zusammen (mikroskopischer Dampfschlag). Bei der weichen beziehungsweise stabilen Gaskavitation treten in der Flüssigkeit gelöste Gase in die Kavitäten ein und dämpfen oder verhindern deren Kollaps. Das Ergebnis sind stark beschädigte Oberflächen.

25. Was verstehen Sie unter dem Stick-Slip-Effekt?

Es handelt sich um einen Haftgleiteffekt, der das Ruckgleiten von gegeneinander bewegten Festkörpern beschreibt. Der Effekt tritt auf, wenn die Haftreibung größer ist als die Gleitreibung. Dabei üben gedämpft gekoppelte Oberflächenteile eine schnelle Bewegungsfolge aus Haften, Verspannen, Trennen und Abgleiten aus. Dies führt materialabhängig zu Schwingungen, die von einer resonanzfähigen Oberfläche als Geräusch abgestrahlt werden. Der Effekt verschwindet, sobald die Reibpartner durch geeigneten, der Reibpaarung angepassten Schmierstoff getrennt werden.

E Korrosion

1. Was verstehen Sie unter Rost und wie kommt er zustande?

Rost ist ein Oxidationsprodukt aus Eisen oder Stahl mit Sauerstoff in Gegenwart von Wasser. Rost ist porös und bietet keinerlei Schutz vor weiterem Zerfall. Im Gegensatz dazu schützen Oxidschicht vieler metallischer Werkstoffe wie Chrom, Aluminium oder Zink. Die Reaktion von Eisenwerkstoffen mit Sauerstoff in Luft und in Gegenwart von Feuchtigkeit und Wasser zu Rost verursacht hohe Verluste.

2. Definieren Sie den Begriff „Korrosionssystem“!

Es handelt sich um ein System, das aus einem oder mehreren Metallen und jenen Teilen der Umgebung besteht, die die Korrosion beeinflussen. Teile der Umgebung können z. B. Beschichtungen, Oberflächenschichten oder zusätzliche Elektroden sein.

3. Was verstehen Sie unter Korrosionserscheinung? Nennen Sie typische Beispiele!

Die Korrosionserscheinung ist eine ortsgebundene Reaktion an der Phasengrenze, wobei korrosionskritische Bereiche auch durch eine Dreiphasengrenze charakterisiert sein können (gasförmig-flüssig-fest). Typische Korrosionserscheinungen von ortsgebundenen Reaktionen sind Spaltkorrosion, Lochfraß oder interkristalline Korrosion. Dazu zählen auch verzögert ablaufende Reaktionen unlegierter Stähle, die beim Rosten schützende Deckschichten aufbauen. Erfahrungen zeigen, dass der Einsatz von Bauteilen passgenau definiert werden kann, während der Einfluss einwirkender Medien oder der Umgebungswirkung, und damit das eigentliche Korrosionssystem, wesentlich schwieriger zu definieren sind.

4. Was verstehen Sie unter innerer und äußerer Korrosion?

Bei Anwesenheit heißer Gase als Medium kommt es neben der äußeren Korrosion auch zur inneren Korrosion. Dabei diffundieren Elemente des Mediums in das Werkstoffinnere und reagieren mit den

Legierungsbestandteilen. Dadurch kann es im Inneren zu Reaktionen kommen, beispielsweise Oxidation, Schwefelung, Nitritbildung und Aufkohlung kommen.

Bei der äußeren Korrosion handelt es sich um einen Prozess, der überwiegend an der Werkstoffoberfläche stattfindet und daher gut erkennbar ist. Aus der metallischen Werkstoffoberfläche lösen sich Ionen und gehen in das anwesende Medium in Lösung oder werden als festes Korrosionsprodukt auf der Werkstoffoberfläche abgeschieden. Deckschichten hemmen den weiteren Korrosionsverlauf. Struktur und Dicke der Schicht bestimmen die Korrosionsgeschwindigkeit.

5. Erläutern Sie den Unterschied zwischen aktivem und passivem Korrosionsschutz! Nennen Sie Beispiele!

Aktiver Korrosionsschutz

Beim aktiven Korrosionsschutz bildet das Bauteil eine korrosionshemmende Oxidschicht

Passiver Korrosionsschutz

Beim kathodischen Korrosionsschutz schützen Bauteile und Schichten (Schutzanode) aus unedlerem Werkstoff das System oder andere Bauteile. Indem die Schutz- bzw. Opferanode, oder die Schicht verzehrt wird, schützt sie die Funktion des Bauteils oder Systems auf lange Zeit. Beispiele sind verzinkte Bleche und Stahlteile, der Schutz von Schiffen, Schleusen, Spundwänden, Bootsteilen und Schienen erfolgt durch Montage von Opferanoden aus Zink-, Aluminium- oder Magnesium-Legierungen.

An Erdöl-Pipelines werden in Abständen mehreren Kilometern und Abstand von mehreren Metern von der Leitung Elektroden als galvanische Elemente im Boden versenkt, die von einer Stromquelle mit einer Gegenspannung versorgt werden. Der andere Pol liegt an der Pipeline, so dass dieses Spannungsgefälle genau das galvanische Element aus Boden und Metalleitung ausgleicht. I. d. R. sind Bodenproben notwendig, da die Spannung von der chemischen Zusammensetzung des Bodens abhängt. Ggf. ist die angelegte Gegenspannung an die örtlichen Gegebenheiten anzupassen.

Weitere Möglichkeiten passiven Korrosionsschutzes sind:

- Einölen, Fetten der Atmosphäre ausgesetzter Teile,
- Beschichten (metallische Schichten, Kunststoffschichten,
- Lackieren (Wirbelsintern, Tauchen),
- chemische Oberflächenbehandlung (Brünieren, Chromatieren, Phosphatieren)

6. Was verstehen Sie unter Kontaktkorrosion? Wie kommt sie zustande?

Kontaktkorrosion tritt beim Kontakt zweier verschiedener metallischer Werkstoffe in Gegenwart eines Elektrolyten auf. Der unedlere Werkstoff wird dabei zerstört. Hinsichtlich einer Passivierung kommt der Spannungsreihe nur eine allgemein orientierende Bedeutung zu. Zu beachten ist, dass weit in der Spannungsreihe auseinanderstehende Metalle nicht elektrisch leitend miteinander verbunden einer ionenhaltigen Lösung ausgesetzt werden. Vorsicht ist auch beim Verschweißen mit Elektroden geboten, die in ihrer Zusammensetzung stark vom Grundmaterial abweichen, oder in der Umgebung der Schweißnaht Gefügeänderungen hervorrufen (Messerlinienkorrosion). Eine charakteristische Form von Kontaktkorrosion bildet sich bei der Werkstoffkombination NR-Stahl/Buntmetall (Neusilber, Messing, Kupfer).

7. Was verstehen Sie unter selektiver Korrosion? Nennen Sie Beispiele!

Bei selektiver Korrosion lösen oder verändern sich bevorzugt Gefügebestandteile in der Form, dass Elementbildung oder andere Formen von Korrosion auftreten. Z. B. die Entzinkung von Messing mit Kupfergehalt unter 85% und die interkristalline Korrosion austenitischer Cr-Ni-Stähle. Bei im Erdboden verlegten Eisengussrohren wird vor allem die Eisenmatrix in FeO überführt, während der Graphit nicht angegriffen wird. Der als Spongiose bezeichnete Vorgang führt zur Materialerweichung.

8. Wodurch entstehen Spannungsriß- und Schwingungsrißkorrosion? Wo tritt dieser Verschleißmechanismus auf?

Spannungsrißkorrosion ist eine transkristalline (transgranular) oder interkristalline (intergranular) Korrosionserscheinungen, die durch das Zusammenspiel von chemischem Angriff und inneren oder äußeren Materialspannungen (Zugspannungen in Form von Betriebs- oder Eigenspannungen) ausgelöst werden. An unter Zugspannung stehenden Messingteilen kann die Anwesenheit von Ammoniak Spannungsrißkorrosion auftreten. Stehen austenitische Stähle unter Zugebeanspruchung, ist bei Anwesenheit von chloridhaltigen oder stark alkalischen Medien mit Spannungsrißkorrosion zu rechnen. Der Angriff erfolgt in vielen Fällen quer durch die Kristallite (transkristallin). Diese Korrosionserscheinung ist in den Rohrsystemen von Hochleistungsdampferzeugern anzutreffen und führt zu empfindlichen Schäden. Kritisch sind austenitischen Cr-Ni-Stähle, die oft brechen, ohne dass ein erkennbarer Materialabtrag vorliegt.

9. Was verstehen Sie unter Wasserstoffversprödung

Die Wasserstoffversprödung ist eine Spannungsrißkorrosion. Sie entsteht durch das Eindringen atomaren Wasserstoffs in (vor allem hochfeste) Stähle und äußert sich in einem Zerfall des Werkstoffgefüges.

10. Nennen Sie 4 wichtige metallseitige Korrosionsursachen!

Die Ursache der Korrosion und der einleitende Vorgang für die Werkstoffzerstörung beruhen auf der Neigung der Metalle, in Berührung mit Elektrolyten in den Ionenzustand und in Berührung mit Nicht-elektrolyten in Verbindungen (Oxidation) überzugehen.

11. Charakterisieren Sie die gleichmäßige Flächenkorrosion! Wie ist die Flächenkorrosion aus der Sicht des Engineering zu bewerten? Welchen Einfluss haben unterschiedliche Klimate?

Zur gleichmäßigen Flächenkorrosion kommt es, wenn der Korrosionsvorgang an der gesamten oder einem großen Teil der Bauteiloberfläche auftritt. An der Metalloberfläche bilden sich anodische (Metall auflösende) und kathodische (Elektronen verbrauchende) Teilbereiche. Voraussetzung für die Bildung von Flächenkorrosion ist der ständige Ortswechsel dieser Teilbereiche. Nur dann kann die Korrosion gleichmäßig auf der Metalloberfläche ablaufen. Ist diese Lageänderung der Teilbereiche nicht oder nur schwer möglich, so spricht man von Muldenkorrosion.

Die Flächenkorrosion ist als eher ungefährlich einzustufen, weil sie frühzeitig erkennbar ist und auch erst dann zu Schäden führt, wenn der Masseverlust des metallischen Grundkörpers so groß ist, dass ggf. tragende Querschnitte geschwächt werden.

Ist die Intensität der späteren Beanspruchung durch das Klima (Feuchtigkeit, atmosphärische Gase, Säuren, etc.) bekannt, so kann man die Opferschicht ausreichend dimensionieren. Auf diese Weise ist die Sicherheit eines Bauteils auch längerfristig gewährleistet.

12. Warum zählt die Spaltkorrosion zu den gefährlichen Korrosionsarten? Was können Sie aus ingenieurtechnischer Sicht dagegen tun?

Spaltkorrosion tritt an Metallteilen bei Vorhandensein eines korrosiven Mediums offenen Auflagespalten wie Überlappungen, aufgesetzten Stegen und bei nicht durchgeschweißten Schweißnähten auf. Es wird bei der Spaltkorrosion in Sauer- und Wasserstofftyp differenziert. Entscheidende Größe ist in beiden Fällen der Konzentrationsunterschied zwischen Spalt und Außenspaltbereich des korrosiven Mediums. Der Konzentrationsunterschied bestimmt die Potentialdifferenz, die damit einhergeht. Er verantwortet die elektrochemische Korrosion des Spalts (Wasserstofftyp) oder seiner direkten Umgebung (Sauerstofftyp).

13. Erläutern Sie den prinzipiellen Ablauf der Schichtbildung beim PVD- und CVD-Verfahren!

PVD: Auf das zu beschichtende Teil wird ein in fester Form vorliegender Beschichtungsstoff in einer evakuierten Beschichtungskammer abgeschieden, indem mit Laserstrahlen beschossen wird. Die

magnetisch abgelenkten Ionen oder Elektronen sowie durch Lichtbogenentladung wird das Material, das als Target bezeichnet wird, verdampft. Das verdampfte Material bewegt sich entweder ballistisch oder durch elektrische Felder geführt durch die Kammer und trifft dabei auf das zu beschichtende Bauteil, wo es zur Schichtbildung kommt.

CVD-Verfahren

An der erhitzten Oberfläche eines Substrates wird aufgrund einer chemischen Reaktion aus der Gasphase eine Feststoffkomponente abgeschieden. Voraussetzung hierfür ist, dass flüchtige Verbindungen der Schichtkomponenten existieren, die bei einer bestimmten Reaktionstemperatur die feste Schicht abscheiden.

14. Welche PVD-Techniken sind Ihnen bekannt?

Verdampfungsverfahren

- a. Thermisches Verdampfen (auch Bedampfen genannt)
- b. Elektronenstrahlverdampfen Laserstrahlverdampfen: Atome und Ionen werden durch einen kurzen intensiven Laserpuls verdampft
- c. Lichtbogenverdampfen: Atome und Ionen werden durch einen starken Strom, der bei einer elektrischen Entladung zwischen zwei Elektroden fließt (wie bei einem Blitz), aus dem Ausgangsmaterial herausgelöst und in die Gasphase überführt
- d. Molekularstrahlepitaxie

Sputtern (Sputterdeposition, Kathodenzerstäubung): Das Ausgangsmaterial wird durch Ionenbeschuss zerstäubt und in die Gasphase überführt.

Ionenstrahlgestützte Deposition,

Ionenplattieren,

CB-Technik

15. Beschreiben Sie kurz das Emaillierverfahren und erläutern Sie dessen Vor- und Nachteile!

Emailwerkstoffe bestehen aus glasbildenden Oxiden Haftverbindern, um die Haftfähigkeit auf dem Trägermetall zu realisieren und/oder die Farbe geben.

Das Grundemail ist eine Mischung aus Borax, Feldspat, Fluorit, Quarz, Soda, Natriumnitrat und in geringem Umfang Cobalt-, Mangan- und Nickeloxid.

Die Ausgangsmaterialien werden fein gemahlen und geschmolzen. Die Schmelze wird im Wasser abgeschreckt und die entstehende körnige glasartige *Fritte* wieder fein vermahlen. Beim Mahlen werden weitere Stoffe zugesetzt (Wasser, Ton und Quarzmehl). Ergänzt wird die Mischung je nach Art des Emails durch Trübungsstoffe und Farboxide. Die Mischung bezeichnet man als *Emailschlicker*.

Die zu emaillierenden Teile oder Gegenstände werden ausgeglüht, geätzt in Säure, mit Laugen neutralisiert und gewaschen.

16. Beschreiben Sie kurz den Prozess des Hartverchromens! Welche besonderen Vorteile hat das Hartverchromen und wo kommt es vorwiegend zum Einsatz? Welche Unterschiede bestehen zum Chromatisieren?

Beim Chromatieren werden auf metallischen Oberflächen durch die Einwirkung von Chromsäure komplexe Chromsäuresalze (Chromate) gebildet. Dabei wird der Grundwerkstoff angelöst und Metallionen ausgeschwemmt. Diese gelösten Metallionen des Grundwerkstoffs werden in die Chromatschicht eingebaut. Die so erhaltenen Chromatschichten zählen zu den Passivierungsschichten, d.h. sie sind anorganische nichtmetallische Schutzschichten. Großtechnisch wird das Chromatieren hauptsächlich auf Zink und Aluminium angewendet.

17. Was ist Chemisch-Nickel und wo kommt es zum Einsatz? Erläutern Sie die Vor- und Nachteile des Verfahrens! Welcher Unterschied besteht zum galvanisch Nickel?

Instandhaltung

Grundlagen – Strategien -Werkstätten

Übungs- und Kontrollfragen

© Springer Vieweg, Springer Verlag Berlin Heidelberg 2012

978-3-642-27389-6

Chemisch Nickel ist ein Beschichtungsverfahren, bei dem im Unterschied zum galvanisch Nickel die Abscheidung stromlos durch chemische Oxydationsreaktion im Bad selbst erfolgt. Dadurch erhält man eine sehr konturentreue Beschichtung. Die Schichtdicken liegen bei einer Toleranz von $\pm 2 \mu\text{m}$ bis $\pm 3 \mu\text{m}$ im Bereich von $8 \mu\text{m}$ bis $80 \mu\text{m}$ liegen. Schichtdicken $> 50 \mu\text{m}$ verursachen Spannungen in der Schicht. Aufgrund der außenstromlosen Abscheidung ist es möglich, auch elektrisch nicht leitfähige Werkstoffe, z.B. Kunststoffe zu beschichten.

18. Was verstehen Sie unter dem Passivieren von Metalloberflächen? Erläutern Sie den Passivierungseffekt! Welche Metalle bilden Passivierungsschichten?

Passivieren ist Erzeugung einer nichtmetallischen Schutzschicht auf einem metallischen Werkstoff, welche die Korrosion des Grundwerkstoffes verhindert oder stark verlangsamt.

Wenn metallisch blanke Oberflächen der Luft oder einer anderen korrosiven Umgebung ausgesetzt werden, bestimmt chemische Beschaffenheit des Metalls, ob es korrodiert. Während die Edelmetalle (Au, Pt, Ag, Os, Ir, Ru, Rh, Te, Re, Cu) durch ihre Eigenschaft antikorrosiv sind, neigen unedlere Metalle wie Eisen, Zink und Aluminium zur Korrosion. Die Korrosionsneigung und -geschwindigkeit hängt auch von der möglichen Entstehung einer Passivierungsschicht ab.

Beispielhaft ist die Passivierungsschicht von Chrom: Chrom ist im chemischen Sinne unedler als Eisen, ist, allerdings es verhält sich bei der Korrosion gegenüber Luft und Wasser fast wie ein Edelmetall. Chrom bildet eine sehr dünne, ohne Hilfsmittel nicht sichtbare, aber dichte Oxidschicht (bei Chrom-Nickel-Stählen in der Größenordnung von 10nm (ca. 50 Atomlagen, bei reinem Chrom 5 Lagen), so dass weitere Oxidation nur durch Diffusion durch die Oxidschicht möglich ist. Die passivierende Schicht verhindert die Diffusion.

19. Was ist Eloxieren? Erläutern Sie kurz den Eloxierprozess. Nennen Sie Einsatzgebiete des Verfahrens!

Das **Eloxal-Verfahren**] (elektrolytische Oxidation von Aluminium) ist eine Methode der Oberflächentechnik zum Erzeugen einer oxydischen Schutzschicht auf Aluminium durch anodische Oxidation. Dabei wird, im Gegensatz zu den galvanischen Überzugsverfahren, die Schutzschicht nicht auf dem Werkstück niedergeschlagen, sondern durch Umwandlung der obersten Metallschicht ein Oxid bzw. Hydroxid gebildet.

20. Nennen Sie die wichtigsten Verfahrensgruppen der Oberflächenvorbereitung!

Mechanische, Thermische und chemische/ elektrochemische Oberflächenvorbereitung

21. a) Was verstehen Sie unter Strahlen? b) Welche Strahlverfahren kennen Sie?

a) Ein Strahlmittel wird m. H. einen Gasstroms, z. B. Druckluft (pneumatisch), oder Flüssigkeitsstroms, z. B. Öl oder Wasser (hydraulisch), oder durch Schleuderräder (mechanisch) beschleunigt und auf die Metalloberfläche geleitet.

b) Reinigungsstrahlen zum Entlacken, Entzundern, Entrosten und Entschichten; Strahlmittel: Hartguss, Korund, Steelgrit, Steelshot,

c) Finishstrahlen zum Aufrauen, Glätten, Mattieren und Seidenmattieren; Strahlmittel: Glasperlen, Korund, Keramikperlen, Kunststoffgranulat,

d) Kugelstrahlen zum Verfestigen (Shot Peening); Strahlmittel Steelshot.

22. Erläutern Sie die Verfahrenstechnischen Abläufe beim

- a) Druckluftstrahlen
- b) Schleuderstrahlen!

a) Druckluftstrahlanlagen

Beim Druckluftstrahlen wird das Strahlmittel m. H. der Druckluft auf das zu bearbeitende Material bzw. Werkstück aufgebracht. Dabei vermischen sich die abgestrahlten Partikel aus der Oberfläche mit dem Strahlmittel, das als Sondermüll zu entsorgen ist. Als Strahlmittel kommen spezielle grob- bis feinkörnige Sande und Kiese zum Einsatz. Weiterhin werden auch andere Strahlmittel, z. B. aus Stahl oder Keramik, verwendet.

b) Schleuderstrahlanlagen

Im Unterschied zum Druckluftstrahlen wird das Strahlmittel dabei zentral einem schnell rotierenden Schleuderrad zugeführt, das es mit bis zu 80 m/s (290 km/h) zielgerichtet auf die zu strahlenden Werkstücke wirft. Als Strahlmittel werden verwendet:

23. Welche Strahlmittel kommen zum Einsatz?

- Glasperlen setzen sich aus einem mineralischen und einem synthetischen Anteil zusammen, eignen sich besonders zur Herstellung von Seidenmatteffekten auf Edelstahlblechen.
- Keramikperlen bestehen aus einem mineralischen und einem synthetischen Anteil. Gegenüber Glasperlen sind Keramikperlen wesentlich standfester.
- Strahlmittel aus Hartguss dienen zum Aufrauen, Entzundern, Entrosten und Abtragen von Oberflächen.
- Kunststoff (Duroplast) eignet sich speziell für Kunststoff- und Leichtmetallteile sowie für empfindliche Formen.

24. Was verstehen Sie unter Kugelstrahlen und welchen besonderen Vorteil hat es im Vergleich zu anderen Strahlverfahren?

Aus Gründen der Rissempfindlichkeit hat sich Kugelstrahlen vor dem Verchromen bewährt. Bei der Bearbeitung in den Grundwerkstoff induzierte Druckeigenspannungen können beim Verchromen nicht abgebaut werden. Vorheriges Kugelstrahlen verhindert die Rissfortpflanzung von der Chromschicht in den Grundwerkstoff. Kugelstrahlen ist für alle dynamisch belasteten Bauteile, die aus Korrosions- oder Verschleißgründen (z. B. Fahrwerksteile) verchromt werden, von Vorteil.

25. Nennen und erläutern Sie bekannte Oberflächenvorbereitungsverfahren

Schleifen

Zur Vorbereitung der Metalloberflächen werden körnige Schleifmittel, Schleif-Vliese oder Stahlwolle eingesetzt.

Schaben

Die Metalloberfläche wird m. H. einer gehärteten Stahlschneide (Schaber) vorbereitet. Es werden körnige Schleifmittel, Schleif-Vliese oder Stahlwolle eingesetzt.

Flammstrahlen (DIN 32 539)

Beim Flammstrahlen wird die zu reinigende Metalloberfläche mit einer heißen Flamme, (zumeist m. H. von Acetylen) bei einer Temperatur von etwa 3200 °C abgeflammt. Dabei werden alle Verunreinigungen beseitigt

Blankglühen

Beim Blankglühen werden reduzierende Gase mit hohen Temperaturen auf die Metalloberfläche geleitet, dabei werden Oxidschichten von der Metalloberfläche wirksam entfernt. Dabei kommen meist unter Schutzgas stehende Durchlauföfen zum Einsatz.

Entfetten

Beim Entfetten kommen meist fettlösliche Substanzen zum Einsatz.

Beizen

Das Beizen ist eine chemische oder elektrolytische Behandlung der Oberfläche, um Oxide und andere Metallverbindungen zu entfernen, z. B. Rost oder Zunder.

Dekapieren

Die Oberfläche von Metallen wird beim Dekapieren aktiviert, um Oxide zu entfernen. Das kann z. B. durch Eintauchen in verdünnte Säuren erfolgen.

Kapitel 4 Arbeitssicherheit und Umweltverträglichkeit als Instandhaltungsziele

1. Nennen Sie die wichtigsten gesetzlichen Regeln zur Arbeitssicherheit und Umweltverträglichkeit!

- die Arbeitsstättenverordnung mit den zugehörigen Arbeitsstättenrichtlinien²,
- Arbeitsschutzgesetz
- Betriebssicherheitsverordnung
- die Unfallverhütungsvorschriften der Berufsgenossenschaften,
- die Abfallgesetzgebung,
- die Wasserhaushaltsgesetzgebung,
- das Bundesimmissionsgesetz mit seinen Durchführungsverordnungen (Störfallverordnung) und Allgemeinen Verwaltungsvorschriften TA Luft, TA Lärm,
- die Gefahrstoffverordnung,
- das Gerätesicherheitsgesetz,
- das Umwelthaftungsgesetz
- Biostoffverordnung u.a.
- Betriebssicherheitsverordnung,
- PSA-Benutzungsverordnung,
- Lastenhandhabungsverordnung,
- Bildschirmarbeitsverordnung,
- Baustellenverordnung,

2. Welche Erwartungen stellt der moderne Kunde an ein Unternehmen im Hinblick auf Produktsicherheit?

Bei der Benutzung des Produkt dürfen weder für Mensch noch Tier noch Umwelt Gefahren ausgehen. Darüber hinaus wird erwartet, dass der Hersteller das Produkt nach Ablauf der Lebensdauer zurücknimmt und entsorgt.

3. Wie regelt die Gesetzgebung (BGB, Produkthaftungsgesetz u. a.) in Bezug auf eine Maschine oder Anlage den Unterschied zwischen Hersteller, Eigentümer und Besitzer sowie Eigenbesitzer und Besitzdiener? Wer ist mittelbarer Besitzer?

Eigentümer: ihm gehört das Instandhaltungsobjekt rechtlich,

Besitzer: er übt als Nutzer die tatsächliche Gewalt über das Objekt aus,

Eigenbesitzer: Eigentümer ist gleichzeitig Besitzer,

Mittelbarer Besitzer (Mitbesitzer): Dieser hat zeitweise die tatsächliche Gewalt über das Objekt abgegeben,

² Verordnung über Arbeitsstätten (Arbeitsstättenverordnung) v. 20.03.1975, letzte Änderung 19.07.2010

Besitzdiener: ein Besitzdiener übt die tatsächliche Gewalt über das Objekt unter Weisung des Besitzers aus,

Hersteller: bringt ein Erzeugnis als Rechtsobjekt auf den Markt.

4. In welchem Umfang kann der Eigentümer oder Besitzer eines Instandhaltungsobjektes als Auftraggeber Organisationspflichten auf den Instandhalter übertragen?

Im Rahmen der Übertragung von Aufgaben des GuAS kann der Unternehmer/Besitzer der Anlage Organisationspflichten auf den Instandhalter übertragen. Trotzdem hat der Eigentümer Pflicht, die Einhaltung bzw. Aufgabendurchführung zu -überwachung und ggf. einzugreifen. Die Gesamtverantwortung im Außenverhältnis bleibt bestehen.

5. Welchen Sorgfaltspflichten unterliegt der Unternehmer oder sein Vertreter sowohl im Strafrecht als auch im Zivilrecht?

Die Instandhaltungsordnung ist Bestandteil des Sicherheits- und Umweltschutzhandbuchs. Sie enthält folgende Aspekte:

- Die Darstellung der Organisation der Instandhaltung sowie der Organisationsstrukturen im Instandhaltungsbereich des Unternehmens
- Nachweis der Einhaltung der Sorgfaltspflicht in der Organisation der Instandhaltung zur
- Planung und Durchführung von Instandhaltungsarbeiten auf hohem Sicherheitsniveau,
- Abstimmung mit dem Produktionsmanagement, z. B. hinsichtlich der Abschaltung von Sicherheitseinrichtungen,

Zusammenarbeit im Sicherheitsmanagement mit Dienstleistungseinrichtungen im Bereich der Anlagenwirtschaft,

- Überwachung des sicherheitsrelevanten Zustandes der Anlagen- und Umweltverträglichkeit der Instandhaltungsdurchführung,
- Überwachung der sicherheitsrelevanten Instandhaltungsqualität

6. Unter welchen Bedingungen darf eine Schuldvermutung keine Anwendung finden?

§ 6 des Umwelthaftungsgesetzes (UHG) legt aber auch fest, dass eine Schuldvermutung keine Anwendung finden darf, wenn die Anlage nachweislich bestimmungsgemäß betrieben wurde. Unregelmäßigkeiten bei der Nachweisdokumentation des bestimmungsgemäßen Betriebes einer Anlage, die auch die Instandhaltungsperioden einbezieht, können somit für ein Unternehmen existenzgefährdende Folgen nach sich ziehen.

7. Erläutern Sie die wichtigsten Bestandteile des bestimmungsgemäßen Betriebes einer Anlage:

1. Einhaltung aller einschlägigen Vorschriften des Bundesimmissionsgesetzes sowie weiterer umweltrelevanter Gesetze und Rechtsverordnungen für alle Nutzungsformen,
2. Einhaltung von Vorschriften und Maßnahmen der Aufsicht führenden Behörde für genehmigungspflichtige Anlagen nach dem Bundesimmissionsgesetz, die im Rahmen des Genehmigungsverfahrens und später ausgesprochen worden sind,
3. inhaltliche und terminliche Einhaltung der vorgeschriebenen Kontroll- und Überwachungsmaßnahmen.

8. Welchen Pflichten hat ein Unternehmer oder dessen Vertreter im Rahmen der gesetzlichen Organisationssorgfalt zu erfüllen.

Von einem Instandhaltungsmanager sind als Unternehmer oder Unternehmensvertreter im Rahmen der gesetzlichen Organisationssorgfalt folgende Pflichten zu erfüllen:

- Sorgfaltspflicht bei der Auswahl,
- Anweisungspflicht und

- Überwachungspflicht.

9. Was verstehen Sie unter der Auswahlspflicht des Instandhaltungspersonals?

Der Auftraggeber kommt seiner gesetzlichen Sorgfaltspflicht am besten nach, wenn er nachweislich zuverlässiges und fachlich kompetentes Instandhaltungspersonal mit der Aufgabe betraut oder die entsprechenden Arbeiten einem zertifizierten Fachbetrieb überträgt.

10. Erläutern Sie die Pflichten eines Instandhaltungsmanagers im Umgang mit Gesundheitsrisiken der Instandhalter!

Der Unternehmer hat die Mitarbeiter über Sicherheit und Gesundheitsschutz bei der Arbeit, insbesondere über die mit ihrer Arbeit verbundenen Gefährdungen und die Maßnahmen zu ihrer Verhütung, entsprechend § 12 Abs. 1 Arbeitsschutzgesetz sowie bei einer Arbeitnehmerüberlassung entsprechend § 12 Abs. 2 Arbeitsschutzgesetz zu unterweisen; die Unterweisung muss erforderlichenfalls wiederholt werden, mindestens aber einmal jährlich erfolgen; sie muss dokumentiert werden.

Sofern ein gesundheitliches Risiko besteht, ist er verpflichtet, eine Gefährdungsbeurteilung vorzunehmen, um das Risiko zu bewerten. Die Beurteilung der Gefährdungen ist die Voraussetzung für das Ergreifen von wirksamen und betriebsbezogenen Arbeitsschutzmaßnahmen. Welche konkreten Schutzmaßnahmen im Betrieb erforderlich sind, ist durch eine Beurteilung der Arbeitsbedingungen festzustellen. Die Gefährdungsbeurteilung ist auch die Grundlage für die Festlegung der Rangfolge der zu ergreifenden Maßnahmen. Die Gefährdungsbeurteilung besteht aus einer systematischen Feststellung und Bewertung von relevanten Gefährdungen und der Ableitung entsprechender Maßnahmen.

Die aus der Gefährdungsbeurteilung abgeleiteten Maßnahmen sind auf ihre Wirksamkeit hin zu überprüfen und gegebenenfalls an sich ändernde Gegebenheiten anzupassen.

11. Welche Aufgaben obliegen dem Instandhaltungsmanager im Zusammenhang mit der Anweisungspflicht?

Der Instandhaltungsmanager hat bei der Umsetzung der Bestimmungen des Gesundheits- und Arbeitsschutzes Weisungsrecht und Weisungspflicht. Über die Ausübung des Weisungsrechts ist Buch zu führen, um nachzuweisen, dass er seinen Verpflichtungen nachgekommen ist.

12. Kann ein Unternehmer seine Überwachungspflicht im Rahmen eines Instandhaltungsauftrages vollständig auf den Instandhalter übertragen?

Die Übertragung der Aufgaben bedarf der Schriftform, dennoch hat der Unternehmer als AG Überwachungs- und Kontrollpflicht. Gemäß § 5 VBG 1 gilt:

Ermittelt ein Unternehmer den Auftrag, Einrichtungen instand zu setzen, technische Arbeitsmittel oder Ersatzteile zu liefern, Instandsetzungsverfahren zu planen oder zu gestalten, so hat er dem Auftragnehmer schriftlich aufzugeben, die einschlägigen Unfallverhütungsvorschriften und allgemein anerkannte Regeln der Sicherheitstechnik zu beachten.

13. Was bezeichnet die Produkthaftung und Beurteilen Sie die Pflichten des Produktherstellers im Hinblick auf Schadensersatzleistungen im Schadensfall!

Der Haftungsumfang des Herstellers ist in den §§ 7ff. ProdHaftG geregelt. Die Produkthaftung bezeichnet die Haftung auf Schadensersatz gegen den Hersteller für Schäden, die beim Endabnehmer infolge eines fehlerhaften Produkts entstanden sind. Sie ist in den §§ 1 bis 19 des Produkthaftungsgesetzes (ProdHaftG) geregelt und von der verschuldensabhängigen „Produzentenhaftung“ nach § 823 BGB zu unterscheiden.

§ 13 Umweltschutzgesetz regelt den Umfang der Ersatzpflicht bei Körperverletzung. Im Falle der Verletzung des Körpers oder der Gesundheit ist Ersatz der Kosten der Heilung sowie des Vermögensnachteils zu leisten, den der Verletzte dadurch erleidet, dass infolge der Verletzung zeitweise oder dauernd seine Erwerbsfähigkeit aufgehoben oder gemindert ist oder seine Bedürfnisse vermehrt sind. Wegen des Schadens, der nicht Vermögensschaden ist, kann auch eine billige Entschädigung in Geld gefordert werden.

14. Unter welchen Bedingungen ist die Ersatzpflicht des Herstellers ausgeschlossen?

Die Ersatzpflicht des Herstellers ist ausgeschlossen, wenn

1. er das Produkt nicht in den Verkehr gebracht hat,
2. nach den Umständen davon auszugehen ist, dass das Produkt den Fehler, der den Schaden verursacht hat, noch nicht hatte, als der Hersteller es in den Verkehr brachte,
3. er das Produkt weder für den Verkauf oder eine andere Form des Vertriebs mit wirtschaftlichem Zweck hergestellt, noch im Rahmen seiner beruflichen Tätigkeit hergestellt oder vertrieben hat,
4. der Fehler darauf beruht, dass das Produkt zum Zeitpunkt, zu dem es der Hersteller in den Verkehr brachte, zwingenden Rechtsvorschriften entsprochen hat, oder
5. der Fehler nach dem Stand der Wissenschaft und Technik zum Zeitpunkt, zu dem der Hersteller das Produkt in den Verkehr brachte, nicht erkannt werden konnte.

Weiterhin:

- bei unsachgemäßem Gebrauch, dazu zählt auch die unsachgemäße Aufbewahrung nach Benutzung, wenn dadurch das Produkt beschädigt wurde,
- bei Verjährung (Verjährungsfrist beträgt 3 Jahre).

15. Nach welcher Frist setzt die Verjährung von Ansprüchen aus Schadensfällen ein?

Der Anspruch des Geschädigten

- verjährt nach Ablauf von drei Jahren ab dem Zeitpunkt, an dem der Ersatzberechtigte vom Schaden, Fehler und von der Person des Ersatzpflichtigen Kenntnis erlangt hat oder hätte erlangen müssen.
- erlischt zehn Jahre nachdem der Hersteller das Produkt, das den Schaden verursacht hat, in Verkehr gebracht hat.

16. Welche Pflichten obliegen einem Instandhaltungsmanager im Zusammenhang mit schädigenden Ereignissen?

Festlegung von Verantwortlichen Mitarbeitern, Notfallpläne, Evakuierungsordnung,

17. In welchem Zusammenhang sind vorhandene Gefährdungsbeurteilungen zu überprüfen?

Anlässe für eine Überprüfung vorhandener Gefährdungsbeurteilungen sind:

- bei Neu- oder Umbau von Betriebsanlagen und Einrichtungen,
- bei Beschaffung oder Umrüstung technischer Arbeitsmittel, z.B. Werkzeuge, Maschinen,
- bei Einführung von gesundheitsgefährdenden Arbeitsstoffen,
- bei Einführung neuer Technologien oder wesentlichen Änderungen von Arbeitsverfahren und -abläufen,
- bei Änderungen der Mitarbeiterstruktur,
- nach Arbeitsunfällen oder Gefahrensituationen,
- bei Verdacht auf Berufskrankheiten oder auf arbeitsbedingte Verursachung von Erkrankungen,
- bei Änderung der Vorschriften.

18. Welche Teilkomplexe umfasst das Sicherheits- und Umweltschutzmanagement?

Das Sicherheitsmanagement in der Anlageninstandhaltung umfasst folgende Teilkomplexe:

1. Gefahren- und Sicherheitsanalyse und Risikobewertung am Instandhaltungsarbeitsplatz
2. Arbeitssicherheit und Umweltverträglichkeit in der Produktion durch Instandhaltung
3. Arbeitssicherheit und Umweltverträglichkeit innerhalb der Instandhaltungsstrukturen
4. Beitrag der Instandhaltung zum Sicherheits- und Umweltmanagement des Unternehmens

19. In welchem Umfang haftet ein Anlagenbesitzer für Umweltwirkungen seiner Anlage?

Der Besitzer einer Anlage haftet für Umwelteinwirkungen, die zu Tötung, Körper- oder Gesundheitsverletzung von Menschen führen, bis zu einem Höchstbetrag von 85 Millionen €. Der gleiche Höchstbetrag gilt bei daraus entstehenden Sachbeschädigungen (§ 1 und § 15 Umwelthaftungsgesetz).

Diese Haftung wirkt auch für noch nicht fertig gestellte, nicht produzierende und stillgelegte Anlagen (vgl. § 2 Umwelthaftungsgesetz).

Ist eine Anlage geeignet, einen Umweltschaden zu verursachen, so geht der Gesetzgeber von der Vermutung aus, dass im Schadensfall die Anlage den Schaden tatsächlich verursacht hat (§ 6 Umwelthaftungsgesetz). Das beschuldigte Unternehmen muss in einer solchen Situation seine Unschuld nachweisen (Beweislastumkehr).

20. Wofür hat der Unternehmer während und nach der Instandsetzung einer Anlage stattfindender Probeläufe zu sorgen?

1. Der Unternehmer hat die notwendigen besonderen Sicherheitsmaßnahmen zu ermitteln und für deren Einhaltung zu sorgen.
2. Das mit der Erprobung beauftragte Personal muss fachkundig über die mit der Erprobung verbundenen Gefahren belehrt und mit den erforderlichen Sicherheitsmaßnahmen vertraut sein. Das Personal ist auf notwendige Verhaltensweisen im Falle des Auftretens von Unregelmäßigkeiten oder Störungen während des Probelaufs hinzuweisen.
3. Sich im Rahmen der Erprobung ergebenden Gefahrenbereiche sind zu kennzeichnen und ggf. abzusperren. Im Gefahrenbereich dürfen sich nur die für die Durchführung der Erprobung autorisierten Personen aufhalten. Falls ein außergewöhnliches Gefahrenrisiko besteht, muss das Rettungsmanagement professionell vorbereitet sein. Der Gefahrenbereich ist wirksam abzusperren. Notfalls sind Warnposten aufzustellen
4. Im Falle eines erhöhten Gefährdungsrisikos für Beschäftigte und Umwelt muss der Unternehmer eine Person mit dem gesamten Sicherheitsmanagement beauftragen (Planung, Durchführung und Überwachung der Erprobung der Sicherheitsmaßnahmen). Bei Probeläufen einschließlich ihrer Koordination sind die Verantwortlichkeiten und die Informationskette schriftlich festzulegen.
5. Die Erprobung einer Anlage kann erst erfolgen, wenn der Nachweis der Funktionsfähigkeit der erforderlichen Mess-, Sicherheits- und Warneinrichtungen erbracht ist. Ggf. sind Notfallpläne zu entwickeln und zu testen.

21. Inwieweit hat der Auftraggeber den Auftragnehmer bei der Durchführung von Instandhaltungsleistungen im Unternehmen zu unterstützen?

Der AN schafft alle Voraussetzungen, damit der Fremdunternehmer bei der Gefährdungsbeurteilung für seine Beschäftigten die spezifischen Gefahren des Betriebes, in dem er tätig wird, berücksichtigt und die erforderlichen Schutzmaßnahmen ergreifen kann. Dazu gehört auch das Informieren des AN durch den AG über Erkenntnisse aus seiner Gefährdungsbeurteilung, z.B.

- auf die Tätigkeit des AN bezogene Informationen über Betriebsabläufe und Arbeitsverfahren,
- Hinweise auf Installationen, Einrichtungen und Geräte,
- Hinweise auf bestehende Betriebsanweisungen,
- Hinweise auf persönliche Schutzausrüstungen, die von Versicherten zu tragen sind,
- Hinweise auf Flucht- und Rettungswege,
- Hinweise auf Einrichtungen zur Ersten Hilfe.

Verfügt der Unternehmer nicht selbst über die notwendige Fachkunde, um das Fremdunternehmen über die Gefahren für Sicherheit und Gesundheit zu informieren, ist er verpflichtet, sich fachkompetente Unterstützung durch Dritte zu bedienen. Dies können z.B. Sicherheitsingenieure oder Betriebsärzte sein.

Kapitel 5 Zuverlässigkeitstheoretische Grundlagen

1. Erläutern Sie die charakteristischen Merkmale einer diskreten Verteilung

Eine diskrete Wahrscheinlichkeitsverteilung ergibt sich durch mehrmalige Realisierung einer Messung eines Werts. Es handelt sich dabei um Zufallsgrößen. Führt man beispielsweise einen Versuch sehr oft durch, ergibt sich eine entsprechende Wahrscheinlichkeitsverteilung.

2. Was ist eine Poisson-Verteilung?

Die Poisson-Verteilung ist eine diskrete Wahrscheinlichkeitsverteilung, die sich aus der mehrmaligen Realisierung eines Bernoulli-Experiments ergibt. Es handelt sich um ein Zufallsexperiment, das nur zwei mögliche Ergebnisse besitzt (z. B. „Erfolg“ und „Misserfolg“ oder „funktionsfähig“ und „nicht funktionsfähig“). Führt man ein solches Experiment sehr oft durch und ist die Erfolgswahrscheinlichkeit gering, so ist die Poisson-Verteilung eine gute Näherung für die entsprechende Wahrscheinlichkeitsverteilung. Die Poisson-Verteilung wird deshalb auch als die „Verteilung der seltenen Ereignisse“ bezeichnet.

3. Nennen und erläutern Sie die wichtigsten statistischen Messgrößen, die die Wahrscheinlichkeitsfunktion beschreiben!

1. Mittelwert: um den MW gruppieren sich die Einzelwerte
 - a) arithmetisches Mittel= Durchschnittswert (Erwartungswert) = Schwerpunkt der Dichtefunktion
 - b) Median = Zentralwert der Verteilung: jeweils die Hälfte der Werte liegen links und rechts von ihm.
 - c) Modalwert (Dichtemittel = Maximalwert der Verteilung)
2. Streuung :Ausmaß der Varianz um den Mittelwert
3. Schiefe: Abweichung von der Symmetrie
4. Exzess: Wölbung/Steilheit (gibt die Überhöhung oder Stauchung einer Funktion an)

4. Wie ermitteln Sie experimentell die Ausfallwahrscheinlichkeit?

$$F(t) = \frac{n(t) - n(t + \Delta t)}{n}$$

$n(t)$	Anzahl der funktionsfähigen BE zum Zeitpunkt t
$n(t + \Delta t)$	Anzahl der funktionsfähigen BE zum Zeitpunkt $t + \Delta t$
n	Anfangsbestand der BE $n(t=0) = N$

Bei Vorliegen der empirischen Verteilungsfunktion der Betriebszeiten von Elementen kann die Ausfallwahrscheinlichkeitsverteilung für das Intervall $t + \Delta t$ bestimmt werden:

$$F(t_i) - F(t_{i+1}) = \frac{n(t_i) - n(t_{i+1} +)}{n_0}$$

$n(t_{i+1})$ = Anzahl der funktionsfähigen BE zum Zeitpunkt t_{i+1}

n_0 = Anzahl der funktionsfähigen BE zum Zeitpunkt $t = 0$ (Anfangsbestand)

5. Was verstehen Sie unter Zuverlässigkeit? Warum kann für Bauteile i.d.R. nur eine geschätzte Zuverlässigkeit angegeben werden?

Zuverlässigkeit ist die Wahrscheinlichkeit, dass ein Bauteil eine bestimmte Laufzeit übersteht. Folgende Kenngrößen charakterisieren die Zuverlässigkeit einer BE:

1. Langlebigkeit (Ausfallverhalten),
2. Fehlerfreiheit (nach Herstellung oder Lieferung und Montage/Aufstellung oder Instandsetzung),
3. Lagerfähigkeit (bis Inbetriebnahme und/oder in Abstellperioden),
4. Transportfähigkeit (zum Ersteinsatzort und/oder zwischen Einsatzorten),
5. Instandhaltbarkeit.

Die Funktion

$$\hat{R}(t) = \frac{n(t)}{N}$$

ist die empirische Zuverlässigkeitsfunktion. Sie konvergiert für $N \rightarrow \infty$ gegen die (wahre) Zuverlässigkeitsfunktion $R(t)$

$$R(t) \approx 1 - \frac{n(t) - n(t + \Delta t)}{n}$$

6. Was verstehen Sie unter Ausfallhäufigkeitsdichte der Lebensdauer

Die Ausfallhäufigkeitsdichte ist definiert als Quotient der im Beanspruchungsintervall ausgefallenen Betrachtungseinheiten bezogen auf den Anfangsbestand und das zugehörige Beanspruchungsintervall. Die Ausfallhäufigkeitsdichte kann experimentell nach folgender Beziehung näherungsweise ermittelt werden

$$f(t) = \frac{n(t) - n(t + \Delta t)}{n * \Delta t}$$

7. Erläutern Sie den Begriff der Ausfallrate! Welche Bedeutung Aussagekraft besitzt diese für die Entwicklung von Instandhaltungsstrategien?

Es seien zur Zeit $t = 0$ N statistisch identische (unabhängige) BE unter gleichen Bedingungen in Betrieb gesetzt worden.

Zur Zeit t seien $n(t)$ BE noch intakt. $N(t)$ bildet dann eine rechtsseitig stetige, fallende Treppenfunktion, die von N gegen Null strebt.

Die empirische Ausfallrate lautet:

$$\hat{\lambda}(t) = \frac{n(t) - n(t + \Delta t)}{n(t) \Delta t}$$

$n(t) \Delta t$ ist gleich dem Verhältnis der Anzahl der Ausfälle im Intervall $(t, t + \Delta t)$ zur Anzahl Betrachtungseinheiten, die zur Zeit t noch nicht ausgefallen sind:

$$\hat{\lambda}(t) = \frac{R(t) - R(t + \Delta t)}{R(t) \Delta t}$$

Instandhaltung

Grundlagen – Strategien -Werkstätten

Übungs- und Kontrollfragen

© Springer Vieweg, Springer Verlag Berlin Heidelberg 2012

978-3-642-27389-6

Für n gegen unendlich und Δt gegen Null konvergiert $\lambda(t)$ gegen die Ausfallrate.

$$\lambda(t) = \frac{-dR(t)/dt}{R(t)}$$

8. Definieren Sie den Begriff „Mean Time Between Failure“!

$t_1 \dots t_N$ sind die beobachteten ausfallfreien Zeiten von N BE. Handelt es sich um identische (unabhängige) BE sind sie unabhängige Realisierungen ein und derselben Zufallsgröße τ (τ ist die ausfallfreie Zeit der BE und wird i.d.R. als positive, stetige Zufallsgröße betrachtet).

Der Ausdruck

$$MTTF = \frac{t_1 + \dots + t_N}{N}$$

ist der empirische Mittelwert von τ . Für $N \rightarrow \infty$ konvergiert gegen den wahren Mittelwert der ausfallfreien Arbeitszeiten $MTTF = E(\tau)$ (mittlere Betriebsdauer einer BE).

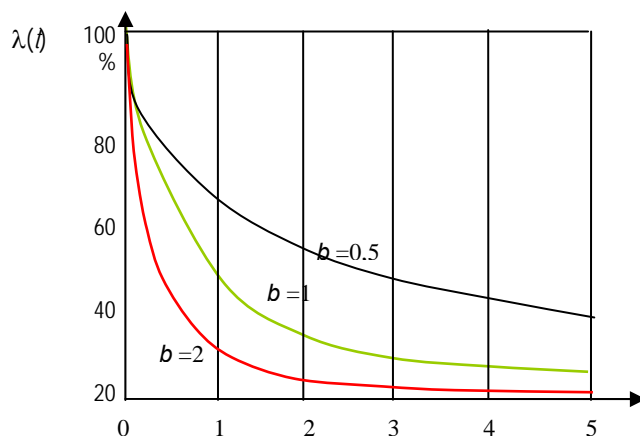
In vielen praktischen Fällen trifft es zu, in welchen für alle $t \geq 0$ die Ausfallrate als näherungsweise konstant angenommen wird: $\lambda(t) = \text{konstant}$. Daraus folgt dann: $R(t) = e^{-\lambda t}$ und wegen $MTTF = 1/\lambda = \text{konstant}$: $MTBF = 1/\lambda$ (Mean Time Between Failure).

9. Welche Verfahren können zur Ermittlung der Weibullparameter herangezogen werden? Erläutern Sie diese!

1. Maximum-Likelihood-Methode
2. Methode der kleinsten Quadrate
3. Momentenmethode
4. Integrierte Ausfallrate m .H. von Wahrscheinlichkeitspapier
5. Expertenschätzung für Laufzeitquantile (Quantilmethode)
6. Grafische Methode m. H des Wahrscheinlichkeitsnetzes

10. Definieren Sie den Begriff der Exponentialverteilung! Stellen Sie die charakteristischen Kurvenverläufe für verschiedene Parameter $b = 0,5; 1,0; 2,0$ dar!

Die Exponentialverteilung ist eine stetige Wahrscheinlichkeitsverteilung, die durch eine Exponentialfunktion gegeben ist. Sie dient vorrangig der Berechnung der Lebensdauern von Bauteilen, Maschinen und Geräten, wenn Alterungserscheinungen nicht betrachtet werden müssen ($MTBF$). In der Praxis ist die tatsächliche Verteilung meist keine Exponentialverteilung. Die Exponentialverteilung ist einfach zu handhaben und daher sehr beliebt. Sie ist anwendbar, wenn ein Prozess die Poissonschen Annahmen erfüllt (stationär, stochastisch unabhängig, nachwirkungsfrei).



Instandhaltung

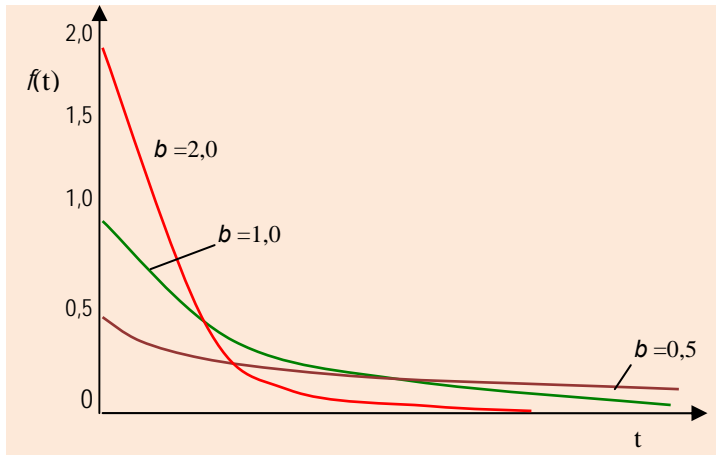
Grundlagen – Strategien -Werkstätten

Übungs- und Kontrollfragen

© Springer Vieweg, Springer Verlag Berlin Heidelberg 2012

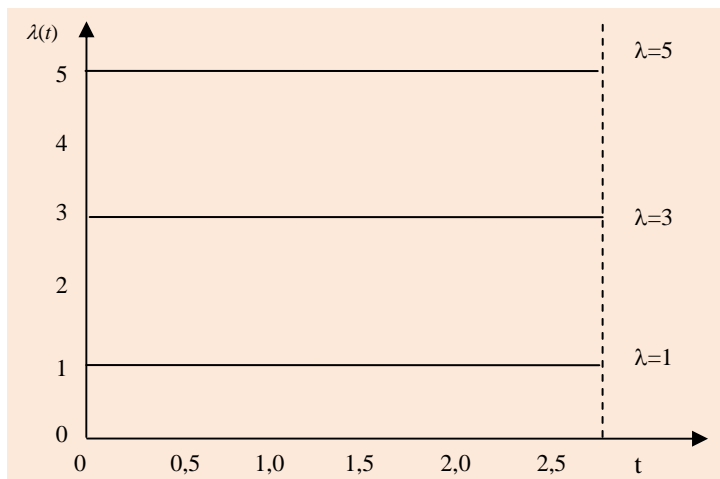
978-3-642-27389-6

11. Zeichnen Sie den Kurvenverlauf der Ausfallwahrscheinlichkeitsdichte $f(t)$ der Exponentialverteilung für verschiedene Parameter $b = 2,0; 1,0; 0,5$!



Die Dichtefunktion der Exponentialverteilung ist eine inverse vom Anfangswert monoton fallende Funktion. Die Exponentialverteilung beschreibt somit ein Ausfallverhalten, bei dem zu Beginn eine relativ hohe Ausfallhäufigkeit zu beobachten ist, die sich dann kontinuierlich verringert. Den Funktionsverlauf bestimmt der Parameter b der auch als Ausfallrate bezeichnet wird. λ ist der Kehrwert der *MTBF*.

12. Zeichnen Sie den Kurvenverlauf der Ausfallrate $\lambda(t)$ der Exponentialverteilung für verschiedene Parameter $b = 5,0; 3,0; 1,0$



13. Erläutern Sie die charakteristischen Funktionen Ausfallwahrscheinlichkeit bzw. Zuverlässigkeit, Erwartungswert, Varianz und Ausfallrate
- der zweiparametrischen Weibull-Verteilung,
 - der dreiparametrischen Weibull-Verteilung!

a)

$$W(t \leq t) = F(t) = 1 - e^{-\left(\frac{t}{a}\right)^b} \text{ mit } b > 0, a > 0, 0 < t < \infty$$

Dichtefunktion

Instandhaltung

Grundlagen – Strategien -Werkstätten

Übungs- und Kontrollfragen

© Springer Vieweg, Springer Verlag Berlin Heidelberg 2012

978-3-642-27389-6

$$f(t) = \left(\frac{b}{a}\right) \left(\frac{t}{a}\right)^{\left(\frac{t}{a}\right)^b}$$

b)

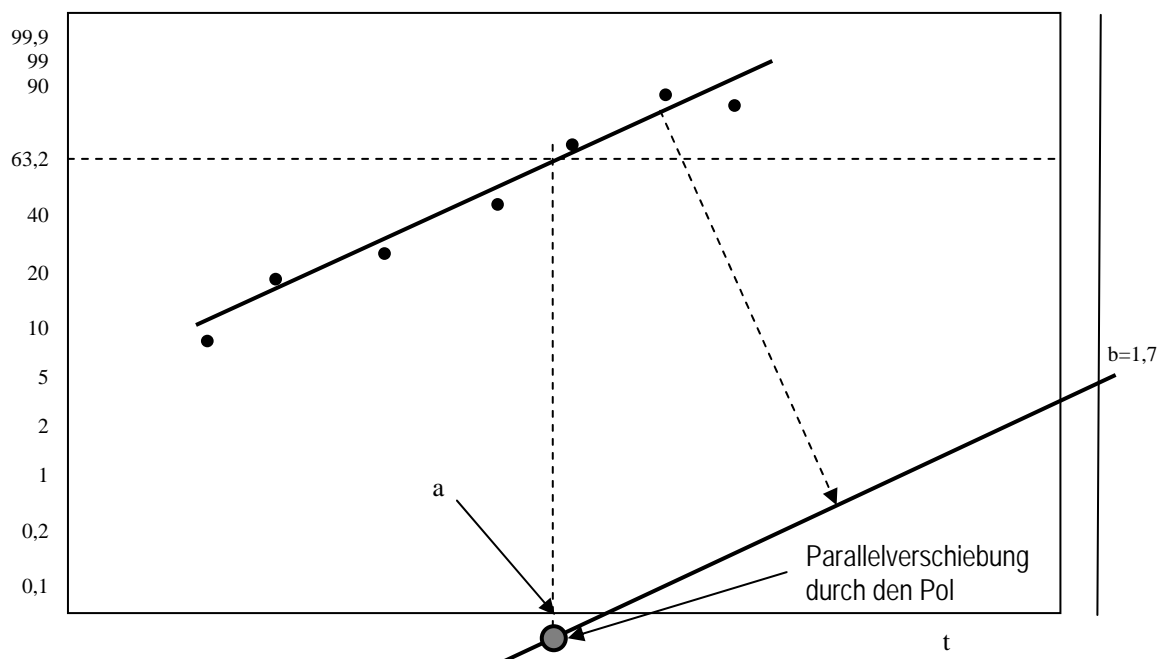
$$W(t \leq t) = F(t) = 1 - e^{-\left(\frac{t-c}{a-c}\right)^b} \text{ mit } b > 0, a > 0, c > 0$$

Dichtefunktion

$$f(t) = \left(\frac{b}{a-c}\right) \left(\frac{t}{a-c}\right)^{\left(\frac{t-c}{a-c}\right)^b}$$

14. Erläutern Sie die Bestimmung der Parameter b und a der Weibull-Verteilung im Wahrscheinlichkeitsnetz!

1. Eintragen der relativen Häufigkeiten auf der y-Achse
2. Legen eine Geraden in die Punkteschaar
3. Senkrechte des Schnittpunkts mit der 63,2 % Überlebenswahrscheinlichkeit
4. Parallelverschiebung der Geraden durch den Pol des Wahrscheinlichkeitsnetzes
5. Ablesen des Parameters b auf dem Schnittpunkt mit der rechten Skala

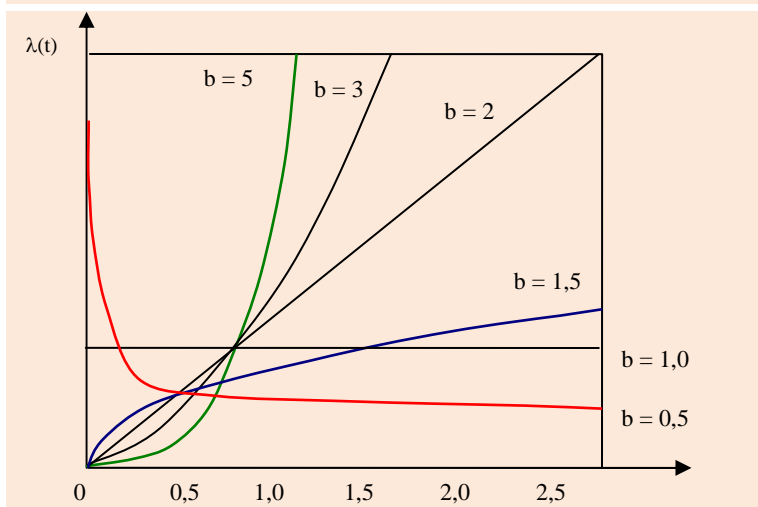
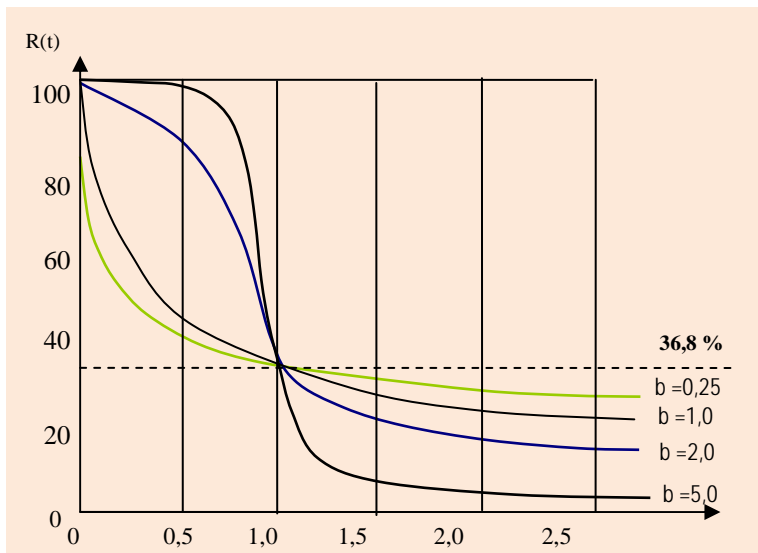
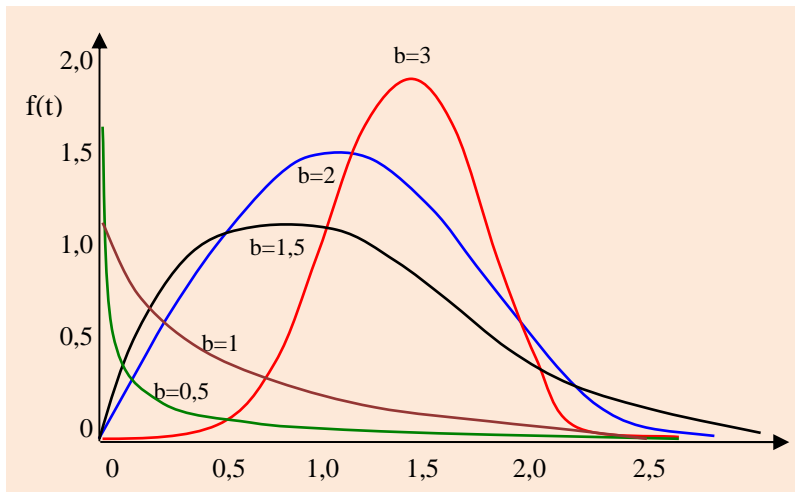


15. Welche Verteilungen können als Sonderform der Weibull-Verteilung angesehen oder durch die Weibull-Verteilung angenähert werden?

$b=1$ Exponentialverteilung

$b \approx 3,6$ Normalverteilung

16. Zeichnen Sie die qualitativen Verläufe von Verteilungsdichte, Ausfallwahrscheinlichkeit und Ausfallrate der Weibull-Verteilung für die Parameter $b = 0,5; 1; 1,5; 2; 3$!



17. Worin besteht das Ziel einer Zufallsstichprobe?

Mit einer Zufallsstichprobe sollen Aussagen erzielt werden, die es gestatten, Erkenntnisse aus der Stichprobe auf die unbekannte Grundgesamtheit zu beziehen (*Repräsentationsschluss* bzw. *indirekter Schluss*). Da jede Zufallsstichprobe nicht mit der Grundgesamtheit identisch ist, sondern nur eine zufällige Auswahl von Untersuchungseinheiten der Grundgesamtheit darstellt, können die stichprobenbasierten Statistiken auch zufällig von den tatsächlichen (wahren) Parametern der Grundgesamtheit, abweichen.

18. Welche Aufgabe hat ein Schätzverfahren?

Die Aufgabe eines Schätzverfahrens besteht darin, anhand einer Stichprobe Näherungswerte für eine unbekannte Verteilungsfunktion oder deren Parameter zu finden. Ein solcher Näherungswert wird als *Schätzwert* bezeichnet. Im Gegensatz zur Punktschätzung liefert eine *Konfidenzschätzung* neben den Schätzwerten auch Aussagen bezüglich der Sicherheit und der Genauigkeit der Schätzung.

19. Welche zwei Arten von Schätzungen werden unterschieden?

a) Mangels anderer Informationen kann die in der Stichprobe berechnete Statistik als bester Schätzer für den tatsächlichen Parameter der Grundgesamtheit verwendet werden. Die Vorhersage eines solchen konkreten Werts bezeichnet man als *Punktschätzung*.

b) Punktschätzungen zufällig von den tatsächlichen Parametern der Grundgesamtheit abweichen können, kann man auch alternativ einen Bereich benennen, in dem man den wahren Wert mit einer bestimmten Wahrscheinlichkeit vermutet. Dieser Wertebereich wird als *Konfidenzintervall* bezeichnet. In diesem Fall spricht man von einer *Intervallschätzung*.

20. Was verstehen Sie unter einer Zufallsstichprobe und was ist ein Stichprobenfehler?

Die Parameter der Grundgesamtheit sind i. d. R. unbekannt. Mit einer Zufallsstichprobe sollen Aussagen erzielt werden, die es gestatten, Erkenntnisse aus der Stichprobe auf die unbekannte Grundgesamtheit zu beziehen. Keine Zufallsstichprobe ist mit der Grundgesamtheit identisch, sondern nur eine zufällige Auswahl von Untersuchungseinheiten der Grundgesamtheit. Daher können die stichprobenbasierten Statistiken auch zufällig von den tatsächlichen (wahren) Parametern der Grundgesamtheit, abweichen. Diese Abweichungen bezeichnet man als *Stichprobenfehler*. Die berechneten Stichprobenergebnisse sind daher nur mehr oder weniger gute *Schätzwerte* der tatsächlichen Parameter. Die Methode der Berechnung von Schätzwerten bezeichnet man als *Schätzverfahren*.

21. Was verstehen Sie unter einem Anpassungstest und welche Anpassungstests kennen Sie?

Ein Anpassungstest (*Goodness-of-fit-Test*) ist in der schließenden Statistik ein Hypothesentest, der die unbekannte Wahrscheinlichkeitsverteilung einer Zufallsvariablen auf (annäherndes) Folgen eines bestimmten Verteilungsmodells (z. B. Weibull-Verteilung) prüfen soll. Es geht um die Hypothese, dass eine vorliegende Stichprobe aus einer Verteilung mit einer bestimmten Verteilungsfunktion stammt. Häufig wird dies durch asymptotische Betrachtungen der empirischen Verteilungsfunktion realisiert. Bekannte Anpassungstests sind zum Beispiel:

- der Chi-Quadrat-Anpassungstest
- der Kolmogorow-Smirnow-Anpassungstest
- der Anderson-Darling-Anpassungstest

22. Was verstehen Sie unter einem Konfidenzintervall?

Das Konfidenzintervall (auch Vertrauensbereich oder Mutungsintervall genannt) sagt etwas über die *Präzision* der Lageschätzung eines Parameters (zum Beispiel eines Mittelwertes) aus. Das Vertrauensintervall schließt einen Bereich um den geschätzten Wert des Parameters ein, der – vereinfacht ausgedrückt – mit einer zuvor festgelegten Wahrscheinlichkeit die wahre Lage des Parameters trifft.

23. Was verstehen Sie unter Konfidenzschätzung und welche Aussagekraft hat sie?

Für einen unbekannten Parameter einer Verteilung ist anhand von Stichproben ein Intervall anzugeben, in dem der Parameter mit einer möglichst großen Wahrscheinlichkeit p liegt. Ein solches Intervall heißt Konfidenzintervall oder Vertrauensintervall und seine Grenzen Konfidenzgrenzen. Die Länge des Konfidenzintervalls ist ein Maß für die Genauigkeit der Schätzung: Je kleiner das Intervall, umso genauer ist die Schätzung. Die gewünschte Wahrscheinlichkeit α mit der der wahre Wert tatsächlich im Konfidenzintervall liegt, heißt Konfidenzniveau und die Wahrscheinlichkeit $1-\alpha$ Irrtumswahrscheinlichkeit. Das Konfidenzniveau bestimmt also die Sicherheit der Schätzung. Die Aussagen über Genauigkeit und Sicherheit der Schätzung unterscheiden eine Konfidenzschätzung von einer Punktschätzung

24. Worin besteht der Vorteil des Konfidenzintervalls gegenüber der Punktschätzung eines Parameters?

Ein Vorteil des Konfidenzintervalls gegenüber der Punktschätzung eines Parameters ist, dass man an ihm direkt die Signifikanz ablesen kann. Ein zu breites Vertrauensintervall weist auf einen zu geringen Stichprobenumfang hin. Entweder ist die Stichprobe tatsächlich "klein" oder das untersuchte Phänomen ist so variabel, dass nur durch eine unrealistisch große Stichprobe ein Konfidenzintervall von akzeptabler Breite erreicht wird. Dann würde die statistische Auswertung wirtschaftlich nicht vertretbar.

25. Charakterisieren Sie den χ^2 -Anpassungstest!

Es wird eine diskrete Zufallsvariable x mit k Ausprägungen, d. h. mögliche Realisationen x_1, \dots, x_k vereinbart. Diese Zufallsvariable hat die vollständig bestimmte diskrete Dichte

$$p_i (i = 1, \dots, k) \text{ mit } \sum_{i=1}^k p_i = 1$$

Betrachtet wird eine Stichprobe vom Umfang n . n_i ist die absolute empirische Häufigkeit der i -ten Ausprägung, d. h. die Anzahl derjenigen Werte unter den n der Stichprobe, die ihre i -te Ausprägung aufweisen. Dann lässt sich zeigen, dass die Zufallsvariable

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^k \frac{(n_i - np_i)^2}{np_i} \approx \chi_{k-1}^2$$

für wachsenden Stichprobenumfang $n \rightarrow \infty$ nach χ^2 mit $f = k-1$ Freiheitsgraden strebt. Für endlichen Stichprobenumfang ist χ^2 angenähert nach der bekannten Helmert-Pearsonschen χ^2 -Verteilung verteilt. Dazu wird ein Definitionsbereich der Zufallsvariablen in k Klassen eingeteilt und dort bei bekannter Dichte $\phi(x)$ die in jeder der k Klassen zu erwartende Häufigkeit bestimmt, wobei ξ_0, \dots, ξ_k die Klassengrenzen darstellen. n_i ist die empirisch bestimmte absolute Häufigkeit in der i -ten Klasse und $h_i = np_i$ die zu erwartende hypothetische Häufigkeit in der i -ten Klasse, h_i muss dabei nicht ganzzahlig sein.

Faustregel:

Für $k = 2$ müssen beide zu erwartenden Häufigkeiten $h_i = np_i > 5$ sein. Für $k > 2$ muss jede der zu erwartenden Besetzungszahlen $h_i = np_i > 1$ sein und nur 20 % der h_i dürfen kleiner 5 sein.

26.

a) Welche Fragestellung beantwortet der Kolmogorow–Smirnow-Test (K-S-Test)?

Mit Hilfe des Tests von Kolmogorow und Smirnow lässt sich die Anpassung einer beobachteten an eine theoretisch erwartete Verteilung prüfen. Die Nullhypothese besagt, dass die Stichprobe zur genannten Verteilung gehört. Die Alternativhypothese sagt aus, dass die angenommene Wahrscheinlichkeitsverteilungsfunktion der zugrunde liegenden Funktion nicht entspricht (Art der Funktion und/oder Parameter sind falsch).

b) Worin besteht der Vorteil des K-S-Tests im Vergleich zu anderen Testverfahren?

Das Prinzip des K-S-Tests ist sehr einfach. Die maximale Differenz zwischen der angenommenen kumulativen Dichtefunktion und der zu untersuchenden Stichprobe wird verwendet, um zu entscheiden, ob die Stichprobe zur Verteilung gehört oder nicht.

c) Welche Testvoraussetzung ist für den K-S-Test erforderlich?

Kontinuierliche Verteilung der Grundgesamtheit, Stichprobengröße $n > 5$.

d) Erläutern Sie den Testablauf für den K-S-Test im Falle einer Weibull-Verteilung!

Man bestimmt die unter der Nullhypothese erwarteten absoluten Häufigkeiten E , bildet die Summenhäufigkeiten dieser Werte F_E und der beobachteten absoluten Häufigkeiten F_B , bildet die Differenzen und dividiert zur Bestimmung des Prüfquotienten die absolut größte Differenz $F_B - F_E$ durch den Stichprobenumfang n . Es geht also um die Bestätigung oder Ablehnung der Verteilungshypothese.

Im Falle einer Weibull-Verteilung werden die Ausfallwahrscheinlichkeiten der erwarteten (hypothetischen) Verteilung F_E und die Werte der beobachteten (empirischen) Verteilung F_B ermittelt:

$$F_E(t) = 1 - e^{-\left(\frac{t}{a}\right)^b}$$

Als Testgröße für relative Häufigkeiten gilt:

$$D = \max[F_B - F_E]$$

Der Prüfquotient

$$\hat{D} = \frac{\max[F_B - F_E]}{n}$$

wird für die Stichprobenumfänge $n > 35$ anhand f kritischer Werte beurteilt: Ein beobachteter D -Wert, der den Tabellenwert erreicht oder überschreitet, ist auf dem entsprechenden Niveau statistisch signifikant. Für andere Werte α erhält man den Zähler der Schranke als einen beobachteten D -Wert, der den Tabellenwert erreicht oder überschreitet. Er ist auf dem entsprechenden Niveau statistisch signifikant. Für andere α -Werte erhält man den Zähler der Schranke wie folgt:

$$D_{1-\alpha;n} = \sqrt{\frac{-\ln \alpha}{2n}}$$

$$\text{z. B.: } 0,05 \quad \ln(0,05/2) = -3,68$$

$$K_{1-\alpha;n} = \sqrt{\frac{-\ln 0,05}{2n}} = \frac{\sqrt{(-\ln(0,05)/2)}}{\sqrt{n}} = \frac{1,22}{\sqrt{n}}$$

27. Wie ermitteln Sie die Schwachstelle eines Systems?

1. Festlegung diskreter Zeitpunkte, z.B. 1000 h, 2000 h, ... 10.000 h
2. Ermittlung der Zuverlässigkeit des einzelnen Elements für diskrete Zeitpunkte 1 ... n
1. Ermittlung der Systemzuverlässigkeit für diskrete Zeitpunkte 1....n
2. Zuverlässigkeit des Elements $i = 1$ setzen
3. Systemzuverlässigkeit ermitteln unter der Bedingung, dass das Element $i = 1$ gesetzt ist
4. Ermittlung des Schwachstellenkoeffizienten durch Division der Zuverlässigkeit nach Schritt 2 durch die Zuverlässigkeit nach Schritt 5 für diskrete Zeitpunkte i .
5. Erwartungswerts durch Addition der Systemzuverlässigkeiten für diskrete Zeitpunkte 1... n und Division durch die Anzahl der Zeitpunkte
6. Schwächstes Element ist das Element mit dem geringsten Wert.

28. Welche Arten von Erneuerungsprozessen kennen Sie?

1. Einfacher wiederherstellender Erneuerungsprozess,
2. Einfacher wiederherstellender Erneuerungsprozess mit instandsetzungsbedingten Stillstandzeiten,

3. Einfacher vorbeugender Erneuerungsprozess,
4. Einfacher vorbeugender Erneuerungsprozess mit instandsetzungsbedingten Stillstandzeiten,
5. Einfacher vorbeugender Erneuerungsprozess mit instandsetzungsbedingten Stillstandzeiten nach befundabhängiger Inspektion,
6. Erneuerungsprozess mit Verbesserung und instandsetzungsbedingten Stillstandzeiten.

Kapitel 6 Planung und Optimierung von Instandhaltungsstrategien für Elemente und Systeme

A Grundlagen der Instandhaltungsplanung

1. Wodurch altern Bauteile und welche Auswirkungen hat die Alterung auf die Abnutzungsgeschwindigkeit?

Alterung ist Wertminderung unter zeitlich wirkenden Einflüssen. Die Alterung wird im Wesentlichen vom Zeitstandsverhalten der Werkstoffe bestimmt. Es ist vom Gefüge des Materials, den Einsatzbedingungen, der Belastung und der Einsatzdauer abhängig. Gealterte Bauteile weisen hohen Verschleiß auf, sind deformiert und das Gefüge ist meist zerrüttet. Daher unterliegen solche Bauteile einer erhöhten Abnutzungsgeschwindigkeit.

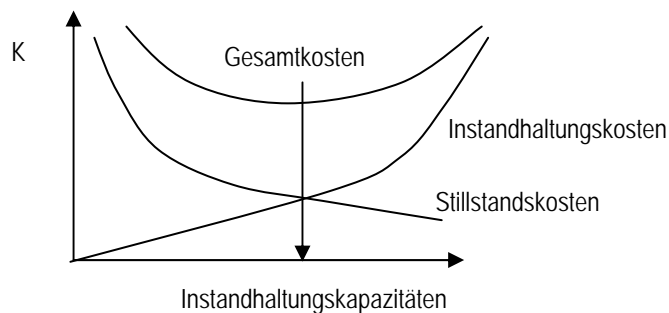
2. Welche Faktoren bestimmen die Alterung eines Systems?

1. Verschleiß, Deformation und Zerrüttung der Dauerteile innerhalb des Nutzungszeitraums, der gleich oder größer als die Einsatzperiode ist,
2. Verschleiß der Abnutzungsteile, die über mehrere Instandsetzungsintervalle verwendet werden,
3. häufige Instandsetzung der Maschine.

3. Warum vergrößert häufige Instandhaltung einer Maschine die Intensität ihrer Alterung?

Weil bei der Montage die Einzelteile mehrerer gleichartiger BG mehr oder weniger vermischt werden und dadurch eingelaufene Paarungen getrennt werden, was wiederum zur Verkleinerung der Berührungsfläche führt. Die Verkleinerung der Berührungsfläche führt zu einer sprunghaften Veränderung der Alterung.

4. Erläutern Sie anhand des Verlaufs der Gesamt-, Stillstands- und Instandhaltungskosten in Abhängigkeit von der Instandhaltungsintensität die betriebswirtschaftliche Bedeutung der Instandhaltung! Stellen Sie die Zusammenhänge grafisch dar!



5. Welche Argumente präferieren die Inspektions-, bzw. Präventivmethode zwingend? Welche Bedingungen begründen die Anwendung der Inspektionsmethode!

Wenn bei einem Ausfall mit

Instandhaltung

Grundlagen – Strategien -Werkstätten

Übungs- und Kontrollfragen

© Springer Vieweg, Springer Verlag Berlin Heidelberg 2012

978-3-642-27389-6

- a) gesundheitlichen Schäden,
- b) wirtschaftlichen Verlusten und/oder
- c) Folgeschäden

zu rechnen ist.

Im Fall der Entscheidung für die Inspektionsmethode müssen Merkmale des Abnutzungsverhaltens prüf-, bzw. messbar sein. Ist das technisch möglich, ergibt sich die Notwendigkeit der wirtschaftlichen Vertretbarkeit.

6. Was verstehen Sie allgemein unter Instandhaltungsstrategie?

Instandhaltungsstrategie ist eine objektspezifisch festgelegte Kombination von Instandhaltungsmaßnahmen, wobei für die Maßnahmen die Intervallart konkretisiert wird. Es handelt sich um Festlegung der Art und Weise, Umfänge und Zeitpunkte von Instandhaltungsvorhaben unter Beachtung vorgegebener Kriterien durchzuführen.

7. Erläutern Sie die Grundprinzipien der Strategieplanung!

Strategieplanung ist das systematische Suchen und Festlegen von Zielen sowie das Bestimmen von Instandhaltungsstrategien zum Erreichen der Ziele. Dabei geht es um die Determinierung eines stochastischen Prozesses zur Unterstützung der Realisierung von Unternehmenszielen. Die Planung der Instandhaltung setzt die Entwicklung von komplexen Strategien unter Anwendung optimaler Instandhaltungsmethoden voraus.

8. Nennen Sie die fünf wichtigsten Instandhaltungsvarianten! Erläutern Sie diese kurz!

Basisvariante, sequentielle Variante, adaptive Variante, Erneuerungsvariante, permanente Variante

Basisvariante

Ausfallverhalten der BE unbekannt oder die Betriebsdauer ist größer als die Lebensdauer des Gesamtsystems. Grundlage für die spätere Anwendung anderer Varianten.

Periodische Variante

Periodisches Instandsetzen nach einmalig festgelegtem Zyklus, wenn keine verbesserten Informationen über das Ausfallverhalten zu erwarten sind.

Sequentielle Variante

Vollständige Informationen über das Ausfallverhalten liegen vor. Die Neubestimmung des Instandsetzungs- oder Inspektionstermins erfolgt auf der Grundlage unterschiedlicher Belastungen oder von Kosteninformationen.

Adaptive Instandhaltung

Unsichere Informationen über das Ausfallverhalten. Durch jede IH-Maßnahme werden weitere Informationen über das Ausfallverhalten hinzugefügt. Neubestimmung der IH-Termine unter Berücksichtigung der neuen Informationen. Belastung verhältnismäßig konstant.

Erneuerungsvariante

Zum Ausfallverhalten liegen keine Daten vor. Lediglich Informationen zu den Ausfallwahrscheinlichkeiten, die eine Abschätzung des Ersatzteilebedarfs zulassen.

9. Sind technisch bedingte Ausfälle und Störungen infolge Abnutzung und Verschleiß vermeidbar? Begründen Sie Ihre Antwort!

Technisch bedingte Ausfälle und Störungen sind grundsätzlich nicht vermeidbar, da jede Betrachtungseinheit im Verlaufe der Zeit verschleißt, korrodiert, altert und versagt. Es besteht lediglich die Möglichkeit, durch eine optimale Wartung den Abnutzungsprozess zu verlangsamen. Aufzuhalten ist er nicht.

Instandhaltung

Grundlagen – Strategien -Werkstätten

Übungs- und Kontrollfragen

© Springer Vieweg, Springer Verlag Berlin Heidelberg 2012

978-3-642-27389-6

10. Welche Strategie wählen Sie, wenn das Ausfallverhalten der BE unbekannt ist? Begründen Sie Ihre Wahl!

Bei unbekannten Ausfallverhalten ist zunächst die Basisstrategie zu wählen. Zu diesem Zeitpunkt liegen noch keine statistisch gesicherten Daten zum Ausfallverhalten vor. Der Nutzer kann allerdings auf der Grundlage von Herstellerangaben und den Vorschriften der Bedienungs- und Wartungsanleitung, deren Einhaltung zunächst für einen möglichst störungsfreien Betrieb sorgen soll, eine Instandhaltungsstrategie konzipieren.

Basisstrategie bedeutet: der Ausfall wird abgewartet, danach instand gesetzt, A-Strategie bildet die Grundlage für spätere Varianten.

11. Welche Strategien kommen bei weitgehend bekanntem Ausfallverhalten zur Anwendung?

Abgrenzungsstrategie. Informationen sind unsicher. Der voraussichtliche Ausfallzeitpunkt wird geschätzt.

Adaptive Strategie: unsichere Informationen über das Ausfallverhalten. Jede IH-Maßnahme bringt zusätzliche Informationen, die eine Neubestimmung der IH-Termine und damit mehr Plangenauigkeit gestatten.

Inspektionsstrategie: unsichere oder keine Informationen über das Ausfallverhalten. Jede Inspektionsmaßnahme bringt Informationen, die eine Prognose gestatten.

12. Erläutern Sie den Unterschied zwischen optionaler Instandhaltung, Gruppen- und Blockinstandsetzung!

- a) Optionale Instandhaltung: Nutzung von Maschinenstillständen aller Art (technisch, technologisch oder organisatorisch bedingt) zur Durchführung geplanter Instandhaltungsmaßnahmen, um die Stillstandskosten zu optimieren.
- b) Zu einem bestimmten Zeitpunkt wird eine komplette Gruppe unabhängiger Abnutzungsteile, die etwa gleiches Abnutzungsverhalten aufweisen, ersetzt (Erneuerungsvariante). Bedingung: die Kosten bei Gesamtersatz sind niedriger als bei Einzellersatz.
- c) Bei der Blockinstandsetzung werden verschiedene Maßnahmen so koordiniert, dass sie zeitlich auf einen Termin gelegt werden können, wodurch die Stillstandszeit der Maschinen bzw. Ausrüstung gering gehalten werden kann.

13. Welche Vorteile hat die Ausfallstrategie

a) Bereich Anlagen:

- 1. vollständige Ausnutzung des Abnutzungsvorrates - IH erst nach Schadenseintritt,
 - 2. Kann unter bestimmten Bedingungen kostengünstig sein.
- b) im Bereich Instandhaltung: Geringer bzw. kein Planungsaufwand

14. Welche Nachteile hat die Ausfallstrategie

a) im Bereich Anlagen:

- 1. Eine geforderte hohe Verfügbarkeit ist nicht annähernd zu realisieren (die BE muss warten)
- 2. Instandhaltung erfolgt unter Zeitdruck (fehlerhafte Instandhaltung),
- 3. unvorhergesehene Situation (kurzfristige Fremdvergabe von Aufträgen i. d. R. nicht sicherzustellen, es sei denn, entsprechende Rahmenverträge wurden abgeschlossen),
- 4. ggf. hohe Wartezeiten auf Instandhaltung (Warteschlangenproblem), nicht verfügbare Ersatzteile, Instandhaltung nicht vorbereitet,
- 5. der Ausfall entzieht sich dem Einfluss des Betreibers,
- 6. Stillstand erfolgt zufällig, es kommt zu Folgeschäden, Störungen im Produktionsablauf und gesundheitlichen Schäden,

Instandhaltung

Grundlagen – Strategien -Werkstätten

Übungs- und Kontrollfragen

© Springer Vieweg, Springer Verlag Berlin Heidelberg 2012

978-3-642-27389-6

7. Überschreitung von Toleranzgrenzen durch erhöhte Abnutzung => Ausschuss -> Nacharbeit.

b) im Bereich Instandhaltung:

1. Instandhaltung erfolgt unter Zeitdruck führt zu Instandhaltungsfehlern, zusätzliche Kapazitäten erforderlich,
2. schlechte Ausnutzung der Ressourcen: Kostenbelastungen w/bezahlter Bereitschaftsdienste,
3. ggf. lange Aktivierungs- und Vorbereitungszeiten der Instandhaltung,
4. lange Fehlersuchzeiten,
5. hohe Lagerhaltungskosten w/hoher Kapitalbindung für Ersatzteilebevorratung
6. Liquiditätsabfluss oder wenn Ersatzteile kurzfristig nicht beschaffbar sind
7. hohe Ausfallkosten wegen der Wartezeiten.

15. Welche Vor- und Nachteile hat die zeitorientierte Instandhaltung

a) im Bereich Anlagen:

1. Sicherung der zur Ausbringung eines Produktionsziels geforderten Verfügbarkeit,
2. Vermeidung von Störungen im Produktionsablauf sowie von Folgeschäden und/oder gesundheitlicher Schäden sofern solche zu erwarten sind,
3. Verringerung instandhaltungsbedingter Stillstandszeiten durch
 - a) Zusammenlegung von fälligen und zeitlich zusammenfallenden Maßnahmen,
 - b) Reduzierung der Instandsetzungszeiten,
 - c) Vorbereitete Arbeitspläne, Reduzierung der Fehlerrate, Arbeiten ohne "Druck", bessere Qualität der Arbeit und höhere Verfügbarkeit, Ersatzteile verfügbar,
 - d) Planung der Maßnahmen: keine unvermuteten Unterbrechungen, keine instandhaltungsbedingten Wartezeiten.
4. Vermeidung der Beeinträchtigung der Leistungsfähigkeit benachbarter Elemente oder Anlagen,
5. Schonung der Anlagenelemente durch geringere Montage- und Demontageaktivitäten,
6. Kostenvorteile durch geringe Kapitalbindung bei geplanter Ersatzteilbevorratung (kein Liquiditätsentzug).

b) im Bereich Instandhaltung:

1. Planung des Instandhaltungsaufwandes und damit bessere Ausnutzung der Instandhaltungskapazitäten und Vorbereitung der Produktion auf den Stillstand
2. Sinkendes Ausfallrisiko, Verringerung des Ersatzteilbedarfs für folgegeschädigte Elemente
3. Bessere Material- und Ersatzteilbestandsplanung und Lagerhaltung
4. leichtere Vergabe von Instandhaltungsaufträgen an Fremdfirmen

16. Welche Nachteile hat die Präventivstrategie

a) im Bereich Anlagen:

1. Geringe oder **ungenügende Ausnutzung des Abnutzungsvorrates** bei vorbeugendem Teileaustausch, dadurch keine optimale Ausnutzung des Abnutzungsvorrates
2. Hohe Stillstandszeiten in einer Periode, wenn die Präventivstrategie nicht optimiert erfolgt

b) Im Bereich Instandhaltung:

1. Hohe Planungskosten
2. Die Ermittlung elementebezogener Ausfalldaten ist problembehaftet und aufwendig, um das Ausfallverhalten zu bewerten (Früh-, Zufalls-, Spätausfall), erforderliche Daten liegen nur für wenige Instandhaltungsobjekte in ausreichender Zahl vor oder sind nur mit hohem Aufwand erzielbar
3. Die Daten müssen ständig aktualisiert werden
4. Infolge ungenügender Ausnutzung des Abnutzungsvorrates bei vorbeugendem Teile austausch ergibt sich ggf. ein Mehrverbrauch an Reserveteilen (Nachteil ist kompensierbar durch geringere Kapi-

Instandhaltung

Grundlagen – Strategien -Werkstätten

Übungs- und Kontrollfragen

© Springer Vieweg, Springer Verlag Berlin Heidelberg 2012

978-3-642-27389-6

talbindung bei geplanter Ersatzteilbevorratung)

5. Durch häufiges Instandhalten steigt die Zahl der Ausfälle infolge von Montage-, Demontage- und Inbetriebnahmefehlern
6. Erschwerte Schwachstellenanalyse, da exakte statistische Daten zur Bestimmung des Ausfallverhaltens erst gegen Ende der Nutzungsdauer verfügbar sind.

17. Welche Vorteile hat die Inspektionsstrategie

a) im Bereich Anlagen?

1. Vermeidung von Störungen im Produktionsablauf sowie von Folge- und/oder gesundheitlicher Schäden
2. Optimale Ausnutzung des Abnutzungsvorrates, Instandhaltung erfolgt erst kurz vor der Erreichung der Schadensgrenze
3. Verringerung der instandhaltungsbedingten Stillstandszeiten (Wegfall der Fehlersuch- und Senkung der Fehlerbeseitigungszeiten infolge verringerter Aktivierungs- und Vorbereitungszeitaufwände)
4. Optimale Verfügbarkeit infolge des Frühwarnsystems - Minimierung der Ausfälle
5. Vermeidung der Beeinträchtigung der Leistungsfähigkeit benachbarter Elemente oder Anlagen

b) Im Bereich Instandhaltung:

Verringerung der IH-Kosten durch:

1. Optimale Ersatzteilplanung (geringe Kapitalbindung), Organisation und Kapazitätsplanung und bessere Ausnutzung der Ressourcen (Verringerung oder Wegfall der Fehlersuch- und Senkung der Fehlerbeseitigungszeiten, verringerter Aktivierungs- und Vorbereitungszeitaufwand, Wegfall der Wartezeiten auf Instandhaltung)
2. Vorabinformation über Ursachen, Umfang und Verlauf des Schadens, Prognose des Ausfallverhaltens durch Mess- und Prüfdatenauswertung und Interpretation (Restnutzungsdauerprognose)
3. Rückinformation an den Hersteller zwecks Schwachstellenbeseitigung und damit erhebliche Verbesserung der Zuverlässigkeit.

18. Welchen Nachteile hat die Inspektionsstrategie

a) im Bereich Anlagen?

1. Hoher Investitionsaufwand für mess- und/oder prüftechnische Einrichtungen und Geräte, Informationsverarbeitung und -transfer,
2. zusätzliche Störquellen und möglicherweise Schwachstellen.

b) Im Bereich Instandhaltung?

1. Hohe Kostenbelastungen durch Schaffung von Auswertungssystemen für Mess- und Prüfdatenerfassung,
2. hoher Planungsaufwand zur Strategieentwicklung,
3. hoher Personalaufwand für Mess- und Prüfdatenerfassung und -transfer,
4. Hohe Qualifikation der Instandhalter für Durchführung der Mess- bzw. Prüfprozesse, die Verarbeitung und Auswertung der Daten sowie die Erarbeitung der Planungsdokumente.
5. Mess- und Prüfdatenerfassungsplanung, Messstelleninstallation, Anzahl der Messungen festlegen, Routenplanung.

19. Welche Einflussfaktoren vermindern die theoretisch verplanbare Nutzungszeit einer technischen Anlage?

1. produktionsorganisatorische Zeiten (Umrüst-Werkzeugwechsel-, Reinigungszeiten),
2. betriebsorganisatorische Zeiten (z.B. fehlende(s) Material/Werkzeug/Arbeitskraft),
3. technisch bedingte Störungen und Ausfälle (infolge normaler Abnutzung, Überlastung, Ermüdung, Korrosion, Bedienungsfehler u.s.w.),

Instandhaltung

Grundlagen – Strategien -Werkstätten

Übungs- und Kontrollfragen

© Springer Vieweg, Springer Verlag Berlin Heidelberg 2012

978-3-642-27389-6

4. geplante Instandhaltungsarbeiten.

20. Welche Verfügbarkeit gilt für technische Produktionsanlagen?

Für technische Produktionsanlagen gilt die technische oder Auslastungsverfügbarkeit als Verhältnis der um organisatorische, technische und geplante Verlustzeiten verminderten Solleinsatzzeit zur Solleinsatzzeit:

$$V_{Ausl} = \frac{T_{Soll} - (\sum T_{AZOrgi} + \sum T_{AZgeplant} + \sum T_{STi})}{T_{Soll}}$$

21. Warum ist die Nutzungsintensität einer BE ein wichtiges Kriterium für die Instandhaltungsplanung?

Die Entscheidung bzw. Festlegung/Planung der Nutzungsintensität ergibt sich aus der Amortisationsrechnung und bestimmt somit die (kosten-)optimale Nutzungsdauer einer BE für das Unternehmen. Aus der geforderten Nutzungsdauer ergibt sich die Verfügbarkeitsanforderung der Anlage. Demgegenüber stehen die Kosten, die für die Bereitstellung der Verfügbarkeit aufzubringen sind. Die Instandhaltungsplanung sorgt in diesem Zusammenhang dafür, dass die zur Ausbringung der geplanten Produktionsmenge erforderliche Verfügbarkeit im technischen Bereich sichergestellt wird.

22. Was ist bei einem Ausfall von Anlagenkomponenten einer Anlage von wesentlicher Bedeutung für den Fall gesundheitlicher Folgen oder Folgeschäden oder hoher wirtschaftlicher Verluste?

Redundanzen vermindern die negativen Auswirkungen eines Funktionsausfalls.

23. Welche Arten von Redundanz kennen Sie? Nennen Sie Beispiele (mindestens sechs insgesamt)!

- a) kalte Redundanz (Ersatzrad im Pkw, Notstromaggregat, Doppelachse beim LKW, Zweiter Stromabnehmer der E-Loks)
- b) heiße Redundanz (Zwillingsreifen beim LKW, Antriebsaggregat von E-Loks je Fahrgestell)
- c) warme Redundanz (zwei Zugmaschinen)

B Bestimmung der optimalen Instandhaltungsmethode für Elemente

1. Erläutern Sie die Vorteile der Weibull-Verteilung bei der Bestimmung des Ausfallverhaltens!

- 1. hohes Anpassungsvermögen an die empirische Verteilung
- 2. Approximation der Exponential- und Normalverteilung
- 3. der Formparameter b lässt Schlussfolgerungen auf den Verlauf der Ausfallrate zu und
- 4. bietet Ansatzpunkte zur Bestimmung einer geeigneten Instandhaltungsstrategie

2. Erläutern Sie die wesentlichen Kriterien zur Begründung der Präventivstrategie!

- 1. Sind Störungen im Produktionsablauf zu erwarten?
- 2. Sind gravierende technische Folgeschäden möglich?
- 3. Ist Gesundheitsgefährdung durch einen Schadensfall möglich?

3. Erläutern Sie die Arbeitsschritte für die Entwicklung einer Instandhaltungsstrategie für ein

a) für ein Element,

- 1. Ermittlung der Instandhaltungsmethode und die Optimierung der Instandhaltungsmaßnahmen für ein Element oder einer Baugruppe (ergibt sich aus der Optimierung der Maßnahmen jeder einzelnen Betrachtungseinheit).
- 2. Verflechtung zur Instandhaltungsstrategie für das gesamte Betriebsmittel (ideale IH-Strategie)
- 3. Anpassung an die aktuellen Forderungen des Produktionsprozesses.

b) für ein System

Nach der Ermittlung der optimalen Einzelzyklen wird die geplante Lebensdauer in Einzelzyklen zerlegt, indem für alle Elementarzyklen das kleinste gemeinsame Vielfache ermittelt wird. Damit besteht die Möglichkeit jeden Zyklus in Elementarzyklen zu zerlegen und mehrere Maßnahmen auf einen Termin

Instandhaltung

Grundlagen – Strategien -Werkstätten

Übungs- und Kontrollfragen

© Springer Vieweg, Springer Verlag Berlin Heidelberg 2012

978-3-642-27389-6

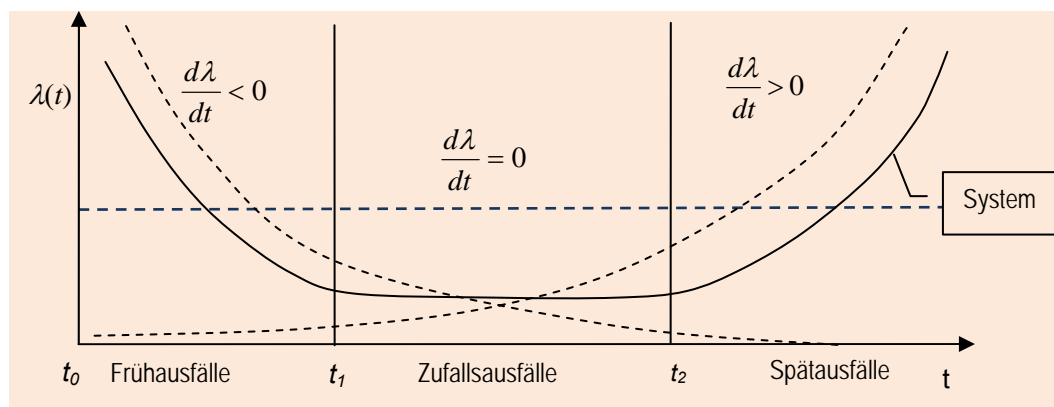
zu setzen. Dadurch lässt sich eine optimale Koordinierungsstrategie für die gesamte Maschine entwickeln.

4. Warum sind für die Ermittlung optimaler Methoden Elemente bezogene Ausfalldaten zu verwenden?

Grundlage der Ermittlung optimaler Methoden ist das Element, weil bei der mathematischen Aufbereitung der Daten durch Zusammenfassung von mehreren Elementen zu einer Betrachtungseinheit pro Arbeitsmittel Abweichungen implementiert werden. Der Überlagerungseffekt führt zu einem veränderten Anstieg der Ausfallwahrscheinlichkeitsverteilung (AWV) und damit zu einem Formparameter im Fall der Weibull-Verteilung, der für eine Methodenauswahl nicht mehr relevant ist, es sei denn, es wird die Überlagerung der Verteilungen in der mathematischen Aufbereitung berücksichtigt. Ausnahmen bilden hier Betrachtungen zur Zeitwirtschaft. Zur Bestimmung optimaler Instandhaltungskapazitäten wird der Überlagerungseffekt der AWV der einzelnen Betrachtungseinheit ausgenutzt, um die Intensität des Forderungsstroms zu bestimmen.

Die Bestimmung der AWV von voneinander abhängigen Elementen erfolgt m. H. von Systemverteilungen.

5. Erläutern und bewerten Sie das Ausfallverhalten anhand des Verlaufs der Ausfallrate in den drei charakteristischen Phasen für ein Element und ein System!



I. Frühausfälle: $t_0 \dots t_1$; $\lambda(t)$ fallend, hervorgerufen durch Einsatz ungeeigneter Ausrüstungen, Materialfehler, Projektierungsmängel, Konstruktionsfehler, Fertigungsfehler, Transport- und Montagefehler. Zusätzlich birgt jede Instandsetzung, jeder Anlagentausch sowie jede Rekonstruktion die Gefahr des Auftretens von Frühausfällen.

II. Zufallsausfälle: $t_1 \dots t_2$; $\lambda(t)$ konstant, hervorgerufen durch:

Fehlhandlungen durch Bedienungs- und IH-Personal, d.h. fehlerhafte und unsachgemäße Bedienung, Wartung und Instandhaltung sowie Überlastung (meist subjektiv bedingt,

III. Spätausfälle: $> t_2$; $\lambda(t)$ steigend,

treten erst nach einer "Inkubationszeit" auf, hervorgerufen durch Korrosion, Verschleiß, Abnutzung.

6. Wovon ist die Länge der Zeitphasen abhängig, die das Ausfallverhalten bestimmen!

Die Länge der Phasen ist von der Zuverlässigkeit der BE oder des Systems, insgesamt von der Art des Systems und der normativen Dauer seiner Nutzung sowie von der Qualität der Instandhaltung abhängig.

7. Welche Instandhaltungsstrategie bringen Sie in den jeweiligen Nutzungsphasen zum Einsatz?

I. Frühausfallphase:

Strategie:

Instandhaltung

Grundlagen – Strategien -Werkstätten

Übungs- und Kontrollfragen

© Springer Vieweg, Springer Verlag Berlin Heidelberg 2012

978-3-642-27389-6

1. individuelle Instandhaltungsvariante nach Auftreten eines Ausfalls (operativ, Ausfallmethode)
2. Anwendung von Prüfverfahren und Verfahren der Anlagendiagnostik zur Verhinderung bzw. Verringerung von Folgeschäden und zur Ermittlung beginnender Abnutzungen.

Beschränkung:

Gründliche Erprobung der Anlagen mit dem Ziel der Erfassung möglichst aller vorhersehbaren Betriebsfälle mit ihren Beanspruchungsverhältnissen

II. Zufallsausfälle:

Strategie: individuelle Instandsetzung nach Auftreten einer Störung (operativ nach der Ausfallmethode), durch Qualifizierung des Bedien- und Instandhaltungspersonals (anlagentechnische, organisatorische und disziplinarische Maßnahmen) können die Ausfälle in ihrer absoluten Höhe verringert, aber nie ganz vermieden werden.

Beschränkung: Einrichtung und Einhaltung eines sorgfältigen Betriebsregimes, Qualifizierung des Personals, Überwachung von Parameterbegrenzungen (z.B. Schnittgeschwindigkeit) Beseitigung von Mängeln, die Zufallsausfälle begünstigen (z. B. schlecht erkennbare, schlecht erreichbare oder ungünstig angebrachte Bedienungselemente)

III. Spätausfälle:

Strategie:

- Präventivmethode, wobei in Abhängigkeit vom Formparameter b entschieden werden kann, ob Inspektionsmethode oder Präventivmethode angewendet werden soll,
- operative Instandhaltung (Ausfallmethode) dort, wo
 - a) Verfügbarkeit und Sicherheit der Gesamtanlage nicht im Vordergrund stehen, aber die maximale Ausnutzung des Abnutzungsvorrates angestrebt wird.

Beschränkung:

- gut organisierte Wartung und Pflege,
- autonome Instandhaltung (Total Productive Maintenance),
- vorbeugende Instandhaltung,
- Mess- und prüftechnische Verfahren zur Überprüfung des Abnutzungszustandes.

8. Erläutern Sie die Vorteile der Weibull-Verteilung bei der Bestimmung des Ausfallverhaltens! Inwieweit lassen sich anhand des Verlaufs des Formparameters b mögliche Instandhaltungsstrategien ableiten?

1. hohes Anpassungsvermögen an empirische Verteilung,
2. Approximation der Exponential- und Normalverteilung,
3. der Formparameter b lässt Schlussfolgerungen auf den Verlauf der Ausfallrate zu und gibt Hinweise für die infrage kommende Instandhaltungsmethode.

Es gelten folgende Richtwerte:

- a) bei einem Formparameter $b = 1 \dots 1,4$: Ausfallmethode
- b) bei einem Formparameter $b = 1,5 \dots 2,5$ Inspektionsmethode/Präventivmethode
- c) bei einem Formparameter $b > 2$ Präventivmethode/Inspektionsmethode

9. Erläutern Sie anhand einer Skizze die Möglichkeiten der Erhöhung des Abnutzungsvorrates einer BE!

Bei Anwendung der Präventivmethode wird der verbrauchte Abnutzungsvorrat periodisch ohne Rücksicht auf den tatsächlich erreichten Zustand ersetzt. Bei der zustandsorientierten Instandhaltung wird im Ergebnis der Befundung die Entscheidung für eine umgehende Wiederinbetriebnahme ohne Instandsetzung getroffen. Außerdem wird der nächste Inspektions- oder Instandsetzungstermin festgelegt (Restnutzungsdauerprognose). Der Abnutzungsvorrat von 100 % wird wieder hergestellt.

Bei schadenorientierter Instandhaltung erfolgt die Instandhaltungsmaßnahme erst nach Eintritt des Schadens. Im Falle der Entscheidung für eine Verbesserung wird der Abnutzungsvorrat erhöht. Das ist

Instandhaltung

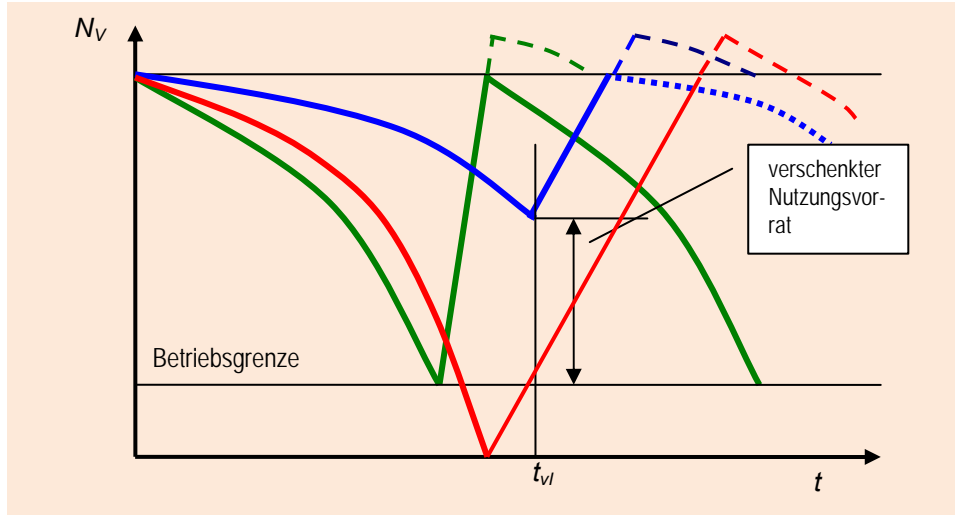
Grundlagen – Strategien -Werkstätten

Übungs- und Kontrollfragen

© Springer Vieweg, Springer Verlag Berlin Heidelberg 2012

978-3-642-27389-6

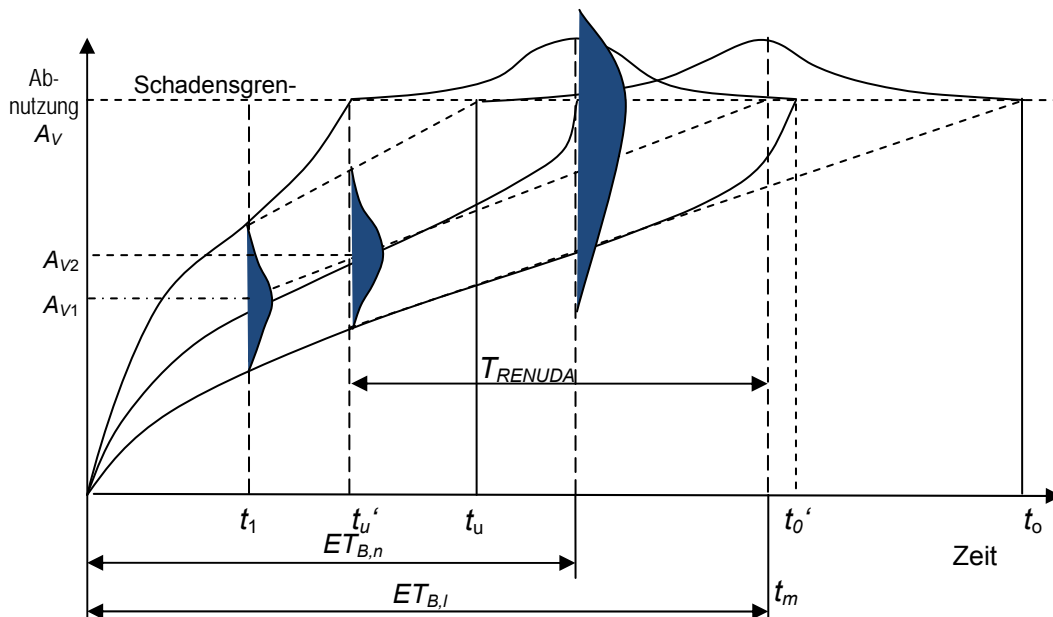
gleichbedeutend mit einer Erhöhung der Zuverlässigkeit und der effektiven Lebensdauer (gestrichelte Linie).



10. Was verstehen Sie unter einer Schwachstelle? Unter welchen Voraussetzungen lassen sich Schwachstellen eliminieren?

Eine Schwachstelle ist eine durch Nutzung bedingte Schadensstelle oder schadensverdächtige Stelle, die mit technisch möglichen und wirtschaftlich vertretbaren Mitteln so verändert werden kann, dass Schadenshäufigkeit und Schadensumfang sich verringern.

11. Erläutern Sie anhand des Verlaufs der Betriebskennlinie den Begriff Schadensgrenze! Ist diese eindeutig definierbar?



Unter SG ist ein technischer Messwert zu verstehen, der den Schädigungszustand kennzeichnet, bei dem der Schaden eintritt (darf nicht überschritten werden). Diese Grenze ist nicht eindeutig definierbar. In der Praxis wird die Abnutzungsgrenze verwendet.

Beispielsweise weisen nahezu identische Bauteile, deren Abnutzungszustand zu einem bestimmten Zeitpunkt gemessen wird, unterschiedliche Abnutzungsbeträge auf, die um die Schadensgrenze streuen, d. h. ein Teil hat diese Grenze bereits überschritten, während ein Teil diese Grenze erst später erreichen wird.

12. Was verstehen Sie unter

a) Abnutzungsgrenze?

Die AG ist ein technischer Messwert für das Kennzeichnen des Schädigungszustandes einer BE, bei dessen Überschreitung mit dem Schaden zu rechnen ist.

b) Betriebswarngrenze?

Die BWG ist ein technischer Messwert, bei dessen Überschreitung im nächsten IH-Intervall mit einer definierten Wahrscheinlichkeit mit einem Ausfall zu rechnen ist.

C Vorhersagen für die Planung aus der Verlustfunktion

1. Formulieren Sie die Hauptzielfunktion der Instandhaltungsplanung und erläutern Sie ihre Bestandteile!

Wenn die laufenden Kosten und Verluste mit zunehmender Abnutzung nur geringfügig steigen, ausfallbedingte Kosten und Verluste aber erheblich ins Gewicht fallen, weil die Ausfallneigung bei zunehmender Betriebsdauer steigt und wenn Aussagen bezüglich der Zuverlässigkeit gewonnen werden sollen, gilt

$$V(t) = (k'_a + k''_a) a(t) = k_a a(t) \rightarrow \text{Min !}$$

$a(t)$ = mittlere Ausfallintensität (momentane Anzahl der Ausfälle je Betriebszeiteinheit)

k'_a Kosten der Instandhaltung: Lohnkosten der Instandhalter (Lohnkostensatz x Zeitaufwand), Material- u. Energiekosten (Ersatzteile, Betriebsstoffe usw.)

k''_a Verluste: i.d.R. werden die laufenden Produktionsverluste durch Überstunden (sofern das möglich ist) ausgeglichen.

Dadurch ergeben sich

a) Mehrkosten in Form der zusätzlich zu leistenden Maschinenstundenkosten, sofern die Reparatur während der Produktionszeit durchgeführt werden muss (Engpasssituation),

b) Überstundenzuschläge für das Bedienungspersonal, die die verloren gegangene Produktion aufholen müssen

c) während des Stillstandes zu zahlender Durchschnittslohn für die Maschinenbediener.

2. Welchen wesentlichen Aspekt bestimmt die Ausfallintensität einer BE und welche Grenzfälle sind dabei relevant?

$a(t)$ bestimmt der Grad der wiederherstellenden Instandsetzung nach Ausfall.

Grenzfälle sind:

1. Minimalinstandsetzung

2. vollständige Instandsetzung nach Ausfall

3. Was verstehen Sie unter Minimalinstandsetzung und in welchem Zusammenhang kommt sie zur Anwendung?

Unter Minimalinstandsetzung ist die Wiederherstellung der Gebrauchseigenschaften einer ausgefallenen BE bis zum Niveau unmittelbar vor dem Ausfall zu verstehen: es werden nur die ausgefallenen Teile gegen neue ausgetauscht, alle anderen Teile sind alt, oder es werden keine Neuteile, sondern noch funktionsfähige Altteile verwendet bzw. die Zahl der neuen Teile ist im Verhältnis zur Gesamtzahl

der Abnutzungsteile gering.

4. Welcher Parameter beschreibt den Verlauf der Ausfallrate im Falle Weibull-verteilter Ausfalldaten?

Die Ausfallrate $\lambda(t)$ beschreibt Ausfallintensität $a(t)$ ausschließlich bei Minimalinstandsetzung. Darunter ist die Ausfallneigung eines bei $t=0$ neuen bzw. vollständig instand gesetzten Arbeitsmittels nach einer Ausfall freien Zeit t zu verstehen ($\lambda(t)=b/a \cdot t^{b-1}$)

5. Charakterisieren Sie den mathematischen Zusammenhang der integrierten Ausfallrate bei Weibull-verteilten Laufzeiten!

Als mittlere Anzahl der Ausfälle bei anschließender Minimalinstandsetzung ergibt sich für $\square t > 0$ die integrierte Ausfallrate

$$\Lambda(t) = \int_0^t \lambda(x) dx = \left(\frac{t}{a} \right)^b$$

6. Was verstehen Sie unter vollständiger Instandsetzung? Charakterisieren Sie die relevante Zielgröße bei vollständiger Instandsetzung nach Ausfällen!

Vollständige Instandsetzung ist die Wiederherstellung der Gebrauchseigenschaften, die denen eines neuen Arbeitsmittels entsprechen (Großinstandsetzung, Grundüberholung, vollständige Erneuerung, Austauschinstandsetzung). Die relevante Zielgröße ist die mittlere Zahl der Erneuerungen während einer Planungsperiode.

7. Warum ist der Verlauf der Erneuerungsichte nicht ohne weiteres empirisch bestimmbar?

Einerseits fehlt meist eine ausreichende Datenbasis und andererseits kann ihr funktionaler Verlauf oft analytisch nicht dargestellt werden.

8. Erläutern Sie die charakteristischen Funktionen für die Ausfallintensität und grenzen den Anwendungsbereich ab!

Die momentane Anzahl der Ausfälle je Betriebszeiteinheit bestimmt die Verlustfunktion, die als stetige Funktion $a(t)$ die mittlere Ausfallintensität nach einer Betriebszeit t angibt. Beschreibende Funktionen des Erneuerungsprozesses sind die mittlere Ausfallintensität und die Erneuerungsichte.

Zur Modellierung des Prozesses der vorbeugenden Instandsetzung dienen die Integrale der Ausfallintensität im Zeitintervall von der letzten vollständigen Instandsetzung ($t=0$) bis zur nächsten vorbeugenden Maßnahme ($t=\tau$):

$$A(\tau) = \begin{cases} \Lambda(\tau) = \int_0^{\tau} \lambda(t) dt & \text{Integrierte Ausfallrate (bei Minimalinstandsetzung nach Ausfällen)} \\ H(\tau) = \int_0^{\tau} h(t) dt & \text{Erneuerungsfunktion (bei vollständiger Instandsetzung nach Ausfällen)} \end{cases}$$

Die Funktionen geben den Erwartungswert für die Anzahl der Ausfälle im Intervall $(0, \tau]$ an. τ ist eine Entscheidungsvariable für die Optimierung, daher müssen H und Λ als Funktion der Betriebszeit τ behandelt werden.

9. Beschreiben Sie den mathematischen Zusammenhang der Dichtefunktion der Weibull-

Verteilung der zwei- und der dreiparametrischen Weibull-Verteilung für $t > 0, t < 0$!

$$f(t) = \begin{cases} 0 & \text{für } t < 0 \\ \left(\frac{b}{a} \right) \left(\frac{t}{a} \right)^{b-1} e^{-\left(\frac{t}{a} \right)^b} & \text{für } t \geq 0 \end{cases}$$

Instandhaltung

Grundlagen – Strategien -Werkstätten

Übungs- und Kontrollfragen

© Springer Vieweg, Springer Verlag Berlin Heidelberg 2012

978-3-642-27389-6

$$f(t) = \begin{cases} 0 & \text{für } t < 0 \\ \left(\frac{b}{a-c}\right)\left(\frac{t-c}{a-c}\right)^{b-1} e^{-\left(\frac{t-c}{a-c}\right)^b} & \text{für } t \geq 0, c \geq 0 \end{cases}$$

10. Welche Funktion hat

- a) der Formparameter b
- b) der Maßstabsparameter a
- c) der Ortsparameter c

der Weibull-Verteilung?

- a) b bestimmt die grundlegende Gestalt der Verteilung, wobei für Laufzeitverteilungen Werte > 1 in Betracht kommen.
- b) a berücksichtigt die Maßeinheit und Größenordnung der Laufzeit und gibt somit indirekt die Lage des Erwartungswertes an
- c) der Parameter c die ausfallfreie Zeit.

11. Definieren Sie die Zuverlässigkeitsfunktion der Weibullverteilung!

$R(t)$ ist die komplementäre Funktion zu $F(t)$ und gibt an, dass die BE im Intervall $(0, t)$ nicht ausfällt. Der Formparameter b bestimmt die grundlegende Gestalt der Verteilung, wobei für Laufzeitverteilungen Werte größer 1 in Betracht kommen.

$$R(t, a, b) = 1 - F(t) = \begin{cases} 0 & \text{für } t < 0 \\ e^{-\left(\frac{t}{a}\right)^b} & \text{für } t \geq 0 \end{cases}$$

$$R(t, a, b, c) = 1 - F(t) = \begin{cases} 0 & \text{für } t < 0 \\ e^{-\left(\frac{t-c}{a-c}\right)^b} & \text{für } t \geq 0 \end{cases}$$

12. Welchen technischen Zusammenhang beschreibt die Ausfallrate? Zeichnen Sie die qualitativen Kurvenverläufe der Ausfallrate $\lambda(t)$ für die Parameter $b = 3,0; 2,0; 1,5; 1,0$ und $0,5$!

Die Ausfallrate beschreibt den Zusammenhang zwischen Ausfallverhalten über der Zeit.

a) zweiparametrisch

$$\lambda = \frac{f(t)}{R(t)} = \begin{cases} 0 & \text{für } t < 0 \\ \left(\frac{b}{a}\right)\left(\frac{t}{a}\right)^{b-1} & \text{für } t \geq 0 \end{cases}$$

b) dreiparametrisch

$$\lambda(t) = \frac{f(t)}{R(t)} = \left(\frac{b}{a-c}\right)\left(\frac{t-c}{a-c}\right)^{b-1}$$

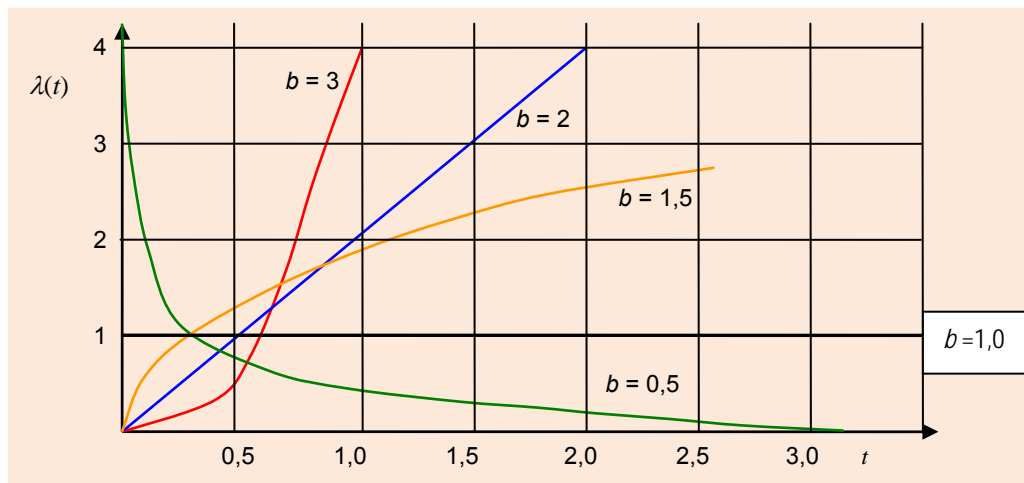
Instandhaltung

Grundlagen – Strategien -Werkstätten

Übungs- und Kontrollfragen

© Springer Vieweg, Springer Verlag Berlin Heidelberg 2012

978-3-642-27389-6



13. Definieren Sie den Erwartungswert und den Variationskoeffizienten der Weibull-Verteilung!

Der Erwartungswert $E(T)$ der Weibull-Verteilung kann nur m. H. der Gammafunktion $\Gamma(x)$ ermittelt werden:

a) zweiparametrisch

$$E(T) = a \Gamma\left(\frac{1}{b} + 1\right)$$

b) dreiparametrisch

$$E(T) = (a - c) \Gamma\left(\frac{1}{b} + 1\right) + c$$

Variationskoeffizient

$$v = \frac{\sigma}{E(T)}$$

explizit:

a) zweiparametrisch

$$v = \frac{a \sqrt{\Gamma\left(\frac{2}{b} + 1\right) + \Gamma^2\left(\frac{1}{b} + 1\right)}}{a \Gamma\left(\frac{1}{b} + 1\right)}$$

b) dreiparametrisch

$$v = \frac{(a - c) \sqrt{\Gamma\left(\frac{2}{b} + 1\right) + \Gamma^2\left(\frac{1}{b} + 1\right)}}{(a - c) \Gamma\left(\frac{1}{b} + 1\right)}$$

14. In welchem Zusammenhang ist die Asymptotengleichung von *Blackwell* anzuwenden?

Das Theorem von Blackwell

$$\lim_{t \rightarrow \infty} \frac{H(t + \Delta t) - H(t)}{\Delta t} = \frac{1}{\mu}$$

gilt für stetige Verteilungsfunktionen. Es besagt, dass die Anzahl der Ausfälle je Zeiteinheit im Intervall $(t, t + \Delta t)$ (Steigung von $H(t)$) für t gegen unendlich ebenfalls gegen $1/\mu$ geht.

Mit der *Asymptotenaussage*

$$H(t) \approx \frac{t}{\mu} + \frac{v^2 - 1}{2}$$

lässt sich die Anzahl der Erneuerungen in der Periode t ermitteln

D Bestimmung der Kostenparameter

1. Welche Stillstandszeiten bestimmen allgemein die Verfügbarkeit eines Systems?

Organisatorisch bedingte und technisch bedingte Stillstandszeiten. Störungen im technologischen Ablauf, Bedienungsfehler, Gewalteinwirkung, Überlastung usw. erfordern i.d.R. keinen Instandsetzungsaufwand. Sie bestimmen die produktive Zeit (organisatorische Verfügbarkeit) und müssen zwar bei der Kapazitätsplanung berücksichtigt werden, gehen aber nicht explizit in die Parameter des Instandhaltungsmodells ein.

2. Welche Verlustzeitbestandteile im Falle einer nicht geplanten Instandhaltungsmaßnahme fallen besonders ins Gewicht? Begründen Sie Ihre Meinung!

Wartezeit auf Instandhaltung und Fehlersuchzeit

Es ergeben sich zwangsläufig Wartezeiten, da

1. ggf. alle Instandhalter bereits im Einsatz sind,
2. die Maßnahme noch vorbereitet werden muss (Herstellerunterlagen lesen, Wartungs- und Bedienvorschriften studieren, Schaltpläne studieren),
3. Fehlersuche erforderlich ist und
4. sofern Ersatzteile nicht sofort zur Verfügung stehen, diese bestellt werden müssen. Bis zu ihrem Eintreffen steht die Maschine.

3. Aus welchen Komponenten setzt sich die Stillstandszeit eines gestörten technischen Systems zusammen? Welche Zeitanteile sind vermeidbar bzw. nicht vermeidbar?

$$t_{SI} = t_R + t_{WR} + t_{WI}$$

t_R Reparaturzeit (Vorbereitungszeit, Wegezeit, Fehlersuche, Montage-, Demontagezeit, Funktionsprüfung einschl. aller damit verbundenen Zeiten).

t_{WR} Wartezeit auf Reparatur (im Schadensfall), Zeiten, die notwendig ist zur Außerbetriebnahme (Abfahren, Leerfahren, Abkühlen, Zugänglichkeit herstellen, Hochfahren/Anfahren usw.), Wartezeit auf Ersatzteile, wenn sie nicht vorhanden sind.

t_{WI} Abnahme, Probebetrieb, Wartezeit bis zur Herstellung der Betriebsbereitschaft und Inbetriebnahme.

4. Welche Faktoren bestimmen die Stillstandszeit? Begründen Sie Ihre Auffassung!

Bei gleichem oder vergleichbarem Umfang der IH-Maßnahme beanspruchen geplante Maßnahmen geringere Zeiten als wiederherstellende Maßnahmen bei plötzlichem Ausfall, weil der Ablauf rechtzeitig und gründlich vorbereitet und materiell besser abgesichert ist. Es gilt grundsätzlich, dass der Zeitaufwand für die geplante Instandhaltung geringer ist als für die korrektive Instandhaltung nach Ausfall: $t_p < t_{av}$

5. Erläutern Sie anhand eines Getriebeschadens an einem Drehmaschinenhauptgetriebe den Unterschied zwischen Minimalinstandsetzung und vollständiger Erneuerung! Mit welchen relevanten Zielgrößen sind diese Zusammenhänge mathematisch erfassbar?

a) Austausch des beschädigten Teils = Minimalinstandsetzung (Integrierte Ausfallrate)

Instandhaltung

Grundlagen – Strategien -Werkstätten

Übungs- und Kontrollfragen

© Springer Vieweg, Springer Verlag Berlin Heidelberg 2012

978-3-642-27389-6

b) Austausch des kompletten Getriebe (Modultausch) = vollständige Erneuerung (Erneuerungsfunktion)

6. Warum kann im Falle einer Instandsetzung nach Inspektion nicht von vornherein der Umfang der Maßnahme als Minimalinstandsetzung oder vollständige Instandsetzung quantifiziert werden?

Entscheidung ist von der Höhe des vorhandenen Abnutzungsvorrates (Befund) abhängig. Der Vorteil besteht in der Bestimmung der Restnutzungszeit und damit in der maximalen Ausnutzung des Abnutzungsvorrates.

7. Welchen Einfluss hat der Ort der Instandsetzung auf den Instandsetzungsaufwand?

Vor-Ort-Instandsetzung ist zeitlich gesehen günstiger als Werkstattinstandsetzung, weil Montage und Transportarbeiten entfallen. Es sei denn, es stehen Reserveaggregate zur Verfügung, so dass anstelle einer IH vor Ort eine Austauschinstandsetzung erfolgen kann. Es gehen dann lediglich die Demontage- und Montagezeiten ein, Die eigentliche Instandsetzung verursacht keine Stillstandszeiten.

8. Welche Hauptkomponenten bestimmen die Instandhaltungskosten?

je nach Strategie Kosten für

- | | |
|--|--------|
| - geplante (vollständige) Instandsetzung | k'_p |
| - wiederherstellende Instandsetzung nach Ausfall | k'_a |
| - Diagnose | k'_d |
| - befundabhängige Instandsetzung | k'_b |

9. Welche Kostenbestandteile bestimmen die Instandhaltungskosten k' und die Stillstandsverluste k'' ?

a)

$$k' = k_e' + k_f' + k_z'$$

k_e' Kosten für eigene Instandhaltung

- Lohnkosten für IH-Personal (einschl. Lohnzuschläge) und anteilige GK des Bereichs IH
- Kosten der Arbeitsmittelnutzung (AfA, Zinsen, lfd. Kosten f. Masch., Transportmittel und Werkzeuge) Basis: Stundenverrechnungssätze
- Material- und Ersatzteilkosten, Kosten für die Beschaffung und Lagerung der Ersatzteile und Reserveaggregate (Kapitalbindung)

k_f' Kosten für fremde Instandhaltungsleistungen

- Bereitstellung von Spezialisten und Spezialgeräten von außen (Montage, Fehlersuche, Überprüfungen)

k_z' zusätzliche Kosten und Verluste, die durch Abstellen einer Maschine (Abkühlen, Reinigen, Entleeren, Transport usw.), die Freigabe für die Instandhaltung (Absicherung, Gerüstbau) und Wiederinbetriebnahme über die laufenden Produktionskosten hinaus im Bereich der Produktion zu plötzlich auftreten:

- Material- und Energieverluste soweit nicht in den Stillstandsverlusten k'' berücksichtigt
- zusätzliche Lohnkosten.

b)

- entgangene Deckungsbeiträge,
- sonstige aus nicht realisierten Umsätzen resultierende Verluste (z.B. Konventionalstrafen),
- Zuschläge für Überstunden,
- Mehraufwendungen an Material, Arbeitslohn,
- Maschinenkapazität (Maschinenstundenkosten bei stillstehender Maschine)

10. Wovon ist die Berücksichtigung der Höhe der Kostenbestandteile bei den verschiedenen Instandhaltungsmaßnahmen abhängig?

1. Von der Art der Instandsetzung (Instandhaltungsmethode)

Bei geplanter Instandhaltung ergibt sich ein vergleichsweise höherer Teil der Kosten für Vorbereitungsarbeiten, die außerhalb der instandsetzungsbedingten Stillstandszeiten liegen (Ablaufplanung, Materi-

albeschaffung und -bereitstellung, Vormontage, Transport).

Vorteile: Minimierung der Stillstandszeiten, Verlegung von Maßnahmen im Extremfall in die produktionsfreie Zeit, Vermeiden von Folgeschäden und gesundheitlichen Schäden.

Bei Reparatur nach Ausfall fehlt ausreichend Zeit für die Vorbereitungsarbeiten (Stillstandsverluste), Folgeschäden und gesundheitliche Schäden können auftreten. Allgemein gilt: $k_p^I < k_{aV}^I$

2. Vom Grad der wiederherstellenden Instandsetzung

Minimalinstandsetzungen verursachen geringere Kosten als wiederherstellende vollständige Instandsetzungen: $k_{aM}^I < k_{aV}^I$

3. Vom Ort der Instandsetzung

Instandsetzungen "vor Ort" und Werkstattinstandsetzungen unterscheiden sich hinsichtlich Dauer und der damit verbundenen Montage- und Transportkosten. Sind Redundanzen verfügbar, beschränken sich die Kosten auf den Aggregataustausch. Allerdings entstehen Kosten durch das Vorhalten der Redundanz in Höhe der Zinsen. Somit müssten die Abschreibungen und Kapitalzinsen für eine durchschnittliche Wartezeit (Liegezeit) auf den produktiven Einsatz in k^I einbezogen werden. Darauf kann verzichtet werden, wenn ein kurzfristiger Lieferservice von Ersatzteilen mit den Primärproduzenten abgeschlossen wurden.

11. Welche Komponenten bestimmen die Kosten der zustandsabhängigen Instandhaltung?

1. Die Kontinuität der Diagnostik

Kontinuierlich durchgeführte Diagnosen erfordern

a) einmalige Kosten (Entwicklung des Diagnoseverfahrens, Anschaffung der Diagnosegeräte, Erstellung der Software zur Erfassung und -auswertung der Messdaten), die auf die Nutzungsdauer umgelegt werden,

b) laufende Aufwendungen für die Durchführung der Diagnostik (Bedienung, Wartung, Eichung, Energie, Auswertung der Daten.

Es ergibt sich ein normativer Durchschnittswert $k_{dk}^I / \text{GE/ZE/}$.

2. Durchführung der Instandsetzung nach Befund der Inspektion

Die entsprechend dem Diagnoseergebnis und der verbleibenden Restnutzungsdauer ausgelösten Instandhaltungsmaßnahmen werden entweder periodisch oder mehr oder weniger kontinuierlich (jeweils bei Schadensfeststellung bzw. rechtzeitig vor dem Ausfall durchgeführt.

12. Welche relevante Zielgröße spielt für die Einführung der befundabhängigen Instandsetzung im Rahmen der periodisch durchgeführten Diagnose die entscheidende Rolle?

Die Kosten der befundabhängigen Instandsetzung müssen Maßnahme bezogen ermittelt, durch die mit dieser Maßnahme verhinderte Anzahl der Ausfälle dividiert und als Durchschnittsgröße k_d^I je verhindertem Ausfall angegeben werden.

13. Welchen Einfluss haben der Formparameter b und der der Maßstabsparameter a der Weibull-Verteilung auf die Instandhaltungskosten?

Großes a steht für eine hohe Zuverlässigkeit und damit für geringe Instandhaltungskosten, großes b steht für eine geringe Streuung, was zum einen für die Planbarkeit vorteilhaft ist und zum anderen die Bestimmung der optimalen Instandhaltungsmethode unterstützt.

14. Mit welchen Kosten ist der auf einen verhinderten Ausfall bezogene Durchschnittswert vergleichbar?

Mit den Kosten für eine Minimalinstandsetzung nach Ausfall. Es gilt: $k_{aP}^I \approx k_{aM}^I$

Die Kosten für eine Befundinstandsetzungsmaßnahme sind größer als k_{aM}^I , weil sie i.Allg. die Verhinderung mehrerer Ausfälle zum Gegenstand haben, jedoch kleiner als k_{bV}^I bleiben, weil der Instandset-

Instandhaltung

Grundlagen – Strategien -Werkstätten

Übungs- und Kontrollfragen

© Springer Vieweg, Springer Verlag Berlin Heidelberg 2012

978-3-642-27389-6

zungsumfang geringer ist, als der einer vorbeugenden vollständigen Instandsetzung nach Befund.

15. Worin besteht der wesentliche Vorteil der Befundinstandsetzung?

Der Abnutzungsvorrat wird optimal ausgenutzt, die Instandsetzungszyklen werden größer gehalten.

16. Erläutern Sie das grundsätzliche Vorgehen bei der Ableitung der Kostenparameter aus dem Umfang der Instandhaltungsmaßnahme!

Ableitung der Kostenparameter k aus dem Umfang U der IH-Maßnahmen unter Berücksichtigung der betrieblichen Kapazitätsstruktur, d.h. des Engpasscharakters der betreffenden BE:

1. BE mit ausreichenden Kapazitätsreserven (Nicht-Engpass-Maschinen): nur die reinen Instandhaltungskosten k^I werden bestimmt. Einfluss auf diese Kosten haben lediglich die Zeiten t_R und t_{WR} .

2. Engpass-BE: Stillstandsverluste k^{II} müssen ermittelt werden, treten als direkte Stillstandsverluste proportional zur Stillstandszeit t oder als fortgerechnete Stillstandsverluste in Erscheinung.

3. Allgemeiner Fall (weder Engpass noch Nicht-Engpass) beide Bestandteile k^I und k^{II} erfassen.

17. Begründen Sie die Relation $k_{ps}^{II} < k_{pf}^I$ im Falle der Präventivmethode!

Bessere Koordinierung der Instandhaltungstermine bei starrem Zyklus (Einsparung von Stillstandszeiten wegen gleichzeitiger Durchführung von Maßnahmen mehrerer gekoppelter BE. Bildung von Instandhaltungsblöcken, bei flexibler Strategie nicht ohne weiteres möglich, weil hier der Termin in Abhängigkeit von der Auslastung der BE neu festgelegt wird.

18. Begründen Sie die Relationen $k_{aM}^I < k_{aV}^I$ und $k_{aM}^{II} < k_{aV}^{II}$ im Falle wiederherstellender Instandsetzung!

Die Relationen kommen zustande wegen der Instandsetzung oder des Ersatzes nur ausgefallener Teile bei Minimalinstandsetzung im Gegensatz zur vollständigen Instandsetzung.

19. Unter welchen Bedingungen sind die in Frage 17 gezeigten Relationen *nicht* relevant, d. h., wann gilt $k_{aV}^{II} < k_{aM}^{II}$?

Be instandhaltungsgerechter Konstruktion ist eine vollständige Austauschinstandsetzung mit Demontage, Ersatz u. Montage der gesamten BE oder größerer Teile der ausgefallenen BE evtl. schneller ausführbar als die Demontage schadhafter schwer zugänglicher Elemente.

20. Welche Komponenten umfassen die Diagnosekosten für die kontinuierliche oder periodische Diagnose?

a) die Kosten zur Entwicklung des Diagnoseverfahrens und zur Entwicklung und Anschaffung der Diagnostik, dividiert durch:

- den Nutzungszeitraum des Diagnoseverfahrens bei Bestimmung von k_{dK}^I bzw.
- die im Nutzungszeitraum zu erwartende Anzahl periodischer Diagnosen bei k_{dP}^I

b) Kosten für die Durchführung und Auswertung der Diagnosen je Zeiteinheit bei bzw. je Diagnose Demzufolge ist k_{dK}^I in GE/ZE und k_{dP}^I in GE/Diagnose anzugeben.

21. Warum gilt die Beziehung k_{dK}^{II} gleich Null bei kontinuierlicher Diagnose?

Wird während der produktiven Zeit durchgeführt.

22. Unter welchen Voraussetzungen gilt $k_{dP}^{II} > 0$?

Falls die Diagnose eine Stillstandsdauer t_{dP} der BE verursacht (z.B. Schallemissionsanalyse von Mikrorissen bei simulierter Druckbelastung von Behältern). Wenn die periodische Diagnose bei laufender Produktion erfolgt, ist $k_{dP}^{II} = 0$.

23. Was verstehen Sie unter Befundinstandsetzung und wie werden die Kosten im Zusammenhang mit kontinuierlicher Diagnose verrechnet?

Zustandsabhängige Instandsetzungen sind i.d.R. immer mit Stillstand der BE verbunden. Bei kontinuierlicher Diagnose müssen die Kosten und Verluste der Befundinstandsetzung als Durchschnittswerte (€/h) angegeben werden.

24. Wie werden die Kosten im Falle einer starr periodisch durchgeführten Befundinstandsetzung berechnet?

Alle Kosten und Verluste je verhindertem Ausfall werden als Durchschnittswert in € berechnet. Je nach Umfang der in die Diagnose einbezogenen Teile der BE muss davon ausgegangen werden, dass i.d.R. zugleich mehrere Teile periodisch ersetzt werden.

25. Wie lassen sich die folgenden Relationen im Zusammenhang mit der befundabhängigen Instandhaltung begründen: $k_{ap}^I < k_{aM}^I$ und $k_{bp}^{II} < k_{aM}^{II}$?

Obgleich der gesamte Umfang einer Befundinstandsetzung i.Allg. größer ist als der einer Minimalinstandsetzung, gilt für den auf einzelne Teile bezogenen Umfang U_b^P wegen der Vorteile der Präventivmethode einschließlich der Möglichkeit der Instandsetzung weiterer BE zur gleichen Zeit, dass weitere Kosten durch weitere wahrscheinliche Ausfälle im Falle der Minimalinstandsetzung geringer ist.

E Bestimmung optimaler Instandhaltungsstrategien für Elemente und Systeme

1. Begründen Sie die Aussage, dass der konkrete Verlauf des Abnutzungsprozesses sowie der Zeitpunkt des Ausfalls einer konkreten BE grundsätzlich nicht genau vorhersagbar sind!

Die wiederherstellende Instandsetzung nach Ausfall ist zufallsbeeinflusst und nur in Grenzen planbar:

- Ausfälle treten zu nicht genau vorhersehbaren Zeitpunkten auf
- der Umfang der Instandsetzung wird je nach festgestelltem Ausmaß festgelegt.

2. Warum weist die Instandhaltung im Vergleich zu den Primärprozessen eine relativ niedrige Arbeitsproduktivität auf?

Der Projektcharakter von Instandhaltungsmaßnahmen und Vorhaben weist auf den geringen Wiederholungsgrad gleichartiger IH-Aufgaben hin.

3. Warum erreicht technologische Durchdringung der Instandhaltung i. Allg. nicht das Niveau von Produktionshauptprozessen?

Der geringe Wiederholungsgrad verhindert aus wirtschaftlichen Gründen ein tiefer gehende technologische Durchdringung. Es ist einer der Gründe, warum die technologische Durchdringung geringer als bei den Hauptprozessen ist.

4. Welche wesentlichen Aktivitäten tragen zur Steigerung der Arbeitsproduktivität in der Instandhaltung bei?

- Standardisierung des Instandhaltungsumfangs (Extremfall: generell Austausch-instandsetzung)
- bessere zeitliche Planung mit vorbeugender Instandhaltung in festgelegten Zyklen,
- bessere Kenntnis des Abnutzungszustandes durch Einsatz der techn. Diagnostik und damit verbundene Festlegung des Instandsetzungszeitpunktes,
- Einrichtung spezialisierter Zentralwerkstätten oder Akquisition selbständiger Instandhaltungsunternehmen zur Anpassung an den Produktionshauptprozess.

5. Welche wesentlichen Vor- und Nachteile hat die geplante Instandhaltung?

Vorteile

Instandhaltung

Grundlagen – Strategien -Werkstätten

Übungs- und Kontrollfragen

© Springer Vieweg, Springer Verlag Berlin Heidelberg 2012

978-3-642-27389-6

- bessere zeitliche und umfangmäßige Planung der Maßnahmen
- bessere personelle, finanzielle und materielle Absicherung
- bessere Abstimmung der Instandhaltung mit der Produktion.

Nachteile:

- Verschlecken von Abnutzungsvorrat
- noch funktionsfähige Teile werden instand gesetzt oder ausgetauscht
- größere Anforderungen an die Ersatzteileversorgung

6. Unter welchen Voraussetzungen nimmt das Management den Nachteil verschlecken Abnutzungsvorrates im Falle geplanter Instandsetzung in Kauf?

Präventivmethode

- a) um ein zügige, möglichst gleichzeitige prophylaktische Instandsetzung mehrerer Elemente des Systems durchzuführen und den Anlagen- bzw. Maschinenstillstand so gering wie nur möglich zu halten und die geforderte technische Verfügbarkeit der Arbeitsmittel ist zu sichern
- b) um Folgeschäden zu verhindern (Entlastung für die IH)

Die Verhinderung bzw. die Reduzierung von Produktionsverlusten ist der Gewinn, den die Instandhaltung erzielt.

7. Worin besteht die Hauptzielstellung der geplanten Instandhaltung?

Ziel ist ein optimaler Kompromiss zwischen vorbeugenden und wiederherstellenden Maßnahmen, aufgrund zusätzlicher Kosten sind der vorbeugenden Instandhaltung finanzielle Grenzen gesetzt, die prophylaktische Instandhaltung schränkt zwar Ausfälle ein, kann sie aber nie vollständig vermeiden. Die Kombination traditioneller Methoden mit prophylaktischen zustandsabhängigen Instandhaltungsmethoden m. H. moderner Diagnose- und Prüfverfahren erschließt Einspar- und Optimierungspotenziale, indem man Instandsetzungsumfänge und -termine prinzipiell in Abhängigkeit vom festgestellten Abnutzungsgrad, also vermehrt zustandsabhängig festlegt.

8. Was verstehen Sie unter Instandhaltungsstrategie?

Regeln für

- das Verhalten bei Ausfall einer BE (bestimmt den Grad der Wiederherstellung:
 1. Minimalinstandsetzung
 2. vollständige Erneuerung oder
 3. das Warten auf die nächste vorbeugende prophylaktische Maßnahme.
- die Festlegung zukünftiger Termine für vorbeugende IH-Maßnahmen
- die Art und Durchführung von Diagnosen und Kriterien dafür, bei welchem Diagnosebefund man eine zustandsabhängige Instandsetzung durchführen muss.

9. Nennen und erläutern Sie die relevanten Grundstrategietypen der Instandhaltung!

1. Starr periodische Instandsetzungsstrategien
 - vorbeugende vollständige Instandsetzung nach einer Betriebszeit t seit der letzten vorbeugenden Instandsetzung (feste Termine)
 - Minimalinstandsetzung oder vollständige Erneuerung nach Ausfall
2. Flexibel periodische Strategien
 - prophylaktische vollständige Instandsetzungen nach Erreichen einer ausfallfreien Betriebszeit t seit der letzten prophylaktischen oder wiederherstellenden vollständigen Instandsetzung.
 - vollständige Instandsetzungen nach Ausfall einer BE und Festlegen des nächsten Terms einer vorbeugenden Maßnahme nach einer Betriebszeit t der letzten prophylaktischen oder wiederherstellenden vollständigen Instandsetzung (Hinausschieben dieses Terms bei jedem Ausfall).

3. Diagnosestrategien

- vorbeugende Diagnose und diagnosebefundabhängige Instandsetzungen (periodische oder kontinuierliche Diagnosen)
- prophylaktische vollständige Instandsetzungen nach einer Betriebszeit t seit der letzten prophylaktische vollständige Instandsetzung (also zu festen Terminen, aber ggf. mit Umfängen die vom Befund einer tiefgründigen Diagnose abhängig gemacht werden).

4. Ausfallstrategien

- Verzicht auf vorbeugende Instandhaltung
- Minimale oder vollständige Instandsetzung nach Ausfall.

10. Welchen entscheidenden Vorteil hat eine Strategie mit starrem bzw. mit flexiblem Zeitzyklus? Erläutern Sie die Nachteile?

a) Die gute zeitliche Planbarkeit.

b) Bei kurzen Laufzeiten werden vorbeugende Instandsetzungen noch nicht durchgeführt.

Nachteile beider Varianten sind die fehlende Berücksichtigung des konkreten Verschleißzustandes beim Festlegen von Terminen für vorbeugende Instandsetzungen.

Bei starrem Zyklus wird die Maßnahme durchgeführt, auch wenn kurz vorher ein Ausfall eingetreten war und die Laufzeit sehr kurz gewesen ist. Damit wird ein Großteil der potentiellen Laufzeit nicht genutzt bzw. Abnutzungsvorrat verschenkt.

Bei flexibler Strategie erfolgt die Instandsetzung erst nach einer ausfallfreien Zeit. Die zeitliche Planbarkeit zukünftiger Instandhaltungstermine ist aber wegen der gleitenden Festlegung schwierig.

11. Erläutern Sie die wichtigsten Gründe für die Auswahl des zweckmäßigsten Strategietyps?

Begründung

- technisch durch

1. die Untersuchung ablaufender natürlicher und technischer Abnutzungsprozesse
2. einzuhaltende sicherheitstechnische Erfordernisse
3. ingenieurmäßige Durchdringung der Zuverlässigkeitsstruktur
4. anzuwendende Instandhaltungstechnik und -technologie

- ökonomisch durch

1. die wirtschaftliche Bewertung der Abnutzungsprozesse in Form einer Verlustfunktion und
2. der IH-Maßnahmen in Form der Kosten und Produktionsverluste je Maßnahme

12. Welche Bedeutung hat der Grad der Wiederherstellung nach Ausfall für die Praxis?

Minimalinstandsetzung ist riskant, da die Zuverlässigkeit der BE genauso groß ist, wie vor dem Ausfall. Der Ausfall kann also sofort nach Instandsetzung wieder eintreten. Dafür nimmt die Minimalinstandsetzung oft weniger Ressourcen in Anspruch. Eine vollständige Erneuerung ist auf jeden Fall aufwendiger. Nur hat das gewechselte Teil eine Zuverlässigkeit von 100 %.

13. Erläutern Sie die Hauptzielfunktion der Präventivmethode mit starr periodischem Zyklus

ohne Diagnose (Strategie SV, SM):

$$k(\tau) = \frac{k_p + k_a * A(\tau)}{\tau + [t_p + t_a * A(\tau)]} \Rightarrow \text{Min!}$$

Unter welcher Bedingung lässt sich der Ausdruck vereinfachen?

Vollständige vorbeugende Instandsetzung nach einer Betriebszeit t_p Herstellung des ursprünglichen Niveaus der Zuverlässigkeit und der Ausfallrate ("wie neu"), anschließend beginnt $a(t)$ als momentane Ausfallneigung beim Alter t wieder mit $t = 0$. Die Kosten und Verluste je Zeiteinheit

Instandhaltung

Grundlagen – Strategien -Werkstätten

Übungs- und Kontrollfragen

© Springer Vieweg, Springer Verlag Berlin Heidelberg 2012

978-3-642-27389-6

 t_p Dauer einer Präventivmaßnahme t_a Dauer einer wiederherstellenden Maßnahme nach Ausfall

$$A(\tau) = \int_0^{\tau} a(t) dt \quad \text{durchschnittliche Ausfallanzahl in } \{0; \tau\}$$

In den meisten praktischen Anwendungsfällen können die instandhaltungsbedingten Stillstandszeiten innerhalb des Zyklus $\{0; \tau\}$ vernachlässigt werden. Da gilt $\tau \gg t_p + t_a \cdot A(\tau)$, kann folgender Ausdruck verwendet werden:

$$k(\tau) = \frac{k_p + k_a \cdot A(\tau)}{\tau} \Rightarrow \text{Min!}$$

13. Erläutern Sie die Hauptzielfunktion der Präventivmethode mit flexiblem Zyklus ohne Diagnose (Strategie FV):

$$k(\tau) = \frac{k_p R(\tau) + k_a \cdot F(\tau)}{\int_0^{\tau} R(t) dt + [t_p R(\tau) + t_a \cdot F(\tau)]} \Rightarrow \text{Min!}$$

Unter welcher Bedingung lässt sich der Ausdruck vereinfachen?

Für die vorbeugenden Maßnahmen gibt es keine starre Terminfolge, weil nach jeder wiederherstellenden Instandsetzung der nächste Termin für die vorbeugende Instandsetzung neu festgelegt wird.

Zielkriterium ist der Quotient der durchschnittlichen Kosten einer Maßnahme, die mit der Wahrscheinlichkeit $F(t)$ eine **wiederherstellende** und mit der Wahrscheinlichkeit $R(t)$ eine **vorbeugende** Maßnahme ist und durchschnittlicher Zeit zwischen zwei Maßnahmen (Erwartungswert der Laufzeit + durchschnittliche Stillstandszeit t_a).

Wenn die Stillstandszeiten t ohne Einfluss auf das Optimum sind und gegenüber der produktiven Zeit im Nenner vernachlässigbar klein sind, ergibt sich:

$$k(\tau) = \frac{k_p R(\tau) + k_a \cdot F(\tau)}{R(t) dt} \Rightarrow \text{Min!}$$

14. Erläutern Sie die charakteristischen Parameter der Zielfunktion

$$k(\tau_p, m) = \frac{1}{\tau_p} [k_p + k_a A_p(\tau_p) + k_d (m-1) + k_b \cdot B_p(\tau_p)] \Rightarrow \text{Min!}$$

zur Optimierung bei Diagnosestrategien!

Als Strategien SVP, SMP sind präventive Instandsetzungen im Zyklus t_p und zwischenzeitliche Diagnosen sowie diagnosebefundabhängige Instandsetzungen im Zyklus t_d mit $\tau_p / \tau_d = m$ ($m > 1$, ganzzahlig) zu realisieren.

$A_p(\tau_p)$ **mittlere Anzahl der Ausfälle** von einer bis zur nächsten präventiven vollständigen Instandsetzung im Intervall $\{0; \tau_p\}$, die trotz periodischer Inspektion noch auftreten;

$B_p(\tau_p)$ **mittlere Anzahl** der im Intervall $(0; \tau_p)$ durch periodische Inspektion und anschließende Befundinstandsetzung verhinderten Ausfälle.

k_p, k_a, k_d, k_b mit den einzelnen Maßnahmen verbundene Kosten und Verluste

Die Funktionen $A_P(\tau_p)$ und $B_P(\tau_p)$ hängen vom Verschleiß und von der Wirksamkeit der Inspektionsmethode (Diagnose) ab und lassen nur vereinfachende Annahmen zu. Bei Verzicht auf Inspektion und Instandsetzung nach Befund gilt für die Anzahl der wiederherstellenden Instandsetzungen (Ausfallmethode):

$$A(\tau) = \begin{cases} \Lambda(\tau) = \int_0^{\tau} \lambda(t) dt & \text{Integrierte Ausfallrate (bei Minimalinstandsetzung nach Ausfällen)} \\ H(\tau) = \int_0^{\tau} h(t) dt & \text{Erneuerungsfunktion (bei vollständiger Instandsetzung nach Ausfällen)} \end{cases}$$

Sie geben den Erwartungswert für die Anzahl der Ausfälle im Intervall $(0, \tau]$ an. τ ist eine Entscheidungsvariable für die Optimierung, daher müssen H und Λ als Funktion der Betriebszeit τ behandelt werden. Die Mittlere Anzahl derjenigen Ausfälle, die durch Diagnostik potentiell verhindert werden können ergibt sich zu:

$$D(\tau_p) = A(\tau_p) - m A(\tau_d)$$

15. Bei kontinuierlicher Diagnose und starr periodischem präventivem Zyklus τ_p (SVK, SMK) tritt der Diagnoseaufwand nicht periodisch, sondern ständig in durchschnittlicher Höhe von k_{dk} auf. Welche Kenngröße kennzeichnet die mittlere Anzahl der durch Befundinstandsetzung verhinderten Ausfälle $B_K(\tau_p)$?

Die mittlere Anzahl der durch Befundinstandsetzung verhinderten Ausfälle $B^k(\tau_p)$ ist abhängig vom **Diagnosewirkungsgrad** \mathcal{G} . Es gilt

$$B_K(\tau_p) = \mathcal{G} A(\tau_p)$$

Für die Anzahl der Ausfälle, die trotz kontinuierlicher Diagnostik auftreten, gilt

$$A_K(\tau_p) = (1 - \mathcal{G}) A(\tau_p)$$

k_{dk} muss in die Optimierungsbetrachtungen nicht mit einbezogen werden.

Kapitel 7 Strukturierung und Dimensionierung von Instandhaltungswerkstätten

1. Definieren Sie den Begriff Strategie und erläutern Sie die charakteristischen Merkmale strategischer Kompetenz!

Eine Strategie ist eine i.d.R. langfristig geplante Verhaltensweise des Unternehmens zur Erreichung seiner Ziele. Das Management zeigt damit an, auf welche Art ein mittelfristiges (ca. 2–5 Jahre) oder langfristiges (ca. 5–10 Jahre) Unternehmensziel erreicht werden soll.

2. Erläutern Sie den Unterschied zwischen geplanten, nicht realisierten und unbeabsichtigten Strategien!

Die geplanten Strategien sind das Ergebnis einer gezielten Unternehmensplanung, während unbeabsichtigte Strategien eher das Ergebnis von Zufallsereignissen sind. Sie entstehen z. B. aus nicht gewollten, aber notwendigen Anpassungsprozessen infolge des Marktdrucks als Überlebensstrategie.

Nicht realisierte Strategien sind das Ergebnis geänderter Rahmenbedingungen oder der Eingangsinformationen, die dazu führen, dass die Strategie nicht weiter verfolgt bzw. umgesetzt wurde, weil sie sonst die Unternehmensziele gefährden würden. Dazu zählen auch zu kostenintensive Investitionen, die dazu führen würden, dass Kredite nicht mehr bedient werden könnten..

3. Was verstehen Sie unter ressourcenseitiger Flexibilität und wie kann sie in der Planungsphase beeinflusst werden?

Die ressourcenseitige Flexibilität ist das Ergebnis des Planungsprozesses und der erzielten Projektgüte, die sich in einer erfolgreichen und effizienten Gestaltlösung des Produktionssystems manifestiert. Erfolgreiche Gestaltlösungen von Produktionssystemen sind das Ergebnis organisationaler und struktureller Wandlungsfähigkeit des Unternehmens. Unter ressourcenseitiger Flexibilität ist die Fähigkeit zu verstehen, auf Nachfragesteigerungen ohne zusätzliche Investitionen zu reagieren, indem die verfügbaren Kapazitäten höher ausgelastet werden.

4. Definieren Sie den Begriff Wandlungsgeschwindigkeit! Welche Komponenten bestimmen diese?

Wandlungsgeschwindigkeit ist der Maßstab für den Erfolg des Wandels, den ein Unternehmen unter dem Druck des Marktes vollzieht. Wenn er nicht schnell genug vollzogen wird, nimmt das Unternehmen Nachteile in Kauf oder muss im Extremfall seine Geschäftstätigkeit auf Grund des Verlusts der Wettbewerbsfähigkeit einstellen.

Geschwindigkeitssteigernd wirken sich solche Unternehmensstrategien aus, die den Anpassungsprozess des Anlagevermögens und der organisationalen Strukturen an die neuen Rahmenbedingungen beschleunigen. Zur Unterstützung der Managemententscheidungen kommen in der Planungsphase entsprechende Werkzeuge und Instrumente zur Geschäftsprozessoptimierung zum Einsatz. Ganzheitliches Problemlösungsverhalten und Parallelbearbeitung entscheidungsrelevanter Aufgabenstellungen gewinnen dabei zunehmend an Bedeutung (*Simultaneous Engineering*).

Deshalb ist die Wandlungsgeschwindigkeit als eine Funktion der funktionellen und strukturellen Anpassungsfähigkeit und damit optimaler Standortentscheidungen (S) sowie optimaler Gestaltungslösungen (G) der Fabrik und der Zeit als Summe von Reaktions- und Anpassungszeit (T) aufzufassen:

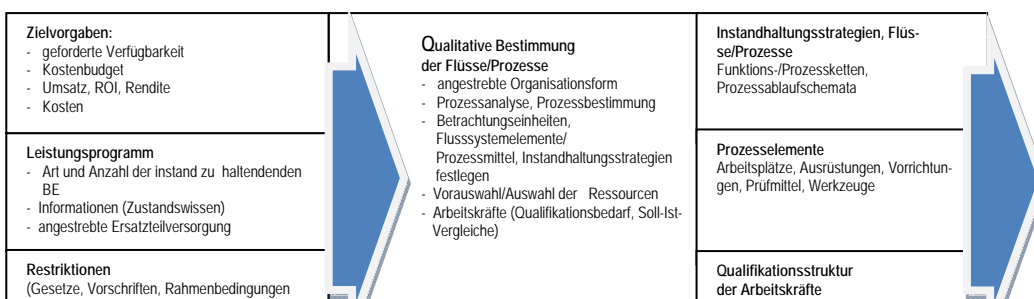
$$v_w = f(S, G, T)$$

5. Was verstehen Sie unter *Simultaneous Engineering* und welche Bedeutung hat es für die Fabrikplanung?

Das *Simultaneous Engineering* (deutsch „verteilte gleichzeitige Entwicklung“) beschreibt eine Vorgehensweise, die ursprünglich auf die Produktentwicklung fokussiert war, um die Entwicklungszeit für neue Produkte zu verkürzen und damit schneller auf dem Markt zu präsentieren. Der angenehme Nebeneffekt besteht darin, dass spätere produktionsinduzierte Änderungen vermieden und die Abstimmung von Entwicklung und Produktion insgesamt verbessert werden kann.

6. Erläutern Sie die Funktionsbestimmung von Instandhaltungswerkstätten!

Der Planungsschritt Funktionsbestimmung umfasst alle Planungsaktivitäten, die Aussagen über die stofflichen, informationellen und energetischen Prozesse, den Primärprozess zur Herstellung, Verarbeitung und Bearbeitung von Produkten und die erforderliche Verfügbarkeit der in den Prozess involvierten Prozesselemente der Prozesskette erzielen. Im Mittelpunkt stehen Entscheidungen zur zukünftigen Organisationsstruktur bzw. die strukturelle Einordnung in den Unternehmensablauf. Grundsätzlich ist zu entscheiden ob eine zentrale Instandhaltungswerkstatt mit dezentralen Stützpunkten errichtet werden soll oder nur dezentrale Stützpunkte unterhalten werden soll und welche Aufgaben nach außen vergeben werden sollen.



7. Worin besteht das Problem der Dimensionierung von Dienstleistungsunternehmen i. Allg. und von Instandhaltungswerkstätten im Besonderen?

Die Dimensionierung der Ressourcen von Dienstleistungsunternehmen ist i. Allg. problembehaftet, da es kein homogenes stabiles Produktionsprogramm existiert. Die zu erbringenden Leistungen unterliegen Schwankungen, da es sich um stochastische Prozesse handelt.

Für die Instandhaltungswerkstätten bilden Art und Umfang der technischen Ausrüstungen die Planungsbasis, wobei bei Neuplanungen kaum auf Angaben zum Ausfallverhalten zurückgegriffen werden kann. Auf der Grundlage der Herstellerangaben und der zu übergebenden Maschinen- und Ausrüstungsdokumentation einschließlich der Wartungs- und Bedienungsvorschriften ist zunächst eine Basisstrategie zu entwickeln, die Grundlage für die zu berechnenden Instandhaltungsressourcen bilden.

8. Welchen Einfluss hat die Morphologie von Instandhaltungswerkstätten auf den Planungsprozess?

Die Zuordnung zum morphologischen Fabriktyp hat Einfluss auf die Funktionsbestimmung und die technische und räumliche Strukturierung der Werkstatt, da sich die Instandhaltung morphologisch am Fabriktyp orientiert.

9. Was verstehen Sie unter einem Projektbaustein und welche Vorteile lassen sich im Rahmen der Projektierung von Instandhaltungsbetrieben erzielen?

Projektbausteine sind:

1. wiederverwendungsfähige Projektlösungen für definierte Systeme, Teilsysteme oder Systemelemente, die mit anderen Systemen, Teilsystemen oder Systemelementen kompatibel und kopplungsfähig sind, um Bestandteil eines Projekts werden können,
2. standardisierungsfähige Projektierungslösungen für definierte Projektierungsaktivitäten (Arbeitspakete, Vorgangskomplexe), die Bestandteile des ganzheitlichen Projektierungssystems der Fabrikplanung sind,
3. Projektierungskataloge, also systematisch geordnete und nach einheitlichen Gesichtspunkten in alphanumerischer und grafischer Form aufgebaute Speichersysteme zur Aufnahme, Aufbereitung und Entnahme von auf Projektierungsaufgaben ausgerichteten, ständig zu überprüfen und zu ergänzenden Projektierungsinformationen, -lösungen und -vorschriften.

Bei der Bausteinprojektierung handelt es sich um eine Projektierungsmethode, bei der die Projektierungsergebnisse unter weitgehender Nutzung mit Projekt- und Projektierungsbausteinen erzielt werden, die auf die Projektierungsaufgabe ausgerichtet sind und daher einen Zeitgewinn garantieren.

10. Erläutern Sie die Vor- und Nachteile des deterministischen Planungsansatzes der Instandhaltungsprojektierung!

Der deterministische Planungsansatz bildet die Basis für die Dimensionierung der Grundlast (statische Last) einer Instandhaltungswerkstatt. Darüberhinaus ist es aber notwendig, diejenigen Kapazitäten zu ermitteln, die auch den stochastischen Teil der Gesamtlast erfassen.

Instandhaltung

Grundlagen – Strategien -Werkstätten

Übungs- und Kontrollfragen

© Springer Vieweg, Springer Verlag Berlin Heidelberg 2012

978-3-642-27389-6

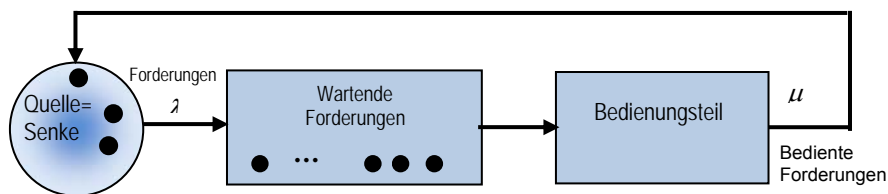
11. Nach welchem bekannten Theorem lassen sich Erneuerungsprozesse determinieren?

Erneuerungsprozesse lassen sich nach dem Blackwellschen Erneuerungstheorem determinieren.

12. Erläutern Sie den Unterschied zwischen offenen und geschlossenen Wartesystemen!

Für geschlossene Bedienungssysteme ist eine definierte Quelle mit einer festen Anzahl Kunden (Betrachtungseinheiten) charakterisiert, die Forderungen generieren, die nach erfolgter Bedienung in das System zurückkehren. Jede Forderung wird bedient, keine Forderung kann abgewiesen werden. Die bedienten Forderungen kehren in die Quelle, die gleichzeitig Senke ist, zurück. Bei offenen Systemen sind Quelle und Senke getrennt.

13. Erläutern Sie den strukturellen Aufbau einer als geschlossenes Wartesystem modellierten Instandhaltungswerkstatt und fertigen Sie eine Skizze an!



Ein geschlossenes Wartesystem besteht aus 3 Elementen:

1. Quelle (ist gleichzeitig Senke)
2. Warteraum
3. Bedienteil

14. Welche Unterschiede bestehen zwischen folgenden Modellstrukturen

1. M/M/s
2. M/M/s/n]
3. [G/G/s/n]?
1. M/M/s: offenes System, Poisson-verteilte (Markoff-Prozess) Ankunftsabstände und exponentiell verteilte Bedienzeiten
2. [M/M/s/n]: geschlossenes System, Markoffsche Ankunfts- und Bedienprozesse
3. [G/G/s/n]: geschlossenes System, allgemein verteilte (general) Ankunfts- und Bedienprozesse

15. Charakterisieren Sie den Ankunfts- und Bedienprozess einer als geschlossenes Wartesystem modellierten Instandhaltungswerkstatt und leiten Sie anhand der Leistungs- und Zielgrößen Kriterien ab, die einen Beitrag zur Steigerung Arbeitsproduktivität der Werkstatt leisten!

Leistungs- und Zielgrößen sind:

1. Wahrscheinlichkeit, dass sich keine Forderung im System aufhält (Leerwahrscheinlichkeit),
2. mittlere Wartezeit, mittlere Verweilzeit einer Forderung im System,
3. Belastungskoeffizient,
4. mittlere Warteschlangenlänge,
5. mittlere Anzahl der Forderungen im System,
6. Wartewahrscheinlichkeit,
7. Kostengrößen

Eine Verbesserung der Zuverlässigkeit der Maschinen und Anlagen sowie eine optimale Instandhaltungsplanung sind für die Steigerung der Arbeitsproduktivität von erheblicher Bedeutung.

Instandhaltung

Grundlagen – Strategien -Werkstätten

Übungs- und Kontrollfragen

© Springer Vieweg, Springer Verlag Berlin Heidelberg 2012

978-3-642-27389-6

Beide Aspekte erhöhen den Ankunftsabstand der Forderungen und Verringern dadurch den Belastungsfaktor des Systems. Das hat zur Folge, dass bei konstanter Bedienrate die mittlere Wartedauer auf Instandhaltung abnimmt und dadurch Kapazität frei gesetzt wird, wodurch mehr Output erzielt werden kann. Eine weitere Möglichkeit besteht darin, die Bedienungsintensität durch Einsatz neuer Werkzeuge und Hilfsmittel zu steigern.

16. Nach welchen Kriterien lassen sich Bedienmodelle einteilen?

Eine Einteilung kann erfolgen nach

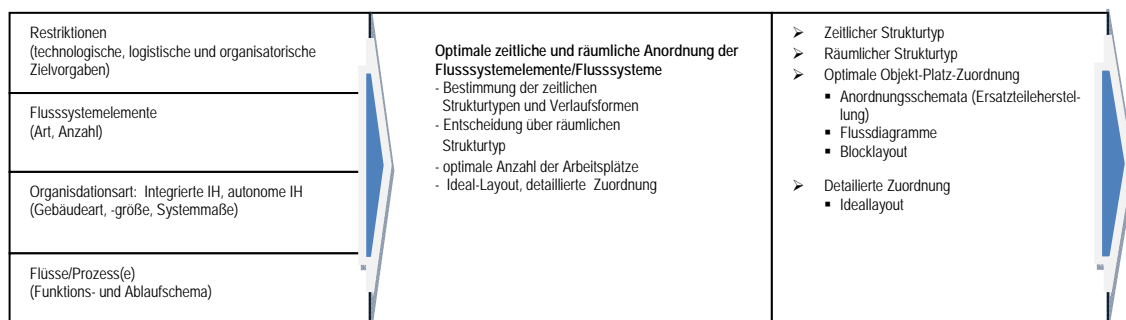
- der Charakteristik der Ankunfts- und Bedienprozesse (*markovsch, erlangsch, general*)
- der Struktur des Systems (geschlossenes, offenes System)
- der Zahl der Bediener (Ein- und Mehrbedienersystem)
- der Größe des Warteraums (unendlich groß, begrenzter Warteraum)
- der Wartedisziplin (Warte- oder Verlustsysteme)
- der Bediendisziplin (FCFS, LCFS, FCLS, Prioritäten)

17. Charakterisieren Sie den Unterschied zwischen einem analytischen und einem Simulationsmodell? Erläutern Sie die Vor- und Nachteile beider Varianten!

Analytische Modelle beschreiben modellhaft das praktische Verhalten von Systemen. Durch Variation der Eingangsgrößen kann das Systemverhalten untersucht und bewertet werden, um die Systemstruktur zu optimieren.

	Vorteile	Nachteile
Analytisches Modell	hoher Abstraktionsgrad, hohe Komplexreduktion, gute Optimierungsmöglichkeiten, sofortige Ergebnisse auf Grund hoher Rechengeschwindigkeiten, universell einsetzbar, geringe Rechnerkosten	hoher mathematischer Aufwand, starke Vereinfachung der realen Verhältnisse, viele Restriktionen
Simulationsmodell	Einfache Handhabung, gute Abbildung der Realität, Üblicherweise werden nur diejenigen Merkmale des Systems modelliert, die für eine konkret zu lösende Fragestellung gerade von Bedeutung sind. Andere Merkmale hingegen, die für die Fragestellung von minderer Bedeutung sind, werden dabei vernachlässigt.	Stationärer Zustand erst nach Einschwingphase erreichbar, hohe Rechnerzeiten, Gefahr der Autokorrelation führt zur Ergebnisverfälschung (kann nur durch geeignete Software eliminiert werden).

18. Worin besteht der Leistungsinhalt des Planungsschritts Strukturierung?



Projektierungsschritt Strukturierung von Instandhaltungswerkstätten

19. Welche grundlegenden Problembereiche sind im Rahmen der Strukturierung zu klären?

Die Festlegung des räumlichen Strukturtyp richtet sich nach der organisatorischen Einordnung der Instandhaltung: ortsspezifische, objektorientierte oder aufgabenorientierte Instandhaltung. Im Falle einer Zentralwerkstatt stehen die optimale Objekt-Platz-Zuordnung und die detaillierte Zuordnung der Ausrüstungen im Vordergrund. Ziel ist ein Ideallayout-Entwurf, der dem Anspruch der Werkstatt genügt.

20. Welche Ergebnisse erzielt der Planungsschritt „Strukturierung von Instandhaltungswerkstätten“?

Das Planungsergebnis ist ein Ideal-Layout.

21. Welche charakteristischen Werkstattausrüstungen bestimmen die Struktur einer Instandhaltungswerkstatt?

Stationäre und mobile Schweißarbeitsplätze (Gas- und E-Schweißen),
 diverse Messgeräte und Prüfmittel (Schwingungsmessgerät, Schwingungsaufnahmegerät, Thermokamera,
 Messtische,
 Ablage- und Montagetische mit mehreren Bedienstellen,
 Reinigungssysteme, -mittel,
 Blechbearbeitungsmaschinen,
 PC-Arbeitsplatz,
 Ablageregale, Stahlschränke, Werkbänke, Handwerkszeuge, Fahrzeuge, Hebezeuge, Fördermittel, Transportmittel

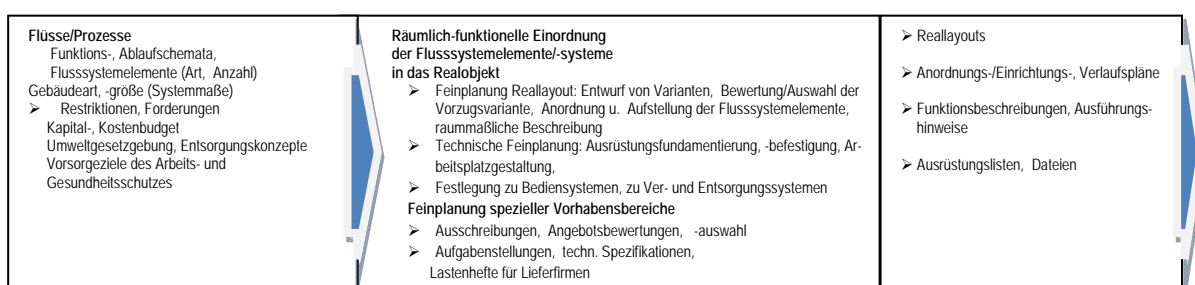
22. Welche Basisausrüstungen bestimmen die Struktur eines Diagnosearbeitsplatzes?

Messtisch,
 Ablagefläche,
 PC-Arbeitsplatz (einschl. Software)
 abschließbarer Messmittelschrank, diverse Messgeräte und Prüfmittel (z. B. Schwingungsmessgerät, Schwingungsaufnahmegerät, Thermokamera,
 Ablageregal, Stahlschrank, Werkbank, Handwerkszeuge, Fahrzeug

23. Welche Faktoren beeinflussen die Organisationsform der Instandhaltung?

Branche, Betriebsgröße, Unternehmensstrategie, Struktur des Maschinen- und Ausrüstungsparks

24. Welche wesentlichen Aufgaben und Ergebnisse beinhaltet der Planungsschritt Gestaltung?



Instandhaltung

Grundlagen – Strategien -Werkstätten

Übungs- und Kontrollfragen

© Springer Vieweg, Springer Verlag Berlin Heidelberg 2012

978-3-642-27389-6

Die Gestaltung von Produktionssystemen 2. Ordnung umfasst die räumlich –funktionelle Einordnung der Flusssystemelemente in das Realobjekt, also in das ausgewählte Gebäude bzw. die Einordnung in die Flächenkonzeption der Fabrik. Die weitere Arbeit umfasst dann Feinplanung, also die Angebotsoptimierung und –auswahl der Ausrüstungen m. H. der Ausrüstungslisten und die Bestellauslösung.

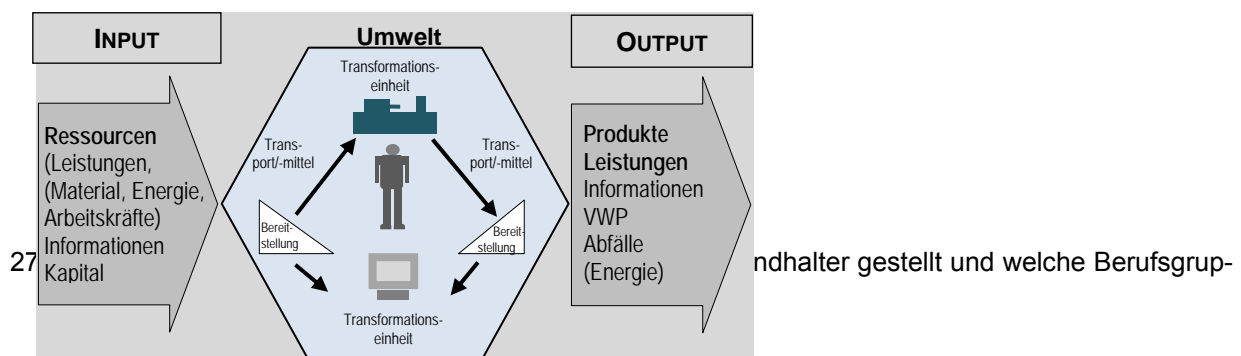
25. Welche Vorteile bietet der kompetenzzellenbasierte Modellansatz für die Strukturierung von Instandhaltungswerkstätten?

Zum einen besteht die Möglichkeit der in- und externen Vernetzung zu Dienstleistungsnetzen und darüber hinaus infolge der Vernetzungsfähigkeit die Bildung virtueller, auf Zeit begrenzter (projektbezogener) Instandhaltungsstrukturen.

26. Erläutern Sie die Grundstruktur einer Kompetenzzelle Instandhaltung! Fertigen Sie eine Skizze an!

Die Kompetenzzelle

- hat eine Funktion, eine Dimension und eine Struktur,
- ist in der Lage, sich reaktionsschnell an geänderte Bedingungen anzupassen (hohe Wandlungsgeschwindigkeit,
- entwickelt permanent Wissen und Kompetenzen weiter,
- koordiniert, referiert und akquiriert selbständig,
- gestaltet die Innovations- und Evolutionsprozesse während ihres Lebenszyklus selbst,
- besitzt die Fähigkeit zur Selbstorganisation und -optimierung logistikorientierter Wertketten und Produktionsnetze.



- Kontrollieren und Beurteilen der Arbeitsergebnisse und Anwendung von Qualitätsmanagementsystemen,
- Bearbeitung mechanischer Teile und Montage von Baugruppen und Komponenten mechatronischer Systeme,
- Installation elektrischer Baugruppen und Komponenten,
- Messen und Prüfen elektrischer Größen,
- Installieren und Testen von Hard- und Softwarekomponenten,
- Aufbau und Prüfung elektrischer, pneumatischer und hydraulischer Steuerungen,
- Programmieren mechatronischer Systeme,
- Montieren und Demontieren von Maschinen, Systemen und Anlagen, deren Transport und Sicherung,
- Prüfen der Funktionen und Parameter mechatronischer Systeme und deren Einstellung,
- Inbetriebnahme und Bedienung mechatronischer Systeme,
- Übergabe mechatronischer Systeme und Kundeneinweisung,
- Instandhaltung mechatronischer Systeme,
- Arbeit mit englischsprachigen Unterlagen und Kommunizieren in englischer Sprache.

Mechatroniker

Instandhaltung

Grundlagen – Strategien -Werkstätten

Übungs- und Kontrollfragen

© Springer Vieweg, Springer Verlag Berlin Heidelberg 2012

978-3-642-27389-6

Mechatroniker sind Elektrofachkräfte und Metallfachkräfte in einem. Die Ausbildung zielt auf die Befähigung zum selbstständigen Arbeiten sowohl an elektrischen als auch an mechanischen Anlagen ab. Die Qualifikationen der Metallbearbeitung und Elektrotechnik sind daher ebenso erforderlich wie die Grundlagen der Hydraulik, der Pneumatik und der Steuerungstechnik. Außerdem sind Messen, Prüfen und Programmieren von Komponenten und der Umgang mit Steuerungs- und Regelungstechnik Bestandteil der Ausbildung.

28. Welche gesetzlichen Bestimmungen sind für abgelegene Arbeitsplätze sowie Arbeitsplätze mit erhöhter Unfallgefahr, an denen Instandhalter beschäftigt sind, zu beachten?

Gesetzliche Regeln für Alleinarbeit: § 61 Abs. 6 ASchG für bestimmte Tätigkeiten, PSA-Benutzungsverordnung (PSA-BV), Lärm- und Vibrations-Arbeitsschutzverordnung (LärmVibrationsArbSchV), Betriebssicherheitsverordnung (BetrSichV), Arbeitsschutzgesetz (ArbSchG)

29. Inwieweit tragen Sie bei der Planung von Instandhaltungswerkstätten dem Gewässerschutz Rechnung?

Bei der Auftragsvergabe ist darauf zu achten, dass Fachwerkstätten zur Zertifizierung verpflichtet sind, wenn sie Anlagen nach dem Wasserhaushaltsgesetz (§ 19) zum Umgang mit wassergefährdenden Stoffen einbauen, aufstellen, instandhalten bzw. instandsetzen und reinigen. Diese Fachbetriebe werden von einer technischen Überwachungsorganisation mindestens alle 2 Jahre überprüft und sind berechtigt, das Gütezeichen einer baurechtlich anerkannten Überwachungs- oder Gütegemeinschaft zu führen.

Im Rahmen der Erarbeitung der Ausführungsunterlagen und Personalplanung ist auf die Auswahl fachkundigen Personals zu achten. Darüberhinaus sind Geräte und Ausrüstungsteile zu beschaffen, die den neuesten technischen Regeln entsprechen.

30. Erläutern Sie das MOORESche und das WIRTHSche GESETZ! Welchen Einfluss üben diese Gesetze auf die Instandhaltung elektronischer Systeme aus?

Das **Moore'sche Gesetz** (*Moore's Law*) besagt, dass sich innerhalb eines Zeitraums von 18-24 Monaten die Komplexität integrierter Schaltkreise mit minimalen Komponentenkosten regelmäßig verdoppelt. Unter Komplexität ist die Anzahl der Schaltkreiskomponenten auf einem Computerchip zu verstehen (Verdoppelung der Integrationsdichte bedeutet eine Verdoppelung der Anzahl an Transistoren pro Flächeneinheit).

Das **Wirth'sche Gesetz** (*Wirth's Law*) besagt, dass Software in kürzerer Zeit langsamer wird, als Hardware schneller.

31. Welche Bedingungen sind bei Alleinarbeit vor Ort zu beachten?

Allgemein ist Alleinarbeit nur dann zulässig, wenn

1. eine zeitlich verzögerte Hilfeleistung während des Arbeitseinsatzes oder der Schicht ohne Folgeschäden möglich ist,
2. bei einem Schadensfall eine rechtzeitige Hilfeleistung durch geeignete organisatorische und/oder technische Sicherungsmaßnahmen gewährleistet ist sowie
3. allein arbeitende und sichernde Personen ausreichend informiert und unterwiesen sind.

Für die Durchführung von Alleinarbeit gelten folgende Grundsätze:

1. die allein arbeitende Person muss sich möglichst in Sichtweite von anderen Personen befinden,
2. allein arbeitende Personen sind durch Kontrollgänge in kurzen Abständen zu beaufsichtigen,
3. die Instandhalter sind mit einem automatischen (willensunabhängigen) Überwachungsgerät auszustatten, z. B. mit einem Signalgeber, der drahtlos, automatisch und willensunabhängig Alarm auslöst, wenn beispielsweise über eine bestimmte Zeitdauer die Körperposition unverändert ist,

32. Was verstehen Sie unter einem „Totmannsystem“? Erläutern Sie seine Wirkungsweise!

Instandhaltung

Grundlagen – Strategien -Werkstätten

Übungs- und Kontrollfragen

© Springer Vieweg, Springer Verlag Berlin Heidelberg 2012

978-3-642-27389-6

Das Totmannsystem ist ein Gerät, das zur Überwachung der Personalanwesenheit an normalerweise unbewachten Orten in Unternehmen verwendet wird. Es wird normalerweise an Orten wie z. B. in engen Räumen am Mann getragen (PSA=persönliche Schutzausrüstung), um den Mitarbeiter im Falle eines Arbeitsunfalls schnell zu finden.

33. Erläutern Sie die Grundformen der Muskularbeit! Wie können Sie gesundheitliche Schäden vermeiden? Welche gesetzlichen Vorschriften sind zu beachten?

- a) Statische Arbeit: Haltearbeiten bei gebeugter Körperhaltung, gebeugtes Stehen bei Überkopfarbeit und Tragearbeiten

Beschränkung der Arbeitsdauer und genügend hohe Erholzeiten, physiotherapeutische Betreuung

- b) Dynamische Arbeit: Belastung kleiner Muskelgruppen und hoher Bewegungsfrequenz, z.B. an Handhebelpressen oder Blechscheren

Schwere dynamische Arbeit, z.B. Beräumungsarbeiten bei havarierten Ausrüstungen, Verladen schwerer Ersatzbaugruppe

Einsatz von technischen Hilfsmitteln: mobile Transportmittel und Hebezeuge

Bei Vor-Ort-Instandhaltung sind Instandhalter teilweise extremen statischen und dynamischen Belastungen ausgesetzt. Körperhaltung, die Bewegungsrichtung und die Lage des Kraftangriffspunktes bestimmen die Größe der abgebbaren Kraft. Dabei sind die Vorschriften der Lastenhandhabungsverordnung (LasthandhabV) zu beachten. Die Verordnung enthält keine konkreten Angaben.

34. Nennen Sie die charakteristischen Gefährdungspotenziale und belastenden Arbeitsbedingungen bei der Instandhaltung und zeigen Sie Möglichkeiten auf, wie diese beseitigt werden können!

Mechanische, elektrische, thermische, chemische und biologische Faktoren sowie Brandgefahr/Explosionsgefahr

Auf Vollständigkeit und Funktionsfähigkeit der Schutzausrüstung (Schutzbekleidung tragen, Schutzbrille, festes Schuhwerk) und regelmäßige Belehrung ist achten.

35. Welche Faktoren bestimmen die abgebbare Kraft bei manueller Tätigkeit? Definieren Sie die Richtwerte für das häufige und gelegentliche Heben und Tragen von Lasten für Männer, Frauen und Jugendliche für gelegentliches und fortgesetztes Heben von Lasten!

Die Größe der abgebbaren Kraft bestimmen Körperhaltung, Bewegungsrichtung und Lage des Kraftangriffspunktes. Dabei sind die Vorschriften der Lastenhandhabungsverordnung (LasthandhabV) zu beachten. Die Verordnung enthält keine konkreten Angaben. Daher sollen als Richtwerte die für das BL Rheinland-Pfalz gültige Werte dargestellt werden

Zumutbare Last /kg/			
gelegentlich		häufig	
Frauen	Männer	Frauen	Männer
15	25	10	20

Jugendliche dürfen nicht mit Arbeiten, die der Lastenhandhabungsverordnung unterliegen beschäftigt werden, wenn ihre körperliche Leistungsfähigkeit dazu nicht ausreicht. Das Bundesarbeitsministerium hat diesbezüglich im Arbeitsblatt 11/1981 für Jugendliche im Alter zwischen 15 und 18 Jahren empfohlene Grenzwerte veröffentlicht, die auf arbeitswissenschaftlichen Erkenntnissen beruhen.

Kapitel 8 Organisationsstrukturen von Instandhaltungsbereichen im Unternehmen

1. Welcher Peripherie wird die Anlageninstandhaltung aus der Sicht der Fabrik- und Anlagenplanung zugeordnet?

Je nach Integrationsgrad der ersten Peripherie oder der zweiten Peripherie.

2. Worin besteht das vordergründige Ziel bei der Festlegung der Organisationsstrukturen der Instandhaltung?

Das Ziel ist die optimale Nutzung der Instandhaltungskapazitäten und –ressourcen. Erzielung eines optimalen Verhältnisses von Aufwand zum Nutzen (s. Skizze: Schnittpunkt der Stillstands- und Instandhaltungskosten).

3. Welche Möglichkeiten bietet der Kompetenzzellenansatz für den Integrationsprozess der Instandhaltung?

Zum einen kann der Fabrikplaner bei der Projektierung von Fertigungskompetenzzellen Instandhaltungsaufgaben in gewissem Umfang integrieren (TPM). Andererseits kann durch Bildung von kompetenzzellenbasierten Instandhaltungsstrukturen der Vernetzungsgedanke realisiert werden, indem z. B. Kompetenzkomponenten auch unterschiedlicher Kompetenzzellen vernetzbar werden und so virtuelle Instandhaltungskompetenzen zu bilden.

4. Erläutern Sie die grundlegende Organisationsstruktur der Instandhaltung!

a) Aufbauorganisation

Die Aufbauorganisation regelt im Sinne einer Aufgabenzuweisung Kompetenzen, Verantwortungen und Aufgaben der Instandhaltung und des Personals (Stellenplan) und schafft die Voraussetzungen für eine funktionierende Ablauforganisation. Ziel ist die Vermeidung organisatorischer Überschneidungen und Schwachstellen.

Aufbauorganisatorische Regelungen schaffen einen statischen Beziehungszusammenhang zwischen Stellen, die in Leitungs- und Ausführungsstellen differenziert werden. Leitungsstellen berechtigen ihre Inhaber gegenüber nachgeordneten Stellen zu vollzugsverbindlichen Weisungen, z.B. der Leiter Instandhaltung. Ausführungsstellen besitzen keine Weisungsbefugnis. Sie erfüllen entweder primär Realisationsaufgaben, z. B. Instandhalter in der Qualifikation eines Mechatronikers.

Generell gibt es kein allgemeingültiges Rezept für eine bestimmte Organisationsstruktur.

Die Aufbauorganisation ist zweckmäßigerweise an den Erfordernissen der instandhaltungsseitig zu betreuenden Technik und Produktionseinrichtungen, der Betriebsgröße, der Branche, des vorhandenen Humanpotentials anzupassen.

Eine Instandhaltung besteht aus einem Leiter Instandhaltung in der Qualifikation eines Ingenieurs oder Meisters, einen oder mehrere Einsatzgruppenleiter, Instandhalter (möglichst ausgebildet als Mechatroniker und ggf. Spezialisten).

b) Ablauforganisation

Schwerpunkte sind die Aufgabenverteilung und die Ausstattung der Struktureinheiten mit den zur Aufgabenerfüllung nötigen Ressourcen (Sachmittel, Informationen, Hilfsstoffe, Material).

In der Instandhaltung sind vorzufinden

- freier Verlauf
- inhaltlich gebundener Verlauf
- Abfolge gebundener Verlauf

Instandhaltung

Grundlagen – Strategien -Werkstätten

Übungs- und Kontrollfragen

© Springer Vieweg, Springer Verlag Berlin Heidelberg 2012

978-3-642-27389-6

- zeitlich gebundener Verlauf

Der Arbeitsablauf ist als eine Folge von Arbeitsstufen definiert. Die Instandhaltungskapazitäten sind so hoch wie möglich auszulasten. Dementsprechend sind die Instandhaltungsaufgaben so zu organisieren, dass sie sich die Instandhalter am Einsatzort nicht gegenseitig behindern.

Die Ablauforganisation regelt

1. die spezifische Zuordnung und Gruppierung von Objekten, z. B. Maschinentypen oder Baugruppen von Maschinen (Getriebe, Pumpen, Ventile, Elektronikbaugruppen) oder Aufgaben (Inspektion und Wartung)
 2. die Leistungsabstimmung der Gewerke und ihre zeitlich Synchronisation.
 3. die Anfangs- und Ablaufbedingungen, den Beginn, den Ablauf und das Ende der Arbeit, und trifft Sicherheitsvorkehrungen,
 4. den Transport der Instandhalter an die unterschiedlichen Standorte, um Arbeitsobjekte zu erreichen und zu verlassen bzw. zwischen Werkstatt und Einsatzort pendeln können; besonders relevant für dieses Problem ist die Optimierung der Wegezeiten und die damit im Zusammenhang stehenden Transportkosten.
5. Auf welcher Grundlage erfolgt die Entscheidung, ob der Maschinenbediener Instandhaltungsaufgaben übernimmt oder die Instandhaltungswerkstatt?

Nach dem Umfang der Instandhaltungsaufgabe(n), dem eventuellem Gefährdungspotential und der Qualifikation des Maschinenbedieners

6. Auf welcher Arbeitsstufe wird entschieden, welche Aufgaben aus Kompetenzgründen oder aus kapazitiven Gründen fremd vergeben werden müssen?

Auf der Stufe der Instandhaltungsjahresplanung. Hier werden die geplanten Kosten der Eigeninstandhaltung ermittelt, mit Angeboten verglichen und dann ggf. fremd vergeben.

7. Welche organisationsstrukturelle Eigenschaft des Unternehmens muss die Instandhaltung unterstützen?

Wandlungsfähigkeit

Auf eine flexible zeitliche Auslastung und auch Änderungen der strukturellen Organisation von Produktionsbereichen muss die Instandhaltung schnell reagieren bzw. sie antizipiert die Veränderungen der Betriebsmittelstruktur und stellt sich rechtzeitig darauf ein.

8. Welche vier Grundsätze gelten für die Organisationsstruktur im Instandhaltungsbereich eines Unternehmens und welche Voraussetzungen sind dazu erforderlich?

1. Flache Hierarchien, kurze Informationswege,
2. Kosten- und ergebnisorientierter Strukturaufbau (Sicherung der geforderten Verfügbarkeit)
3. Umsetzung optimaler Instandhaltungsstrategien,
4. Gewährleistung der Sicherheit und des Gesundheitsschutzes der Instandhalter insbesondere bei Vor-Ort-Instandhaltung.

9. Welche Vorteile hat die Übertragung von Instandhaltungsaufgaben an Produktionsteams?

- Erhöhung der persönlichen Verantwortung und Motivation der Mitarbeiter im Umgang der zu bedienenden Technik,
- gesteigertes Verantwortungsgefühl und Selbstkontrolle,
- persönliche Wertsteigerung durch Zusatzqualifikation sowie hohe Einsatzvariabilität,

- bessere Auslastung des Bedienungspersonals bei bedienarmer Fertigung.

10. Welche Probleme ergeben sich bei der Übertragung von Instandhaltungsarbeiten an Produktionsteams?

Sicherung der Qualität der Arbeitsleistungen durch Qualifizierung der Mitarbeiter und die Einhaltung der gesetzlichen Arbeits-, Gesundheits-, Brand- und Umweltschutzrichtlinien sind Problembereiche.

Das Produktionsmanagement muss über entsprechende Fachkompetenzen und Weisungsbefugnisse verfügen, die der angestrebten Organisationsaufgabe gerecht werden.

Die Anforderungen an Qualifikation und Erfahrungen für einbezogene Instandhaltungstätigkeiten müssen bei der Entlohnung angemessen abgegolten werden, wenn möglich in der Tariffhöhe, die den Produktionsaufgaben entspricht (weder wesentlich höheres noch wesentlich niedrigeres Niveau).

Eine besondere Form der Übertragung von Instandhaltungsaufgaben an Produktionsteams ist an die Einführung von Gruppenarbeit in den Produktionsprozessen gebunden. Da das deutsche Strafrecht keine Team- oder Gruppenverantwortung kennt, müssen alle sicherheitsrelevanten Team-Aufgaben aus den Organisationspflichten des Unternehmens heraus personengebunden zugeordnet sein. Gruppenarbeit entlastet deshalb Produktionsmanager nicht von ihrer Gesamtverantwortung für Arbeits-, Unfall-, Gesundheits-, Brand- und Umweltschutz in ihrem Zuständigkeitsbereich.

11.

- a) Welche allgemeinen Vorteile hat Gruppenarbeit?

Der Austausch verschiedenster Meinungen/Auffassungen/Sichtweisen/Erfahrungen und das Zusammentreffen verschiedenster Wissensstände, gepaart mit persönlichem individuellem Hintergrund, wirken einem einseitigen Blickwinkel auf die Arbeit entgegen. Dies trägt i.Allg. zu einer Qualitätssteigerung der Arbeitsleistung bei.

- b) Welche Gesichtspunkte sind bezüglich Gruppenarbeit bei Instandhaltungsarbeiten zu beachten?

Es ist zu klären, ob es sich um komplexe Instandhaltungsmaßnahmen, die u.U. das Wissen und die Erfahrung mehrerer Instandhalter voraussetzen oder ob es sich eher um leichtere Aufgaben handelt, die auch von einem einzelnen Instandhalter erledigt werden können?

12. Welche Kriterien bestimmen die Fremdleistungswürdigkeit von Aufgaben der Anlagenwirtschaft?

- Aufgaben hohen Schwierigkeitsgrades, die Spezialisten und Spezialausrüstungen erfordern bzw.
Aufgaben, die von Rechts wegen nur von dafür zugelassenen bzw. zertifizierten Unternehmen durchgeführt werden dürfen,
- einfache, aber auch zeit- und kostenaufwändige Routinearbeiten, die ein bestimmtes Knowhow erfordern, wie z. B. Ölwechsel und –reinigung sowie sach- und umweltgerechte Altölsorgung.

13. Welche wesentlichen Aufgaben sind dem Bereich der integrierten Instandhaltung eines Unternehmens zuzuordnen?

Inspektionsarbeiten, z. B. Prüfen auf Leckagen und ungewöhnliche Geräusche, ggf. Schwingungsmessung, Schmieren, Ergänzen, Nachstellen, Justieren, Reinigen, ggf. Verschleißteiletausch.

14. Unter Beachtung welcher Kriterien sind Make-or-Buy-Entscheidungen zu treffen? Begründen Sie Ihre Meinung!

1. Zeit
2. Personal/Kompetenz (Spezialisierung, Zertifizierung)
3. Verantwortung/Haftung/Sicherheit

4. Kosten

Instandhaltungsaufwendungen aus Dienstleistungsverträgen können als Pauschalkosten, Festkosten oder über Stundenverrechnungssätze abgerechnet und als Betriebsausgaben zugeordnet steuerlich abgesetzt werden.

15. Wie werden Schäden und ihre Folgen wegen fehlerhafter Instandhaltungstätigkeit abgesichert? Schäden und ihre Folgen werden durch die Betriebshaftpflichtversicherung des Fremunternehmens abgesichert.

16. Wie erfolgt die Regelung der Verantwortlichkeit bei Verletzung der Sorgfaltspflicht im Rahmen von Instandhaltungsarbeiten?

Alle Sorgfaltspflichten in der Organisation und Überwachung des Arbeits-, Gesundheits-, Brand- und Umweltschutzes müssen eindeutig und gesetzeskonform personengebunden festgelegt sein.

17. Welche wichtigen Angaben benötigen Sie, um ein Instandhaltungsprojekt als Eigenleistung oder als Fremdleistung vergleichend bewerten zu können?

- Leistungsbeschreibung,
- Zeitaufwand, gewünschte zeitliche Einordnung
- Kostenstruktur, -aufwand,
- Erforderliche fachliche Kompetenzen,
- Anforderungen an die Umwelt und Arbeitssicherheit,
- Übersicht der Genehmigungsverpflichtungen.

18. Nach welchen Gesichtspunkten erfolgt die Bewertung der Durchführbarkeit eines Dienstleistungsprojektes?

Die Durchführbarkeit richtet sich in erster Linie danach, ob es sich um eine genehmigungspflichtige Anlage handelt, die nur von einer dafür zertifizierten Firma instandhaltungsseitig betreut werden kann. An zweiter Stelle stehen die erforderlichen Kapazitäten und Ressourcen, die mit den zur Verfügung stehenden abgeglichen werden.

19. Erläutern Sie die wichtigsten Aspekte bei der Gestaltung von Dienstleistungsverträgen!

1. Vertragsgegenstand
2. Leistungen des AN
3. Leistungen des AG
4. Preise und Zahlungsbedingungen
5. Abnahme, Gewährleistung, Haftung
6. Schutzrechte, Geheimhaltung, Abrechnung
7. Sonstige Bestimmungen
8. Vertragsdauer, Kündigung
9. Schlussbestimmungen

20. Welche Vertragsarten sind bei der Übertragung von Instandhaltungsarbeiten üblich und welche Regelungen werden i. Allg. getroffen?

Üblich sind Werkverträge, Werklieferungsverträge, Dienstleistungsverträge. Der AN wird zur Realisierung einer qualitätsgerechten Dienstleistung, deren Inhalt im Vertrag geregelt ist, verpflichtet, der AG zur Entrichtung der vereinbarten Vergütung.

21. Worin besteht der Unterschied zwischen einem Werk- und einem Dienstleistungsvertrag?

Der Dienstvertrag verpflichtet den AN zur Erbringung der versprochenen Leistung, der AG zur Bezahlung der vereinbarten Vergütung. Gegenstand des Dienstvertrages können Dienste jeder Art sein. Ein Dienstvertrag verpflichtet nicht zu einer definitiven Erstellung eines Produktes sondern beschreibt lediglich den Gegenstand oder den Inhalt der zu erbringenden Dienste.

Der AN hat die Dienste im Zweifel in Person zu leisten. Der Anspruch auf die Dienste ist nicht übertragbar. Ein Dienstleistungsvertrag oder Dienstvertrag ist im Vergleich zum Werkvertrag sowohl für den AN wie auch für den AG ein wesentlich offeneres Vertragsverhältnis. Das ergibt sich aus den rechtlichen Grundlagen bezogen auf die Kündigung des Dienstverhältnisses.

Da ein Dienstverhältnis kein Arbeitsverhältnis i. S. des BGB ist, ist die Kündigung beispielsweise zulässig, wenn die Vergütung nach Tagen bemessen ist, an jedem Tag für den Ablauf des folgenden Tages. Bei einem Dienstleistungsvertragsverhältnis ist es ratsam, eine klare Verabredung über den Zeitraum und über den Inhalt der zu leistenden Dienste mit dem AG zu vereinbaren. Im Falle der Unterlassung steht dem AG auf Grundlage des BGB ein fast tägliches Kündigungsrecht zu.

22. Welchen Leistungsumfang umfasst ein Werkvertrag für eine Instandhaltungsleistung i. Allg.?

Der Werkvertrag ist im BGB durch die §§ 631 bis 651 geregelt. Der Werkvertrag verpflichtet den AN zur Realisierung einer qualitätsgerechten Dienstleistung, deren Inhalt im Vertrag geregelt ist. Der AG ist zur Entrichtung der vereinbarten Vergütung verpflichtet. Der Gegenstand des Werkvertrages kann sowohl die Herstellung oder Veränderung einer Sache als auch ein durch Arbeit oder Dienstleistung herbeizuführender Erfolg sein.

Der Werkvertrag verpflichtet demzufolge zur Abtretung einer definierten Leistung, die in der Regel nach bestimmten Abnahmekriterien bewertet wird. Dabei stellt der AN das Material und alle dazu notwendigen Ressourcen.

Lieferungen und Leistungen aus Werkverträgen sind rechtlich auf sehr sicher aber auch sehr verbindlich. Die Verbindlichkeit ist darin begründet, dass der Lieferant zu einer bestimmten Leistung oder Lieferung verpflichtet ist.

23. Welche Vorteile hat ein Rahmenvertrag für einen Dienstleister?

Die Geschäftspartner regeln alle Bedingungen, die für die Erfüllung einer bestimmten Instandhaltungsdienstleistung erforderlich sind. Hauptgegenstand sind die erwarteten Leistungen und Gegenleistungen der Vertragspartner, außerdem wird für beide Seiten die Beziehung von Aufwand und Nutzen überschaubar und kontrollierbar dargelegt. Ein Instandhaltungsrahmenvertrag ist dann erfolgreich, wenn er das zu erbringende Ergebnis möglichst exakt bestimmt und dabei noch genügend Spielraum zulässt, um den Instandhaltungsprozess an eine reale Situation anpassen zu können. Der Dienstleister übernimmt im Allgemeinen eine Verantwortung für ein gewünschtes Ergebnis/Werk bezüglich Eigenschaften, Terminen und/oder Kosten.

Bei Streitigkeiten im Rechtsfall kann sich der Dienstleister auf den Vertrag beziehen. Zur ordnungsgemäßen Erfüllung des Vertrages kann er seine Mitarbeiter nach Qualifikation selbst auswählen, die dann zur Instandhaltungsmaßnahme geschickt werden.

24. Welchen Inhalt hat ein Rahmenwerkvertrag für eine Instandhaltungsbetreuung?

Der AN erhält Verantwortung für die Verfügbarkeit der betreuten Maschinen. Er legt bestimmte Wartungs- und Inspektionsaufgaben inhaltlich fest und dokumentiert diese in den Instandhaltungsvorschriften. Für andere Arbeiten, besonders für einzuleitende Instandsetzungen, können nur der Entscheidungsweg und allgemeingültige Rahmenbedingungen für daraus notwendige Objektwerkverträge festgelegt werden. Der AN gestaltet den Instandhaltungsprozess im AG-Unternehmen teilweise oder vollständig in eigener Verantwortung. Dabei sind sowohl die Bedingungen eines Objektwerkvertrages als auch eines Rahmenvertrages einzuhalten. Die Projektdauer eines solchen Betreuungsvertrages sollte

lang genug geplant werden (mehrere Jahre), damit der AN auch Gelegenheit hat, die komplexe Verantwortung für die Funktionssicherheit zu übernehmen.

25. Welche wichtigen Aufgaben sind zur Arbeitsvorbereitung der Instandhaltung zu erfüllen?

1. Erarbeitung von Monats-, Wochen- und Tagesaufträgen, die mit Prioritäten unter Berücksichtigung des Risikos ausgestattet werden, und der Tatsache, dass sich die Dauer von Instandhaltungsarbeiten nicht immer exakt vorplanen lässt.
2. Typische Arbeitsabläufe (Art und Reihenfolge der einzelnen Operationen, zweckmäßige Ausrüstungen u. Ä.) werden unter Berücksichtigung notwendiger Sicherheitsvorschriften, auf die in den Arbeitsaufträgen verwiesen werden kann, erarbeitet.
3. Richtwerte und Normative für Zeitvorgaben (u. U. in Abhängigkeit von der Anzahl gleichzeitig eingesetzter Instandhalter), Materialverbrauch und Qualitätsanforderungen abgrenzbarer Instandhaltungstätigkeiten sind festzulegen.
4. Benötigte Ersatzteile werden
 - a) über eine vorbereitete Reserve- oder Vorratshaltung im Produktionsunternehmen oder bei einem Kooperationspartner,
 - b) im Bedarfsfall durch normale Kauf bzw. Ersatzteil-Eildienste beim Hersteller bereitgestellt.
5. Für Anpassungen der Arbeitsverläufe sind die Entscheidungskompetenzen der involvierten Personen zu bestimmen, da ggf. noch während der Durchführung vor Ort und kurzfristig Entscheidungen zu treffen sind, die ggf. vom Plan abweichen. Da der Instandhalter oft selbständig arbeitet, ist die Übertragung von bestimmten Entscheidungskompetenzen im Sinne eines flüssigen Arbeitsablaufs von Vorteil.

26. Erläutern Sie die Schwerpunkte eines erfolgreichen Personalmanagements in der Anlageninstandhaltung!

Aufbau motivierender Arbeitsbeziehungen, Entwicklung ausgeprägter Fachkompetenz und Schaffung einer Atmosphäre gegenseitigen Vertrauens

27. Über welche wichtigen Nachweise sollte ein Instandhalter verfügen?

Nachweis von

- Berechtigungsscheine, z. B. für bestimmte Schweißarbeiten,
- körperliche Belastbarkeit, Höherentauglichkeit,
- Arbeitsfähigkeit bei hohen Temperaturen oder in engen Räumen und
- andere spezielle Anforderungen an Instandhalter für die Durchführung bestimmter Arbeiten

28. Erläutern Sie den § 29 der Unfallverhütungsvorschrift „Kraftbetriebene Arbeitsmittel – VBG 5“ (einschließlich Durchführungsanweisungen)!

Der Unternehmer hat dafür zu sorgen, dass kraftbetriebene Arbeitsmittel mit gefahrbringenden Bewegungen einschließlich ihrer Schutzeinrichtungen, Einrichtungen mit Schutzfunktion und ihrer Verriegelungen oder Kopplungen vor der ersten Inbetriebnahme, in angemessenen Zeitabständen und - nach Änderungen oder Instandsetzungen auf ihren sicheren Zustand, mindestens jedoch auf äußerlich erkennbare Schäden und Mängel, durch Sachkundige überprüft werden.

Instandsetzungsarbeiten an Teilen, die für die Sicherheit Bedeutung haben, müssen fachgerecht ausgeführt werden.

29. Wie definiert die Unfallverhütungsvorschrift den Begriff „Sachkundige Personen“?

Sachkundige sind Personen, die aufgrund ihrer fachlichen Ausbildung und Erfahrung ausreichende Kenntnisse auf dem Gebiet des zu überprüfenden kraftbetriebenen Arbeitsmittels haben und mit den einschlägigen staatlichen Arbeitsschutzvorschriften, Unfallverhütungsvorschriften, Richtlinien und allgemein anerkannten Regeln der Technik (z. B. DIN-Normen, VDE-Bestimmungen) soweit vertraut sind, dass sie den arbeitssicheren Zustand des kraftbetriebenen Arbeitsmittels beurteilen können.

30. Was verstehen Sie unter fachgerechtem Instandsetzen?

Fachgerechtes Instandsetzen bedeutet, dass die ursprüngliche Sicherheit und Zuverlässigkeit wieder erreicht wird. Dazu gehört, dass

1. Ersatzteile in Qualität und Funktion den Originalteilen gleichwertig sind und
2. Instandsetzungsarbeiten von Personen mit entsprechender fachlicher Qualifikation durchgeführt werden (z. B. kompetente Personen, Facharbeiter, Sachkundige).

Kapitel 9 Ersatzteilemanagement

1. Definieren Sie den Begriff „Ersatzteil“!

Ersatzteile sind austauschbare Elemente einer Maschine oder Einrichtung. Sie sind wesentlicher Bestandteil der Instandhaltungs- und Reparaturvorgänge und erhalten die Funktionsfähigkeit aufrecht bzw. stellen diese wieder her.

2. Wodurch sind Ersatzteile besonders gekennzeichnet?

Es handelt sich um Maschinenteile und Baugruppen, die im Verlauf des Wertschöpfungsprozesses „verzehrt“ werden und mit deren Schadhaftwerden gerechnet werden muss. Sie müssen daher vorrätig gehalten werden, um Wartezeiten zu vermeiden. Grundlage bildet der Ersatzteilebedarf.

3. Welche Ersatzteilarten kennen Sie? Erläutern Sie diese kurz!

1. Originalteil: Es handelt sich um baugleiche Teile des Primärherstellers, die mit dem auszutauschenden Teilen identisch sind.
2. Austauschteil (AT): Austauschteile sind vom Hersteller (oder der Instandhaltung) aufgearbeitete Ersatzteile, bei denen alle Verschleißteile gegen Neuteile ausgetauscht wurden. Von der Qualität unterscheiden sie sich nur gering vom Neuteil. Bei Bestellung eines Austauschteils wird i.d.R. das Altteil abgegeben, um es zu regenerieren (wenn machbar). Austauschteile sind meistens preisgünstiger als ein Originalteil.
1. Identteil: Ein Identteil ist ein identisches Nachbauteil des Herstellers, das nicht dessen Markenlogo trägt, weil es möglicherweise von einem anderen Unternehmen gefertigt bzw. bezogen wurde. Qualität und Zuverlässigkeit entsprechen dem Originalteil, da es meist vom Kooperationspartnern des Herstellers produziert wird. Es ist meist preisgünstiger als das OEM-Teil.
2. Nachbauteil: Nachbauteile werden nicht vom Hersteller oder dessen Zulieferer produziert und sind daher nicht 100 %ig baugleich. Es können daher auch Qualitätsunterschiede auftreten zum Originalteil. Preislich sind diese Teile meist am günstigsten von allen vier Ersatzteilarten.

4. Welche Kenngrößen der Instandhaltung beeinflussen die Qualität des Ersatzteilemanagements in besonderem Maße?

Zuverlässigkeit und Ausfallrate sowie Ersatzteilverfügbarkeit und –bereitstellung kennzeichnen die Qualität des Ersatzteilemanagements.

5. Welche Struktureinheiten eines Unternehmens sind am Ersatzteileswesen beteiligt?

- Anlagenwirtschaft/Betriebsmittelplanung,
- Instandhaltung,
- Disposition,
- Einkauf (Beschaffung),
- Lagerhaltung,
- Rechnungswesen,
- Normenstelle.

Wichtig sind:

- schnelle Bestellabwicklung,
- übersichtliche Lagerbestandsführung und
- rationelle Erstellung von Verzeichnissen und Berichten.

Mit Hilfe dieser Unterlagen wählt die Instandhaltung, ggf. gemeinsam mit dem Betreiber, die Ersatzteile für die betreffende Betrachtungseinheit aus. Außerdem wird der jährliche Bedarf oder ein Mindestbestand festgelegt.

6. Welche Organisationsmittel stehen dem Ersatzteileswesen zur Verfügung?

1. Festlegung der Aufgaben und klare Trennung der Kompetenzen sowie eine zielorientierte Vorgehensweise aller Beteiligten,
2. Ressourcen (Personal, Hardware, Software) zur Durchführung der entsprechenden Aufgaben,
3. Angaben über die geforderte Verfügbarkeit der einzelnen BE,
4. organisatorische Hilfsmittel,
5. ordnungsgemäße Lagerungsmöglichkeiten,
6. instandhaltungsgerechte Unterlagen

7. Welche Unterlagen sind für die Ersatzteilebereitstellung erforderlich?

1. Stücklisten,
2. Ersatzteilelisten und -empfehlungen des Herstellers,
3. technische Zeichnungen,
4. Funktionsbeschreibungen, Betriebs- und Instandhaltungsanweisungen,
5. Angaben über spezielle Werkzeuge, Vorrichtungen und Hilfsmittel

8. Wonach richtet sich im Wesentlichen der Bedarf an Ersatzteilen?

Der Jahresbedarf oder Mindestbestand des betreffenden Ersatzteils wird von der Instandhaltung bestimmt.

1. Qualität der Anlage und ihrer Bestandteile
2. Nutzungsgrad der Anlage
3. Abnutzungszustand, Anlage ist von Abnutzungserscheinungen betroffen
4. Wechselrate aus Sicherheitsgründen

9. Nach welchen Gesichtspunkten sind die Stammdaten für die Ersatzteile zu bestimmen?

1. Die betriebspezifisch festzulegende Ersatzteilnummer(Identifikationsnummer)
2. Technische Daten, die die Teile charakterisieren
3. Bauteil- bzw. Ersatzteilhersteller
4. Informationen zur „Direktbeschaffung“ (Name, Adresse, Bestellnummer)
5. Preis pro Mengeneinheit wird aus einem entsprechenden Angebot entnommen oder geschätzt, wenn der Hersteller bei Anfragen keine Angaben macht. Eine Aktualisierung erfolgt dann nach der Beschaffung.

10. Nach welchen Kriterien erfolgt die Klassifizierung der Ersatzteile?

Artikel-Wert-Statistik ABC-Analyse, XYZ-Analyse

11. Wozu ist der Ersatzteileverwendungsnachweis erforderlich?

Im Ersatzteileverwendungsnachweis wird ausgewiesen, für welche Maschinen bzw. Anlagen eine Ersatzteilposition bevorratet wird. Der Verwendungsnachweis dient:

- zur Vorratsplanung,
- bei nicht geplanter Lagerentnahme einer BE zur Risikoabschätzung im Falle der Nichtverfügbarkeit,
- der Erfassung technischer Änderungen am Ersatzteil (z. B. Schwachstellenbeseitigung) oder der Umstellung des Lieferprogramms beim Hersteller,
- bei Außerbetriebnahme einer BE zur Feststellung, ob Ersatzteile ausgelagert oder die Sicherheitsbestände des Ersatzteils für andere, verbliebene Einsatzorte reduziert werden können.

12. Nach welchen Gesichtspunkten erfolgt die Vorratsplanung?

Die Vorratsplanung dient der Bestimmung der Vorratsmenge an Ersatzteilen und der Planung der Lagerhaltung.

Sicherheitsbestände dienen dem Ausgleich von Lieferungsverzögerungen (Lieferzeitüberziehung; Fehllieferungen) bzw. plötzlich auftretendem Mehrbedarf (Entnahmeüberziehung als Folge fehlerhafter Vorratspolitik). Wichtig die rechtzeitige Bestellung (Meldebestand). Außerbetriebliche und / oder organisatorische Gründe können allerdings einen festen Bestell- bzw. Anlieferungsrythmus nahelegen. Die geplanten und beschafften Ersatzteile müssen im Unternehmen gelagert werden. Die Planung der Lagerhaltung erstreckt sich auf die Bestimmung der Lagerbauart, der Lagereinrichtung und der Transportmittel und -hilfsmittel.

13. Welche Daten enthält eine Bestellanforderung für Ersatzteile?

Bezeichnung des Ersatzteils, Menge, Bestelldatum, Lieferzeitraum

14. Erläutern Sie die Funktionen eines Ersatzteillagers!

Überbrückungsfunktion	Die Überbrückung der zeitlichen Differenz von Herstellungszeitpunkt und Ersatzteileverbrauch erfordert ein Pufferlager und ist kostenintensiv. Die Überbrückungsdauer ist von den ausgehandelten Liefer- und Leistungsbedingungen sowie dem Planungsgrad der Instandhaltung abhängig. Ein hoher Planungsgrad reduziert die Überbrückungsdifferenzen und damit die Lagerhaltungskosten.
Sicherungsfunktion	Trotz bester Planung bleiben plötzliche Ausfälle (ad-hoc-Ausfälle) nicht aus. Aber auch Lieferanten und Ersatzteilehersteller unterliegen stochastischen Einflüssen. Um die Verfügbarkeit zu sichern, müssen auch Ersatzteile vorgehalten werden.
Bereitstellungsfunktion Kontrollfunktion Transport- und Umschlagfunktion	Gewährleistung der Bereitstellung bei Anforderung in der benötigten Menge und Qualität sowie Rücknahme gebrauchter Ersatzteile (Verwertung und Entsorgung)
Steuerungsfunktion	Steuerung nachfolgender Läger (nur wenn ein Zentrallager vorhanden ist)

15. Welche Dokumente sind im Zusammenhang mit dem Ersatzteilemanagement anzufertigen?

Ersatzteilverzeichnisse sind im Wesentlichen Zusammenstellungen von Ersatzteilstammdaten, die sich nach bestimmten Kriterien richten.

In der Ersatzteilliste je Maschine/Anlage werden die wichtigsten Stammdaten der Teile aufgeführt, die für die betreffende Anlage als Ersatzteile festgelegt wurden. Zweckmäßigerweise erfolgt die Gliederung

nach Baugruppen.

Die Ersatzteilliste wird benötigt

- zur Ermittlung der Ersatzteilnummer, z. B. bei der Entnahme,
- zur Bestands-/Bedarfsreduzierung bei Außerbetriebnahme (Verschrottung) der BE und
- bei technischen Änderungen an der BE.

Im Ersatzteilverwendungsnachweis wird ausgewiesen, für welche Maschinen bzw. Anlagen eine Ersatzteilposition bevorratet wird. Der Verwendungsnachweis dient:

- zur Vorratsplanung,
- bei nicht geplanter Lagerentnahme einer BE zur Risikoabschätzung im Falle der Nichtverfügbarkeit,
- der Erfassung technischer Änderungen am Ersatzteil (z. B. Schwachstellenbeseitigung) oder der Umstellung des Lieferprogramms beim Hersteller,
- bei Außerbetriebnahme einer BE zur Feststellung, ob Ersatzteile ausgelagert oder die Sicherheitsbestände des Ersatzteils für andere, verbliebene Einsatzorte reduziert werden können.

16. Was verstehen Sie unter Servicegrad und welche Aussagekraft besitzt er für die Ersatzteileplanung?

Der Servicegrad ist ein Maßstab zur Feststellung, inwieweit die Nachfrage nach dem Ersatzteil aus dem bestehenden Vorrat jederzeit gedeckt werden kann. Er gibt das Verhältnis zwischen tatsächlich befriedigtem und benötigtem Bedarf an. Als Indikator für die Berechnung des Sicherheitsbestandes im Rahmen der betrieblichen Lagerhaltungsstrategie bezieht sich der Servicegrad auf distributionslogistische Vorräte. Der Servicegrad ist die Wahrscheinlichkeit, dass der Empfänger die Leistung vollständig, korrekt und termingerecht erhält

17. Erläutern Sie die Unterschiede zwischen α -, β - und γ -Servicegrad!

Sie unterscheiden sich in ihrer Orientierung:

Ereignisorientierung: Wahrscheinlichkeit, dass das Ereignis „Fehlmenge“ nicht auftritt bzw. das Verhältnis der Wiederbeschaffungszeiträume, in denen keine Fehlmengen auftreten zur Gesamtzahl der Wiederbeschaffungszeiträume,

Mengenorientierung: Verhältnis des sofort befriedigten Bedarfs zum Gesamtbedarf

Zeitorientierung: Verhältnis des Erwartungswerts der vom Lager unverzüglich erfüllten, bzw. (sofort) ausführbaren Aufträge zur Gesamtzahl der Aufträge.

Der α -Lieferbereitschaftsgrad gibt Auskunft über die Wahrscheinlichkeit, dass der Bedarf in der Wiederbeschaffungszeit voll gedeckt wird. Der β -Servicegrad erfasst die Höhe der eingetretenen Fehlmenge. Entspricht der jeweilige Lagerabruf stets der Menge = 1, dann sind α -Servicegrad und β -Servicegrad kongruent. Der γ -Servicegrad ist das Verhältnis des Erwartungswerts der vom Lager unverzüglich erfüllten Aufträge zur Gesamtzahl der Aufträge.

16. Charakterisieren und bewerten Sie die Aussagekraft des δ -Servicegrades!

Der δ -Servicegrad orientiert sich direkt an der Erwartungshaltung des Kunden, jederzeit vom Lager beliefert werden zu können. Für den einzelnen Bedarfsträger ist es unerheblich, ob sich das Lager momentan in der Wiederbeschaffungsphase befindet oder welcher Anteil des Gesamtbedarfs sofort befriedigt werden kann. Den Kunden interessiert, ob das Lager zu einem beliebigen Zeitpunkt lieferfähig ist oder nicht. Daher spricht man auch vom zeitorientierten Servicegrad.

Da dieser Servicegrad die Erwartungshaltung des Kunden widerspiegelt, hat dieser Servicegrad eine geringere Aussagekraft als die anderen Servicegrade.

17. Was verstehen Sie unter Umschlagshäufigkeit und wie lässt sie sich bei der Ersatzteileplanung beeinflussen?

Zeigt an, wie oft sich das Lager in der Verbrauchsperiode umschlägt. Veränderungen beeinflussen die Lagerhaltungs- und Kapitalbindungskosten sowie die Qualität und Nutzungsmöglichkeiten des Materials (Korrosion, Alterung).

Erfahrungswerte geben Aufschluss über die Umschlagshäufigkeit, sodass die Ersatzteilbeschaffung zeitnah zum benötigten Einsatztermin erfolgen kann und es nicht zu Alterungserscheinungen an den Ersatzteilen aufgrund von Überlagerung, und somit zum Qualitätsverlust kommt

18. Was verstehen Sie unter Lagerreichweite und wie lässt sie sich bei der Ersatzteileplanung beeinflussen?

Die Reichweite ist der Zeitraum, für den ein Lagerbestand bei einem durchschnittlichen oder geplanten Ersatzteileverbrauch oder -bedarf ausgelegt ist und Ausdruck für die innere Versorgungssicherheit. Aus Erfahrungswerten lässt sich eine längerfristige Planung über mehrere Perioden erarbeiten.

Kapitel 10 Kennzahlen zur Beurteilung der Instandhaltung

1. Erläutern Sie die Aufgabencluster der Instandhaltung!

Konstruktion der Maschine/Anlage:

- Fehler im Entwurf/Pflichtenheft
- Über-/Unterdimensionierung
- ungenügende Berücksichtigung der Einsatzbedingungen
- keine instandhaltungsgerechte Konstruktion

Umfeld der Maschine/Anlage

- zu hohe Lagerbestände
- ungenügende Bewegungsfreiheit an der Maschine
- schlechte Arbeitsvorbereitung und -planung
- hohe Wartezeiten
- schlecht strukturierte Flusssysteme

Qualifikation des Bedienpersonals

- ungenügende Ausbildung
- Fehlbedienung
- schlechte Wartung und Pflege
- unachtsamer Umgang
- Unordnung am Arbeitsplatz

Instandhaltung

- falsche Make-or-Buy-Entscheidungen
- ungünstiger Mix von Eigen- und Fremdinstandhaltung
- ineffiziente Instandhaltungsorganisation und -strategien
- begrenzte einsetzbare Ressourcen

Management

- fehlende Führungsstärke, keine Vorbildwirkung
- Managementfehler
- ungenügende Motivation der Mitarbeiter
- falsche Arbeitsmethoden

2. Was verstehen Sie unter Gesamtanlageneffektivität und wie können Sie diese Kenngröße beeinflussen?

Mit dem Begriff der Gesamtanlageneffektivität wird im Allgemeinen die Verfügbarkeit einer Maschine oder Anlage definiert. Die G. setzt sich aus den Komponenten Nutzungs-, Leistungs- und Qualitätsgrad zusammen. Die Gesamtanlageneffektivität lässt sich somit durch eine Veränderung (idealerweise Optimierung) der einzelnen Komponenten/Parameter beeinflussen.

Produkt aus Nutzungsgrad, Leistungsgrad und Qualitätsgrad

3. Was verstehen Sie unter dem Nutzungsgrad einer Anlage und wie können Sie den Nutzungsgrad verbessern?

Mit dem Nutzungsgrad wird das Verhältnis der realen Betriebszeit zur geplanten Betriebszeit einer Anlage/Maschine beschrieben. Somit werden alle Stillstandszeiten (störungs-, organisatorisch oder technologisch bedingt) erfasst. Störungsbedingte Stillstandszeiten lassen sich durch Anwendung der Präventivmethode vermindern bzw. verhindern. Durch Optimierungen im Prozessablauf können die technologisch bedingten Stillstandszeiten verringert werden. Auf eine gut strukturierte Planung und Organisation des Prozesses, nicht nur in Bezug auf die zu erledigenden Tätigkeiten des Bedieners, sondern beispielsweise auch im Hinblick auf die Verfügbarkeit des zu verarbeitenden Materials, ist zu achten. Jegliche Fehler, die sich negativ auf die optimale Nutzung bzw. Nutzbarkeit der Anlage auswirken (beispielsweise eine nicht-fachgerechte Bedienung, Mängel in der Konstruktion, falsch gelieferte Bestellungen, usw.), sind zu vermeiden.

4. Was verstehen Sie unter dem Leistungsgrad einer Anlage und wie können Sie diese Kenngröße verbessern?

Der Leistungsgrad gibt das Verhältnis der realen zur theoretisch möglichen Leistung einer Anlage innerhalb der tatsächlichen Betriebszeit an. Eine Beeinflussung des Leistungsgrads wird u.a. durch kurze Stopps und/oder verringerte Prozessgeschwindigkeiten erreicht, wohingegen größere Störungen oder Ausfälle auf Grund von Rüstvorgängen einen Einfluss auf den Nutzungsgrad ausüben. Bei vermindertem Leistungsgrad wird die geplante Ausbringungsmenge nicht realisiert. Eine kritische Überprüfung und ggf. entsprechende Optimierung der Anlagenparameter kann zu einer Erhöhung des Leistungsgrads führen. Die Korrosion oder auch der Verschleiß von einzelnen Bauteilen können sich negativ auf den Leistungsgrad der gesamten Anlage auswirken.

5. Was verstehen Sie unter dem Qualitätsgrad einer Anlage und wie können Sie diese Kenngröße verbessern?

Qualitätsgrad ist das Verhältnis der qualitätsgerecht produzierten Teile zur produzierten Gesamtmenge. Da die Einflussfaktoren auf die Qualität unterschiedlicher Natur sein können, kann kein direkter Zusammenhang zwischen dem Qualitätsgrad und beispielsweise der Zuverlässigkeit der Maschine hergestellt werden. Beeinflussend auf den Qualitätsgrad wirken beispielsweise der subjektive Einfluss des Maschinen- bzw. Anlagenbetreibers, die Qualität des Materials und die Wahl der Fertigungstechnologie. Durch integrierte Qualitätssicherungssysteme und ein verbessertes Qualitätsmanagement wird Verlusten durch Ausschuss und Nacharbeit entgegengewirkt.

6. Was verstehen Sie unter Instandhaltbarkeit?

Die Instandhaltbarkeit beschreibt die Wahrscheinlichkeit dafür, dass die benötigte Zeitdauer für eine Reparatur bzw. Wartung kleiner als ein vorgegebenes Intervall ist, wenn die Instandhaltung unter definierten materiellen und personellen Bedingungen erfolgt.

Die Instandhaltbarkeit umfasst außer der eigentlichen Reparaturzeit den Gesamtzeitraum zwischen Ausfallerkennung bzw. Abschaltung und Wiederinbetriebnahme der Anlage.

7. Welche konstruktiven Aspekte bestimmen die Instandhaltbarkeit direkt?

1. Entwicklung und Realisierung eines Konzepts für eine automatische Ausfallerkennung bis zum Niveau Baugruppe (zwischen Zustandsprüfung und Betriebsüberwachung prüfen, bewerten und entscheiden),
2. Entwicklung und Realisierung eines Konzepts für eine automatische oder halbautomatische Ausfalllokalisierung bis zum Niveau Ersatzteil (verborgene Schäden und mögliche Defekte sind einzubeziehen),
3. konsequente Systemmodularisierung mit klarer Ersatzteilstruktur (die Module sollen möglichst unabhängig sowie elektrisch und mechanisch leicht voneinander differenzierbar sein),
4. Ersatzteile entwickeln und herstellen, die leicht auswechselbar und mit marktüblichen Einrichtungen prüfbar sind,
5. größtmögliche Standardisierung für Bauteile, Werkzeuge, Prüfmittel anstreben,
6. Bedarf an externen Prüfmitteln für die Instandhaltung auf Ebene Gerät oder System minimal halten,
7. Umweltbedingungen (thermische, klimatische, mechanische usw.) im Betrieb sowie während des Transports und der Lagerung berücksichtigen,
8. Bedienung, Wartung und Instandsetzung möglichst einfach gestalten (instandhaltungsgerecht),
9. Sicherheit des Bedienungs- und Wartungspersonals stets gewährleisten,
10. Bedienungs-, Wartungs- und Instandsetzungsverfahren in entsprechenden Handbüchern klar und knapp beschreiben.

8. Was verstehen Sie unter *Mean Time Between Failure (MTBF)*?

Als MTBF wird der mittlere Ausfallabstand von BE mit konstanter Ausfallrate $\lambda(t)$ bezeichnet...

9. Was verstehen Sie unter *Mean Time To Failure (MTTF)*?

Im Falle des Nachweises einer steigenden als die Ausfallrate jedoch steigt, wird der Ausdruck MTTF verwendet.

10. Was verstehen Sie unter Instandhaltungskennziffern?

Kennziffern werden i.A. als Ziel- und Beurteilungsgrößen verwendet. Mit ihnen ist es möglich, Potenziale aufzudecken und eine Erfolgsmessung der evtl. durchgeführten Verbesserungsmaßnahmen hinsichtlich des Störungsverhaltens durchzuführen

11. Erläutern Sie den Begriff Anlagenbewirtschaftungsquote und nennen Sie Maßnahmen zu ihrer Verbesserung!

Die Anlagenbewirtschaftungsquote beschreibt das Verhältnis vom Wiederbeschaffungswert einer Maschine oder Anlage zu einer Bezugsgröße, die den Instandhaltungsaufwand widerspiegelt (z.B. die Anzahl der eingesetzten Instandhalter). Eine Verringerung der eingesetzten Ressourcen (z.B. eine verringerte Anzahl von Instandhaltern) wirkt sich positiv auf sie aus.

12. Erläutern Sie den Begriff Instandhaltungsgrad! Worauf weist ein gesteigener Instandhaltungsgrad hin? Wie können Sie diese Kenngröße beeinflussen?

Der Instandhaltungsgrad stellt das prozentuale Verhältnis von Instandhaltungszeitaufwand und Soll-Belegungszeit der Maschine bzw. Anlage dar. Berücksichtigt werden alle geplanten und nicht geplanten Instandhaltungsarbeiten. Grundsätzlich wird von einer maximalen wöchentlichen Arbeitszeit und 3 Schichten/Tag x 8 h/Schicht x 7 Tage/Woche ausgegangen. Von dieser theoretisch möglichen Zeit ist die Zeit, in der keine Produktion geplant ist, abzuziehen. In einem Unternehmen, welches zehn Schich-

ten pro Woche Produktion geplant hat, beträgt dann die Soll-Laufzeit je nach Tarifmodell 75 bis 85 Stunden. Dieser Umfang bildet die Basis, von der in der Praxis ein gewisser Teil für Instandhaltungsmaßnahmen benötigt wird. Ein gesteigerter Instandhaltungsgrad weist auf einen gesteigerten Zeitaufwand für Instandhaltungsmaßnahmen (Wartung, Inspektion, Reinigung, Überprüfung, Störungssuche und Reparatur) hin. Grundvoraussetzung zur Verringerung des Instandhaltungsgrades ist eine tiefgründige Prozessanalyse. Die Ausfälle lassen sich wie folgt strukturieren:

- Verluste durch technisch bedingte Störungen und Defekte,
- Verluste durch geplante Instandhaltungsmaßnahmen,
- Verluste durch Reinigungsarbeiten.

Verluste durch Störungen und Defekte können im Wesentlichen durch vorbeugende Instandhaltungsmaßnahmen reduziert werden. Dazu gehören u. a.

- regelmäßige Wartung und Inspektionen,
- zustandsorientierte Überwachung der Maschinen und Anlagen,
- präventive Instandhaltungsmaßnahmen,
- Schaffung entsprechender Redundanzen und Ausweichmöglichkeiten.

13. Erläutern Sie den Begriff „*Instandhaltungskostenrate*“! Worauf weist eine gestiegene Instandhaltungskostenrate hin? Wie können Sie diese Kenngröße beeinflussen?

Die Instandhaltungskostenrate ist ein Ausdruck des Kostenaufwandes für Instandhaltung, bezogen auf die geleisteten Betriebsstunden und damit ein Ausdruck für die Anfälligkeit der Technik. Die Instandhaltungskostenrate charakterisiert die Eigenleistung der Instandhaltung, indem die Fremdleistungskosten herausgerechnet werden. Eine gestiegene Instandhaltungskostenrate könnte auch auf eine Erhöhung der Fremdleistungspreise hinweisen.

14. Wodurch können Sie die „*Störungsbedingte Minderleistungsquote*“ verringern?

Durch eine Verringerung des Produktionsausfalls infolge von Störungen, beispielsweise durch den Einsatz der Präventivmethode, lässt sich die „*Störungsbedingte Minderleistungsquote*“ verringern.

15. Erläutern Sie den Begriff „*Technisch bedingte Stillstandsquote*“! Worauf weist eine gestiegene technisch bedingte Stillstandsquote hin? Wie können Sie diese Kenngröße beeinflussen?

Die technisch bedingte Stillstandsquote erfasst die Anzahl der Ausfälle infolge technisch bedingter Störungen. Die Kennziffer gibt an, wie hoch der Zeitanteil infolge von technisch bedingten Störungen an der gesamten produktiven Zeit ist. Maßnahmen zur Reduzierung der technischen bedingten Stillstandsquote sind:

1. Ermittlung der Ursachen für Ausfälle
2. Vorbeugende Instandhaltung
3. Befundabhängige Instandhaltung

16. Was ist unter Produktionsbehinderung zu verstehen, wie messen Sie diese und welche ökonomischen Auswirkungen hat die Kennziffer, wenn sie zunimmt?

Der Produktionsbehinderungsgrad drückt den Anteil des Instandhaltungsaufwandes in Mannstunden oder Geldeinheiten in der nicht produktionsfreien Zeit am Instandhaltungsgesamtaufwand aus. Er zeigt an, in welchem Umfang die Produktion behindert wird. Es ergeben sich wirtschaftliche Verluste durch Maschinenstillstände und Überstundenzuschläge, die zu den regulären Lohnkostensätzen hinzukommen.

17. Welchen Einfluss hat der Abhängigkeitsgrad auf die Entwicklung der Kernkompetenzen?

Das Ziel besteht darin, einen optimalen Unabhängigkeitsgrad anzustreben. Dabei stehen die Konzentration der eigenen Instandhaltungsaktivitäten auf Engpassmaschinen und die Erhaltung der Kernkompetenzen im Vordergrund. Weiterhin sind die Instandhaltungsstrategien zu optimieren, um Kosten zu senken.

18. Welche Kriterien sind bei der Entscheidung für die Fremdvergabe von Instandhaltungsleistungen heranzuziehen?

Instandhaltungsaktivitäten feststellen. Vorteilhaft ist die Fremdvergabe von Routine-, Reinigungs- und Wartungsarbeiten sowie des gesamten Facility-Managements. Die Konzentration auf die eigenen Instandhaltungsaktivitäten (insbesondere bei Engpassmaschinen) und die Erhaltung der betriebseigenen Kernkompetenzen sollte im Vordergrund stehen und nicht vernachlässigt werden. Wesentlich ist zudem auch, dass das spezifische Zustandswissen und das Know-how des Vergabeunternehmens vor Verlust geschützt wird.

19. Welche Methoden zur Erschließung von Verschwendungspotenzialen kennen Sie?

PDCA-Zyklus (Plan-Do-Check-Act)

DMAIC-Kreis (Define-Measure-Analyze-Improve-Control)

6-stufiger Problemlösungsansatz:

20. Erläutern Sie den Problemlösungsansatz!

1. Problem identifizieren
2. Lösungsvorschläge sammeln
3. Lösungsvorschläge bewerten, selektieren, entscheiden
4. Maßnahmenplan erstellen
5. Lösung realisieren
6. Lösungsbewertung, Kontrolle