

---

---

---



## Instandhaltung

### Skript

Dipl.-Ing. Thomas Amhaus  
Fakultät Maschinenwesen

## Inhaltsverzeichnis

- 1 Ziele und Aufgaben der Instandhaltung**
  - 1.1 Definitionen
  - 1.2 Instandhaltungsarten
  - 1.3 Instandhaltungsmaßnahmen
- 2 Schädigungsverhalten technischer Ausrüstungen**
  - 2.1 Verschleiß
  - 2.2 Korrosion
  - 2.3 Ermüdung
  - 2.4 Alterung
  - 2.5 Überlastung
- 3 Schädigungsprozesse**
  - 3.1 Schädigungsgrenzen
  - 3.2 Stochastik der Schädigung
- 4 Gesetze, Regeln, Normen zur Instandhaltung**
- 5 Instandhaltungstechniken**
  - 5.1 Wartung
  - 5.2 Inspektion
  - 5.3 Instandsetzung
  - 5.4 Verbesserung
- 6 Instandhaltungskonzepte**

# 1 Ziele und Aufgaben der Instandhaltung

## 1.1 Definitionen

Maschinen und Anlagen unterliegen bei der Erfüllung ihrer technischen Funktion unterschiedlichen physikalischen und stofflichen Einwirkungen.

Allgemein als **Beanspruchung** bezeichnet

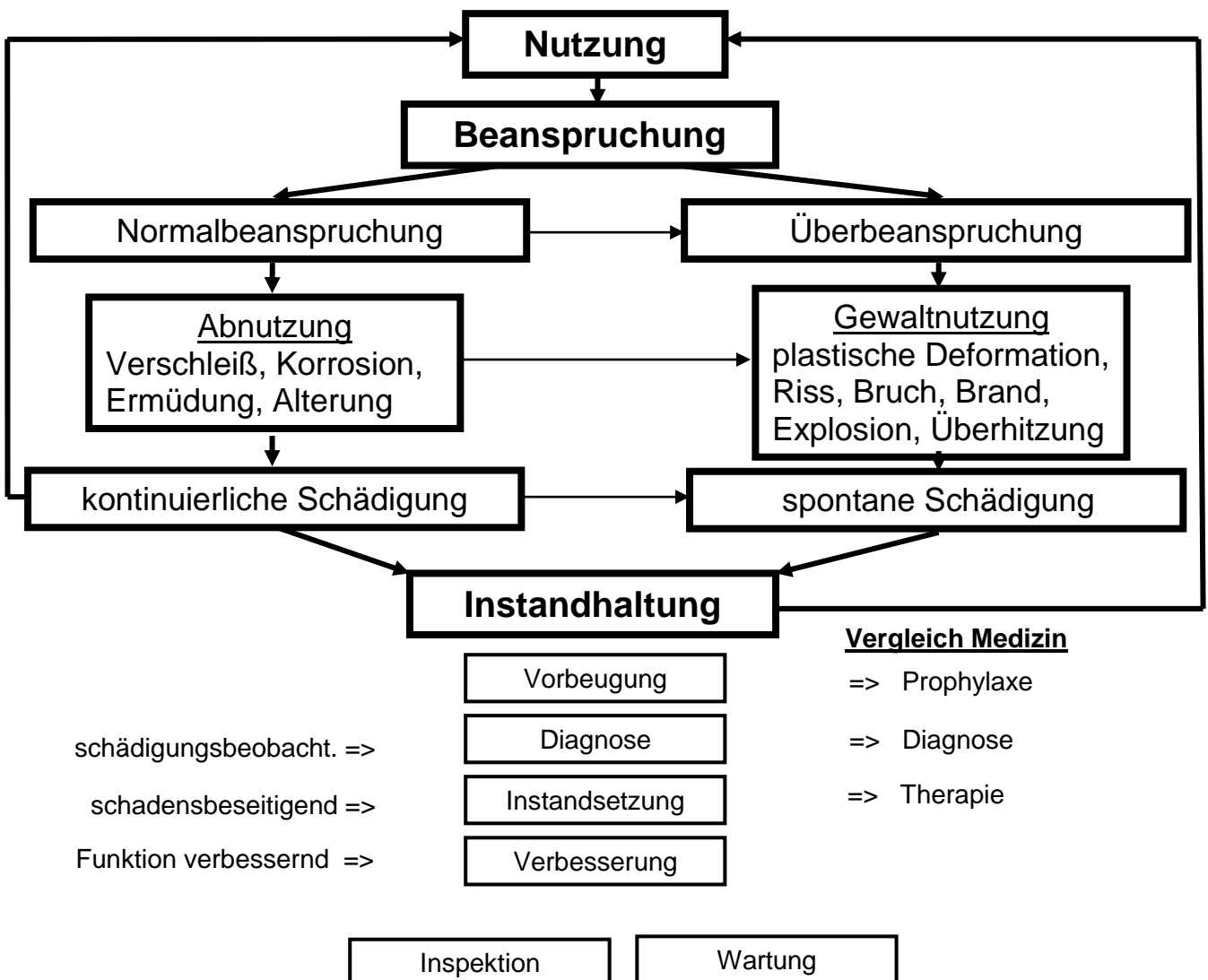
Diese **Beanspruchungen** ziehen irreversible mikrophysikalische Veränderungen in der Werkstoffstruktur nach sich => **Schädigungen**

Die Konstrukteure dimensionieren und die Hersteller fertigen die Anlagen so, dass die Anlagen den Beanspruchungen standhalten und eine angemessene Funktionsdauer\* gewährleistet werden kann  
=> **Beanspruchbarkeit**

\* wenn alle Beanspruchung bekannt

In der Praxis können die Beanspruchungen während der Nutzung innerhalb und außerhalb der festgelegten Beanspruchungsgrenzen liegen.

Wechselwirkung **Schädigung** <=> **Beanspruchung**



## Definitionen wichtiger Begriffe in der DIN EN 13306:2010-12 bzw. DIN31051:2012-09

### Grundmaßnahmen der Instandhaltung – Zusammenhänge

Die Instandhaltung kann vollständig in die Grundmaßnahmen Wartung, Inspektion, Instandsetzung und Verbesserung unterteilt werden, siehe Bild 1. Sie schließt ein:

- Berücksichtigung inner- und außerbetrieblicher Forderungen;
- Abstimmung der Instandhaltungsziele mit den Unternehmenszielen;
- Berücksichtigung entsprechender Instandhaltungsstrategien.



**Bild 1 — Unterteilung der Instandhaltung**

### Begriffsdefinitionen

#### **Instandhaltung**

Kombination aller technischen und administrativen Maßnahmen sowie Maßnahmen des Managements während des *Lebenszyklus* (4.6.5) einer *Einheit* (4.2.1), die dem Erhalt oder der Wiederherstellung ihres funktionsfähigen Zustands dient, sodass sie die geforderte *Funktion* (4.5.1) erfüllen kann

ANMERKUNG Siehe auch „Verbesserung“ und „Änderung/Modifikation“.

#### **Wartung**

Maßnahmen zur Verzögerung des Abbaus des vorhandenen *Abnutzungsvorrats* (4.3.4)

ANMERKUNG 1 Diese Maßnahmen können beinhalten:

- Auftrag, Auftragsdokumentation und Analyse des Auftragsinhaltes;
- Erstellen eines Wartungsplanes, der auf die spezifischen Belange des jeweiligen Betriebes oder der Einheit abgestellt ist und hierfür verbindlich gilt; Dieser Plan sollte u. a. Angaben über Ort, Termin, Maßnahmen und zu beachtende Merkmalswerte enthalten.
- Vorbereitung der Durchführung;
- Vorwegmaßnahmen wie Arbeitsplatzausrüstung, Schutz- und Sicherheitseinrichtungen usw.;
- Überprüfung der Vorbereitung und der Vorwegmaßnahmen einschließlich der Freigabe zur Durchführung;
- Durchführung;
- Funktionsprüfung;
- Rückmeldung.

ANMERKUNG 2 Wartung ist ein Teilaspekt der präventiven Instandhaltung nach DIN EN 13306:2010-12.

## **Inspektion**

Maßnahmen zur Feststellung und Beurteilung des Istzustandes einer *Einheit* (4.2.1) einschließlich der Bestimmung der Ursachen der *Abnutzung* (4.3.1) und dem Ableiten der notwendigen Konsequenzen für eine künftige *Nutzung* (4.3.5)

ANMERKUNG 1 Diese Maßnahmen können beinhalten:

- Auftrag, Auftragsdokumentation und Analyse des Auftragsinhaltes;
- Erstellen eines Planes zur Feststellung des Istzustandes, der auf die spezifischen Belange des jeweiligen Betriebes oder der Einheit abgestellt ist und hierfür verbindlich gilt; Dieser Plan sollte u. a. Angaben über Ort, Termin, Methode, Gerät, Maßnahmen und zu betrachtende Merkmalswerte enthalten.
- Vorbereitung der Durchführung;
- Vorwegmaßnahmen wie Arbeitsplatzausrüstung, Schutz- und Sicherheitseinrichtungen usw.;
- Überprüfung der Vorbereitung und der Vorwegmaßnahmen einschließlich der Freigabe zur Durchführung;
- Durchführung, vorwiegend die quantitative Ermittlung bestimmter Merkmalswerte;
- Vorlage des Ergebnisses der Istzustandsfeststellung;
- Auswertung der Ergebnisse zur Beurteilung des Istzustandes;
- Fehleranalyse;
- Planung im Sinne des Aufzeigens und Bewertens alternativer Lösungen unter Berücksichtigung betrieblicher und außerbetrieblicher Forderungen;
- Entscheidung für eine Lösung (Instandsetzung, Verbesserung oder andere Maßnahmen);
- Rückmeldung.

ANMERKUNG 2 Der in DIN EN 13306:2010-12 definierte Begriff „Konformitätsprüfung“ ist ein Teilaspekt der Inspektion.

## **Instandsetzung**

physische Maßnahme, die ausgeführt wird, um die *Funktion* (4.5.1) einer fehlerhaften *Einheit* (4.2.1) wiederherzustellen

[DIN EN 13306:2010-12, 8.10]

ANMERKUNG 1 Diese Maßnahmen können beinhalten:

- Auftrag, Auftragsdokumentation und Analyse des Auftragsinhaltes;
- Vorbereitung der Durchführung, beinhaltend Kalkulation, Terminplanung, Abstimmung, Bereitstellung von Personal, Mitteln und Material, Erstellung von Arbeitsplänen;
- Vorwegmaßnahmen wie Arbeitsplatzausrüstung, Schutz- und Sicherheitseinrichtungen usw.;
- Überprüfung der Vorbereitung und der Vorwegmaßnahmen einschließlich der Freigabe zur Durchführung;
- Durchführung;
- Funktionsprüfung und Abnahme;
- Fertigmeldung;
- Auswertung einschließlich Dokumentation, Kostenaufschreibung, Aufzeigen der Möglichkeit von Verbesserungen;
- Rückmeldung.

ANMERKUNG 2 Die Maßnahme „Instandsetzung“ ist in allen in DIN EN 13306:2010-12, Abschnitt 7, definierten Instandhaltungsarten enthalten.

## Verbesserung

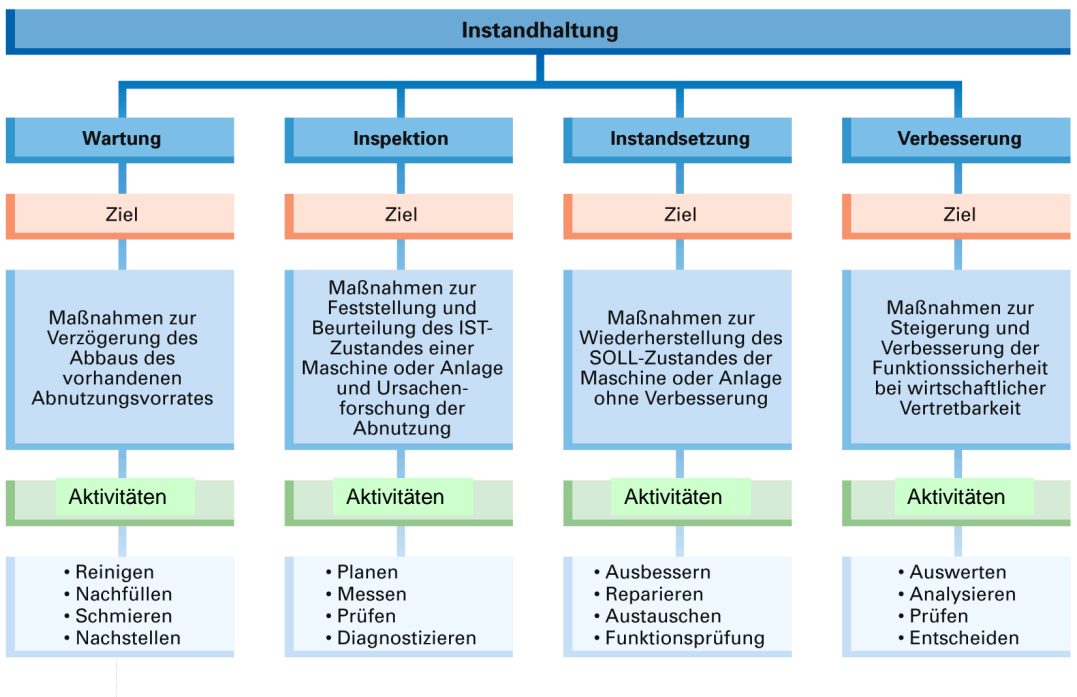
Kombination aller technischen und administrativen Maßnahmen sowie Maßnahmen des Managements zur Steigerung der Zuverlässigkeit und/oder Instandhaltbarkeit und/oder Sicherheit einer *Einheit* (4.2.1), ohne ihre ursprüngliche *Funktion* (4.5.1) zu ändern

ANMERKUNG 1 Eine Verbesserung kann auch vorgenommen werden, um Fehler während des Betriebs zu verhindern und um Ausfälle zu vermeiden.

[DIN EN 13306:2010-12, 8.12]

ANMERKUNG 2 Diese Maßnahmen können beinhalten:

- Auftrag, Auftragsdokumentation und Analyse des Auftragsinhaltes;
- Vorbereitung der Durchführung, beinhaltend Kalkulation, Terminplanung, Abstimmung, Bereitstellung von Personal, Mitteln und Material, Erstellung von Arbeitsplänen;
- Vorwegmaßnahmen wie Arbeitsplatzausrüstung, Schutz- und Sicherheitseinrichtungen usw.;
- Überprüfung der Vorbereitung und der Vorwegmaßnahmen einschließlich der Freigabe zur Durchführung;
- Durchführung;
- Funktionsprüfung und Abnahme;
- Fertigmeldung;
- Auswertung einschließlich Dokumentation, Kostenaufschreibung;
- Rückmeldung.



## 1.2 Instandhaltungsarten (nach DIN EN13306:2010-12)

### Präventive Instandhaltung

Instandhaltung, ausgeführt in festgelegten Abständen oder nach vorgeschriebenen Kriterien zur Verminderung der Ausfallwahrscheinlichkeit oder der Wahrscheinlichkeit einer eingeschränkten Funktionserfüllung einer Einheit.

### Vorausbestimmte Instandhaltung

Präventive Instandhaltung, durchgeführt in festgelegten Zeitabständen oder nach einer festgelegten Zahl von Nutzungseinheiten, jedoch ohne vorherige Zustandsermittlung.

Anmerkung: Die Festlegung von Zeitabständen oder Zahl der Nutzungseinheiten kann aufgrund des Wissens um die Ausfallmechanismen der Einheit erfolgen.

### Zustandsorientierte Instandhaltung

Präventive Instandhaltung, die eine Kombination aus Zustandsüberwachung und/oder Konformitätsprüfung und/oder Prüfverfahren, Analysen und die daraus resultierenden Instandhaltungsmaßnahmen beinhaltet.

Anmerkung: Die Zustandsüberwachung und/oder die Konformitätsprüfung und/oder das Prüfverfahren können planmäßig, auf Anforderung oder kontinuierlich erfolgen.

### Voraussagende Instandhaltung

Zustandsorientierte Instandhaltung, die nach einer Vorhersage, abgeleitet von wiederholter Analyse oder bekannten Eigenschaften und Bestimmung von wichtigen Parametern, welche den Abbau der Einheit kennzeichnen, durchgeführt wird.

### Korrektive Instandhaltung

Instandhaltung, ausgeführt nach der Fehlererkennung, um eine Einheit in einen Zustand zu bringen, in dem sie eine geforderte Funktion erfüllen kann.

### Aufgeschobene korrektive Instandhaltung

Korrektive Instandhaltung, die nicht unmittelbar nach der Fehlererkennung ausgeführt, sondern entsprechend vorgegebener Instandhaltungsregeln zurückgestellt wird.

### Sofortige korrektive Instandhaltung

Korrektive Instandhaltung, die ohne Aufschub nach der Fehlererkennung ausgeführt wird, um unannehmbare Folgen zu vermeiden.

### Geplante Instandhaltung

Instandhaltung, durchgeführt nach einem festgelegten Zeitplan oder einer festgelegten Zahl von Nutzungseinheiten.

Anmerkung: Korrektive aufgeschobene Instandhaltung kann auch planmäßig sein.

### Ferngesteuerte Instandhaltung

Instandhaltung einer Einheit, ausgeführt ohne physischen Zugriff des Personals auf die Einheit.

### Instandhaltung während des Betriebs

Instandhaltung, die während des Betriebs an einer Einheit durchgeführt wird, ohne deren Funktion zu beeinflussen.

Anmerkung: Bei dieser Art von Instandhaltung ist es wichtig, dass alle Sicherheitsvorkehrungen getroffen werden.

### Instandhaltung vor Ort

Instandhaltung, durchgeführt an dem Ort, an dem sich die Einheit normalerweise befindet.

### Bediener-Instandhaltung

Instandhaltungsmaßnahmen, die von einem Bediener ausgeführt werden.

Anmerkung: Diese Instandhaltungsmaßnahmen müssen eindeutig festgelegt werden.

### Ebene der Instandhaltung

Einstufung der Instandhaltungsaufgaben gemäß ihrer Komplexität.

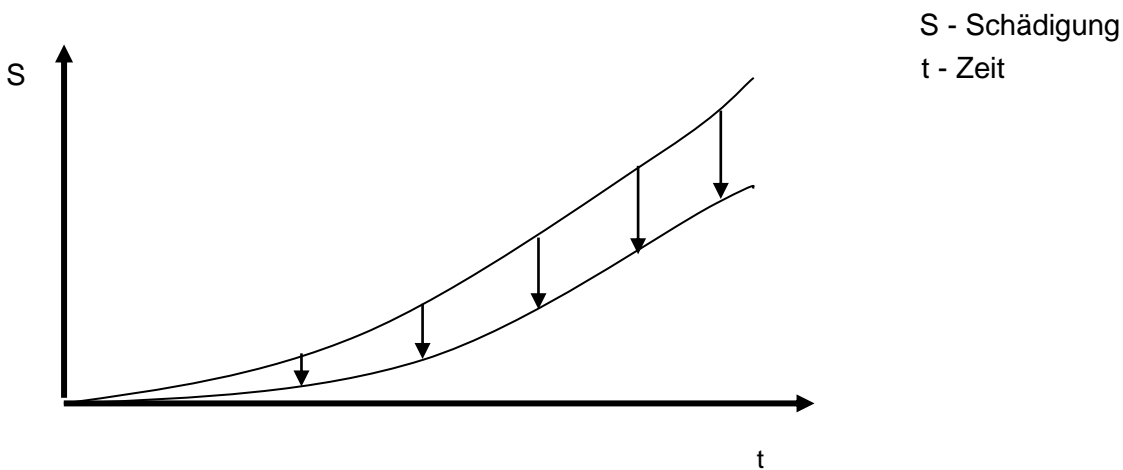
Anmerkung 1: Diese Aufgaben sind nach zunehmender Komplexität in Ebenen unterteilt.

Beispiele:

- Ebene 1 ist durch einfache Maßnahmen gekennzeichnet, die nach geringfügiger Schulung ausgeführt werden.
- Ebene 2 ist durch Grundmaßnahmen gekennzeichnet, die durch qualifiziertes Personal gemäß detaillierten Vorgehensweisen ausgeführt werden.
- Ebene 3 ist durch komplexe Maßnahmen gekennzeichnet, die durch qualifiziertes technisches Personal gemäß detaillierten Vorgehensweisen ausgeführt werden.
- Ebene 4 ist durch Maßnahmen gekennzeichnet, die die Kenntnisse einer bestimmten Technik oder Technologie mit einschließen und die durch darauf spezialisiertes technisches Personal ausgeführt werden.
- Ebene 5 ist durch Maßnahmen gekennzeichnet, die das Spezialwissen des Herstellers oder eines Fachbetriebs mit einschließen, die über industrielles Versorgungs- bzw. Unterstützungsgerät verfügen.

Anmerkung 2: Die Instandhaltungsebene kann sich auf die Gliederungsebene des Systems beziehen.

### 1.3 Instandhaltungsmaßnahmen schädigungshemmend



**Maßnahmen:**

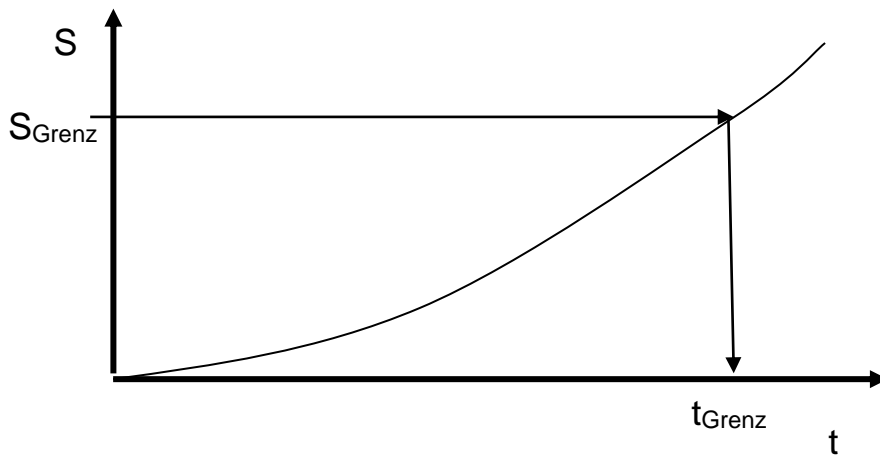
⇒ **Erhöhung der Beanspruchbarkeit**

- verbesserte Konstruktionen
- verbesserte Werkstoffe
- verbesserte Bearbeitung

⇒ **Verringerung der Beanspruchung**

- verbesserter Standort
- verbesserte Eigenschaften Bewegung
- verbesserte Wartung (Ölen, Reinig...)

## schädigungsbeobachtend

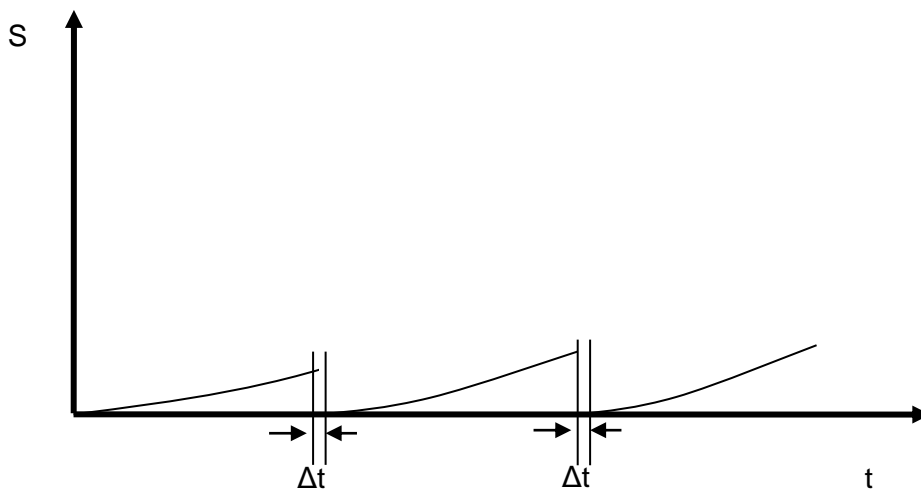


### Maßnahmen:

- Beobachten der Abnutzung;
- Prognose der Grenzfunktionsdauer zwecks rechtzeitiger Außerbetriebsetzung;
- Subjektive Kontrollen;
- Werkstoffprüfverfahren;
- Anlagendiagnostik.

## Schaden beseitigend

$\Delta t \Rightarrow$  Instandsetzungszeit



ausbessernde IS – Regeneration, z.B. durch Auftragsschweißen

austauschende IS – vollständiges Erreichen des Sollzustandes durch Baugruppenaustausch



## Wirtschaftliche Ziele der Instandhaltung

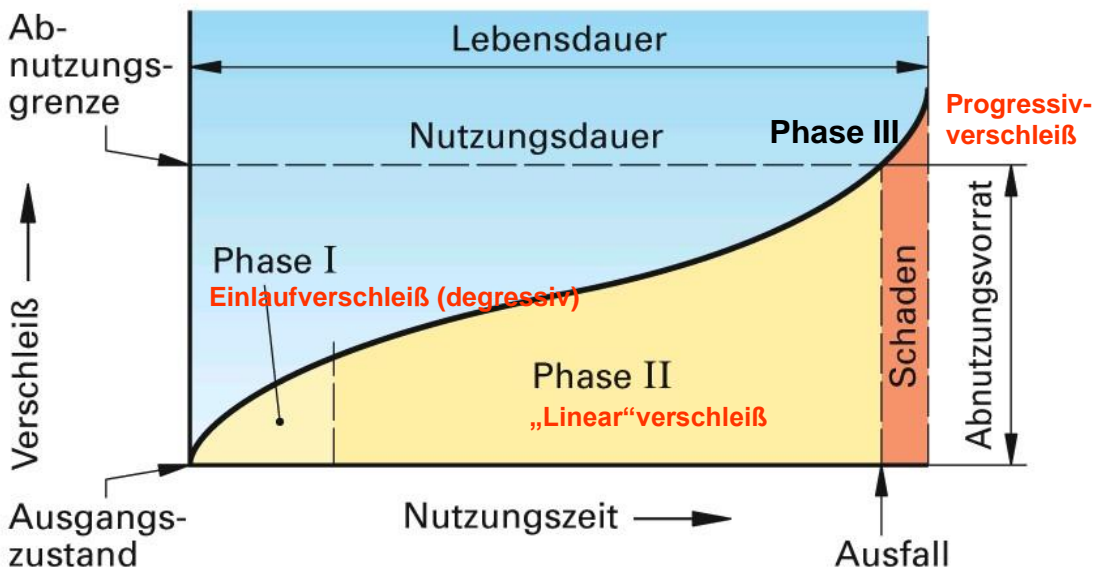
- Erreichen der geplanten Lebensdauer
- Schwachstellen erkennen/beseitigen
- Erkennen von Schäden, möglichen Folgeschäden
- Vermeidung von Störungen u. Ausfällen in der Produktion
- Wirtschaftlichkeit erhalten (verbessern)

## Humane Ziele der Instandhaltung

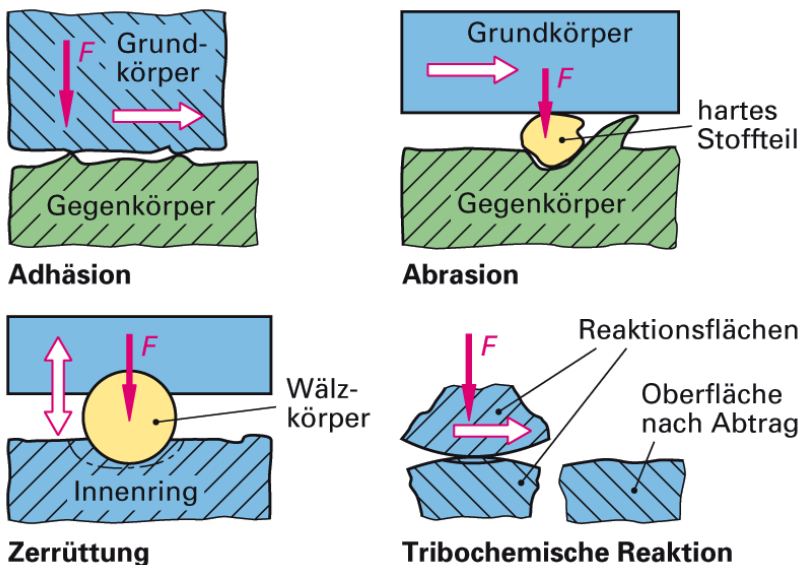
- Erhöhung Arbeits- und Anlagensicherheit
- Verringerung von Unfallrisiken
- Vermeidung von Umweltbelastungen und -schäden

## 2 Schädigungsverhalten technischer Ausrüstungen

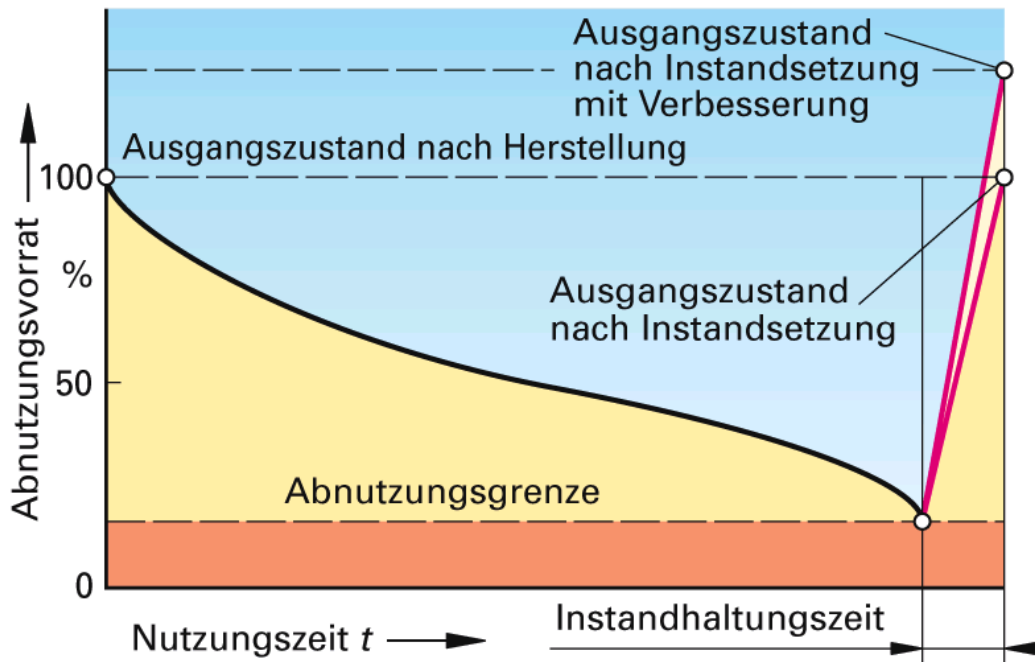
### 2.1 Verschleiß



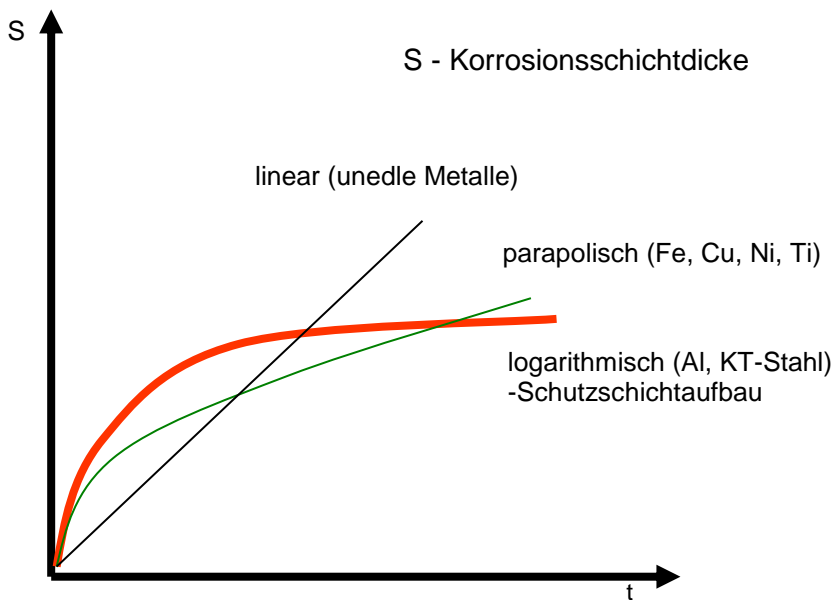
### Verschleißmechanismen



Durch Verschleiß wird der Abnutzungsvorrat abgebaut!



## 2.2 Korrosion



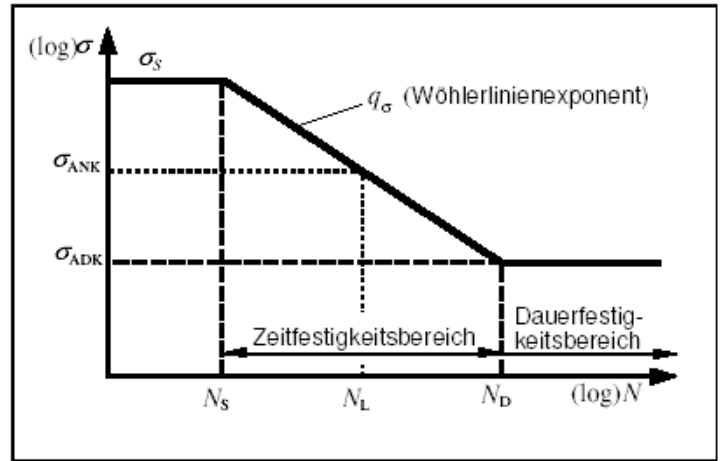
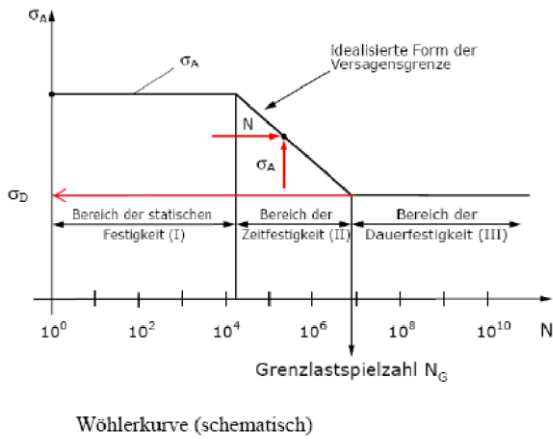
## 2.3 Ermüdung

In Größe und Richtung wechselnde Beanspruchung als Ursache  
 Dauerbeanspruchung - elastischer Bereich nicht überschreiten  
 Schadensbilder (Bruchflächen) geben Auskunft über Art des Bruches

- Dauerbruch => samtartig, feinkörnig
- (Gewaltbruch => zerklüftet, grobkörnig)

### Wöhlerlinie

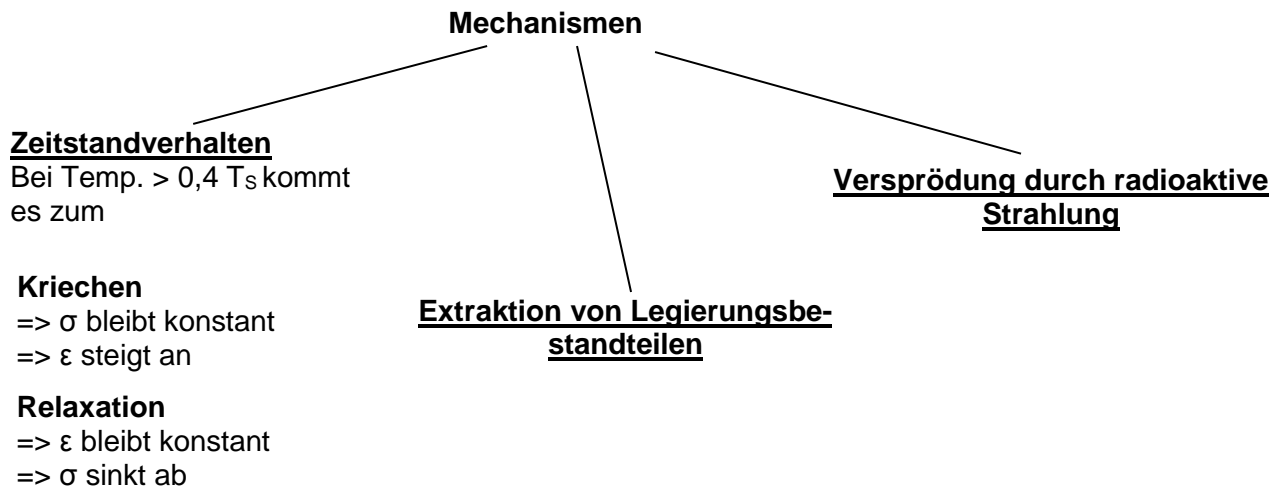




## 2.4 Alterung

Gefügeveränderung unter Energieaufnahme. Zeiteinfluss ist bedeutend

- Ergebnis:
- bleibende Festigkeitsänderung
  - bleibende Formänderung



## 2.5 Überlastung

=> **Gewaltsame Zerstörung durch Überbeanspruchung, Verlust der Betriebstauglichkeit**

Ursachen:

- aus wirtschaftlichen Gründen werden nicht alle möglichen Belastungsfälle berücksichtigt
- nicht alle Belastungsfälle sind bei Konstruktion bekannt
- Werkstoffeigenschaften sind nicht homogen

Grenzabnutzung wird überschritten, Folgen z.B. beim Wälzlager können sein:

- Zerstörung des Lagers
- Blockierung des Lagers
- Bruch der Welle
- Zerstörung des Gehäuses
- Entzündung des Schmiermittels
- Brand der Anlage

Gewaltbruch  
zerklüftet,  
grobkörnig



### 3 Schädigungsprozesse

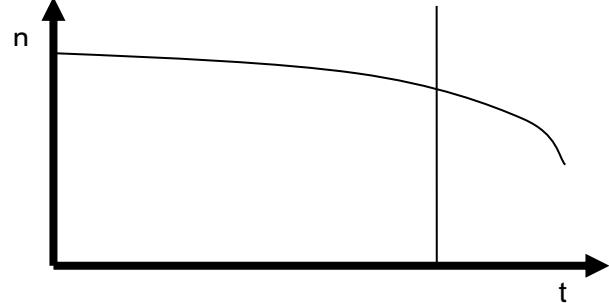
#### 3.1 Schädigungsgrenzen

Schädigungsmechanismen verringern tragende Querschnitte (Verschleiß, Korrosion), oder verringern die Festigkeit des Werkstoffes (Alterung, Ermüdung).

Bei Überschreitung der technisch bedingten Schädigungsgrenze kommt es zum Ausfall.

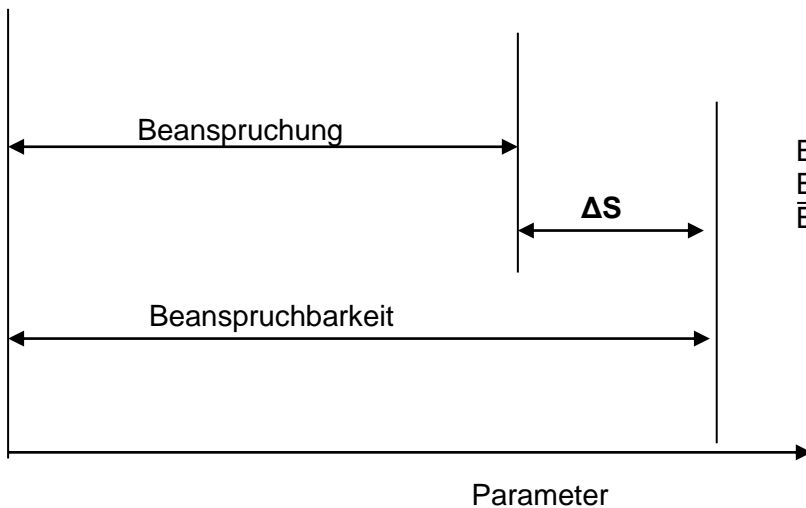
Neben technischen Kriterien können technologische, sicherheitstechnische und ökonomische Gründe für die Festlegung von Schädigungsgrenzen dienen.

Beispiel: Wirkungsgrad von Pumpen – technologische Grenze



#### 3.2 Stochastik der Schädigung

Um Bauteilversagen auszuschließen wählt man in der Technik zwischen Beanspruchung und Beanspruchbarkeit einen **Sicherheitsabstand  $\Delta S$**



Bsp.: Dresdener Standseilbahn:  
 $\frac{\text{Beanspruchbarkeit}}{\text{Beanspruchung}} = 16$

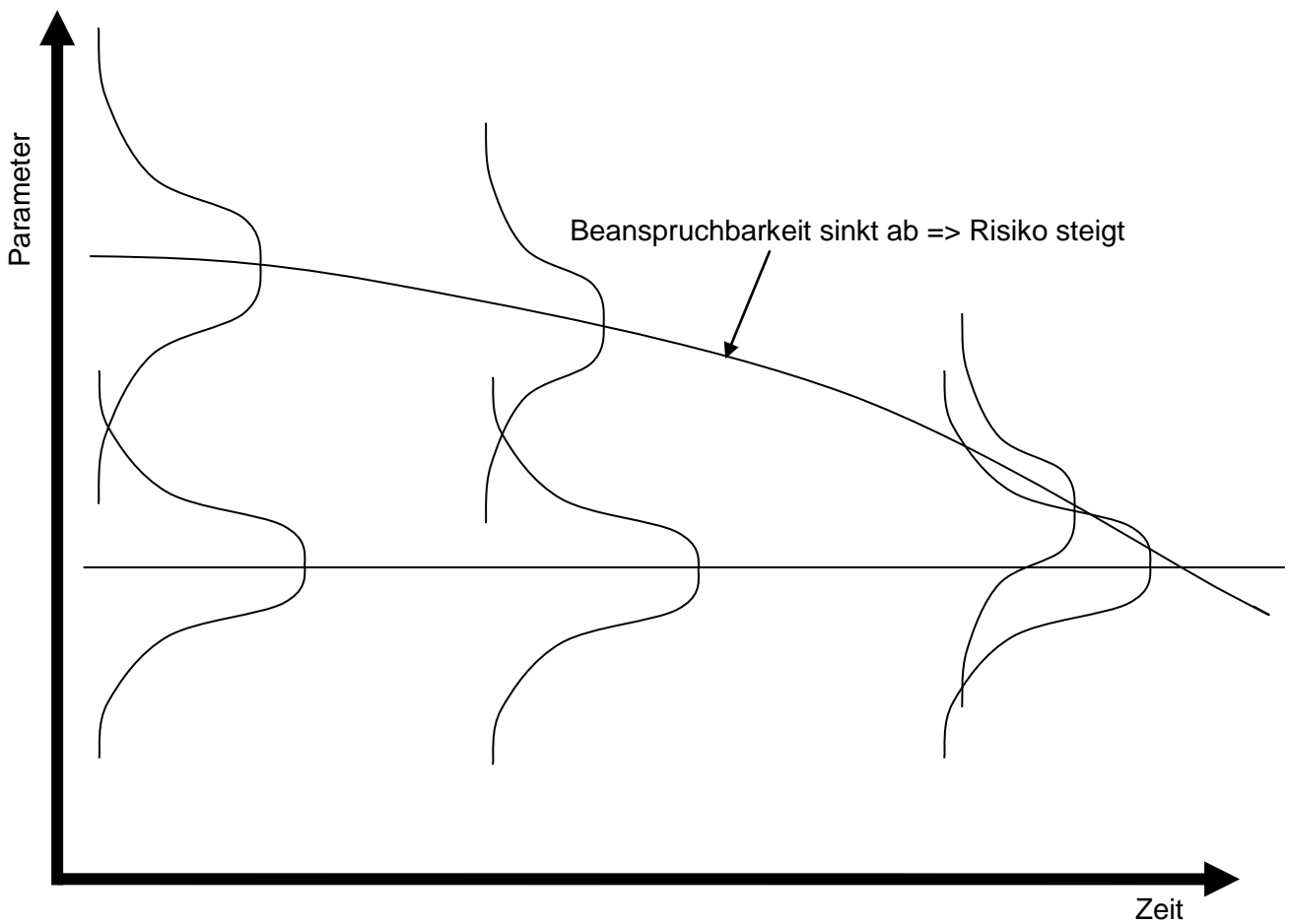
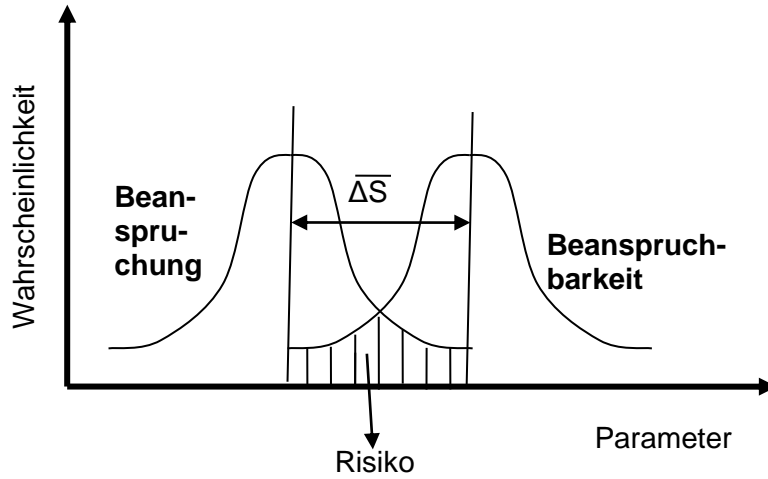
**Beanspruchung und Beanspruchbarkeit unterliegen einer Streuung!**

**Streubreite Beanspruchung:**

- innere Ursachen (Vorschädigung, Betriebsparameter..)
- äußere Ursachen (Umwelt, benachbarte Maschinen...)

**Streubreite Beanspruchbarkeit:**

- Genauigkeit Auslegung/Berechnung
- Werkstoffeigenschaften
- Fertigungsqualität



## 4 Gesetze, Regeln, Normen zur Instandhaltung (Auswahl)

**BImSchV** – Störfall-Verordnung (Fassung vom 08. Juni 2005)

**DruckbehV** – Druckbehälterverordnung (Fassung vom 21. April 1989)

### **DIN 31051:2003-06**

Dokumentenart: **Norm** Ausgabe: 2003-06 Titel (deutsch): Grundlagen der Instandhaltung

Titel (englisch): Fundamentals of maintenance Originalsprachen: Deutsch Ersatz für: DIN 31051:1985-01

### **DIN EN 13306:2001-09**

Dokumentenart: **Norm** Ausgabe: 2001-09 Titel (deutsch): Begriffe der Instandhaltung;

Dreisprachige Fassung EN 13306:2001; Titel (englisch): Maintenance terminology; Trilingual version

EN 13306:2001 Originalsprachen: Deutsch, Englisch, Französisch; Ersatz für: DIN 31051:1985-01

### **DIN EN 13306:2008-10**

Dokumentenart: **Norm-Entwurf** Ausgabe: 2008-10 Erscheinungsdatum: 2008-11-17 Titel (deutsch):

Instandhaltung - Begriffe der Instandhaltung; Deutsche und Englische Fassung

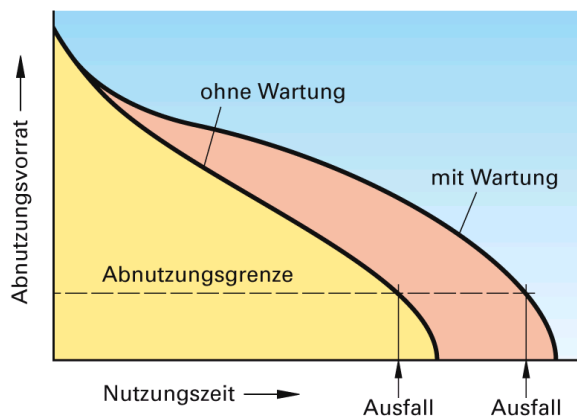
prEN 13306:2008; Titel (englisch): Maintenance - Maintenance terminology; German and English version

prEN 13306:2008 Originalsprachen: Deutsch, Englisch

## 5 Instandhaltungstechniken

### 5.1 Wartung

Wartung ist der Anfang aller Instandhaltungsaktivitäten, sie zählt zu den vorbeugenden Maßnahmen und ermöglicht ein Erreichen der garantierten Nutzungszeit.



Wartungsarbeiten erfolgen kontinuierlich, z.B. durch Schmieren.

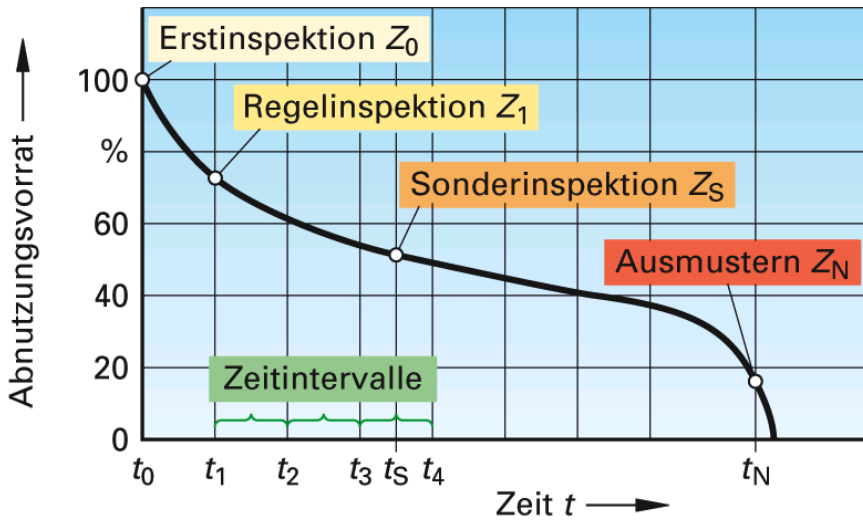
Weitere Wartungsaktivitäten sind:

- Reinigen
- Nachstellen
- Konservieren
- Ergänzen
- Auswechseln

### 5.2 Inspektion

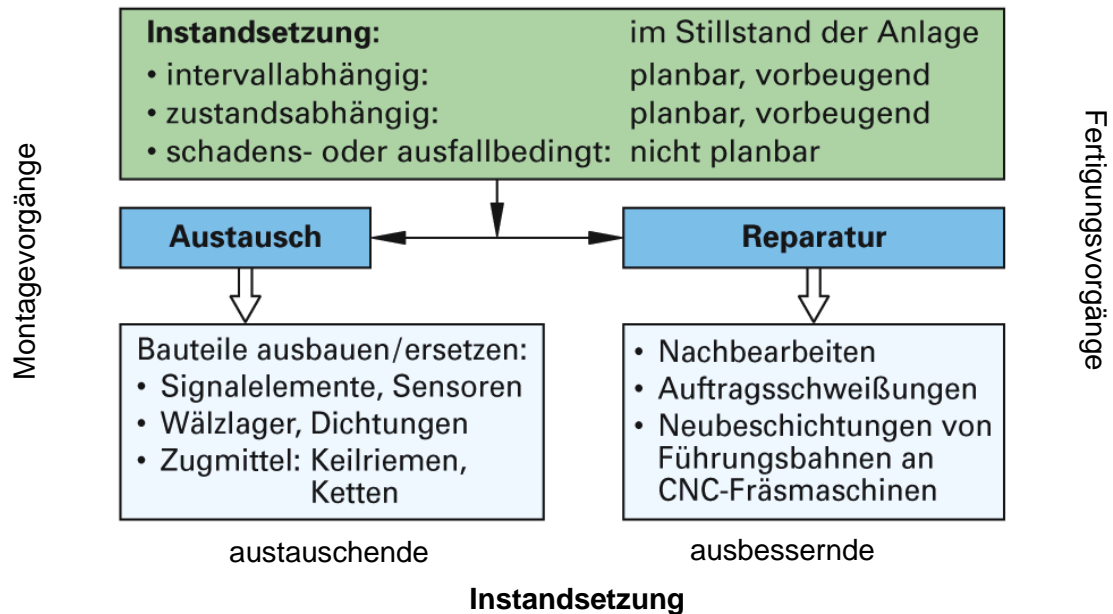
Bei Inspektion wird der aktuelle Anlagenzustand (Abnutzung/Verschleiß) ermittelt und Informationen für Instandhaltungsmaßnahmen gewonnen.

Diese Anlagenüberwachungen werden zu verschiedenen Zeitpunkten und in entsprechenden Schritten durchgeführt.



### 5.3 Instandsetzung

Instandsetzen heißt die Funktionsfähigkeit von Maschinen/Anlagen wiederherstellen.

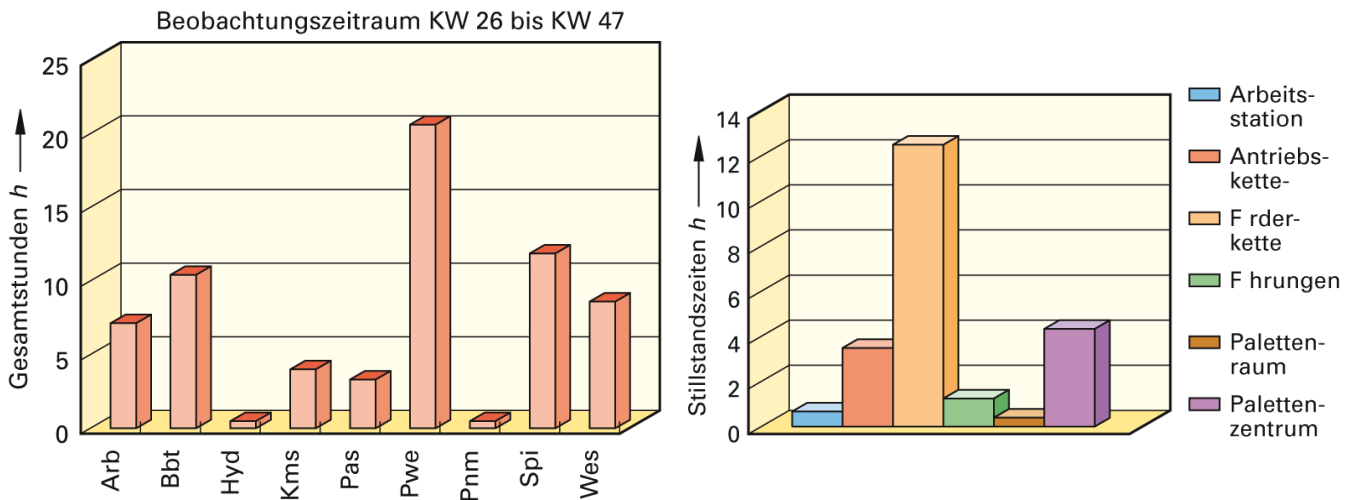


vor Ort	Freischalten der Anlage Demontage in der Anlage Transport zur Werkstatt	Anlagenbezug
Werkstatt oder vor Ort	Annahme => Demontage => Reinigung => Schadensaufnahme => Teileinstandsetzung => Vormontage => Montage => Probelauf und Prüfungen => Konservierung => Abnahme	Ausrüstungsbezug
vor Ort	Transport zur Anlage Montage in der Anlage, Übergabe Inbetriebnahme	Anlagenbezug

## 5.4 Verbesserung

Auf der Basis der bei der Wartung, Inspektion und bei Instandhaltungsmaßnahmen geführten Dokumentationen werden Schwachstellen ermittelt und Maßnahmen abgeleitet.

### Schwachstellenanalyse



Verbesserungsmaßnahmen:

- Werkstoffänderungen
- Konstruktionsänderungen
- Systemänderungen
- Hersteller wechseln

## 6 Instandhaltungskonzepte (Strategien)

Tabelle 1: Instandhaltungskonzepte	
<b>Intervallabhängige Instandhaltung</b>	Die Instandhaltungsarbeiten erfolgen in regelmäßigen festgelegten Zeitabständen.
<b>Zustandsabhängige Instandhaltung</b>	Die Instandhaltungsarbeiten erfolgen nach dem Verbrauch des Abnutzungsvorrats des Werkzeuges oder der Maschine.
<b>Störungsbedingte Instandhaltung</b>	Die Instandhaltungsarbeiten erfolgen erst nach dem Schadensfall des Werkzeuges oder der Maschine.

Transporteinrichtung in der Produktion

Abnutzungsverhalten ist bekannt

Keine Folgeschäden zu erwarten

### Intervallabhängige Instandhaltung

=> Ist eine **vorbeugende** Maßnahme.

Vorteile: - Planbarkeit Termine-Material-Personal  
- Maschinenzuverlässigkeit

Nachteile: • Lebensdauer der Bauteile meistens nicht ausgenutzt  
• größerer Ersatzteilbedarf / Kosten  
• Ausfallverhalten kann nicht erkannt werden

### Zustandsbezogene Instandhaltung

=> Ist auch eine **vorbeugende** Maßnahme.

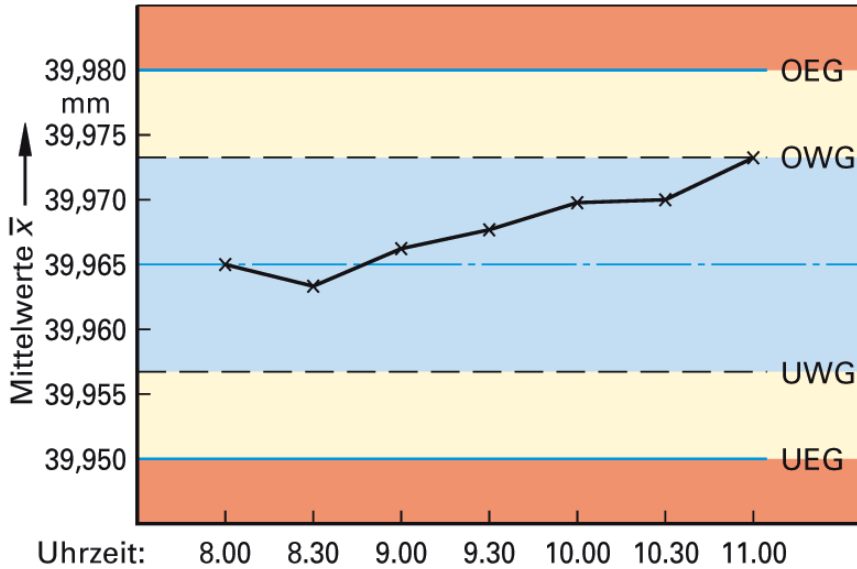
Vorteile: - bessere Ausnutzung des Lebensdauervorrates  
- höhere Verfügbarkeit der Anlagen  
- geringere Ersatzteilkosten



- Nachteile:
- erhöhter Kostenaufwand durch
    - zusätzliche Technik
    - zusätzliches Personal

Beispiel:

Während der Fertigung von Drehteilen wird der Durchmesser in bestimmten Zeitabständen geprüft und mit einer Qualitätsregelkarte überwacht. Kommt es zu Abweichungen außerhalb der erlaubten Toleranzgrenzen, wird das Werkzeug gewechselt.



Siehe Qualitätsmanagement

### Störungsbedingte Instandhaltung

=> Erfolgt, wenn das Aggregat **während des Betriebes** ausfällt.

- Vorteile:
- Ausnutzung des Abnutzungsvorrates
  - geringer Planungsbedarf
- Nachteile:
- Instandhaltung unter „Termindruck“
  - hohe Kosten für kurzfristige Beschaffung
  - Ausfallkosten, wenn das Ersatzteil nicht sofort beschaffbar