

Betrieb und Instandhaltung von Energieanlagen

Verfügbarkeit und Lebensdauer

- Verfügbarkeit -

Die **Verfügbarkeit**
kennzeichnet die Fähigkeit von Kraftwerken, ihre betriebliche Funktionen zu erfüllen, d.h. in der Regel Brennstoffenergie in Endenergie (elektrische Energie und Nutzwärme) umzuwandeln.

Die **Verfügbarkeit** einer technischen Einrichtung ist definiert als:

$$\text{Verfügbarkeit} = \frac{\text{Gesamtzeit} - \text{Gesamtausfallzeit}}{\text{Gesamtzeit}}$$

In Anlehnung an eine Empfehlung des VGB
- Arbeitskreises Verfügbarkeit wird die
Zeitverfügbarkeit über die Kennziffer

$$K_T = \frac{T_{\text{Kalender}} - \sum T_{\text{Nichtverfügbarkeit}}}{T_{\text{Kalender}}}$$

ermittelt.

Ebenfalls geläufig ist die Darstellung:

$$V_D = \frac{\tau_V}{\tau_N}$$

$$V_D = \frac{\tau_N - \Delta\tau_{NV}}{\tau_N} = \frac{\tau_B + \tau_R}{\tau_N}$$

τ_N - Nennzeit

$\Delta\tau_{NV}$ - Nichtverfügbarkeitszeit

τ_B - Betriebszeit

τ_R - Bereitschaftszeit

Arbeitsverfügbarkeit:

Arbeitsverfügbarkeit

$$k_A = \frac{A_D + A_R}{A_N} = \frac{\text{Betriebsarbeit} + \text{Bereitschaftsarbeit}}{\text{Nennarbeit}}$$

Die Arbeitsverfügbarkeit ist der umfassende Kennwert zur Gesamtbeurteilung der Verfügbarkeit einer Anlage und erlaubt einen langfristigen Qualitätsvergleich. Sie berücksichtigt alle Leistungsminderungen und Stillstände

Beispiel:

Eine Anlage die 100% der Zeit mit 50% der Leistung läuft hat die gleiche Arbeitsverfügbarkeit wie eine Anlage die 50% der Zeit mit 100% der Leistung läuft.

Verfügbar ist eine Anlage, die:

- **in Betrieb ist,**
- **technisch in Betrieb sein könnte (betriebsfähig ist), aber nicht benötigt wird.**

Nicht verfügbar ist eine Anlage, die:

- **technisch nicht betriebsfähig ist,**
- **aus Betriebsstoffmangel nicht betriebsfähig ist (kein Brennstoff, Wassermangel im Wasserkraftwerk, keine Sonne bei Solaranlagen)**

Verfügbarkeit der Kraftwerke

Bei der Kraftwerkseinsatzplanung stellt die Verfügbarkeit der Kraftwerke eine wesentliche betriebstechnische Einschränkung dar.

Auslöser sind:

- deterministische
- stochastische

Ereignisse

Deterministische Ereignisse:

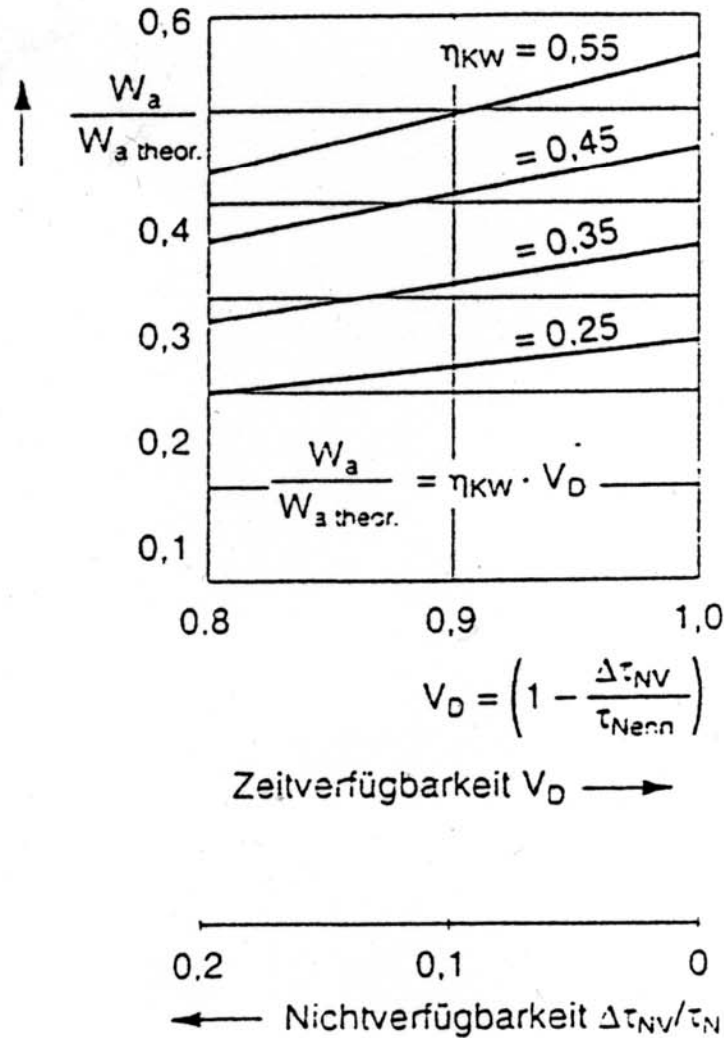
Planbare Nichtverfügbarkeiten, wie die Jahresrevision eines Kraftwerkes.

Stochastische Ereignisse:

Im Wesentlichen in Form von unvorhersehbaren Blockausfällen.

Um die Nutzungsdauer eines (mechanischen) Bauteils zu beurteilen, müssen folgende Fragestellungen einer Bewertung unterzogen werden:

- ▶▶ Welche Schädigungsmechanismen sind für den Werkstoff bei den vorliegenden festigkeitstechnischen, thermohydraulischen und wasserchemischen Einsatzbedingungen relevant?
- ▶▶ Welche Schädigungsrate ist unter den gegebenen Bedingungen für das Bauteil zu erwarten?
- ▶▶ Welche Grenzbedingung wird durch den Schädigungsfortschritt erreicht bzw. unterschritten und limitiert die Lebensdauer des Bauteils?



- W_a – Jahresarbeit
- $W_{a,theor.}$ – $\dot{m}_{Br} \cdot Q_i \cdot \tau_{Nenn}$
theor. mögliche Jahresarbeit
- \dot{m}_{Br} – Brennstoffmengenstrom
- Q_i – Heizwert
- τ_{Nenn} – 8760 h
- $\Delta\tau_{NV}$ – Nichtverfügbarkeit (Zeit)

Jahresarbeit $W_a = \int_0^{\tau_{Nenn} - \Delta\tau_{NV}} P \cdot dt$

$P = \eta_{KW} \cdot \dot{m}_{Br} \cdot Q_i$

Vereinfachung $P = const.$

$$W_a = \eta_{KW} \cdot \dot{m}_{Br} \cdot Q_i \cdot (\tau_{Nenn} - \Delta\tau_{NV})$$

$$W_a = \eta_{KW} \cdot \dot{m}_{Br} \cdot Q_i \cdot \tau_{Nenn} \cdot \left(1 - \frac{\Delta\tau_{NV}}{\tau_{Nenn}}\right)$$

$$\frac{W_a}{\dot{m}_{Br} \cdot Q_i \cdot \tau_{Nenn}} = \eta_{KW} \left(1 - \frac{\Delta\tau_{NV}}{\tau_{Nenn}}\right)$$

$$\frac{W_a}{W_{a,theor.}} = \eta_{KW} \cdot V_D$$

Verfügbarkeit einer GUD-Anlage in Abhängigkeit der Verfügbarkeit der Komponenten

Gasturbine



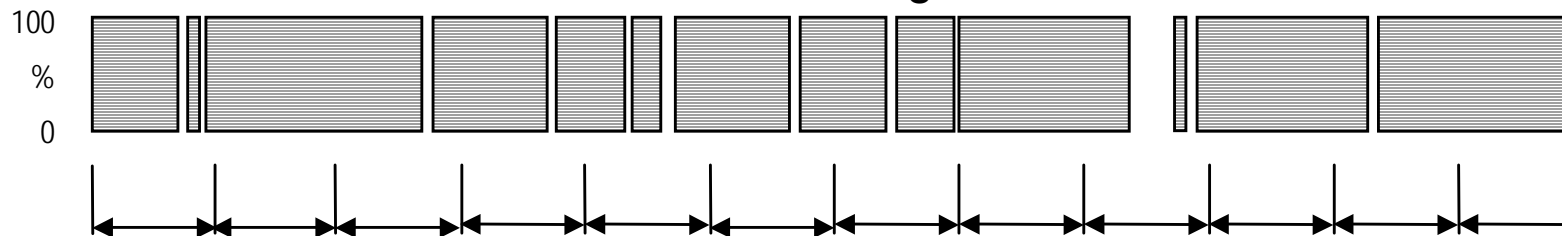
$V_{D GT} = 97,39$

Dampferzeuger



$V_{D DE} = 85,51$

GuD-Anlage



$V_{D GuD} = 84,52$

Jan. Febr. März April Mai Juni Juli Aug. Sept. Okt. Nov. Dez.

Nichtverfügbarkeit durch Schäden und planm. Reparaturen

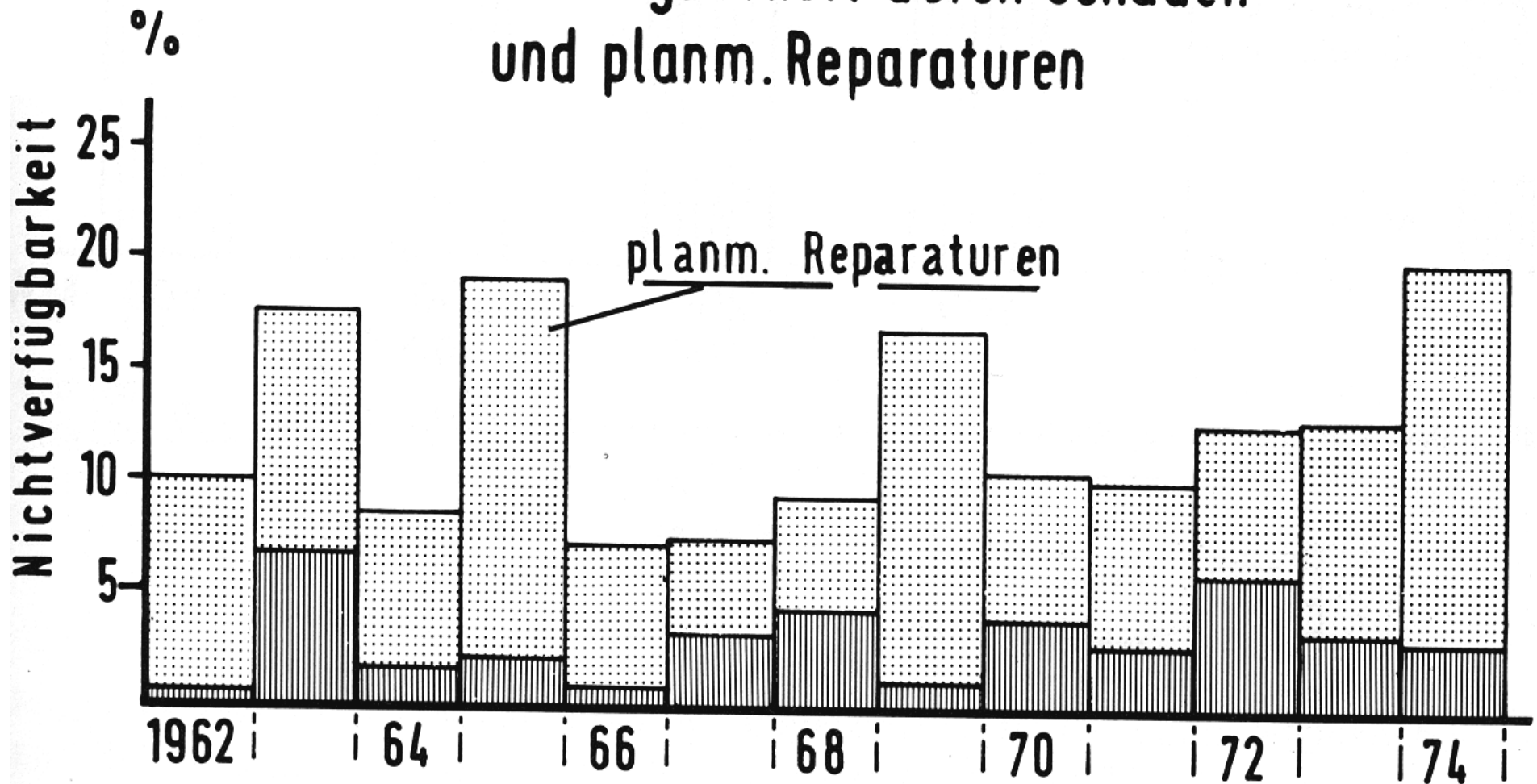


Bild 100.2: Nichtverfügbarkeit der Anlage durch Schäden und planmäßigen Instandhaltungen

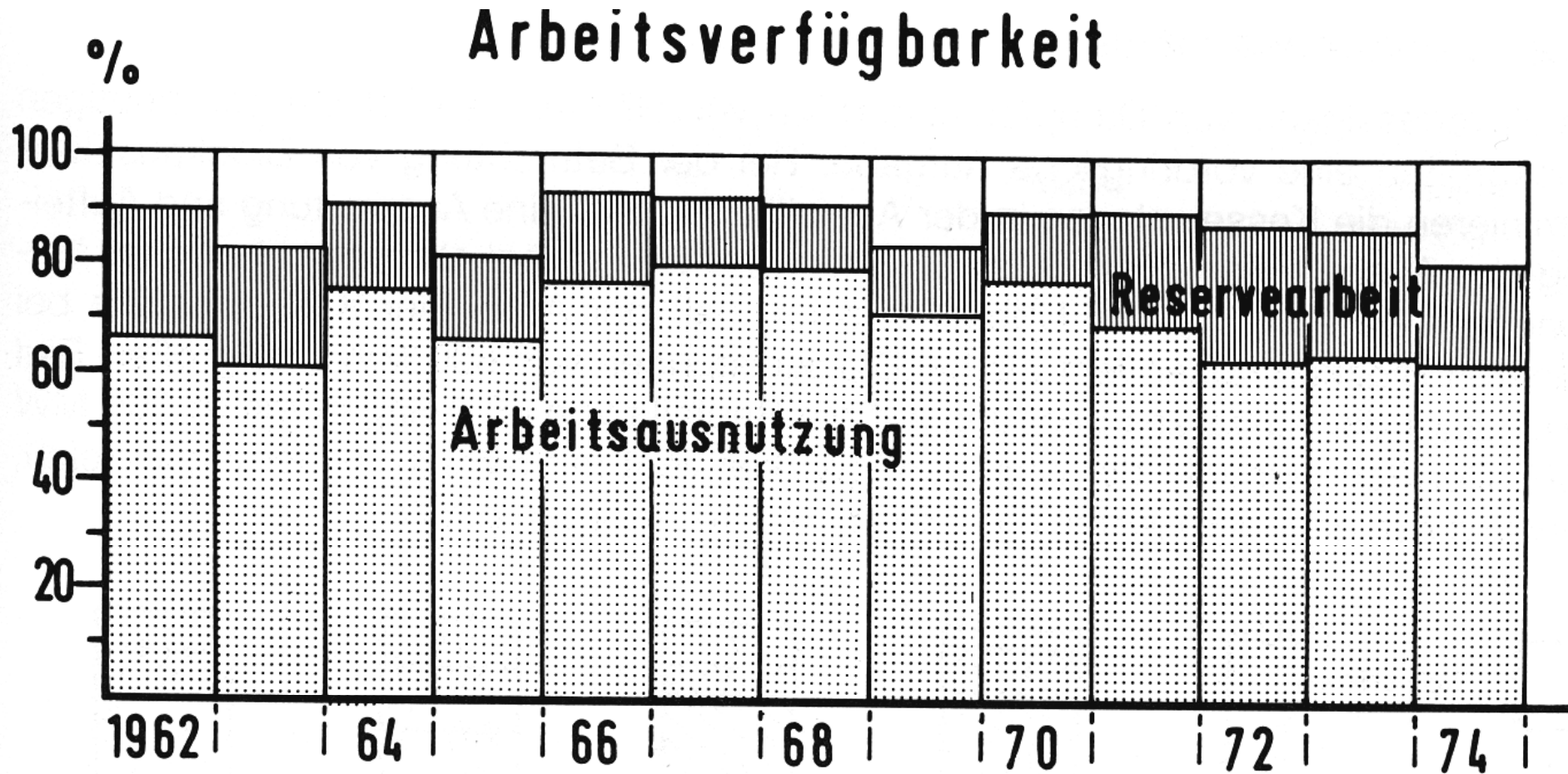


Bild 100.1: Arbeitsverfügbarkeit eines 150-MW-Blockes mit Schmelzfeuerung im Zeitraum von 12 Jahren

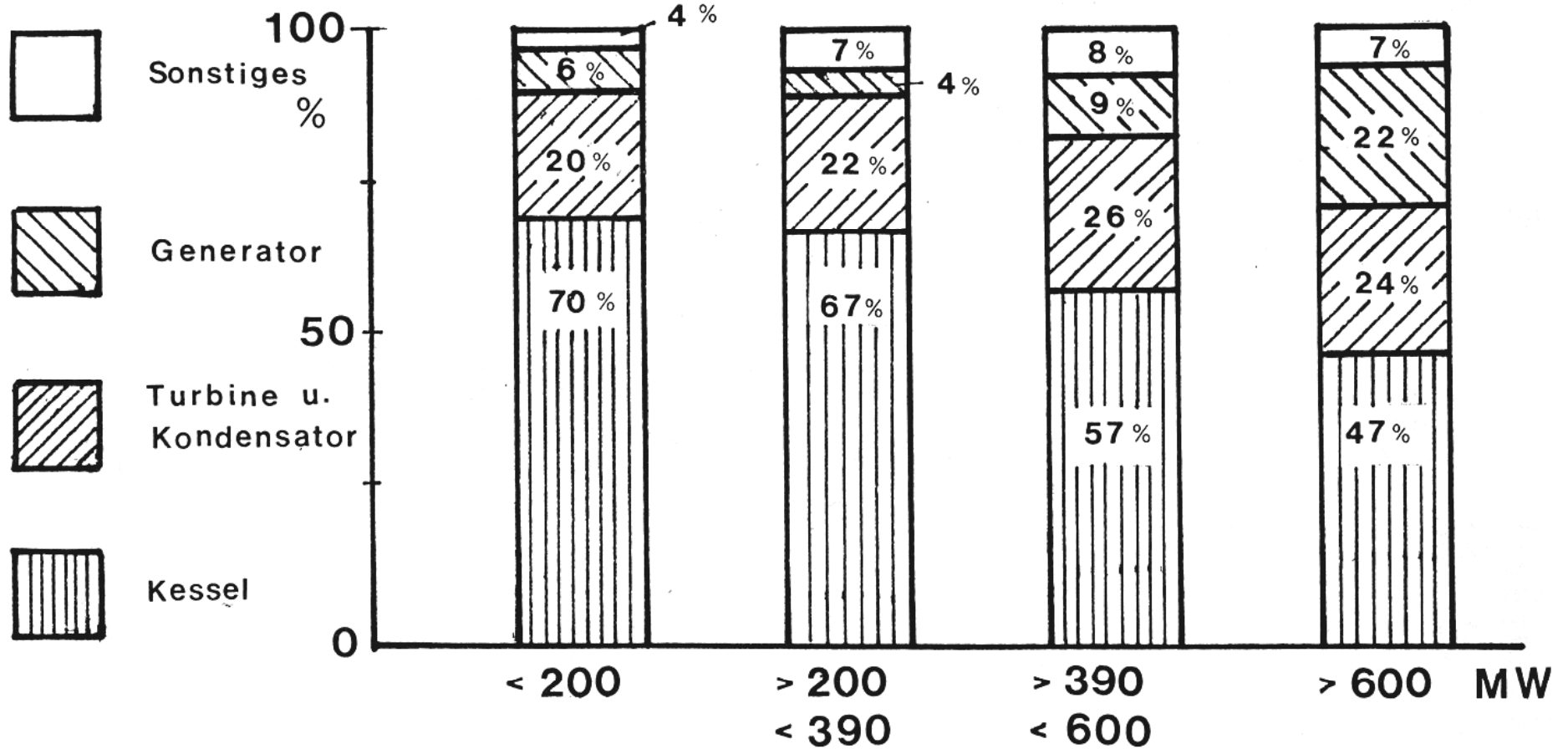


Bild 100.3: Ausfallquoten von Kraftwerksaggregaten verschiedener Blockgrößen (134, 135, 137)

Betrieb und Instandhaltung von Energieanlagen

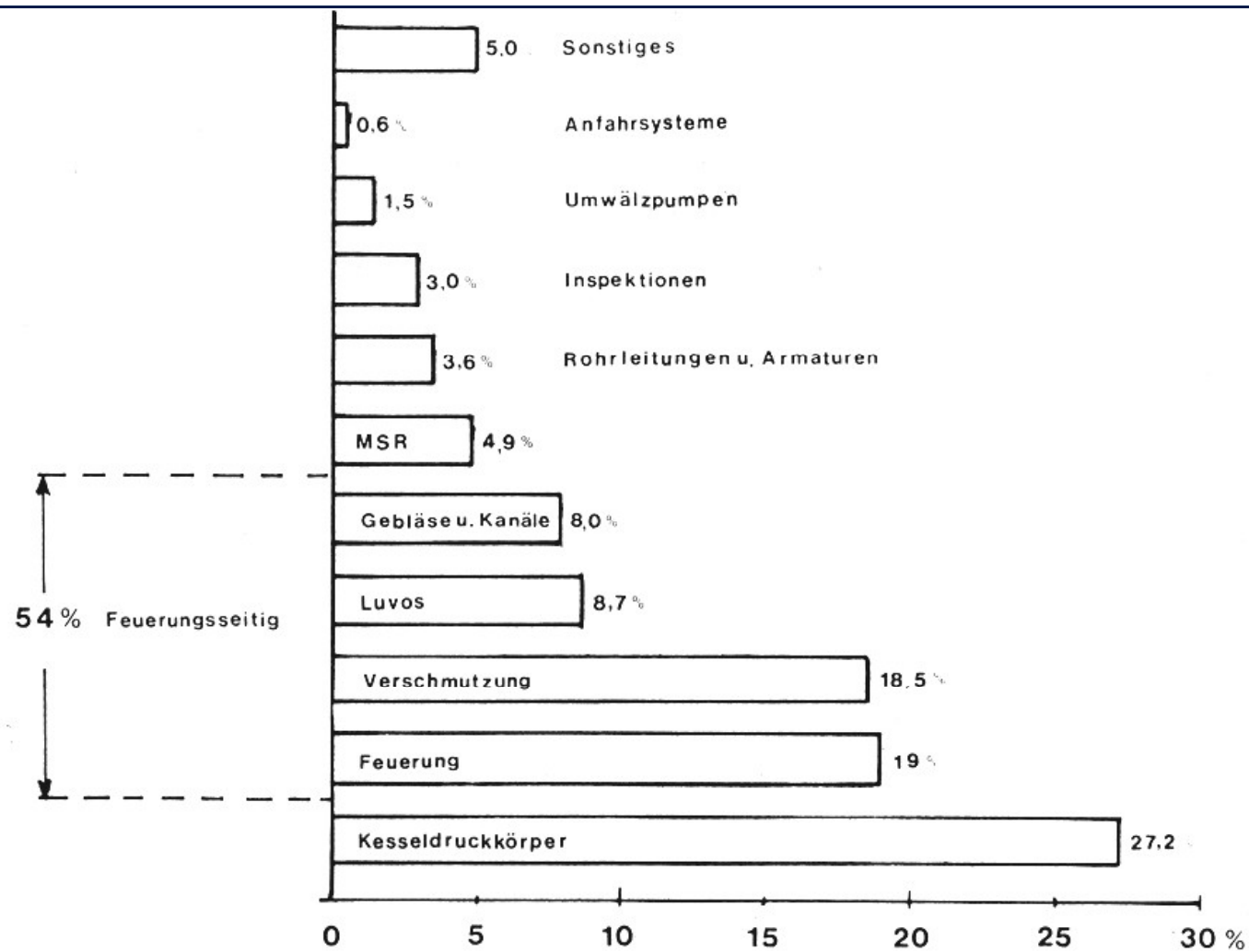


Bild 100.4: Nichtverfügbarkeit von Kesselbauteilen als Mittelwert von ca. 46 600-MW-Blöcken (134, 135)

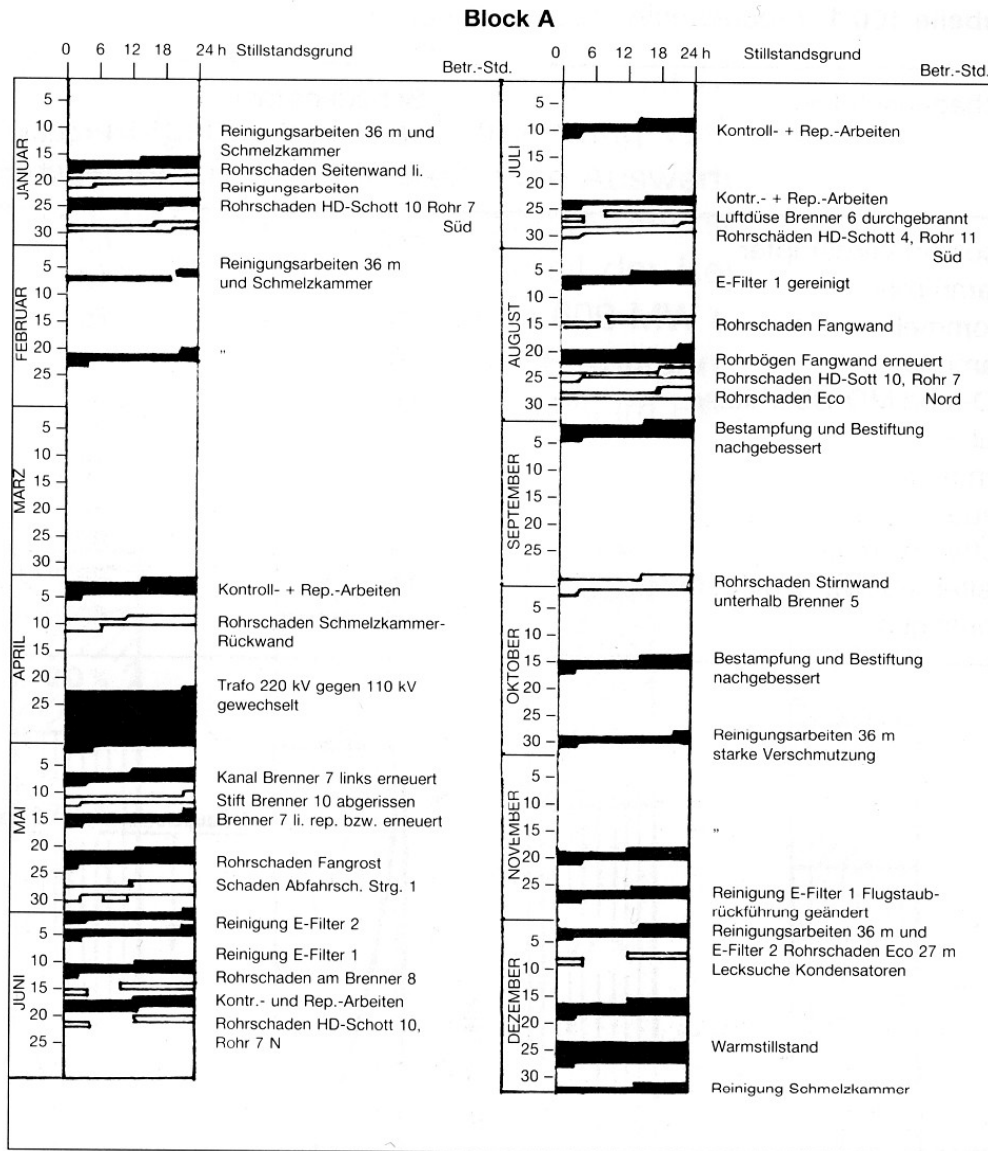
Schadensursachen: Produktfehler / Betriebsfehler

Schadensstellen	Schadenszahl %	Schadensursachen	
		Produkt- fehler (%)	Betriebs- fehler (%)
Eco und Verdampfer	23	62	38
Flammrohr	5	12	88
Trommel	3	75	25
Sammler	3	93	7
HD- und MD-Überhitzer	17	55	45
Kühler	4	84	16
Armaturen	4	72	28
Feuerungen	16	45	55
Luftvorwärmer	4	68	32
Halterungen und Mauerwerk	16	66	34
Sonstiges	5	60	40

Tabelle 8.6: Anteil der Hauptkomponenten an der Nichtverfügbarkeit

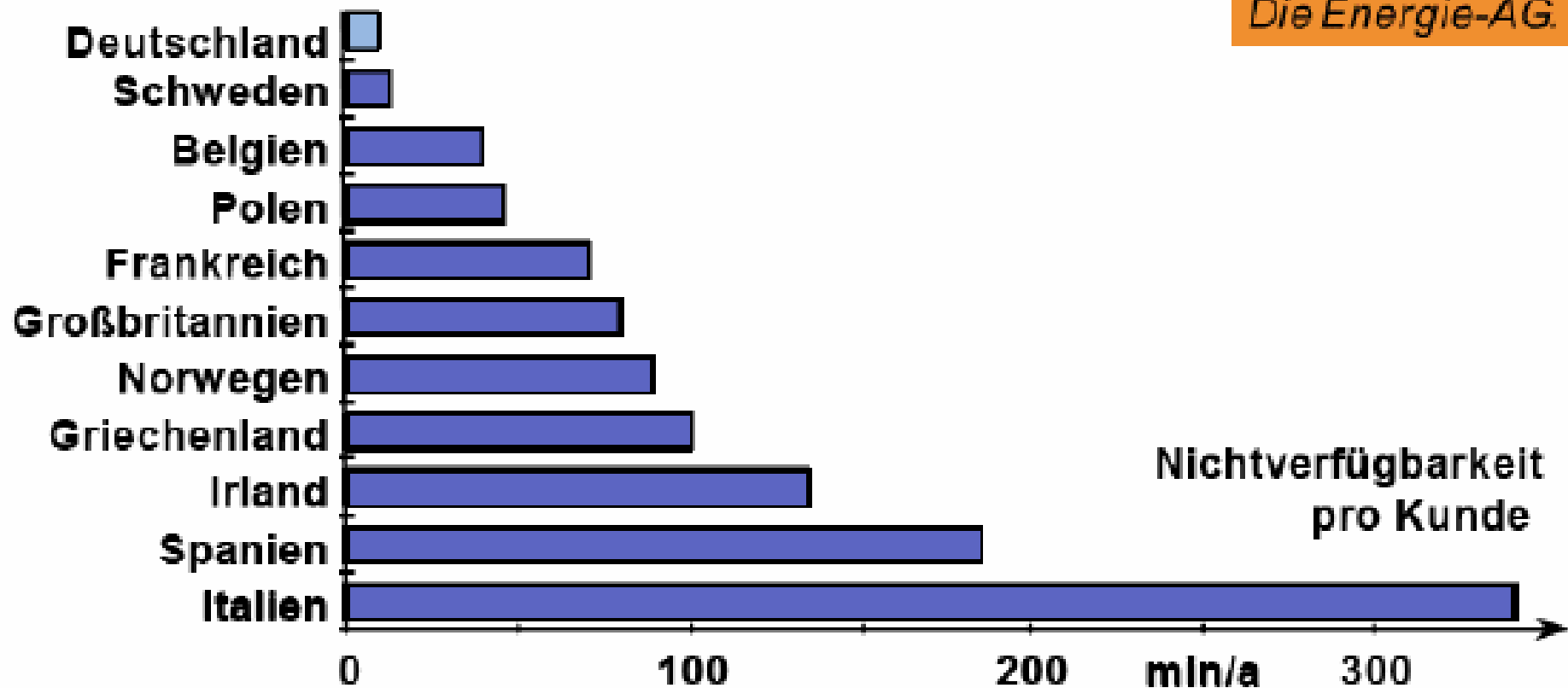
Anlagenteil	Erzwungene Totalausfälle	Planmäßige Stillstände
Dampferzeuger	62 %	51 %
Turbine	21 %	21 %
Generator	7 %	2 %
Kondensator	2 %	5 %
Sonstiges	8 %	21 %
	100 %	100 %

Betrieb und Instandhaltung von Energieanlagen



Beispiel: Dokumentation eines Betriebsablaufes

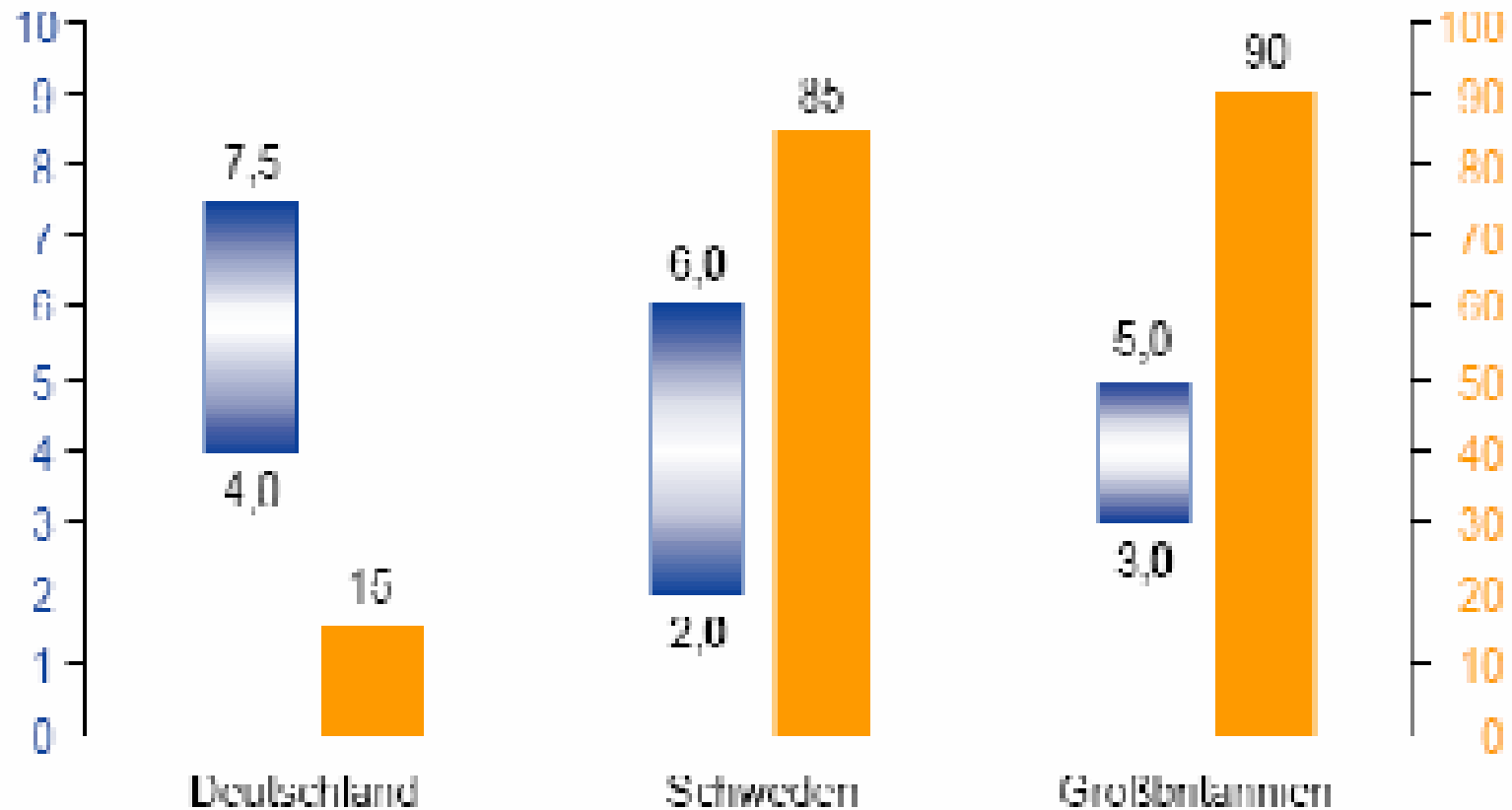
Nichtverfügbarkeit in Europa



Quelle: Schwaer, A. (RWE Net AG), 2000

Netznutzungsentgelte
in ct / kWh (netto)

Jährliche Unterbrechungsdauer
in Minuten pro Kunde



Erhöhen der Verfügbarkeit:

- **Weiterentwicklung in überschaubaren Schritten**
- **bewährte Bauelemente**
- **Nutzen von Betriebserfahrungen**
- **Turbinenbypass, Gleitdruck**
- **Sorgfältige Planung (Simulation...)**
- **Reserven bei Bemessung (Sicherheitszuschläge)**
- **Prüfung bei Herstellung und Montage**
- **geeignete Leittechnik**
- **Wartungsfreundliche Konstruktion**
- **Motivation und Schulung des Personals**
- **vorbeugende Reparaturen und Änderungen auch bei unvorhergesehenen Stillständen**

Eine der Verfügbarkeit ähnliche Aussage ist die Angabe von **Volllaststunden**

Die Volllaststunden geben an, wie lange eine Anlage, die Energie erzeugt oder verbraucht, pro Jahr mit Volllast laufen müsste, um die Jahresenergieproduktion oder den Jahresenergieverbrauch zu erreichen. Die Vollbetriebsstunden zeigen, wie gut die installierte Leistung einer Anlage ausgenutzt wird. Oft ist sie auch ein Maß für die Wirtschaftlichkeit.

Der prozentual auf die Gesamtstunden eines Jahres bezogene Wert heißt **Auslastung.**

Volllaststunden

Es sei **E** die Jahresproduktion einer Anlage in kWh.

Es sei **P** die installierte Leistung der Anlage in kW.

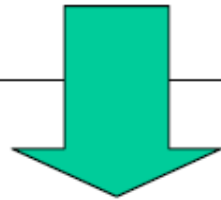
Es sei **t** die Anzahl Vollbetriebsstunden.

Dann gilt:

$$t = \frac{E}{P} [h]$$

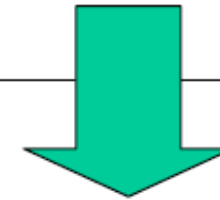
Typische Volllaststundenzahlen (Inland)

Regenerative Energien



• Photovoltaik	700 – 1.100 h/a
• Wind Binnenland	1.000 – 2.500 h/a
• Wind Küste	2.500 – 3.000 h/a
• Wind Offshore	3.500 – 4.000 h/a
• Laufwasserkraft	5.000 – 6.000 h/a
• Speicher- und Pumpspeicherkraftwerke	500 – 1.500 h/a
• Biomasse KWK	3.000 – 5.000 h/a
• Geothermiestrom aus HDR	5.000 – 7.000 h/a

Konventionelle KW



• Kohlekraftwerke	6.000 – 7.500 h/a
• Kernkraftwerke	7.000 – 8.000 h/a
• Gas-/Ölkraftwerke	500 – 7.500 h/a
• KWK	2.000 – 5.000 h/a

Die **Lebensdauer** (life time) oder Funktionsdauer einer Betrachtungseinheit ist die Zeit bis zum Ausfall. Mit Zeit können konkrete Zeiteinheiten (Stunden, Monate usw.) gemeint sein, die Zeit kann aber auch in Lastwechseln, Schaltvorgängen, Laufleistungen usw. angegeben werden.

Dabei beschreibt die Lebensdauer die Zeit, die diese technische Anlage oder Gegenstand rein theoretisch ununterbrochen, also rund um die Uhr (24 Stunden am Tag 7 Tage die Woche), genutzt werden kann, die **Volllaststunden**.

Vor Erreichen der Lebensdauer sind jedoch häufig Wartungsarbeiten notwendig, die aufgrund kürzerer **Standzeiten von Maschine, Anlage oder Werkzeug erforderlich werden.**

Unter **Standzeit versteht man bei technischen Anlagen die Zeit, in der diese arbeiten können bis die nächste Wartung, Reinigung o. Ä. durchgeführt werden muss, d. h. in der die Maschine oder Anlage bzw. das Werkzeug ohne Unterbrechung arbeiten kann. Die Standzeit beeinflusst wesentlich die erforderlichen Wartungsintervalle während der Lebensdauer einer technischen Anlage.**

Beispiel:

Bei einer Lebensdauer von 8 Jahren geht man davon aus, dass diese Maschine 8 Jahre lang 24 Stunden am Tag ohne den Austausch von Kernkomponenten oder komplettes Versagen genutzt werden kann = 70.000.

Dabei ist es unerheblich, welches tatsächlich Betriebsregime gefahren wurde:

- 10 Jahre 7000 Stunden im Jahr (rollende Woche)**
- 34 Jahre Einschichtbetrieb oder**
- 15 Jahre während der Heizperiode o.ä.**

Das Ende der Lebensdauer kann durch verschiedene Ereignisse und Kriterien bestimmt werden:

- **Verschleiß oder Ausfall machen eine Weiternutzung unmöglich.**
- **Der Wartungsaufwand lässt einen weiteren Betrieb nicht sinnvoll erscheinen.**
- **Die Anlage war von vornherein nur für eine definierte Nutzungsdauer vorgesehen (wie eine Rakete für nur einen Start).**

Von der **Lebensdauer zu unterscheiden ist die **Nutzungsdauer**. Sie ist eine buchhalterische Größe und üblicherweise deutlich kürzer.**

Lebensdauer beeinflussende Elemente

Zuverlässigkeit der Komponenten

Redundanz im System

Prophylaxe während des Betriebes

Diagnose während des Betriebes

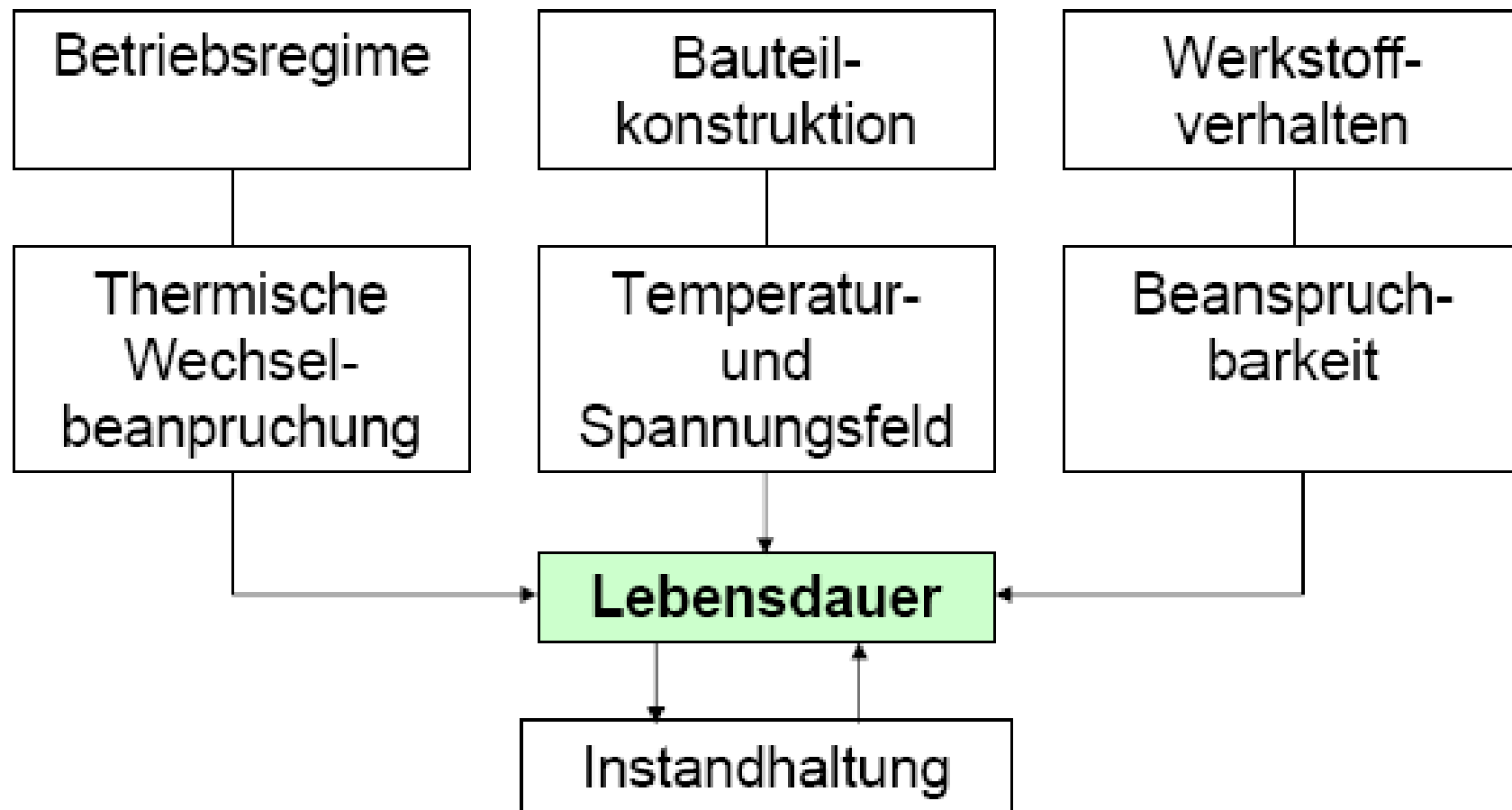
Instandsetzung

Erneuerung von Komponenten und Systemen

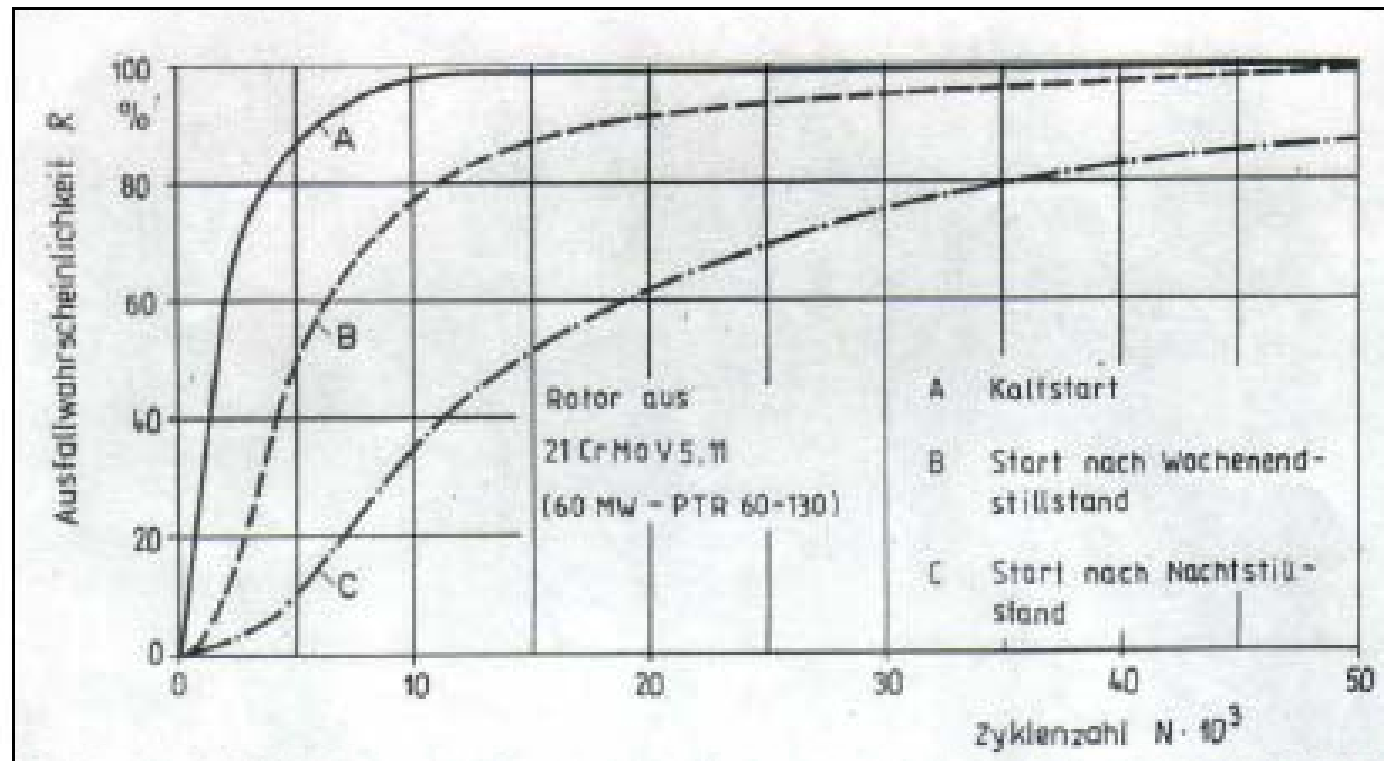
Besondere Belastungen führen zu einem deutlich überproportionalen Lebensdauerverbrauch.

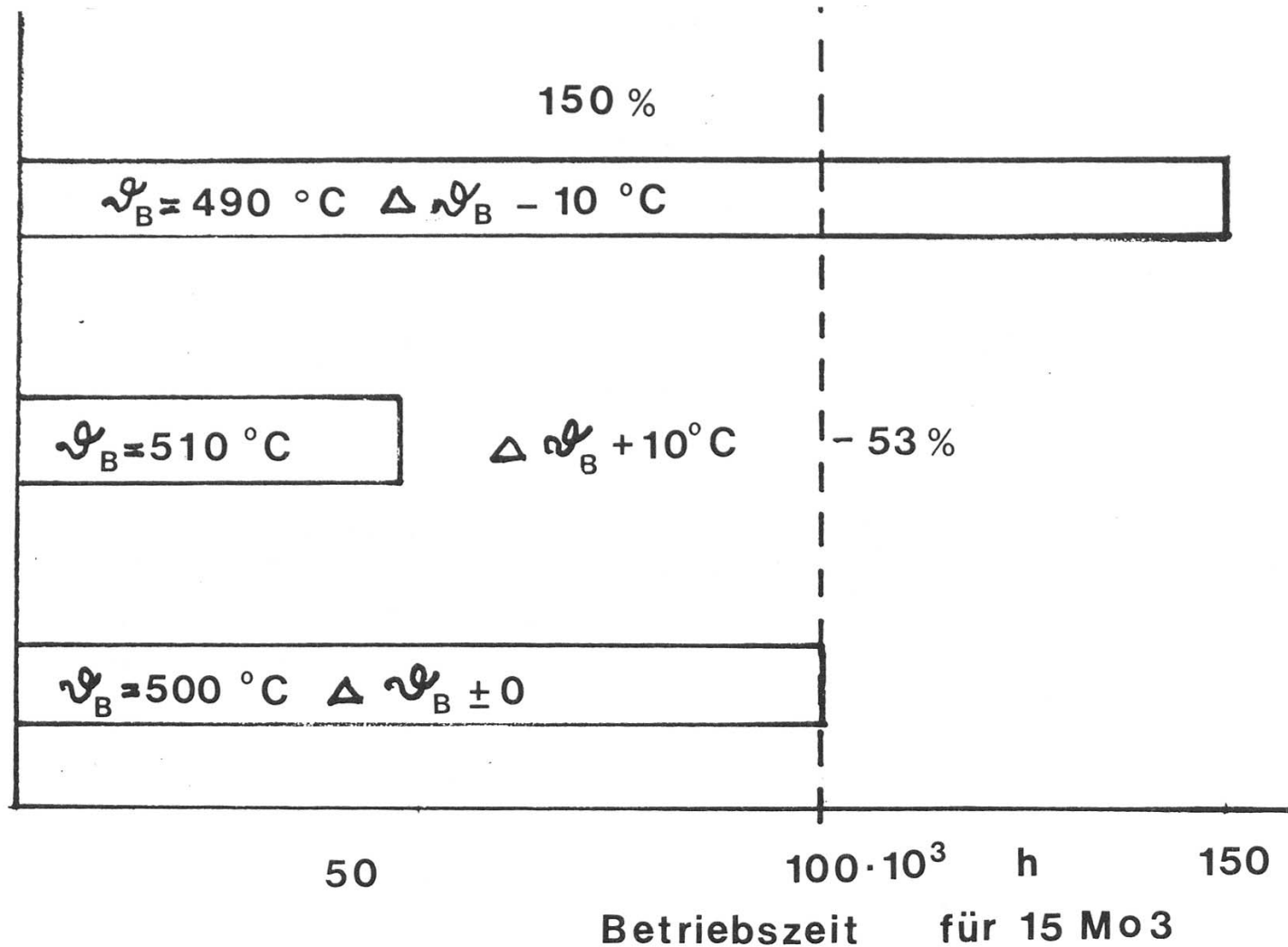
An- und Abfahrprozesse, aber insbesondere Überlastungen wie zu hohe Temperaturen und Temperaturgradienten oder Schnellabschaltungen führen zu einem hohen Lebensdauerverbrauch und verkürzen die **Restlebensdauer.**

Komplexe Zusammenhänge der Lebensdauerermittlung von Bauteilen an Gasturbinen



Ausfallwahrscheinlichkeit bei einem 60-MW-Rotor abhängig von der Anzahl der thermischen Wechsel





Lebensdauer in Abhängigkeit der Betriebstemperatur

Datenbank/Befunde

Lebenslaufakte

- Betriebsstunden
- An-/Abfahrten
- Revisionen
- Befunde
- Bauteiltausch

Lebensdauerverbrauch

Berechnung

- Schädigung
- Empfehlung zur Instandhaltung
- Ergebnissrückfluss

Instandhaltungsstrategie

- Revisionszeitpunkt
- Planung der Revisionszeit
- Instandhaltungsaufwand

**Instand-
haltung**



Das Bild zeigt das Bruchstück einer Turbinenwelle. Dieses stammt vom Niederdruckläufer 2 der 330 MW-Dampfturbine im Kraftwerk Irsching. Bei einem Kaltstart am 31.12.1987 zerbarst die Welle aufgrund von Materialfehlern und ungünstigen Temperaturverhältnissen. Acht der insgesamt 35 Bruchstücke mit einem Gewicht zwischen 600 und 3000 kg flogen aus der Maschinenhalle in umliegende Gebäude, ein Stahlblock mit 1300 kg wurde über eine Entfernung von 1,3 km geschleudert und landete in einem Acker. Menschen kamen nicht zu Schaden.