



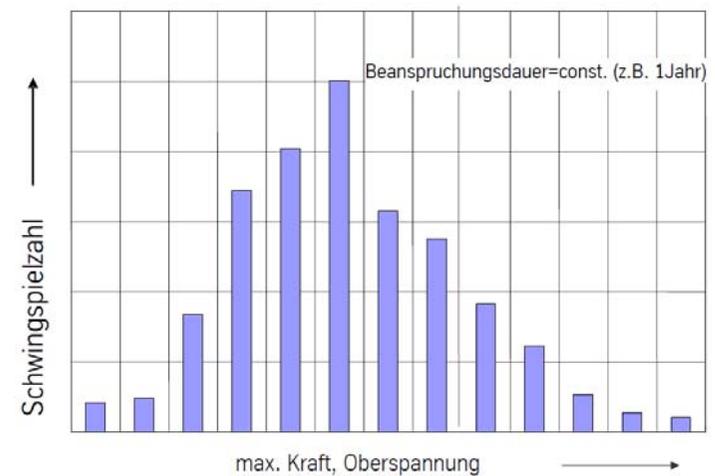
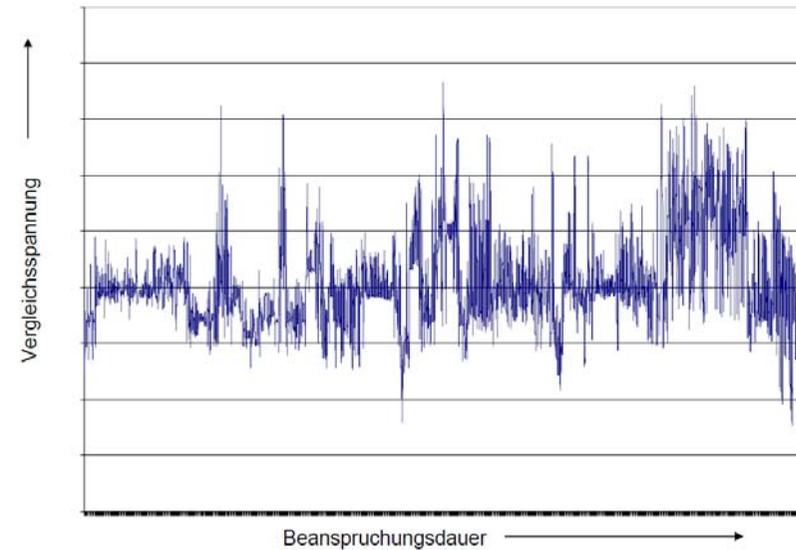
Vorlesung Schadensanalyse

Einfluss der Betriebsbeanspruchungen



Einleitung

Mobilkran im Einsatz



Betriebsfestigkeit

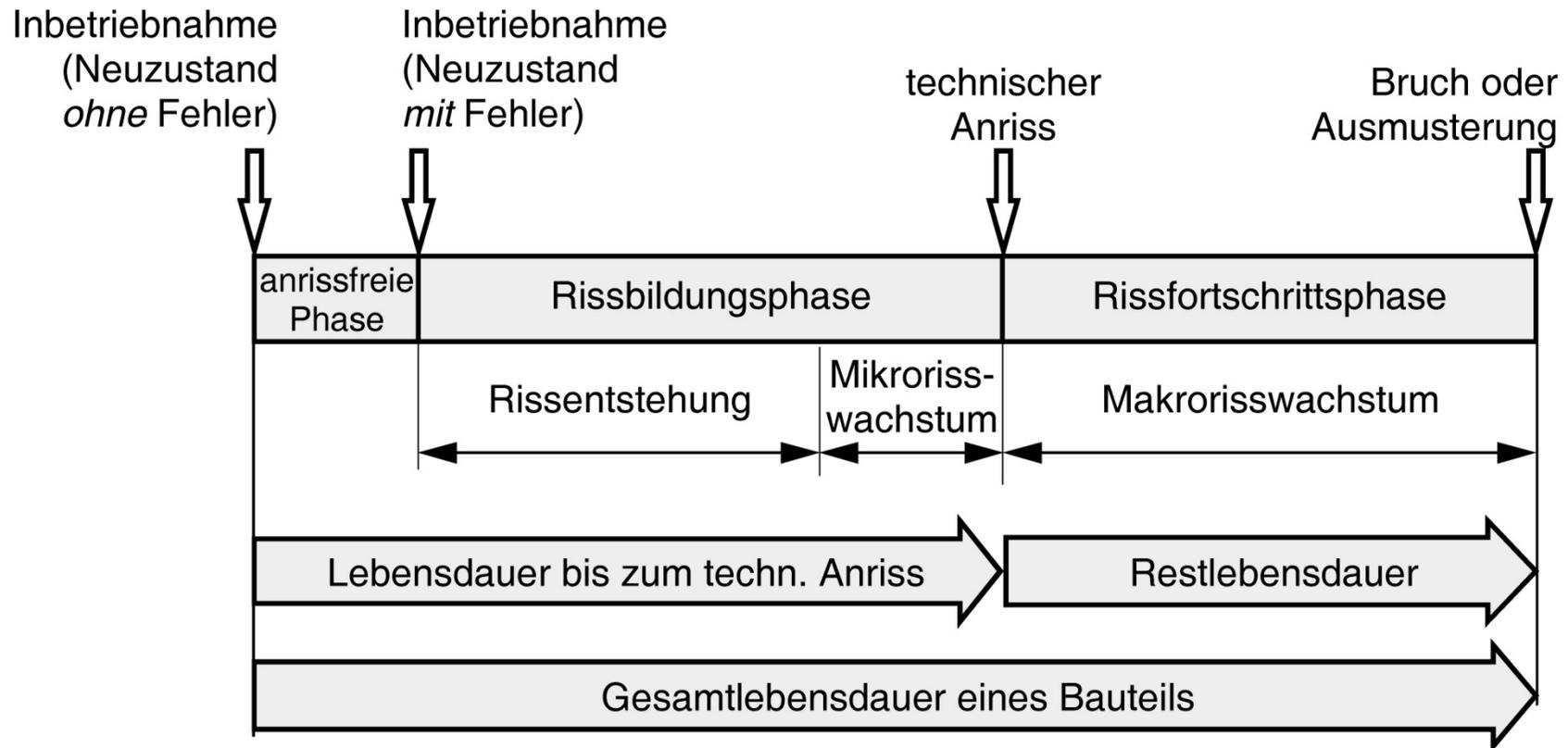
Betriebsfestigkeit ist die Festigkeit von Bauteilen unter *Betriebsbelastungen*, die sowohl das Festigkeitsverhalten unter *Sonderbelastungen*, wie einmalige oder seltene Überlastungen, als auch die *Schwingfestigkeit* einschließt.

- **Bemessungskonzept Betriebsfestigkeit:**

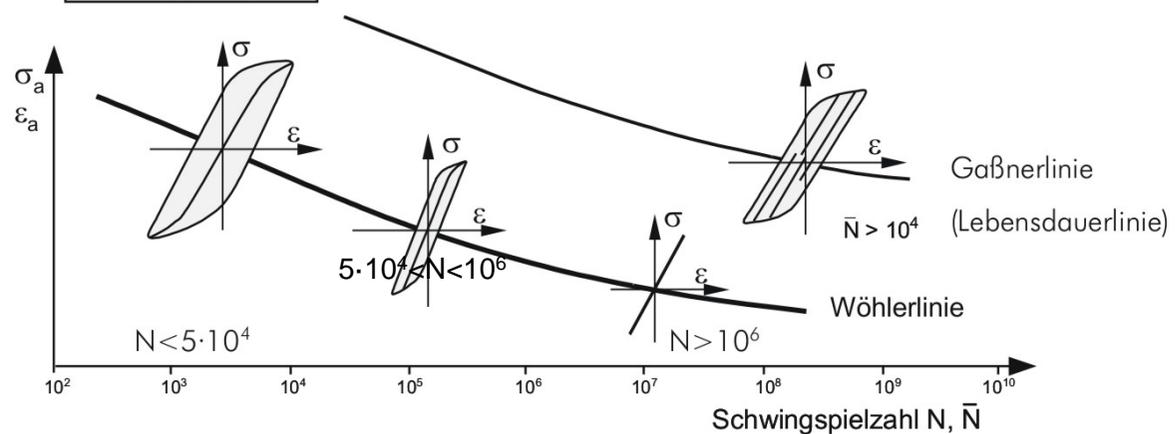
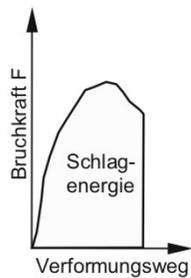
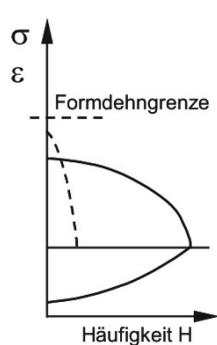
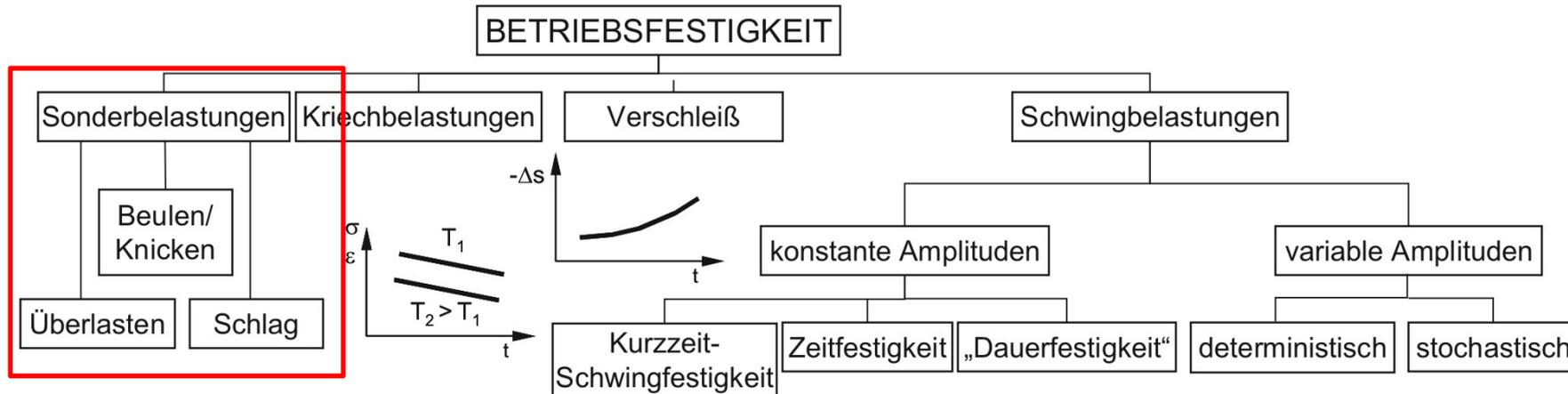
Die Kriterien zur betriebsfesten Bemessung richten sich nach der abzudeckenden *Belastungsgrenze* und *Belastungs-Zeit-Funktion* so wie der *Lebensdauerforderung* und sind somit *bauteil-abhängig*.

Die Kenntnis *konventioneller Werkstoffkennwerte* reicht nicht aus. Die konstruktive Formgebung (Spannungskonzentration) und die Fertigung sind zu berücksichtigen.

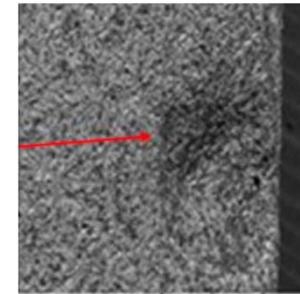
Phasen der Bauteillebensdauer



Einteilung der Betriebsfestigkeit



Einteilung der Betriebsfestigkeit: Sonderbelastung



500 μ m

15.01.2009 in New York: Ein Airbus 320 der US Airways mit rund 150 Menschen an Bord musste im eisigen Hudson River notlanden.

Nach Angaben der US-Luftaufsichtsbehörde FAA wurden in den USA zwischen 1990 und 2005 rund 65.000 Zwischenfälle mit Vogelschlag gemeldet - etwa einer auf 10.000 Flüge



Einteilung der Betriebsfestigkeit: Sonderbelastung

Bauartprüfung für Castor-Behälter:

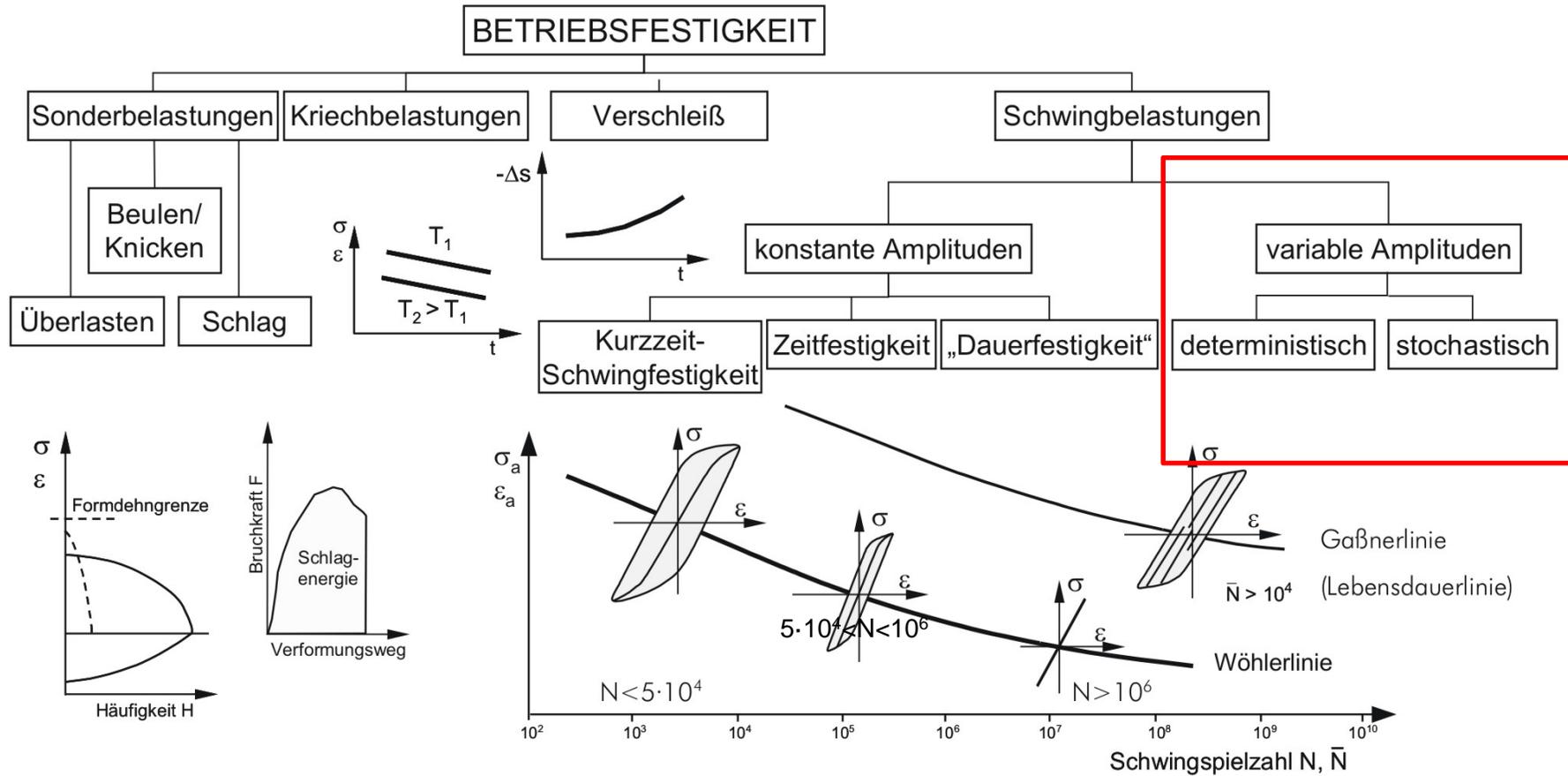
Die Bauartprüfung der BAM umfasst mechanische und thermische Prüfungen, die die Sicherheit eines Transportbehälters in schweren Unfällen gewährleisten. Die Sequenzen der Prüfungen bestehen aus einem **Freifall aus neun Metern Höhe** auf ein unnachgiebiges Fundament in den für die Behälterschädigung kritischsten Positionen, einem **Fall aus einem Meter Höhe auf einen Stahldorn** auf die empfindlichste Stelle des Behälters sowie einem anschließenden **halbstündlichen Feuer mit einer Flammentemperatur von 800 °C**

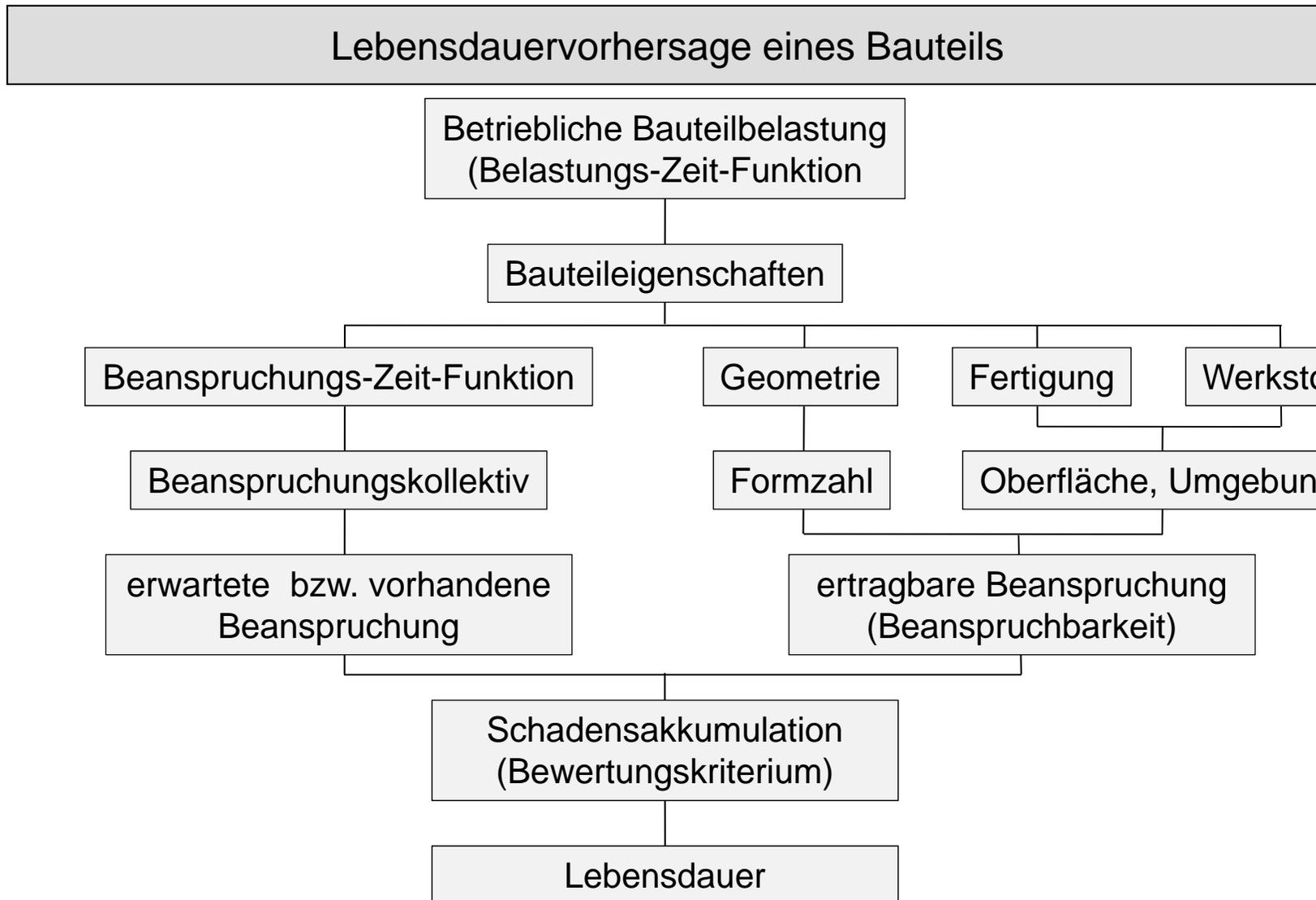


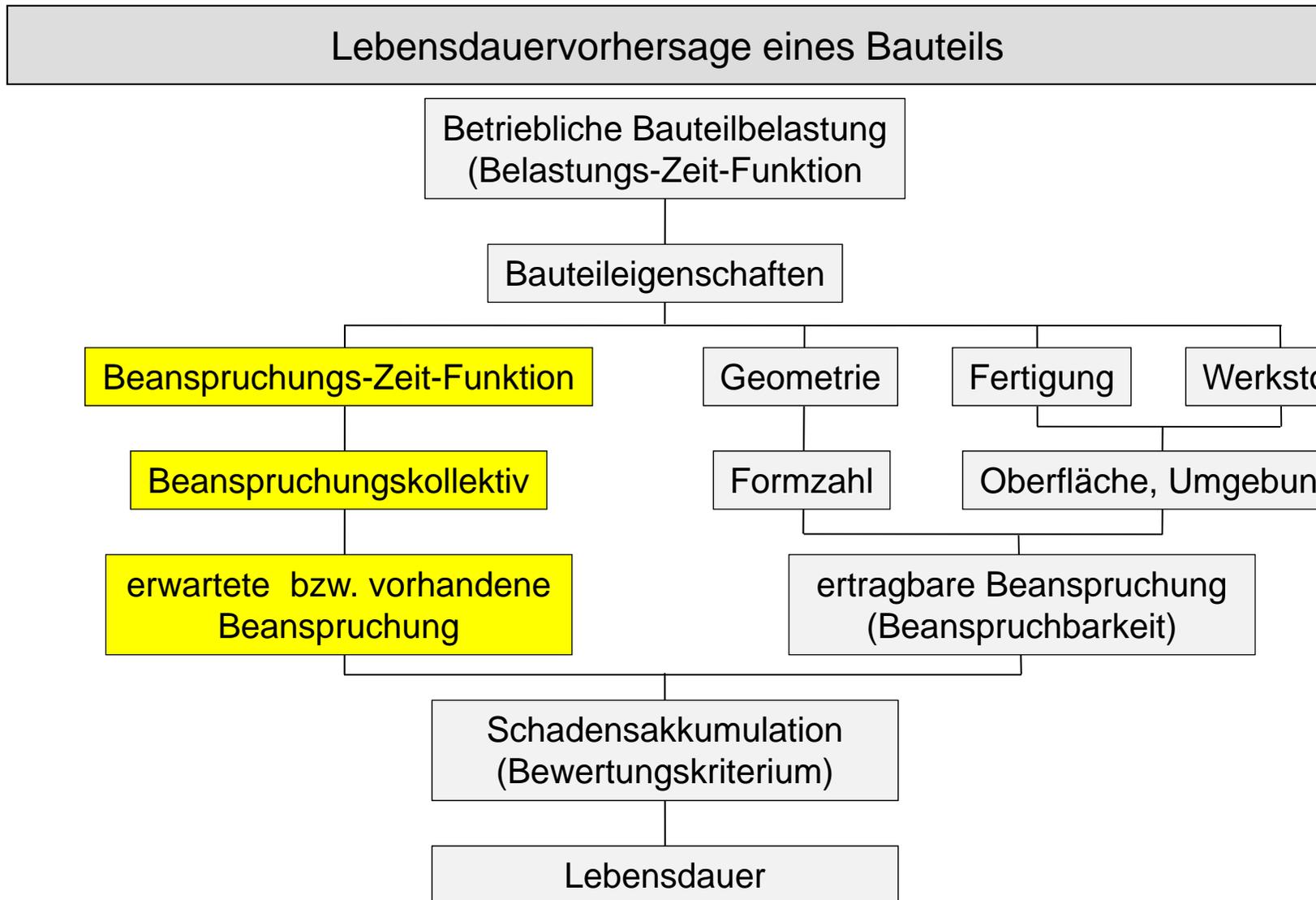
Tabelle 17: Bruchmechanische Kennwerte der zyklischen Risswachstumskurve

Werkstoff EN- ...	R-Wert	ΔK_{th} [N/mm ² √m]	m	C	ΔK_{fc} [N/mm ² √m]
GJS-400-15	0,1	7,5	4,5	$2,2 \cdot 10^{-10}$	40
	0,3	6,2	4,6	$3,8 \cdot 10^{-10}$	31
	0,5	4,5	4,2	$1,3 \cdot 10^{-9}$	22
GJS-600-3	0,1	6,9	4,1	$1,2 \cdot 10^{-9}$	34
	0,3	6,6	3,9	$1,3 \cdot 10^{-9}$	27
	0,5	4,6	3,7	$1,9 \cdot 10^{-9}$	19
GJS-800-10	0,1	5,4	2,9	$0,9 \cdot 10^{-8}$	51
	0,3	4,8	3,0	$1,1 \cdot 10^{-8}$	40
	0,5	4,3	3,2	$1,0 \cdot 10^{-8}$	29
GJS-1000-5	0,1	5,5	2,9	$2,3 \cdot 10^{-8}$	45
	0,3	4,0	2,7	$3,3 \cdot 10^{-8}$	33
	0,5	3,4	2,8	$3,9 \cdot 10^{-8}$	24

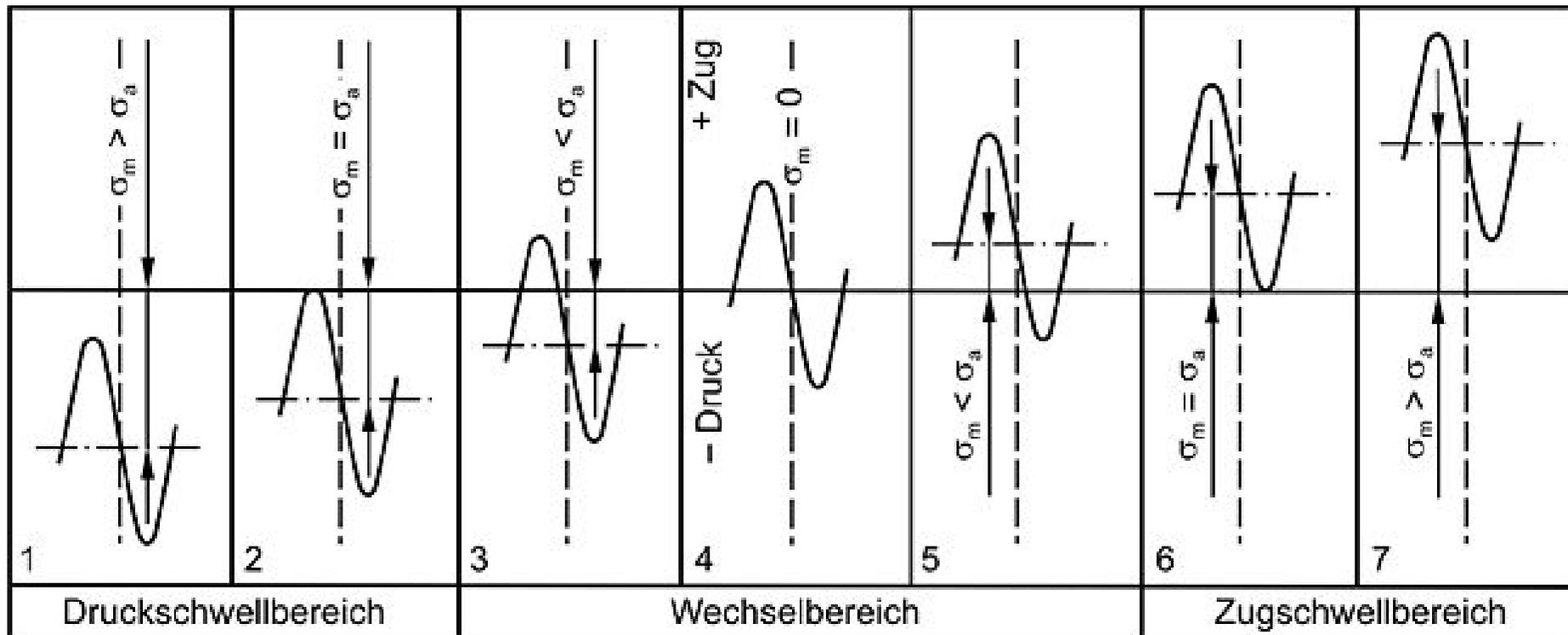
Einteilung der Betriebsfestigkeit







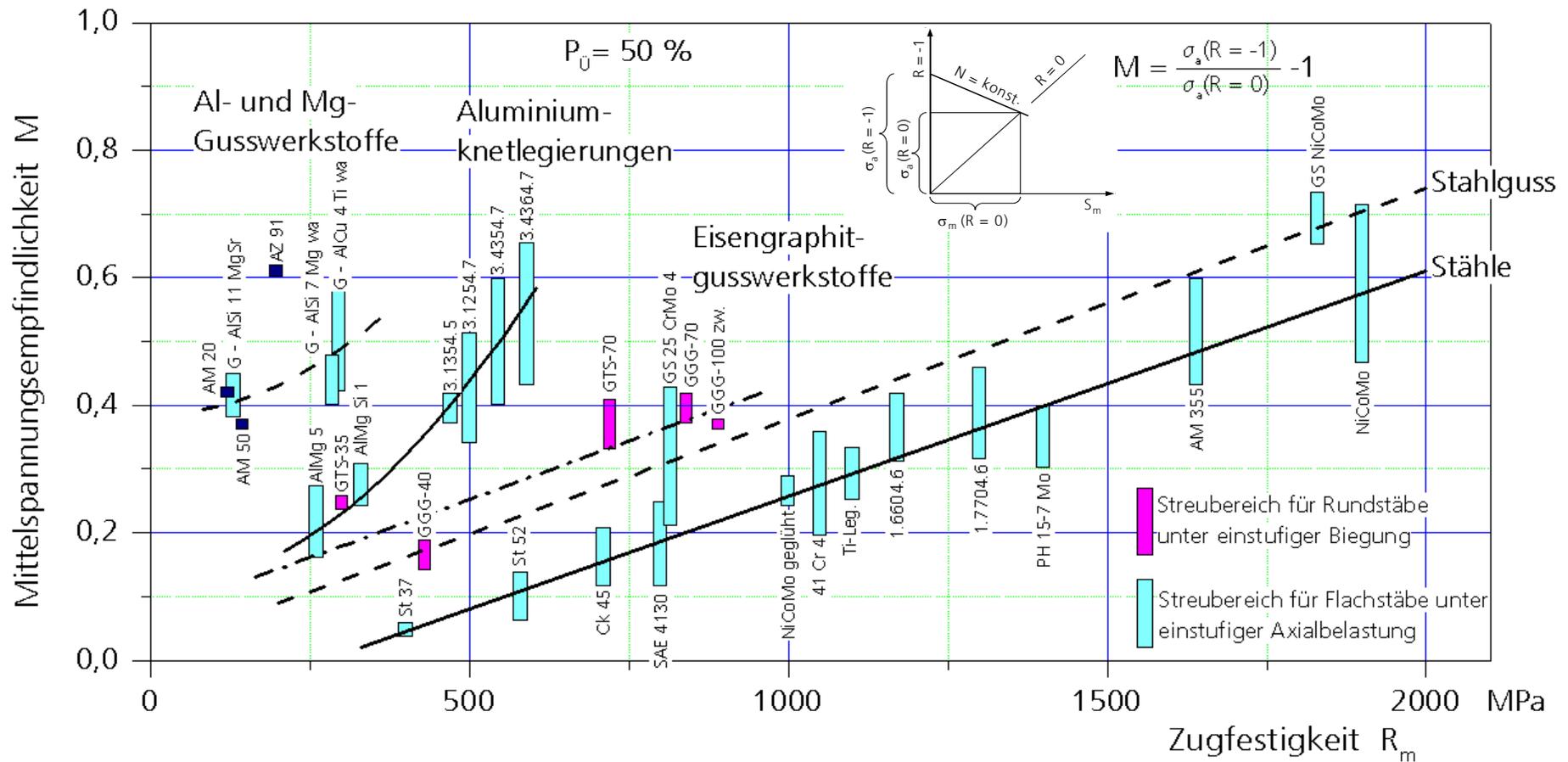
Belastungs- und Beanspruchungs-Zeit-Funktionen



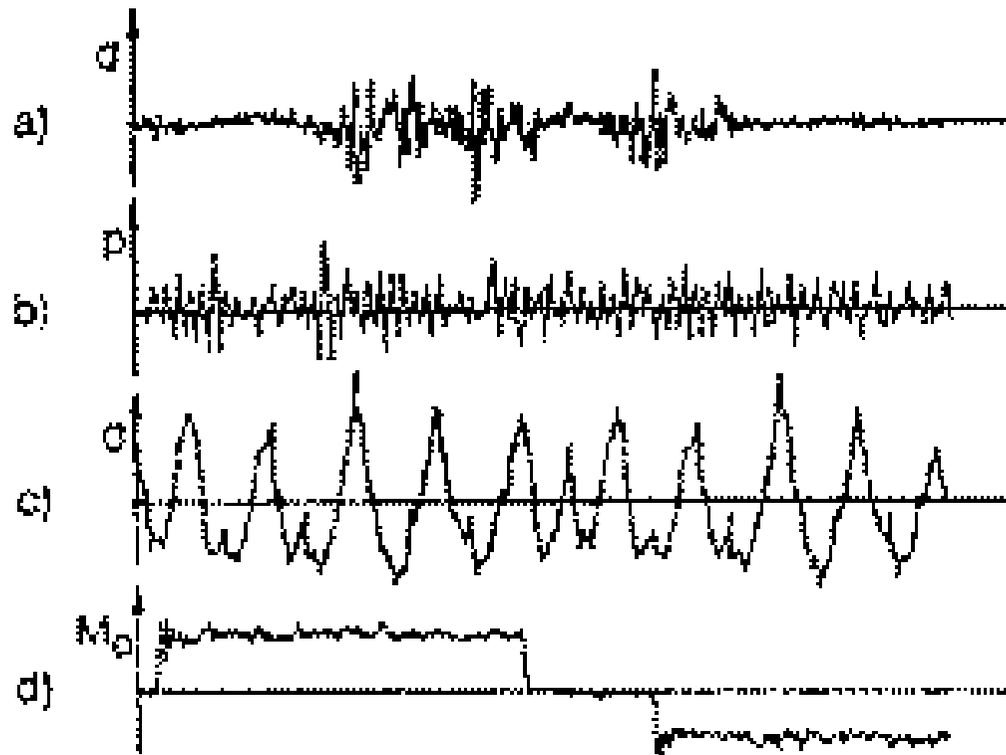
Spannungsverhältnis $R = \sigma_U / \sigma_O$

Mittelspannungsempfindlichkeit

Mittelspannungsempfindlichkeit metallischer Konstruktionswerkstoffe



Belastungs- und Beanspruchungs-Zeit-Funktionen



Hinterradachse eines Pkw

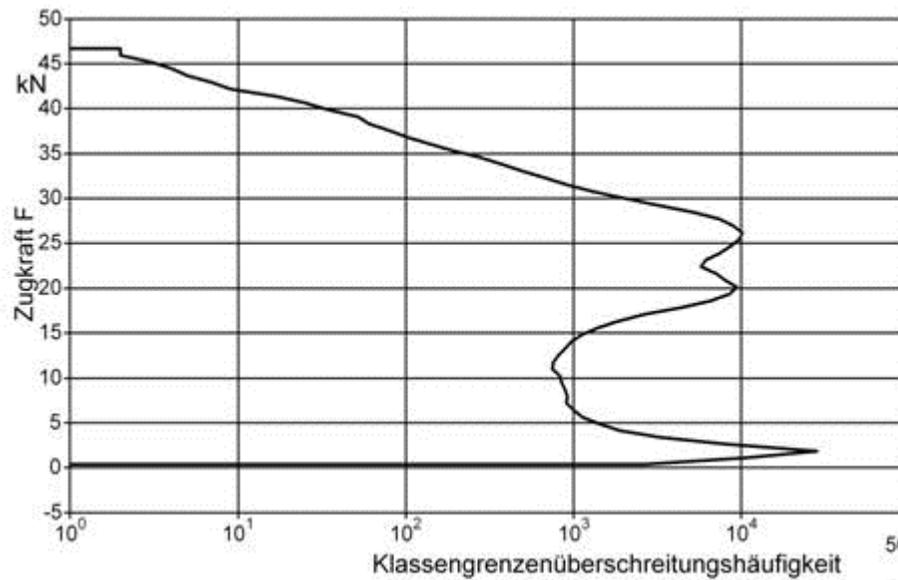
Druck in einer Reaktorkammer

Beanspruchung eines Pkw-Rads

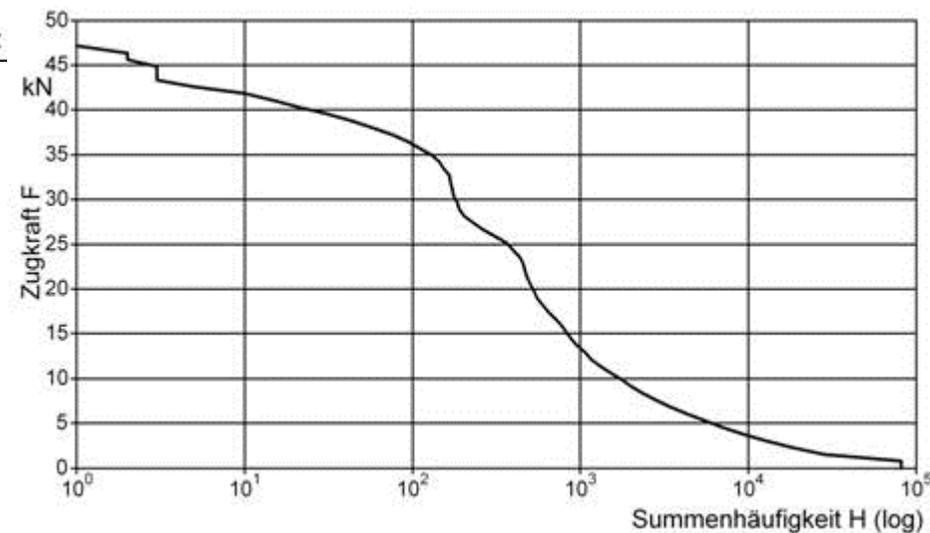
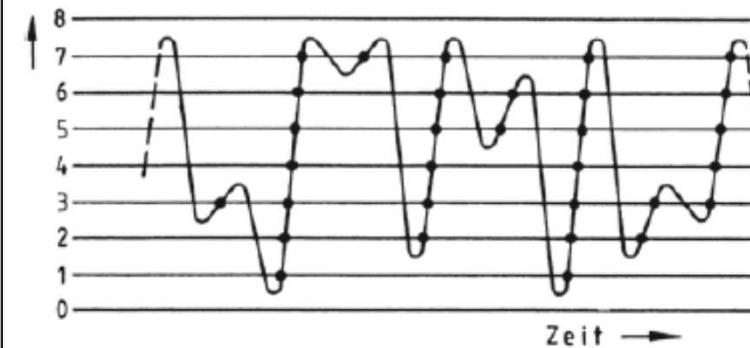
Drehmoment eines Antriebssystems
eines Walzgerüsts



Belastungs- und Beanspruchungs-Zeit-Funktionen



Klassengrenzenüberschreitungszählung



Bereichspaarzählung

Belastungs- und Beanspruchungs-Zeit-Funktionen

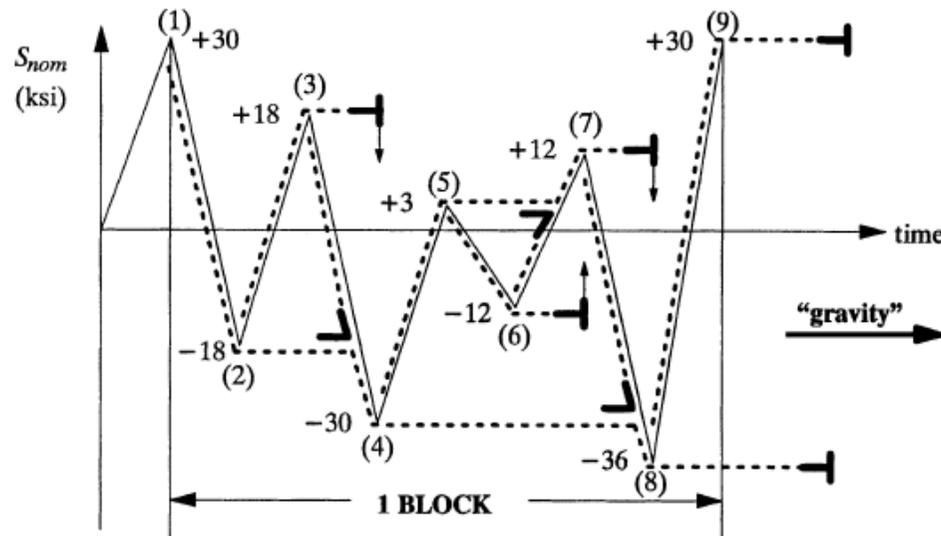
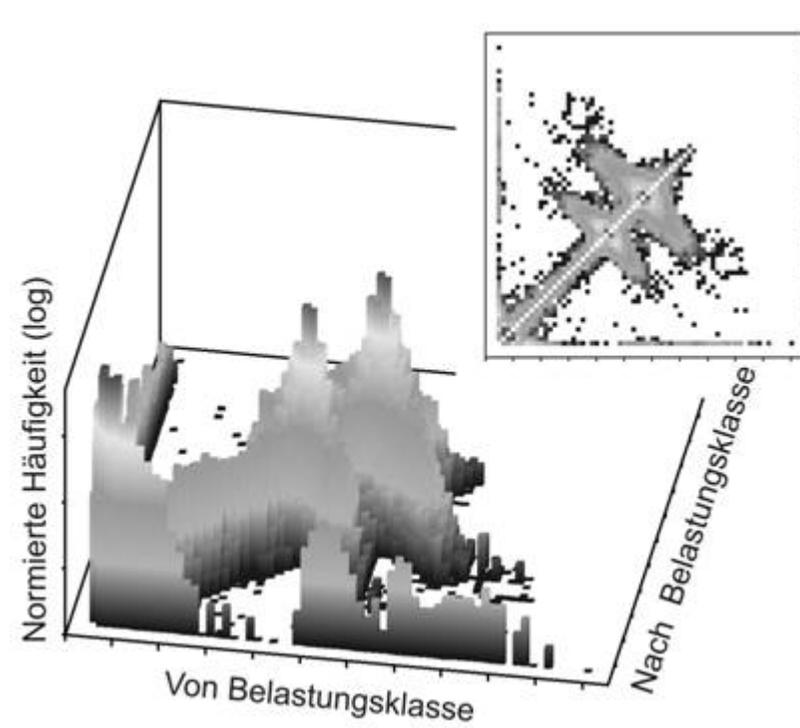
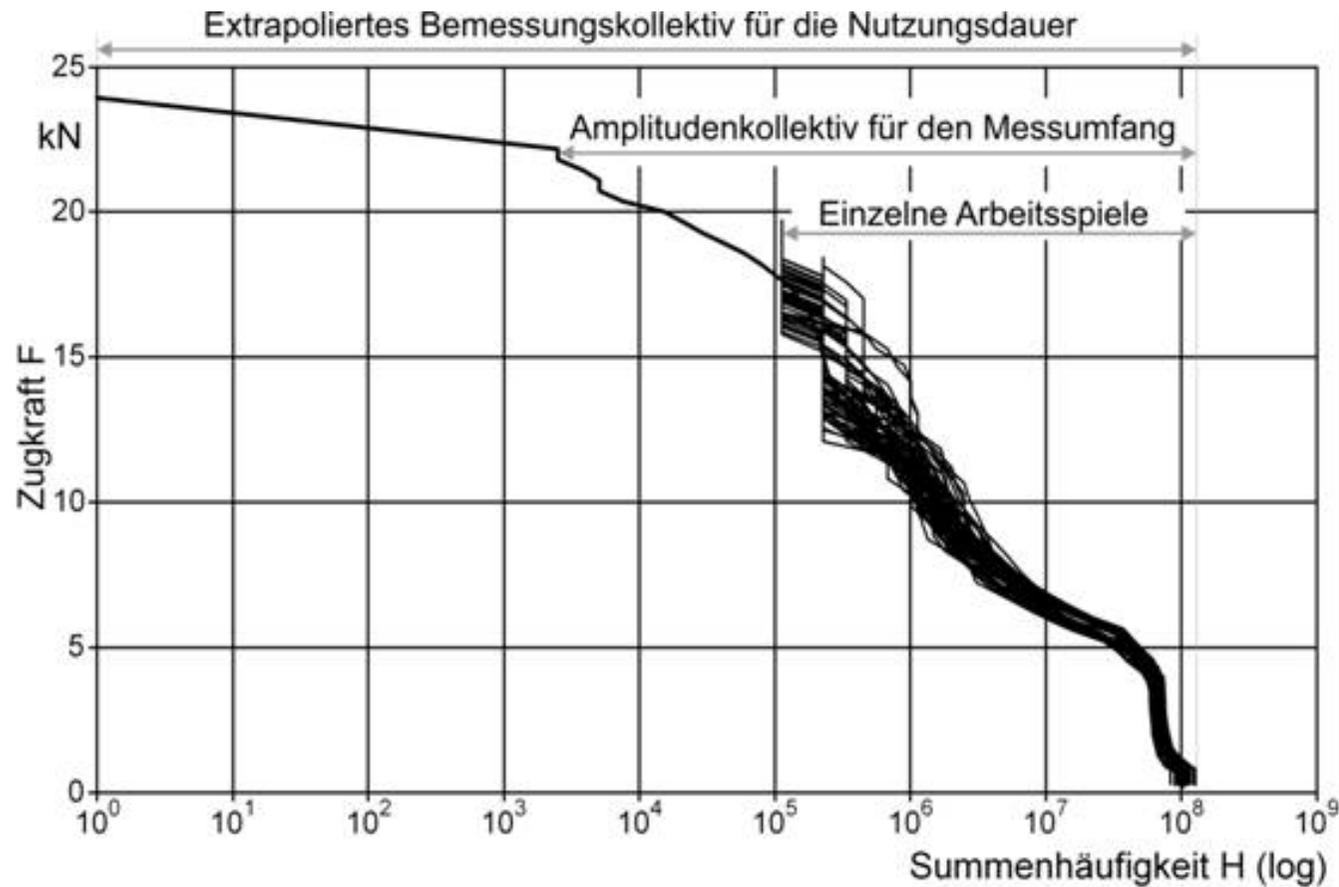


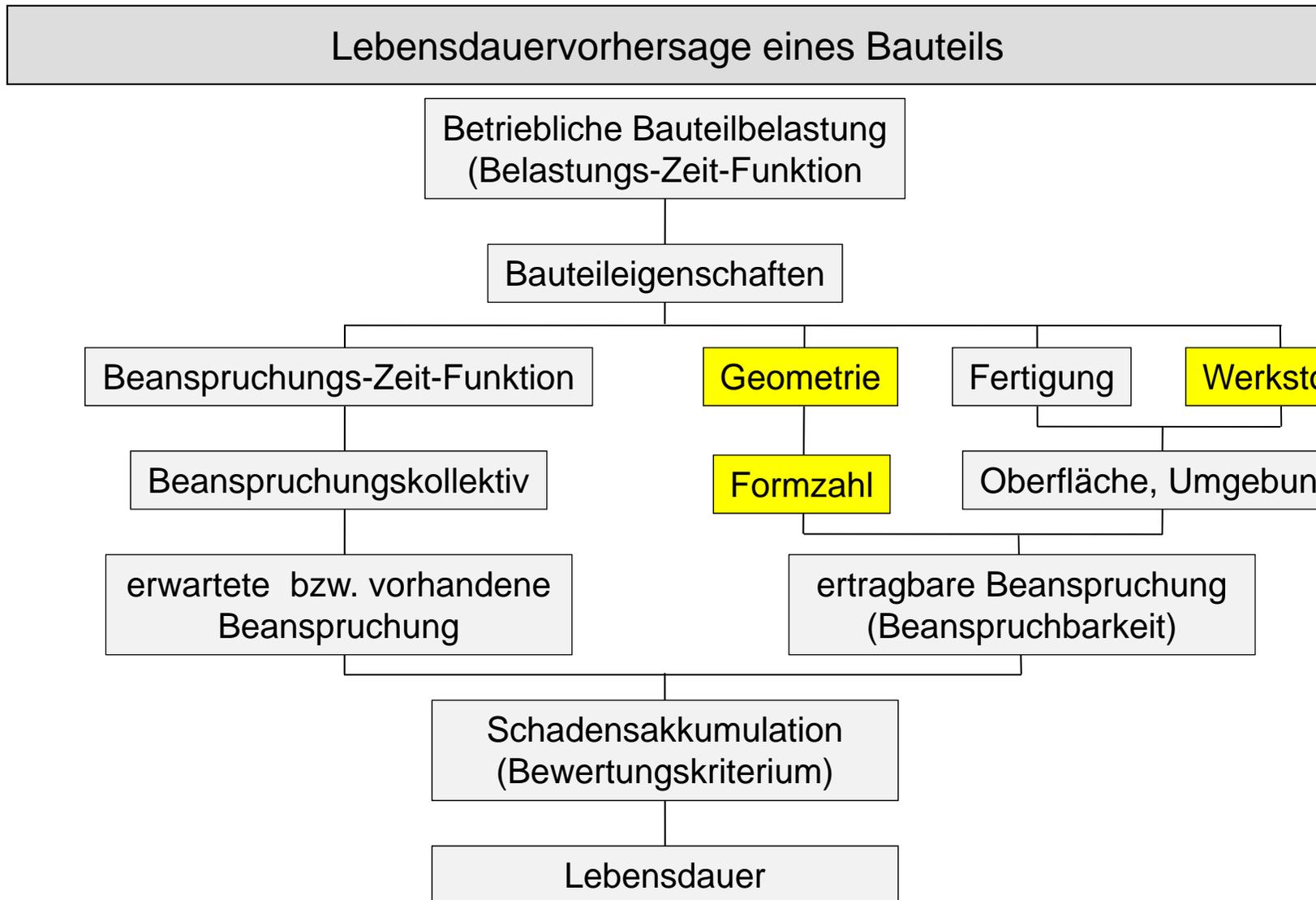
FIG. 5.49 Rainflow cycle counting ("falling rain" analogy).



Rainflow-Matrix als Ergebnis der Rainflow-Zählung

Belastungs- und Beanspruchungs-Zeit-Funktionen

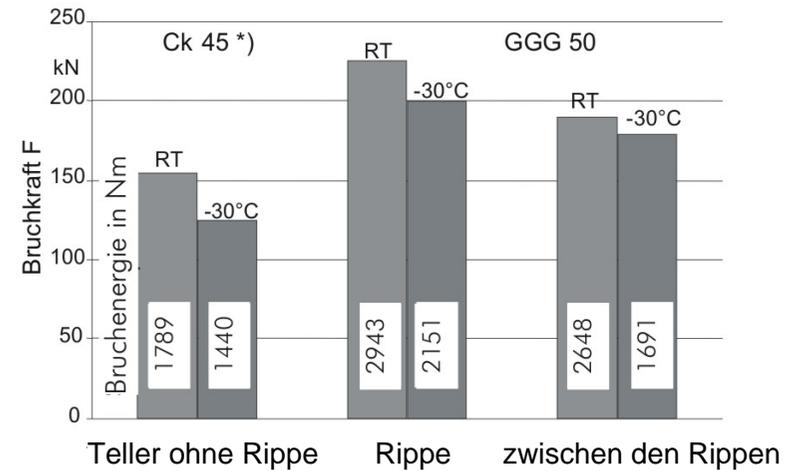
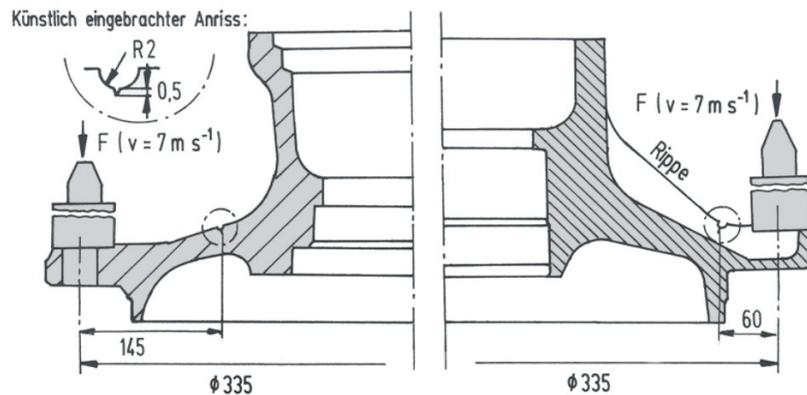




Gussbauteile: Bruchverhalten & konstruktive Formgebung

Einfluss der konstruktiven Formgebung auf das Schlagverhalten von Nutzfahrzeug-Radnaben mit künstlich eingebrachten Anrissen

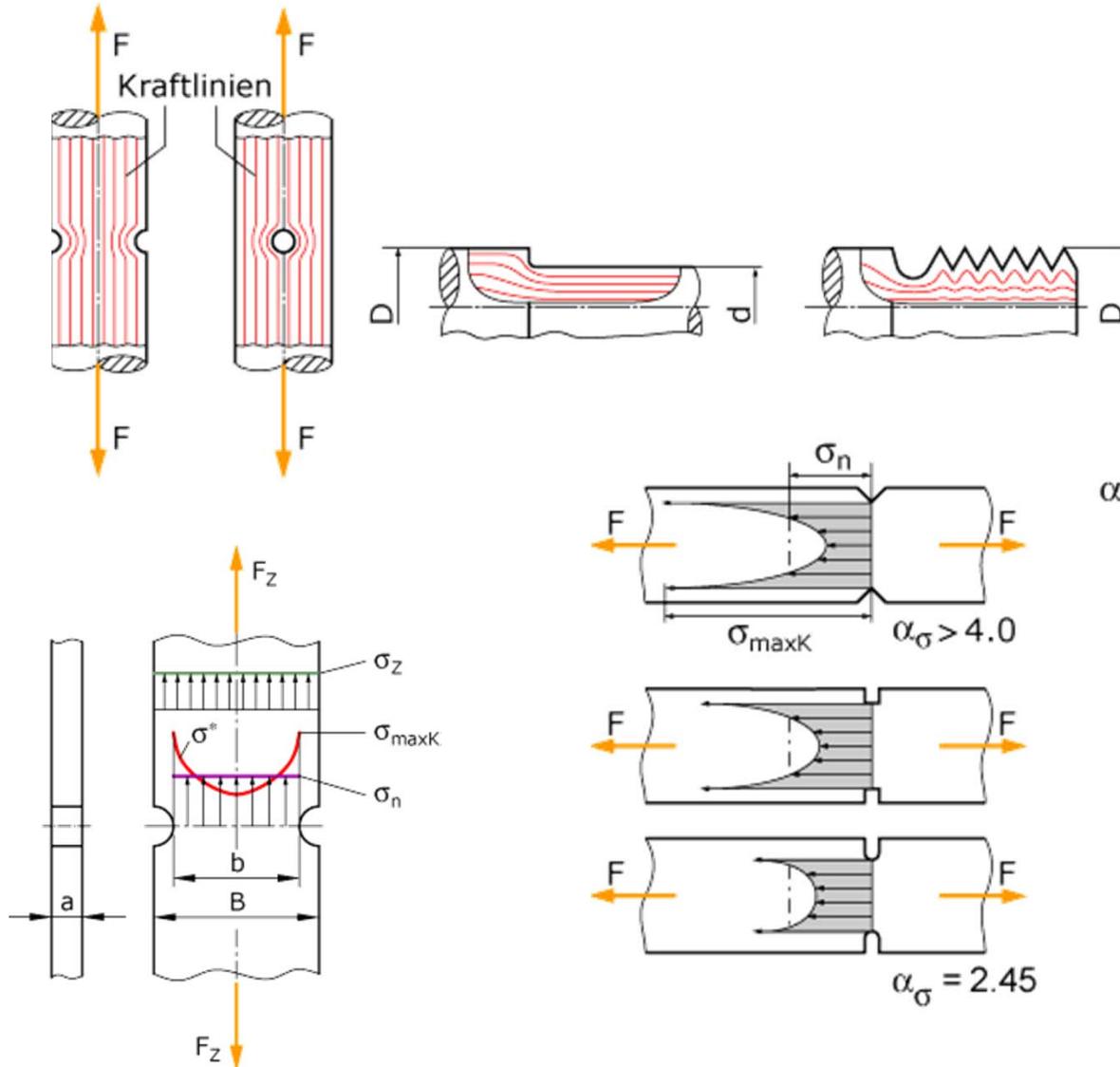
a. Geschmiedete Nabe aus Ck 45* b. Gegossene Nabe aus GGG 50 c. Bruchkraft



*) grobkorngeglüht

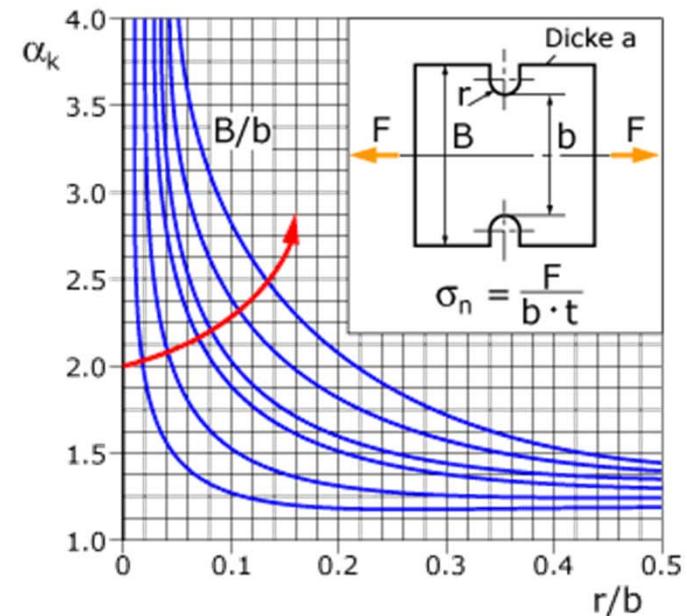
Werkstoff	R _{p0.2} [MPa]	R _m [MPa]	A ₅ [%]	Z [%]	A _v (RT) in J
Ck 45	359	707	15	33	19
GGG 50	373	577	7	7	5

Einfluss geometrischer Kerben



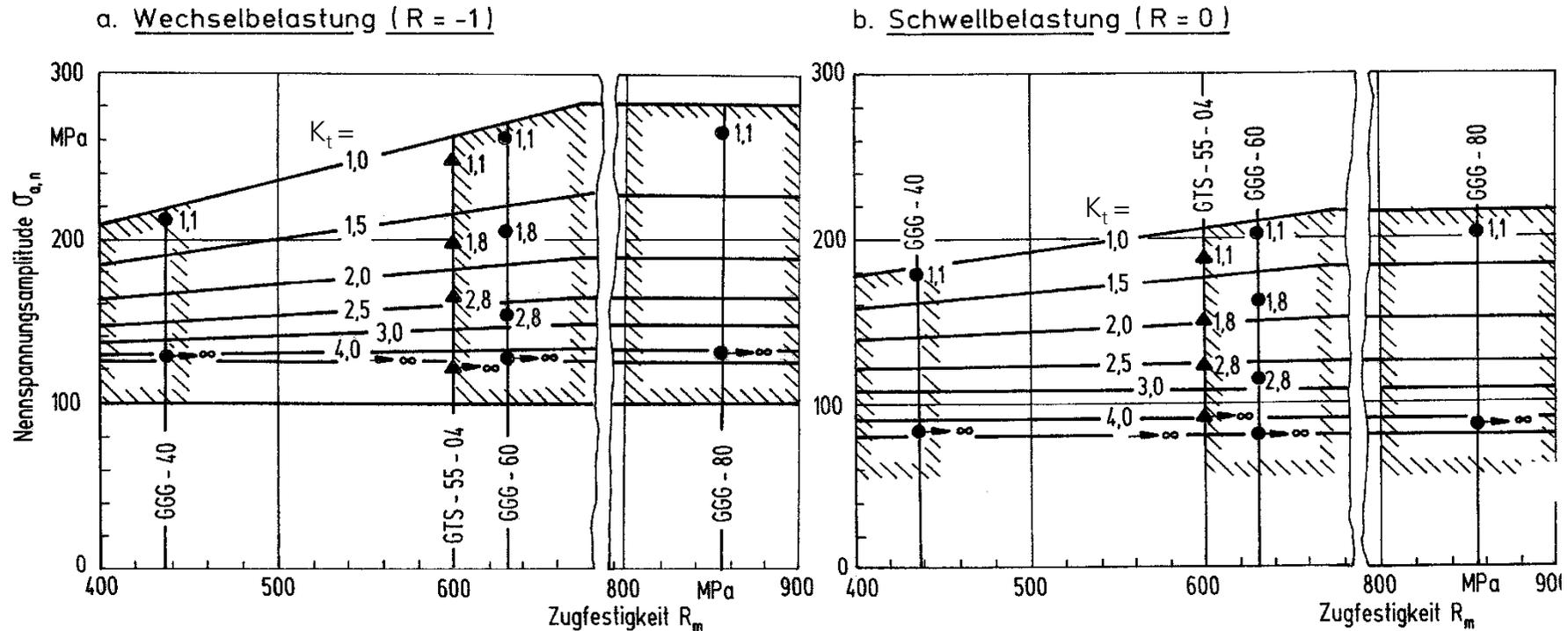
Formzahl α_K bzw. K_t

$$\alpha = \frac{\sigma_{maxK}}{\sigma_n}; \sigma_{maxK} \geq \sigma_n$$



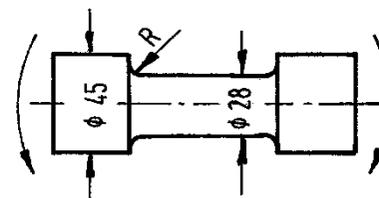
Werkstofffestigkeit und geometrische Gestaltung

Einfluss der Zugfestigkeit und **Formzahl** (Maß für die lokale Spannungsüberhöhung infolge einer geometrischen Kerbe) auf die Schwingfestigkeit von Eisengraphitgusswerkstoffen



$N = 2 \cdot 10^6, P_{\bar{U}} = 50\%$

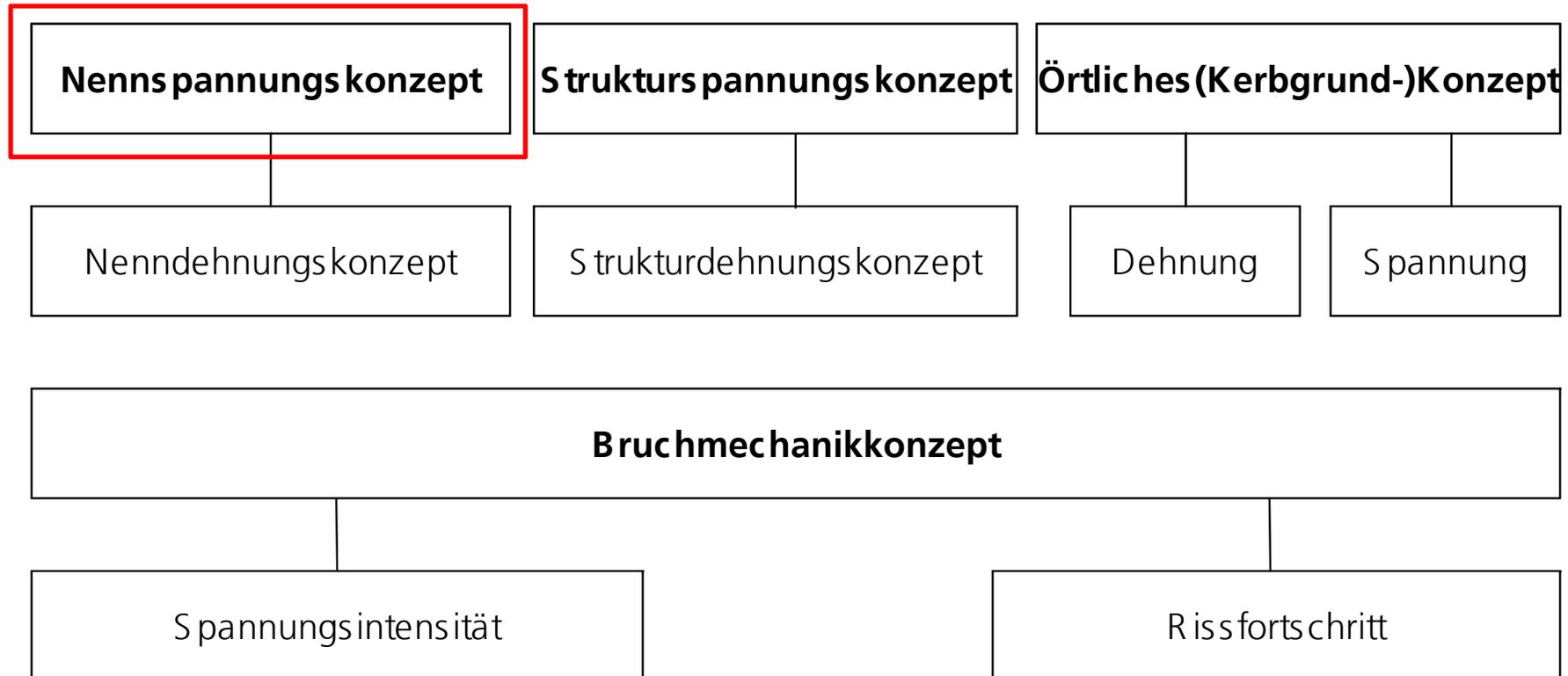
Belastungsart: Planbiegung
Oberfläche: Feingedreht, $R_z = 10 \mu\text{m}$



R	K_t
3,0	1,1
3,2	1,8
0,9	2,8
0,02	∞



Bemessungskonzepte der Betriebsfestigkeit

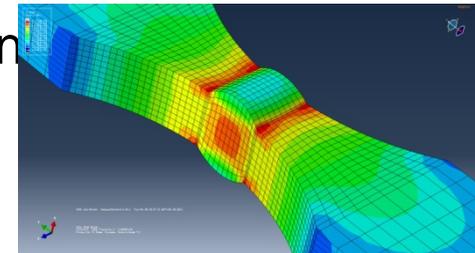


Bemessungskonzepte der Betriebsfestigkeit

- **Gussbauteile:**

Spröde Werkstoffe, z.B. Aluminiumguss- und Eisengraphitwerkstoffe,

⇒ Normalspannungshypothese (NH)



- **Stahlkonstruktionen im Anlagenbau**

Duktile Werkstoffe wie Stähle, siehe Regelwerke,

⇒ Gestaltänderungsenergiehypothese (GEH)

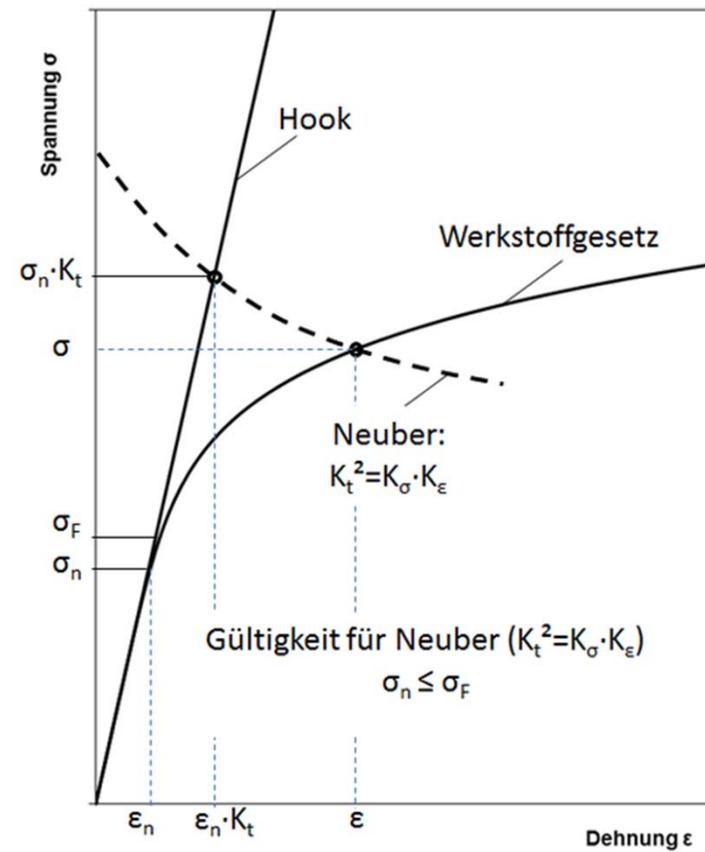
⇒ Schubspannungshypothese (SH)

Sonderfall: Phasenverschiebung

⇒ Hypothese der wirksamen Vergleichsspannung

Bemessungskonzepte der Betriebsfestigkeit

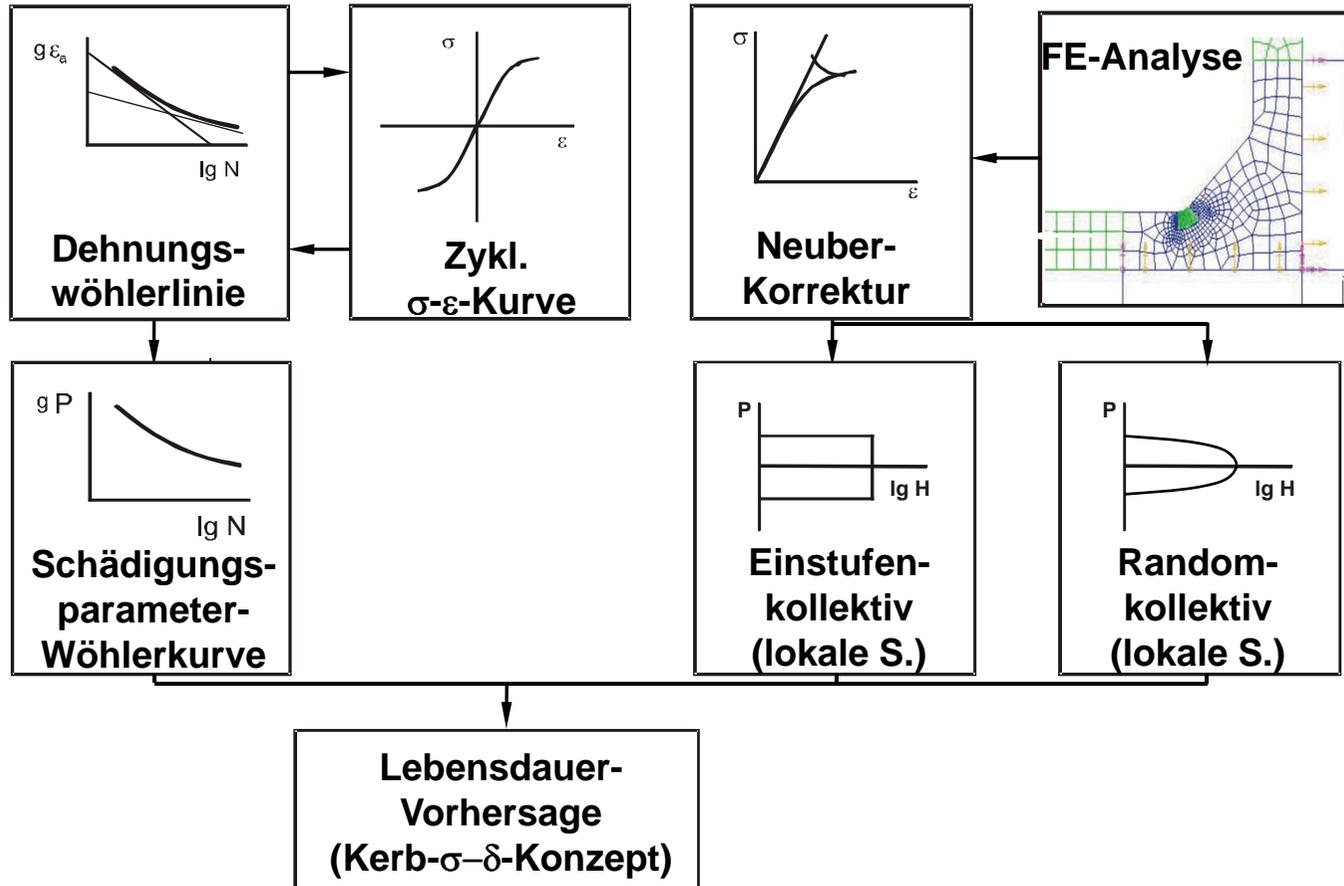
- **Makrostützwirkung**

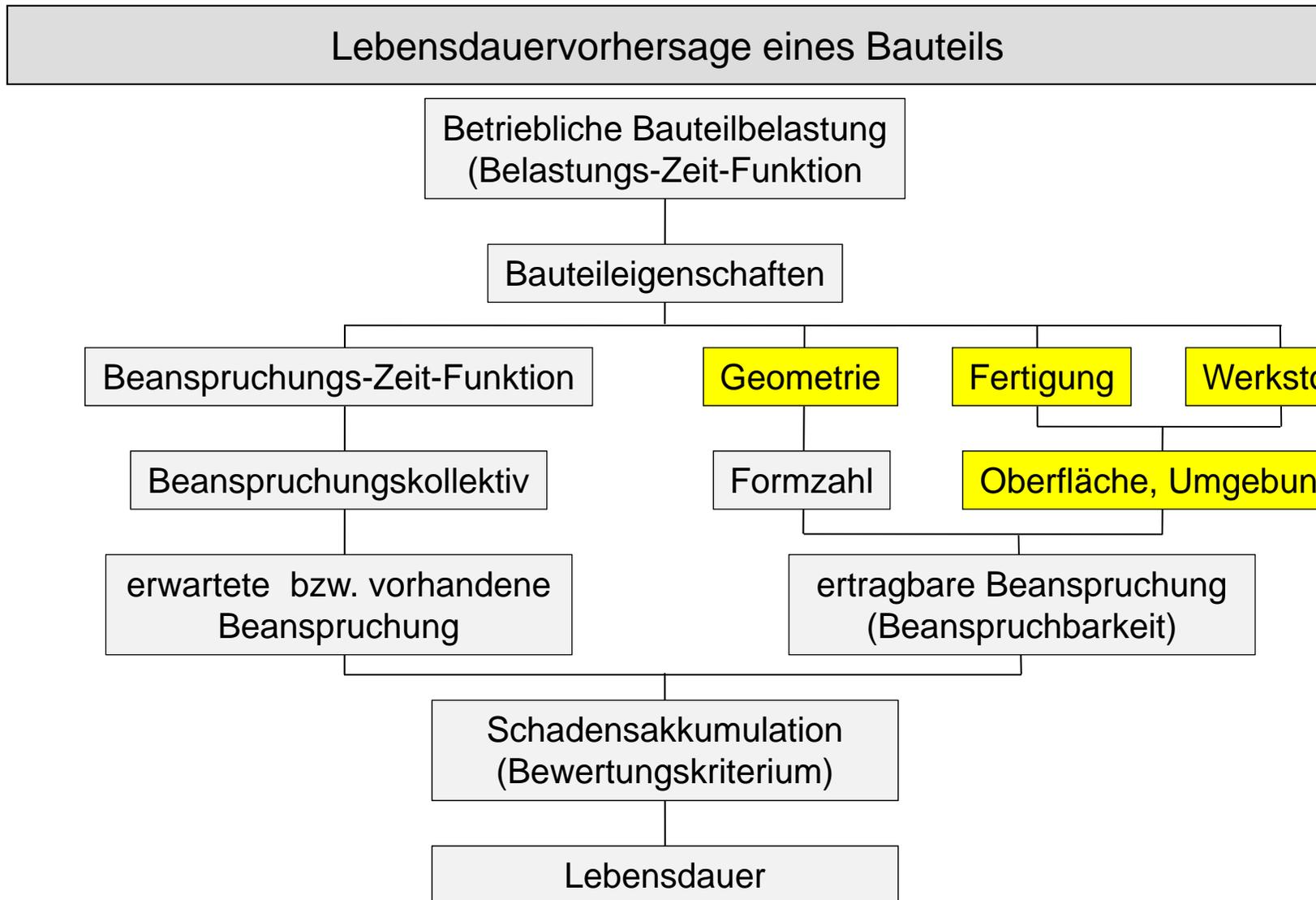


Elasto-plastisches Werkstoffverhalten

Ungekerbtes Bauteil

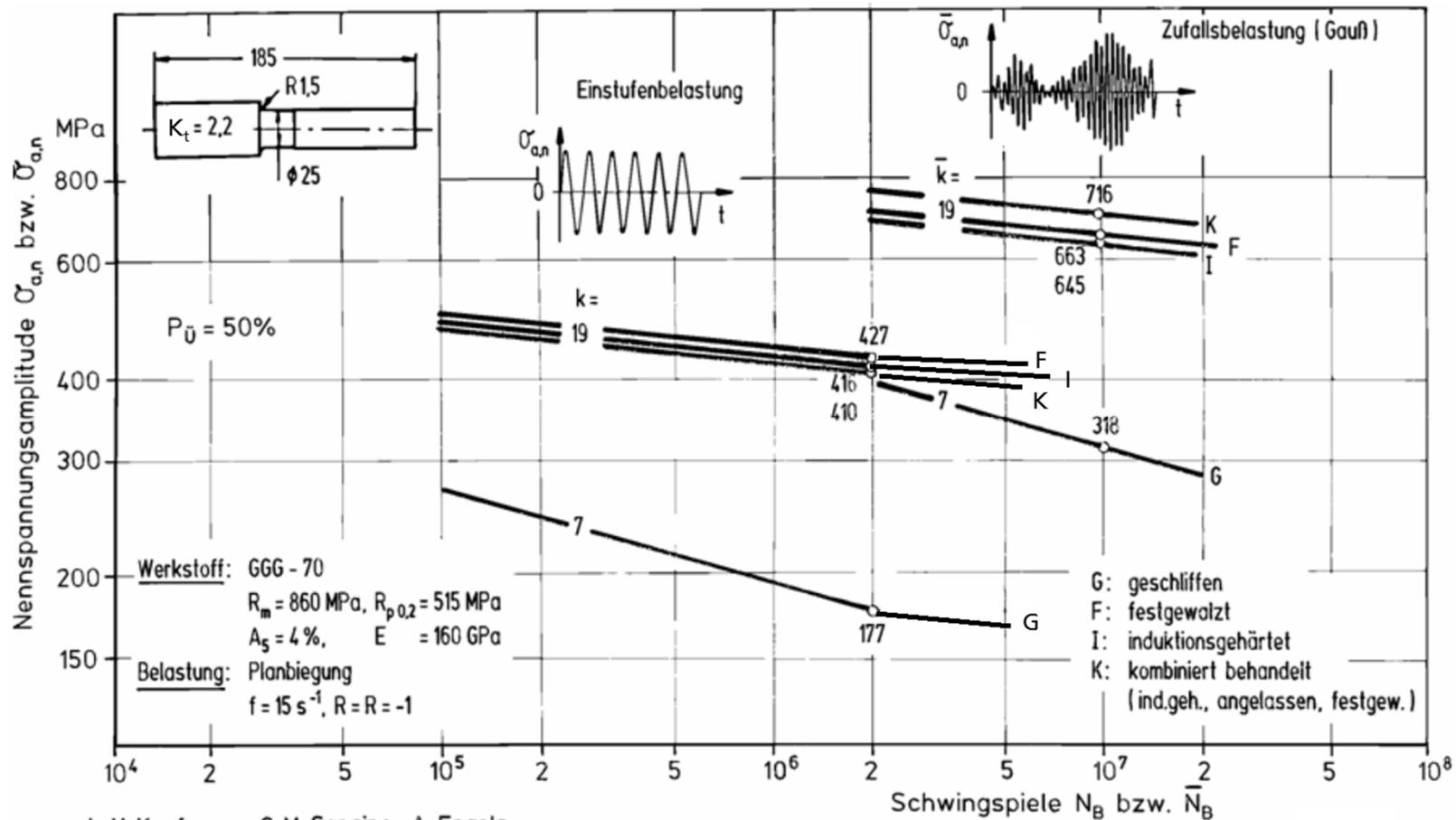
Gekerbtes Bauteil





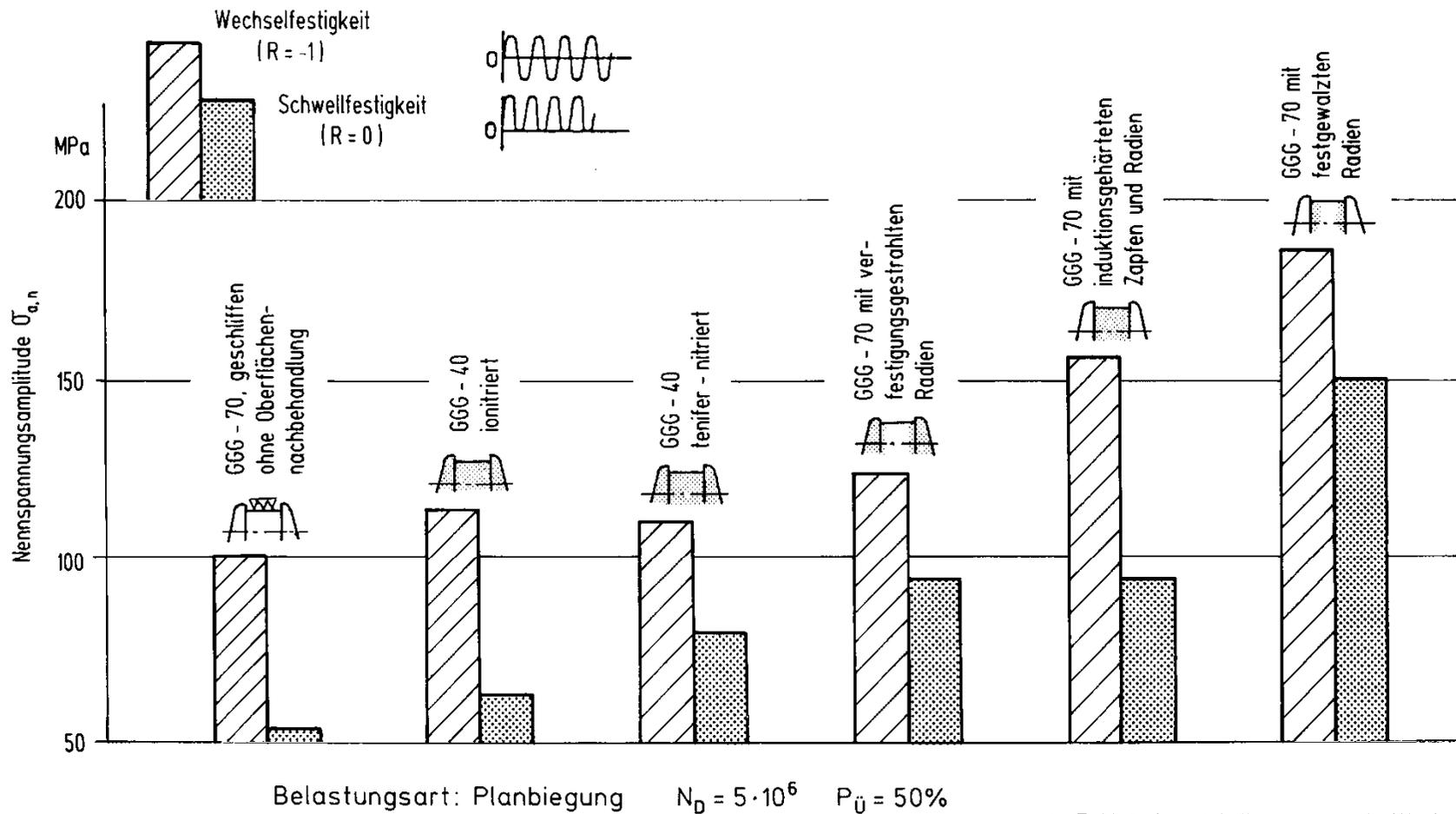
Einfluss der Fertigungs- und Nachbehandlungsverfahren

Einfluss verschiedener Nachbehandlungsverfahren auf die Schwingfestigkeit von GGG-70



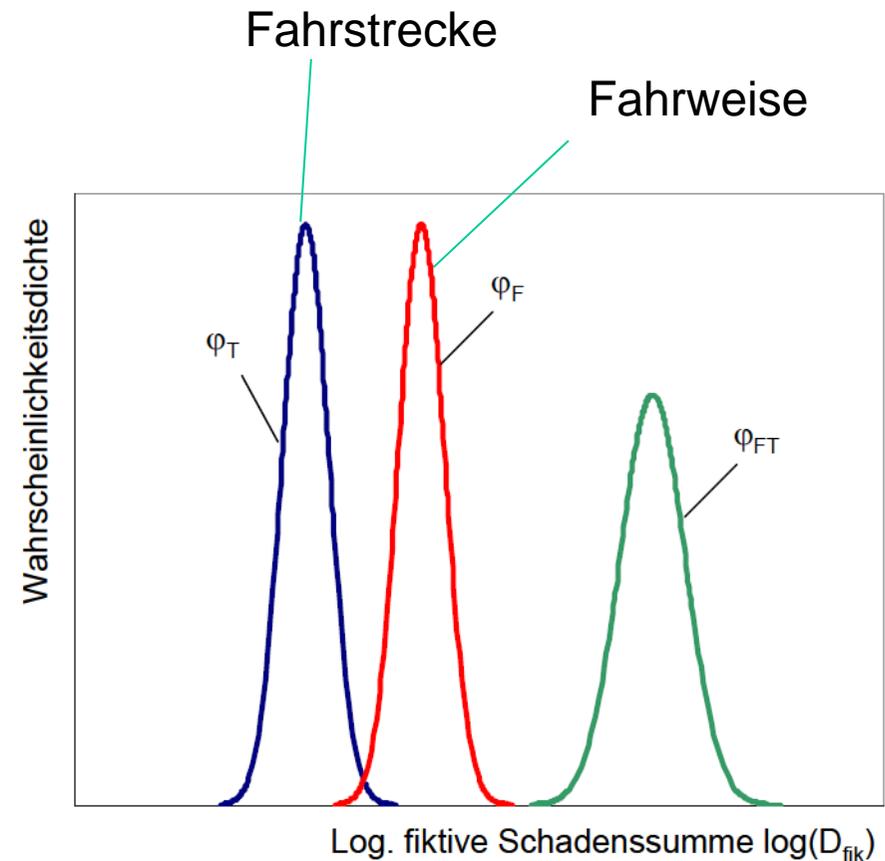
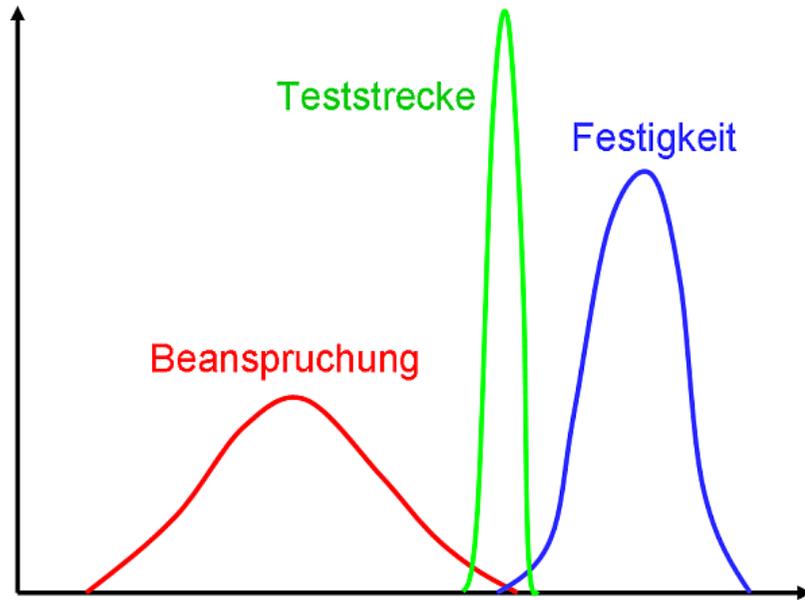
Einfluss der Fertigungs- und Nachbehandlungsverfahren

Erhöhung der Schwingfestigkeit von Kurbelwellen durch verschiedene Oberflächenbehandlungen



nach F. Mahnig, H.G. Trapp und H. Walter

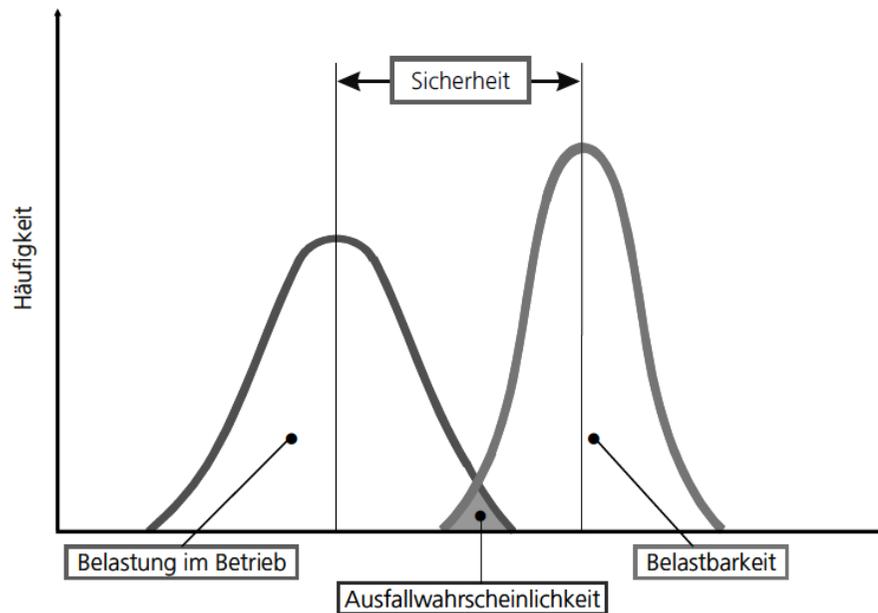
Einfluss der statistischen Verteilung der Beanspruchung/Beanspruchbarkeit



Einfluss der statistischen Verteilung der Beanspruchung/Beanspruchbarkeit

Ausfallwahrscheinlichkeit:

die Wahrscheinlichkeit des Versagens oder einer Funktionsbeeinträchtigung eines Systems



1. Rechnerische Ausfallwahrscheinlichkeit P_A und bezogene Sicherheitsspanne u_0 bei logarithmischer Normalverteilung

P_A	10^{-1}	10^{-2}	10^{-3}	10^{-4}	10^{-5}	10^{-6}
$-u_0$	1,28	2,33	3,09	3,72	4,27	4,75

2. Bestimmung der statistisch begründeten Sicherheitszahl j_σ ausgehend von Streuungen

$$\lg j_\sigma = -u_0 \cdot \sqrt{s_\sigma^2 + s_M^2 + s_B^2} = -u_0 \cdot s$$

- s_σ : Standardabweichung der ertragbaren Festigkeit um den Spannungsmittelwert
 $\sigma_{P_{\bar{0}}=50\%}$ mit $s_\sigma = 0,39 \lg(1/T_\sigma)$
- s_M : Standardabweichung bei einer Streuung des Spannungsmittelwertes
- s_B : Standardabweichung der Beanspruchung; falls maximale Beanspruchung angenommen wird, folgt $s_B = 0$

3. Zulässige Spannung für die geforderte rechnerische Ausfallwahrscheinlichkeit

$$\sigma_{zul} = \sigma_{P_{\bar{0}}=50\%} / j_\sigma$$

Einfluss der statistischen Verteilung der Beanspruchung/Beanspruchbarkeit

- **Gussbauteile:**

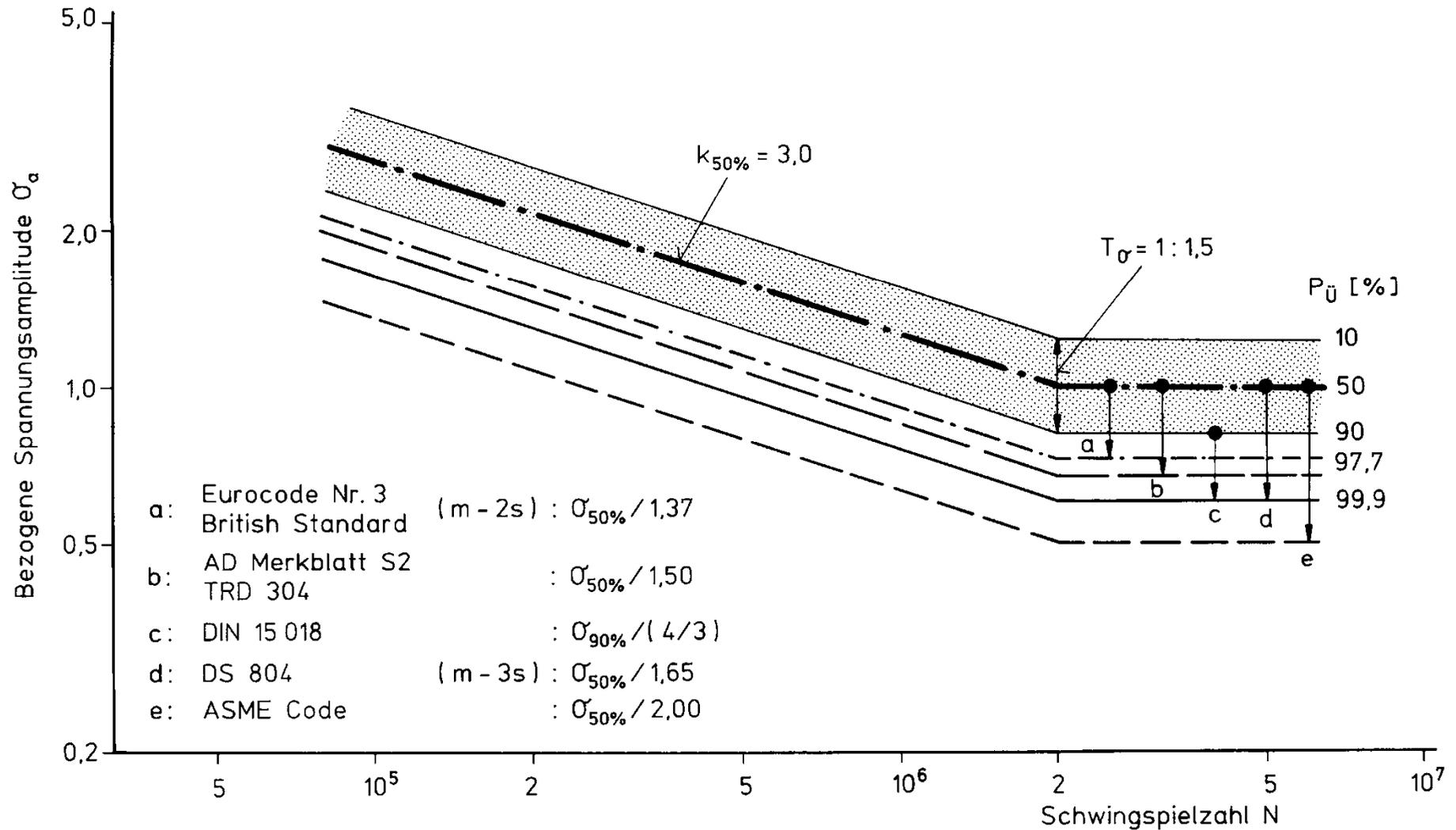
Geforderte Ausfallwahrscheinlichkeit P_A wird aus Werkstoffkennwerten mit einer Überlebenswahrscheinlichkeit $P_{\ddot{u}} = 50 \%$ abgeleitet, daraus folgt der Sicherheitsbeiwert

- **Stahlkonstruktionen**

Werkstoffkennwerte mit einer Überlebenswahrscheinlichkeit $P_{\ddot{u}} = 50 \%$ dienen als Grundlage, je nach Regelwerk werden unterschiedliche Sicherheitsbeiwerte gefordert

Einfluss der statistischen Verteilung der Beanspruchung/Beanspruchbarkeit

Ableitung von Bemessungswöhlerlinien nach verschiedenen Regelwerken





FKM-Richtlinien

Forschungskuratorium Maschinenbau und die
Arbeitsgemeinschaft industrieller
Forschungsvereinigungen Otto von Guericke:

