

OBRATOVALNA TRDNOST

Predloge k predavanjem

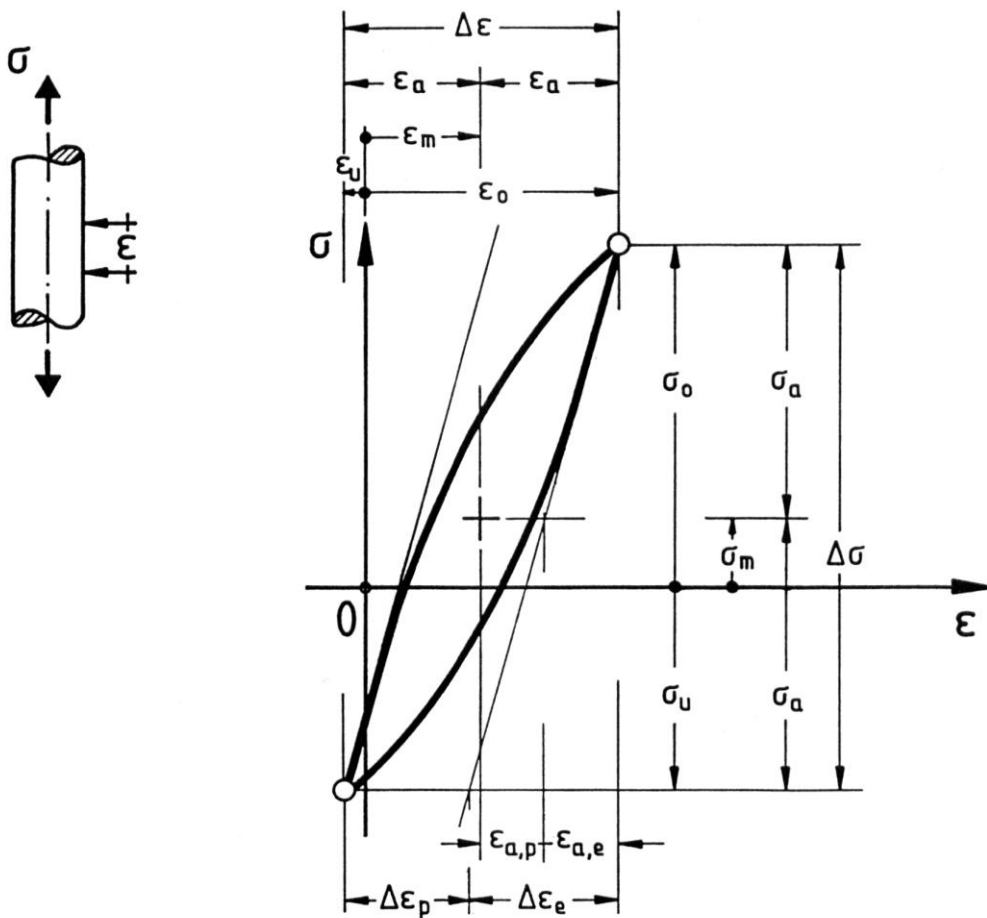
2. del

Nagode Marko

Univerza v Ljubljani, Fakulteta za strojništvo
Aškerčeva 6, SI-1000 Ljubljana, Slovenija

2012

Parametri histerezne zanke



σ_0, ϵ_0 : Oberspannungen und -dehnungen

σ_U, ϵ_U : Unterspannungen und -dehnungen

σ_m, ϵ_m : Mittelspannungen und -dehnungen

σ_a, ϵ_a : Spannungs- und Dehnungsamplitude

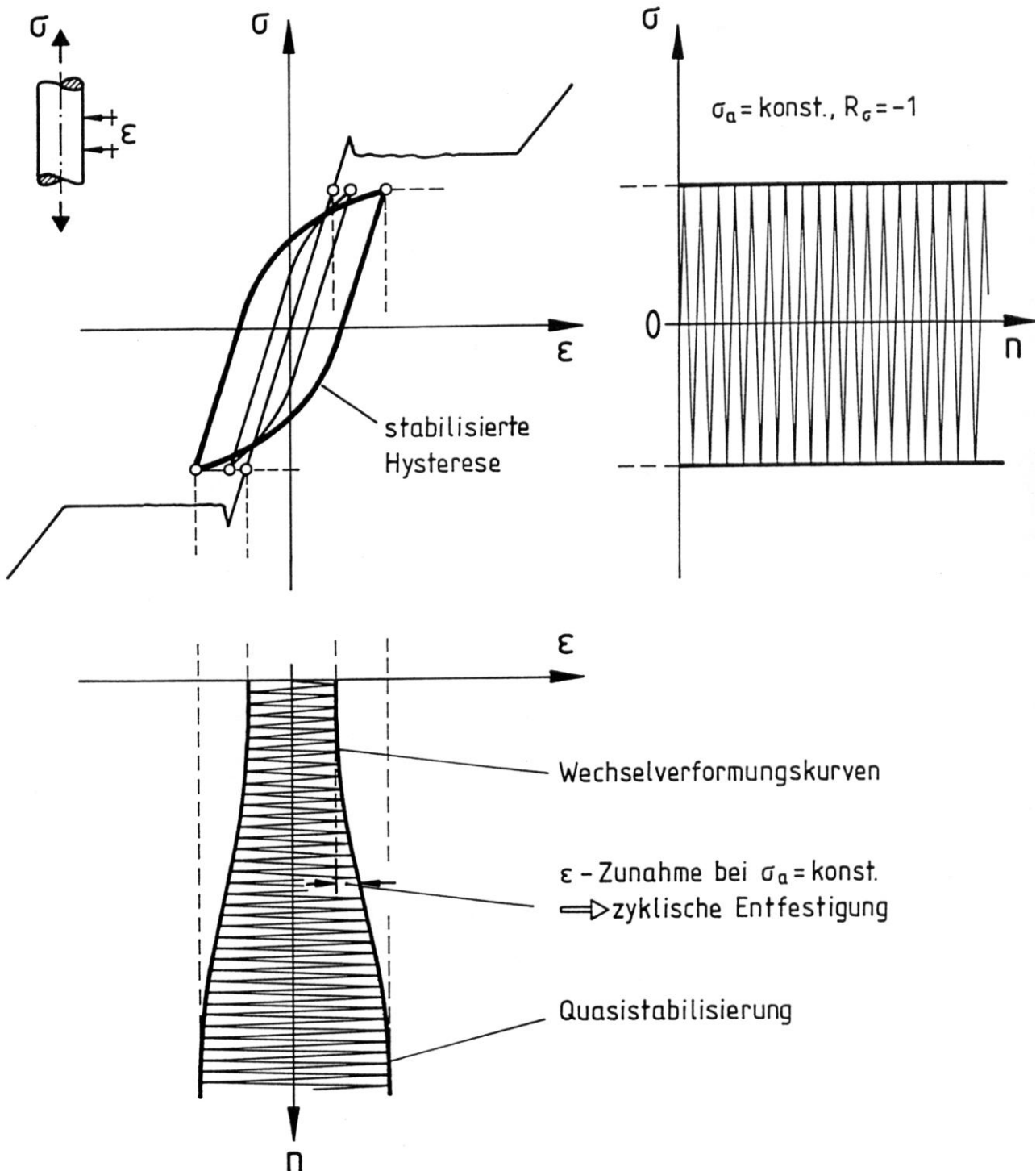
$\Delta\sigma = 2\sigma_a$; $\Delta\epsilon = 2\epsilon_a$: Spannungs- und Dehnungsschwingbreite (-weite)

$R_\sigma = \sigma_U/\sigma_0$; $R_\epsilon = \epsilon_U/\epsilon_0$: Spannungs- und Dehnungsverhältnis

$\epsilon_a = \epsilon_{a,e} + \epsilon_{a,p} = \frac{\sigma_a}{E} + \epsilon_{a,p}$: Totale Dehnung = elast. + plast. Dehnung

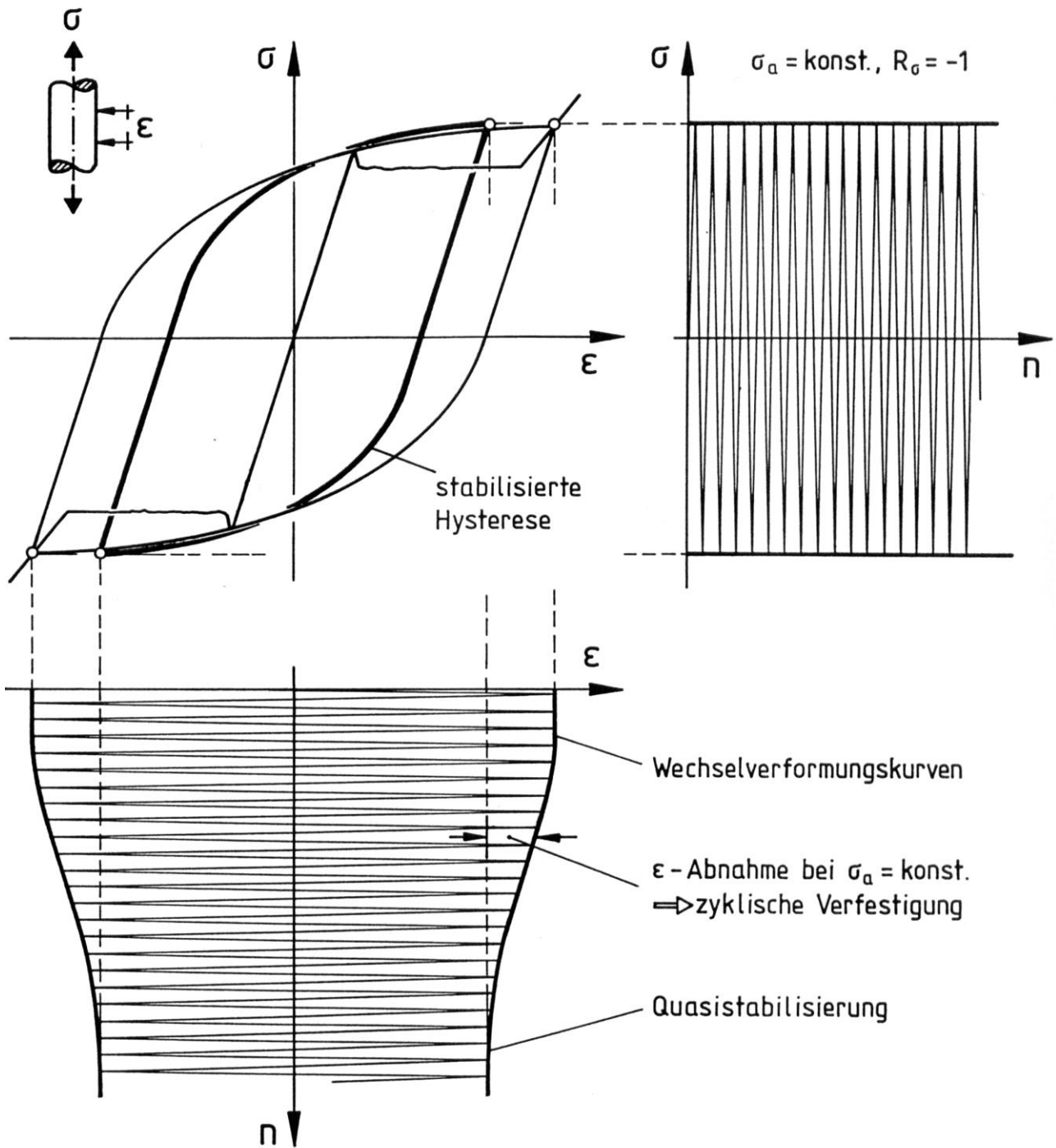
2.1

Beanspruchungsgrößen der Hysterese



2.2

σ -kontroll. Beanspruchung (schematisch)

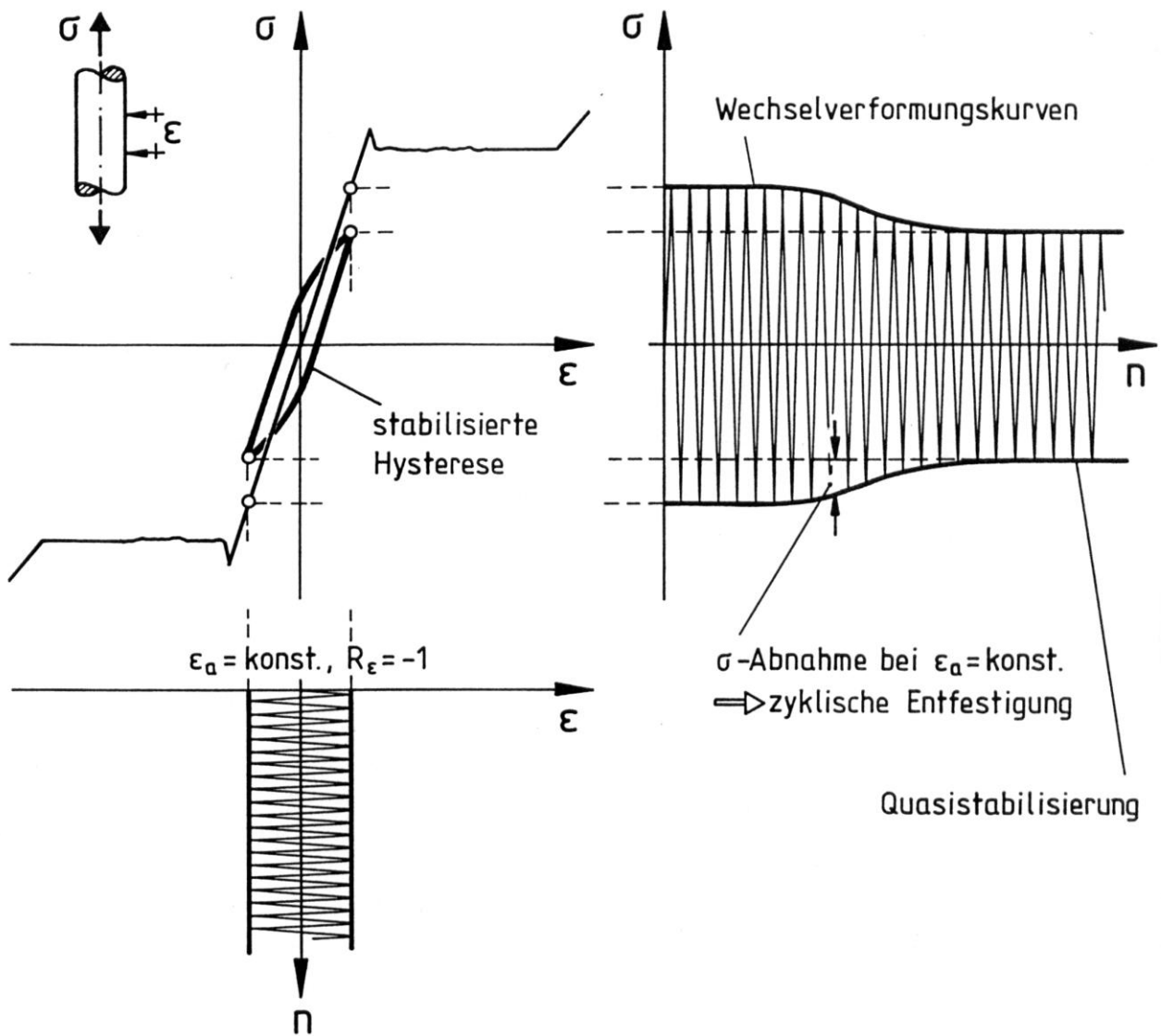


2.3

σ -kontroll. Beanspruchung (schematisch)

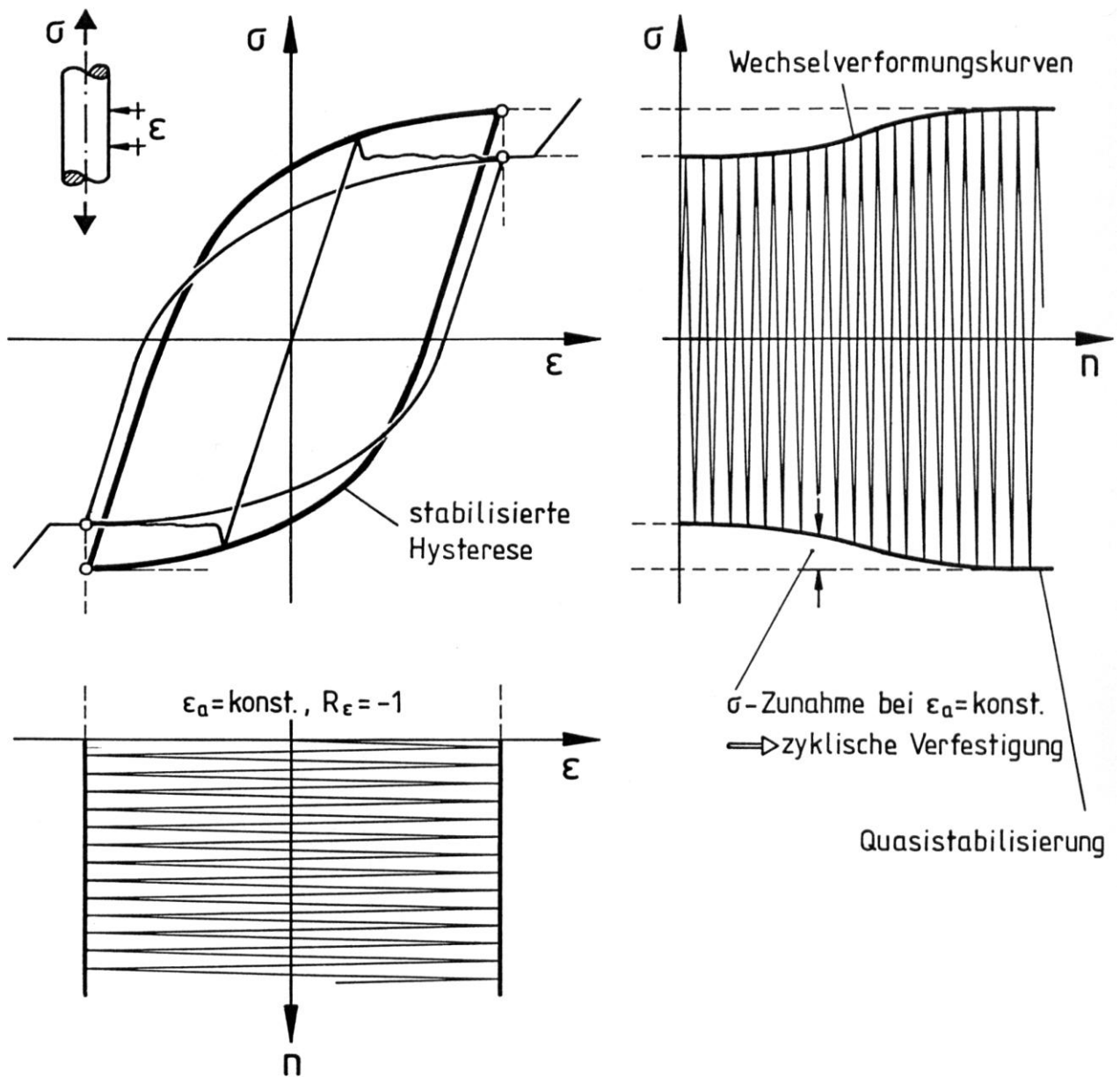


Werkstoffmechanik



2.4

ϵ -kontroll. Beanspruchung (schematisch)



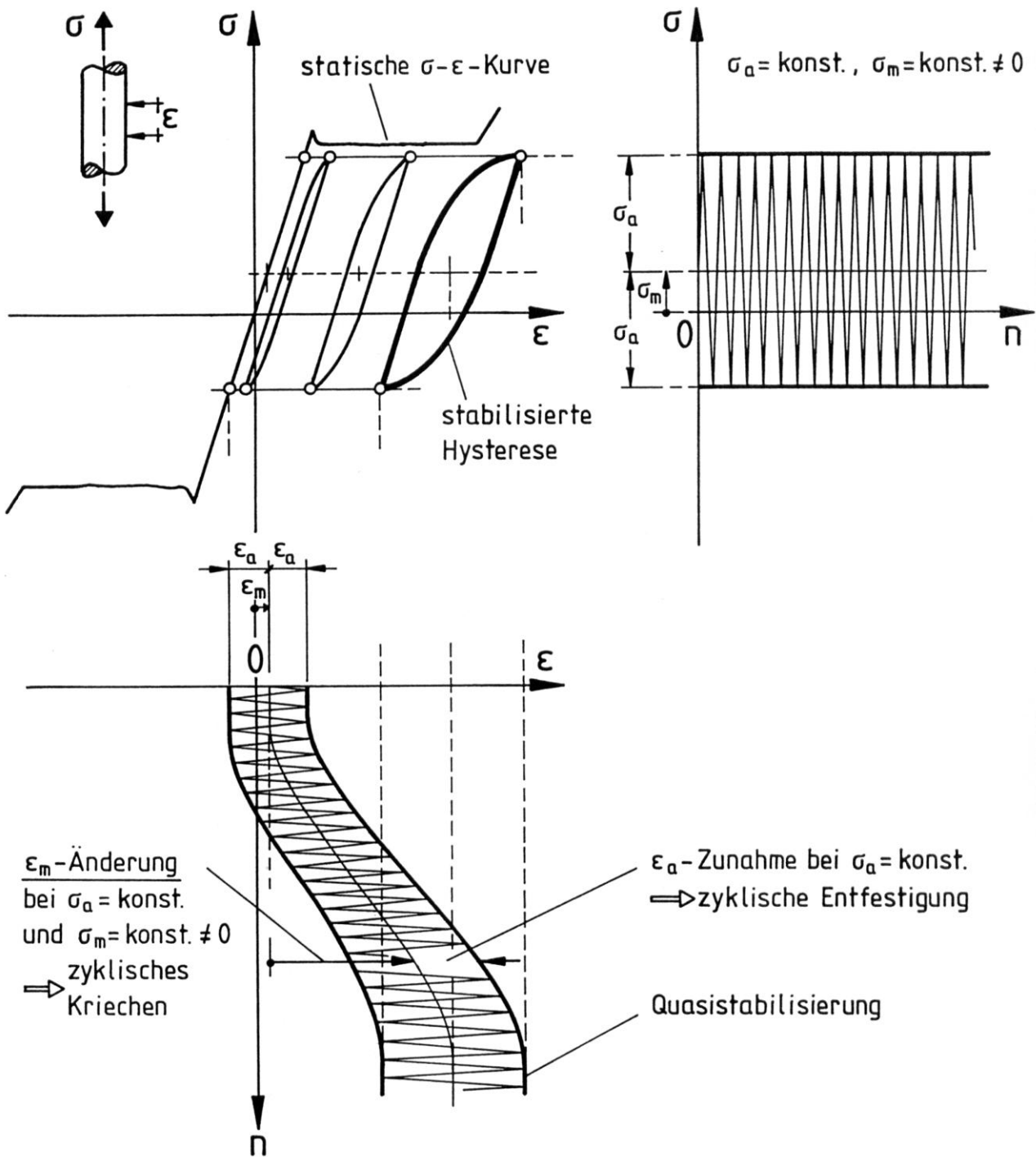
2.5

ϵ -kontroll. Beanspruchung
(schematisch)



Werkstoffmechanik

Ciklično lezenje in relaksacija

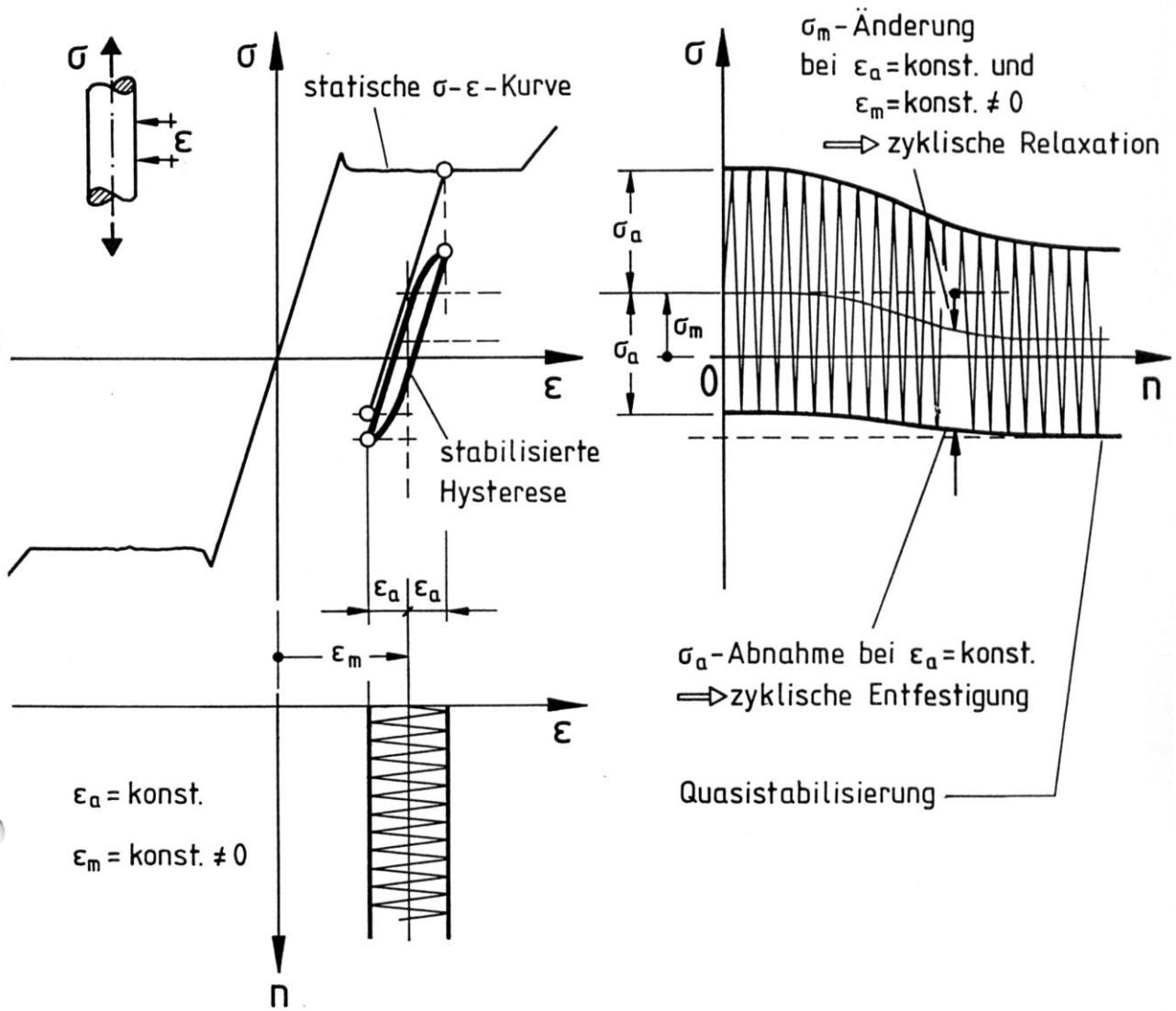


2.6

Zyklisches Kriechen (schematisch)

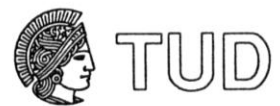


Werkstoffmechanik



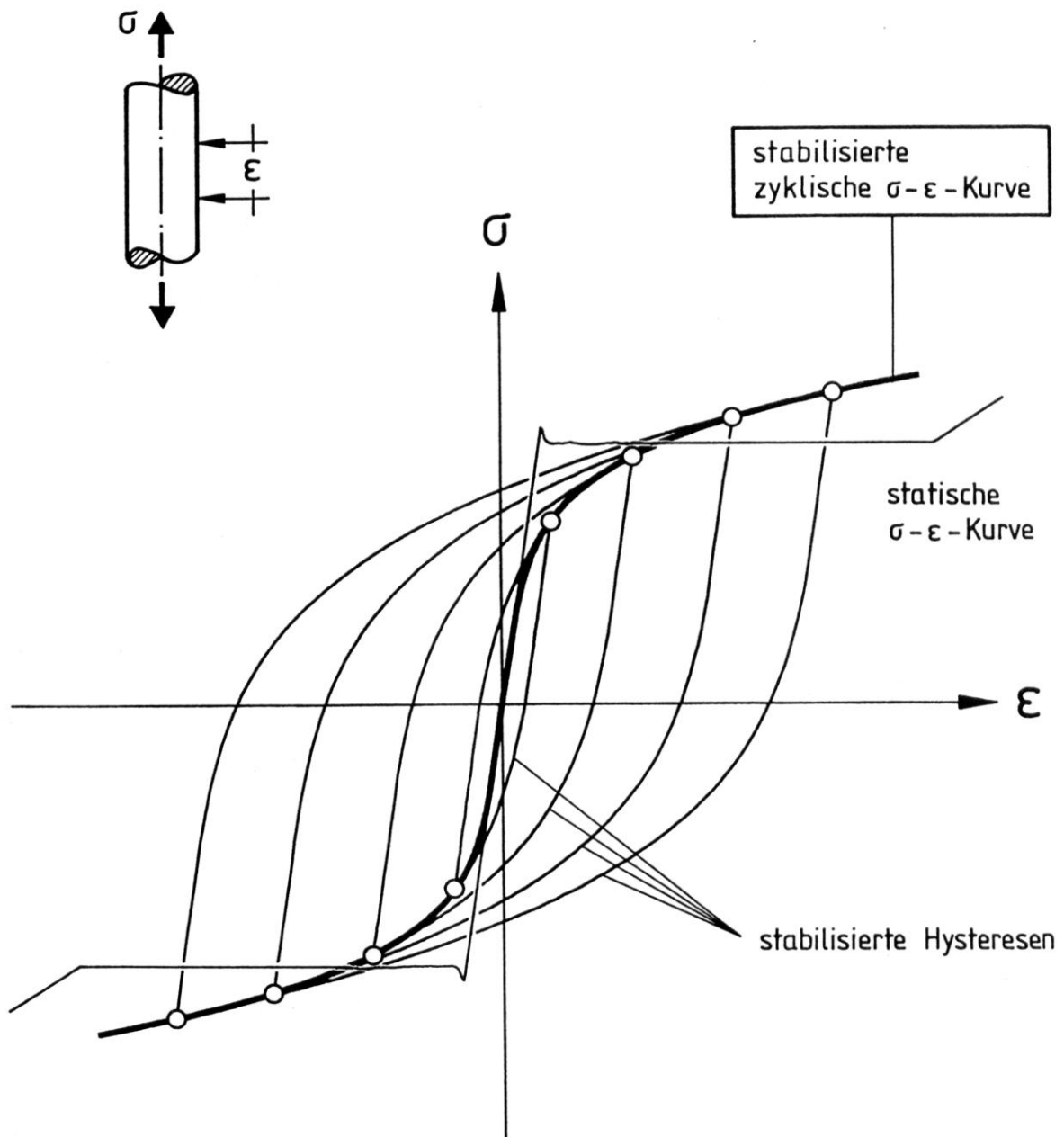
2.7

Zyklische Relaxation (schematisch)



Werkstoffmechanik

Stabilizirana ciklična σ - ϵ krivulja



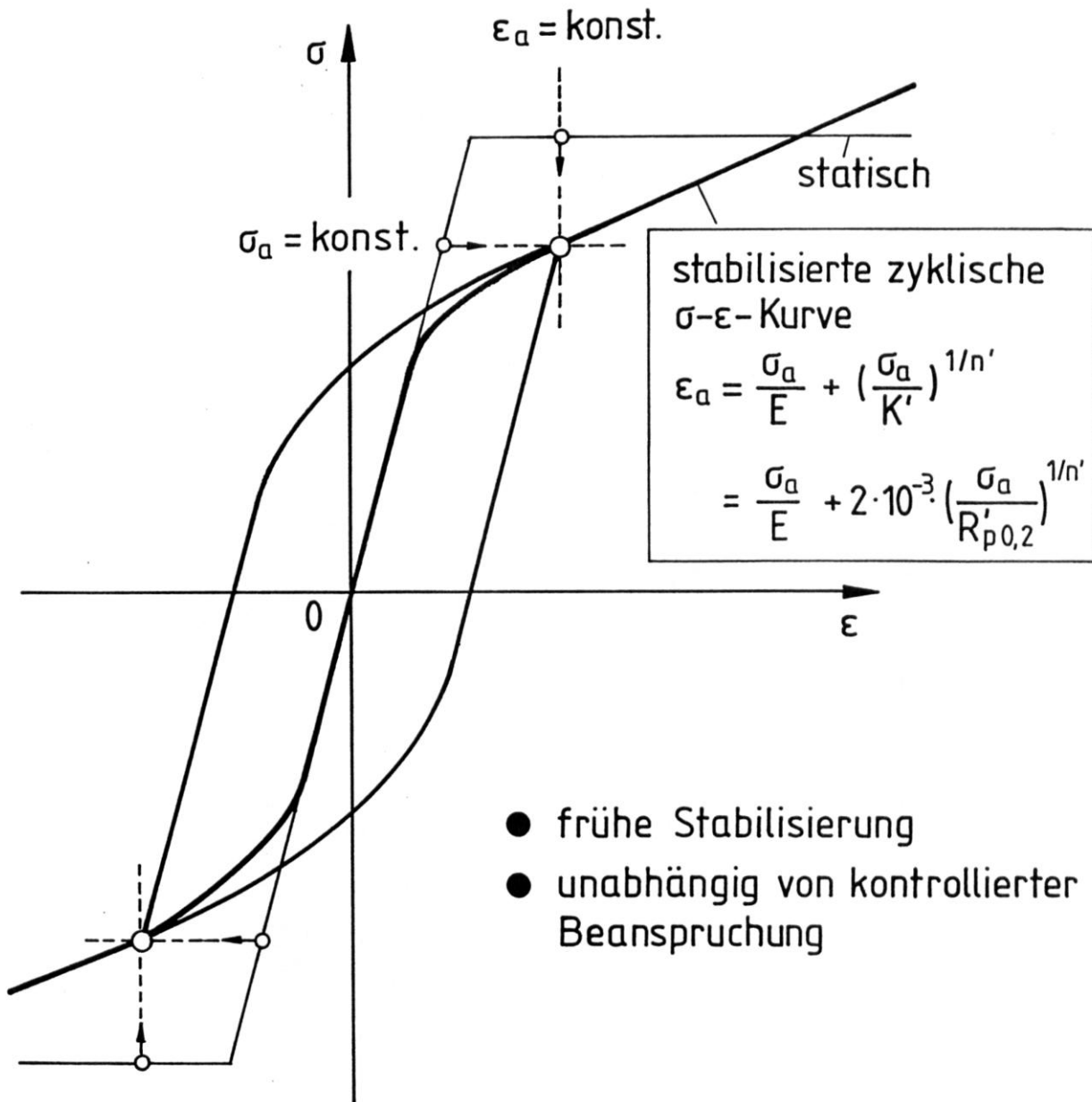
2.8

Stabilizirana ciklična σ - ϵ -Kurve
(schematisch)



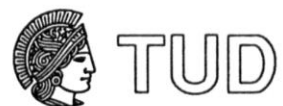
Werkstoffmechanik

Analitičen popis ciklične σ - ϵ krivulje

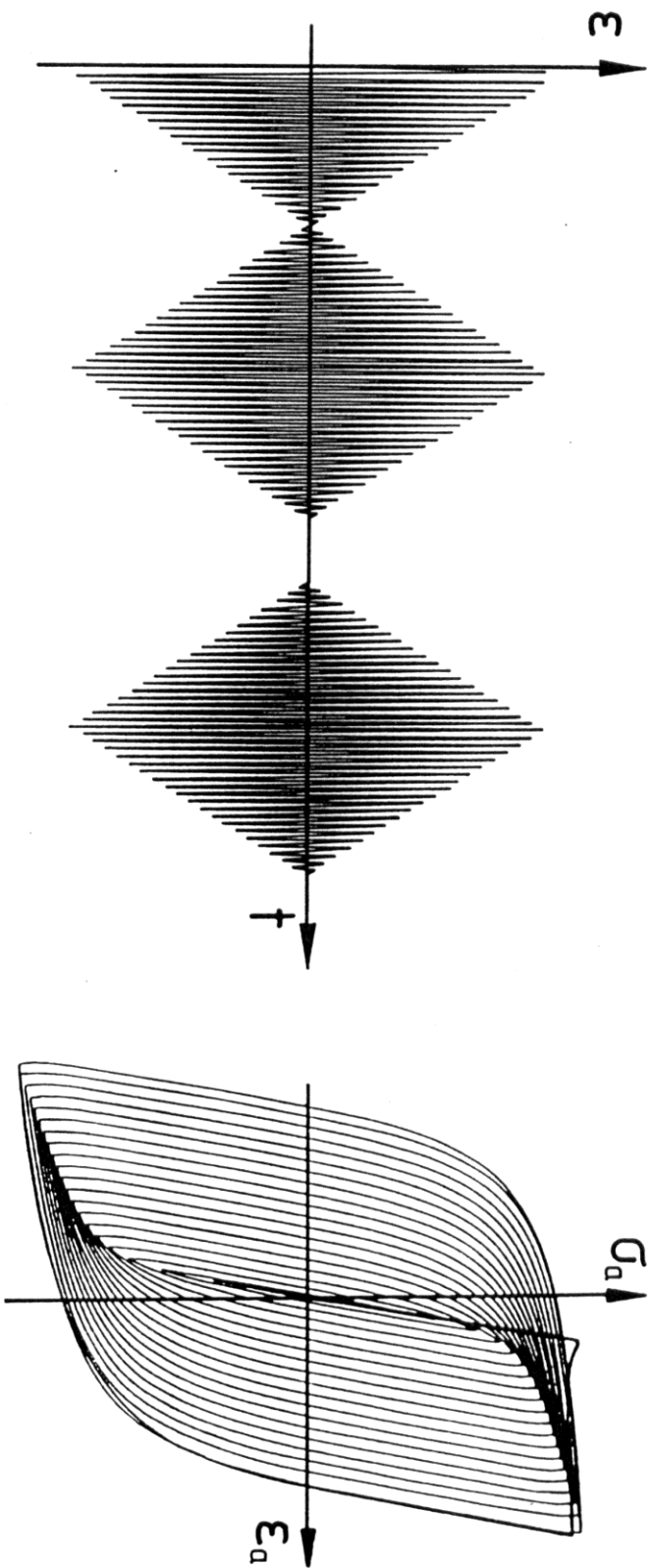


2.12

Zyklische σ - ϵ -Kurve



Werkstoffmechanik

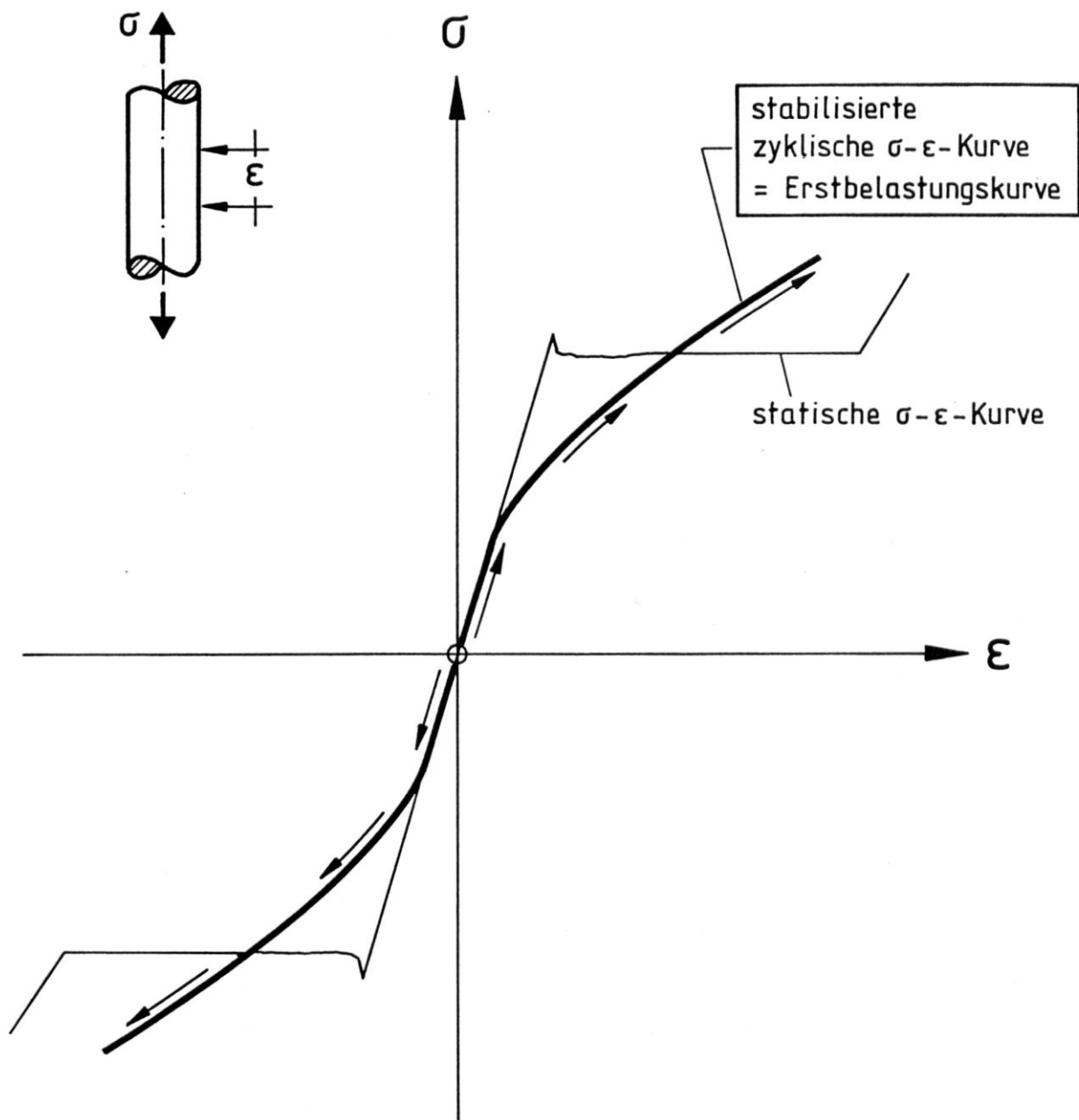


$$\epsilon_d = \epsilon_{d,e} + \epsilon_{d,p} = \frac{\sigma_d}{E} + \left(\frac{\sigma_d}{K'} \right)^{1/n'}$$

2.13

Zyklische σ - ϵ -Kurve aus Incremental Step Test

Predpostavka o enakosti ciklične in prve obremenitvene krivulje



2.14

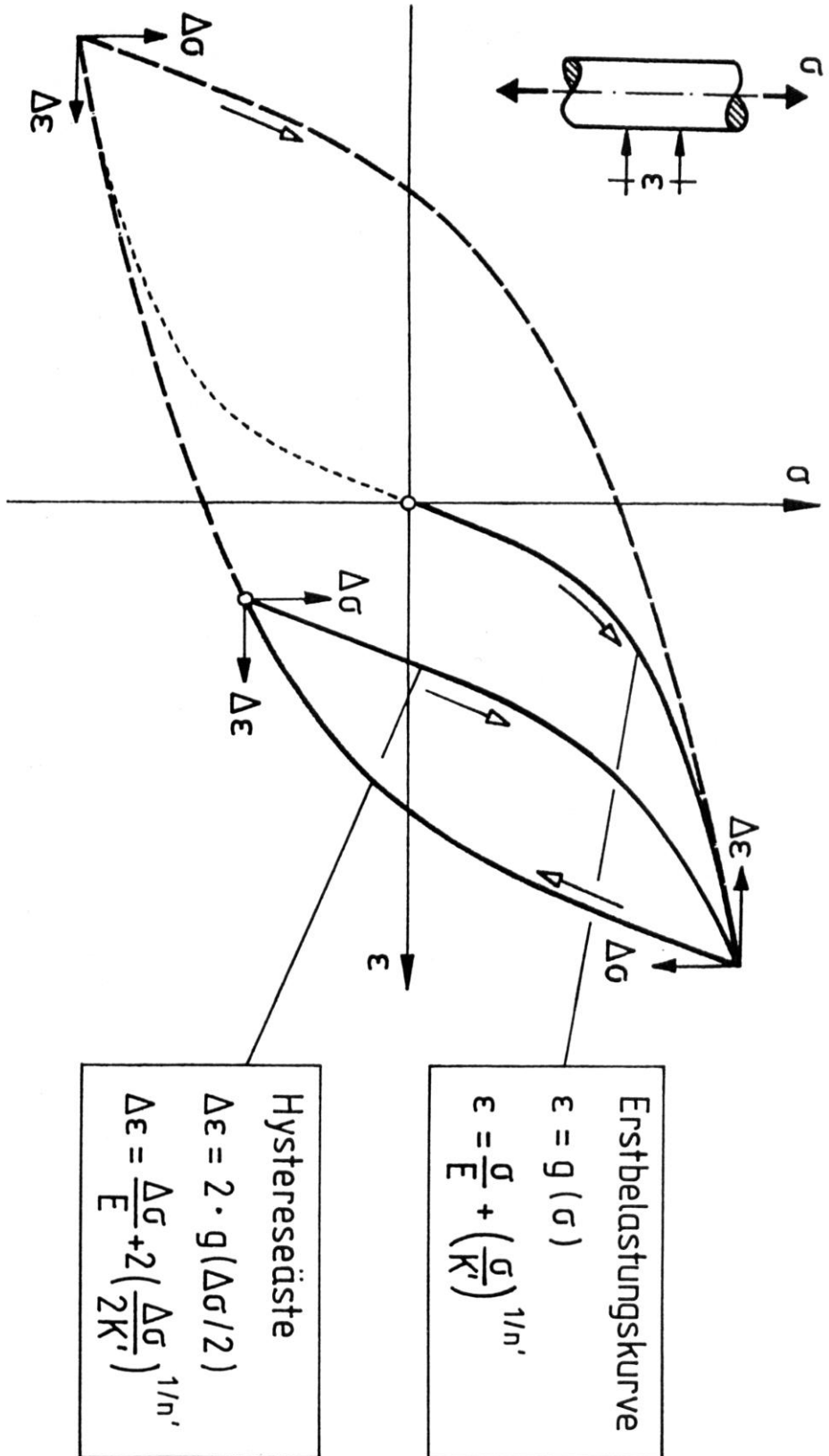
Zyklische σ - ϵ -Kurve
als Erstbelastungskurve



TUD

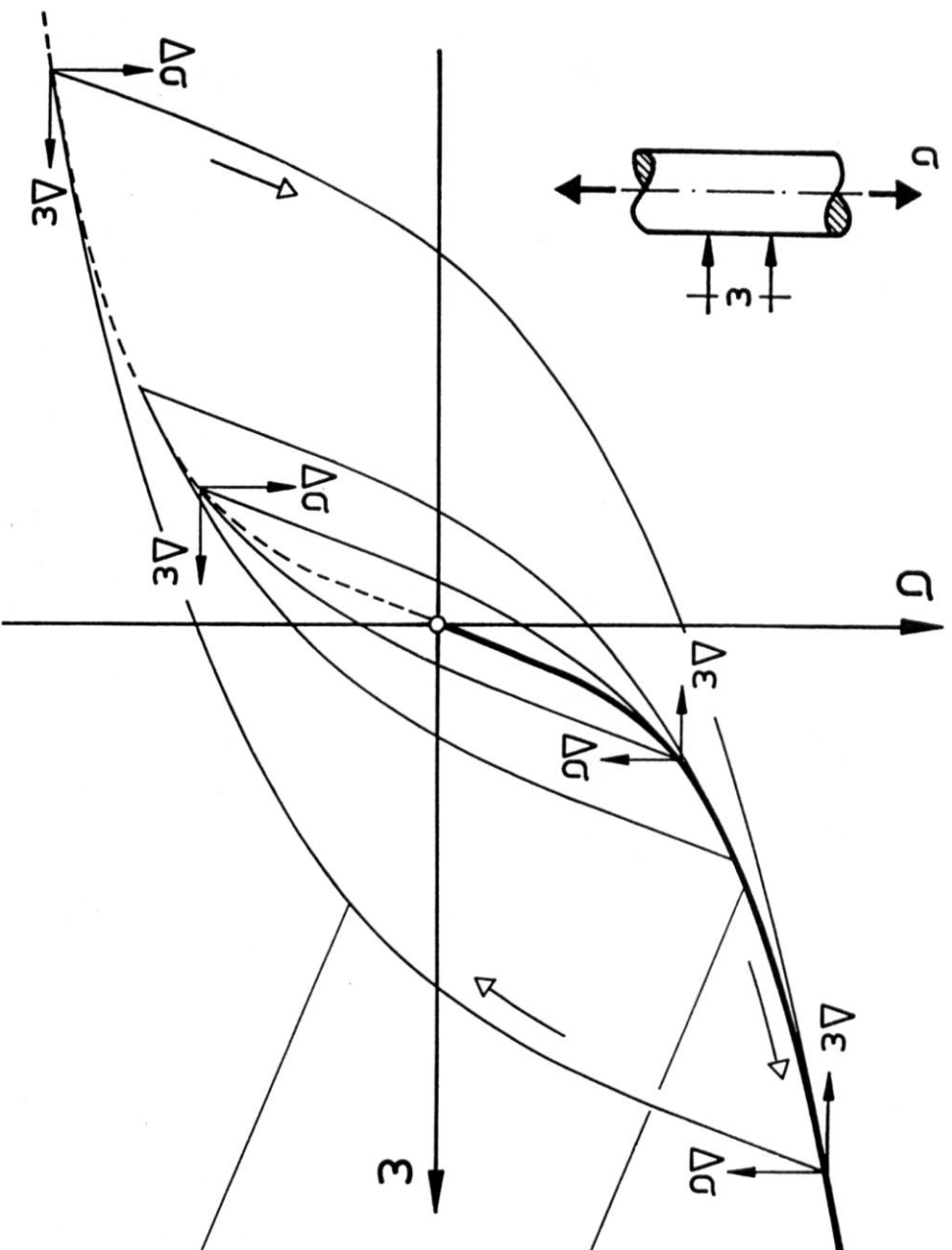
Werkstoffmechanik

Masingovo pravilo



2.15

Masing - Verhalten des Werkstoffs



Erstbelastungskurve

$$\epsilon = g(\sigma)$$

$$\epsilon = \frac{\sigma}{E} + \left(\frac{\sigma}{K'}\right)^{1/n'}$$

Hystereseseite

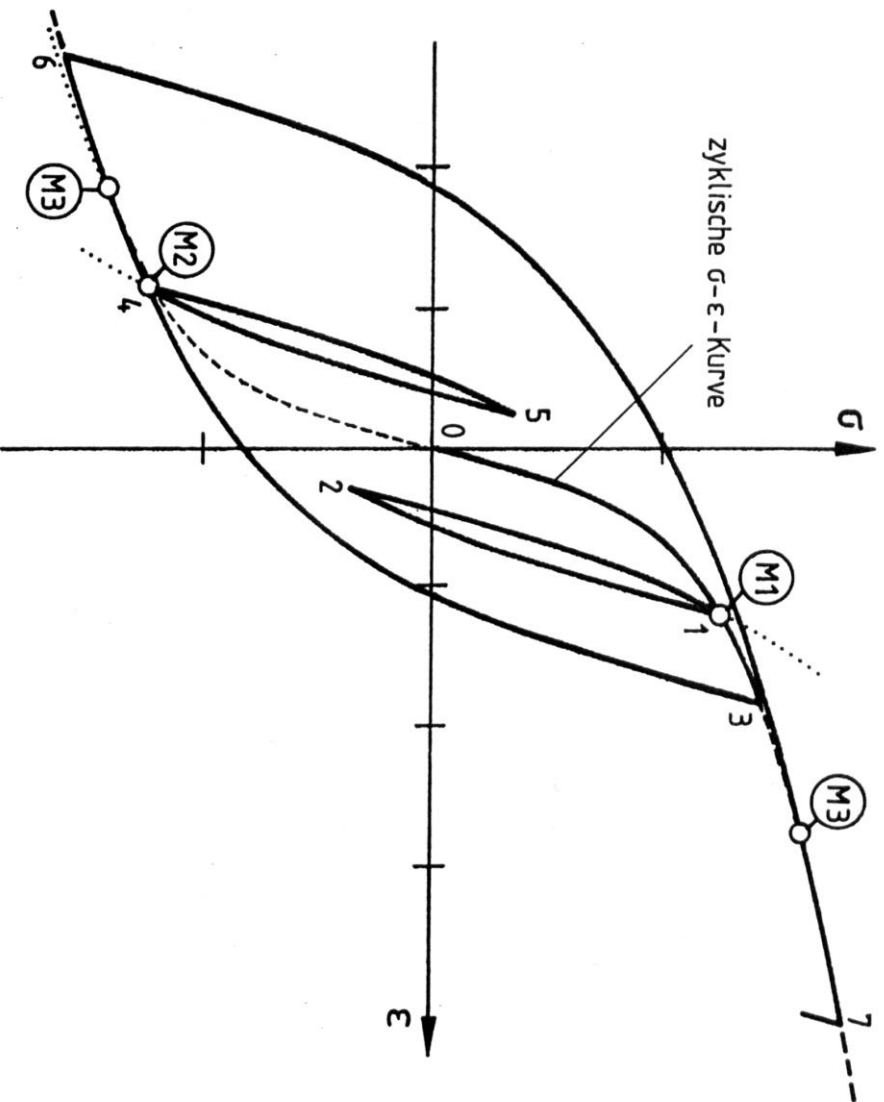
$$\Delta\epsilon = 2 \cdot g(\Delta\sigma/2)$$

$$\Delta\epsilon = \frac{\Delta\sigma}{E} + 2 \left(\frac{\Delta\sigma}{2K'}\right)^{1/n'}$$

2.17

Masing - Verhalten des Werkstoffs

Memory pravila



(M1) Nach Schließen einer Hysterese, die auf der zyklischen σ - ϵ -Kurve begonnen wurde, folgt der σ - ϵ -Pfad wieder der zyklischen σ - ϵ -Kurve.

(M2) Nach Schließen einer Hysterese, die auf einem Hystereseast begonnen wurde, folgt der σ - ϵ -Pfad dem ursprünglichen Hystereseast.

(M3) Ein auf der zyklischen σ - ϵ -Kurve begonnener Hystereseast endet, sobald der ϵ - oder σ -Betrag des Startpunktes im gegenüberliegenden Quadranten erreicht wird; der σ - ϵ -Pfad wird auf der zyklischen σ - ϵ -Kurve fortgesetzt.

2

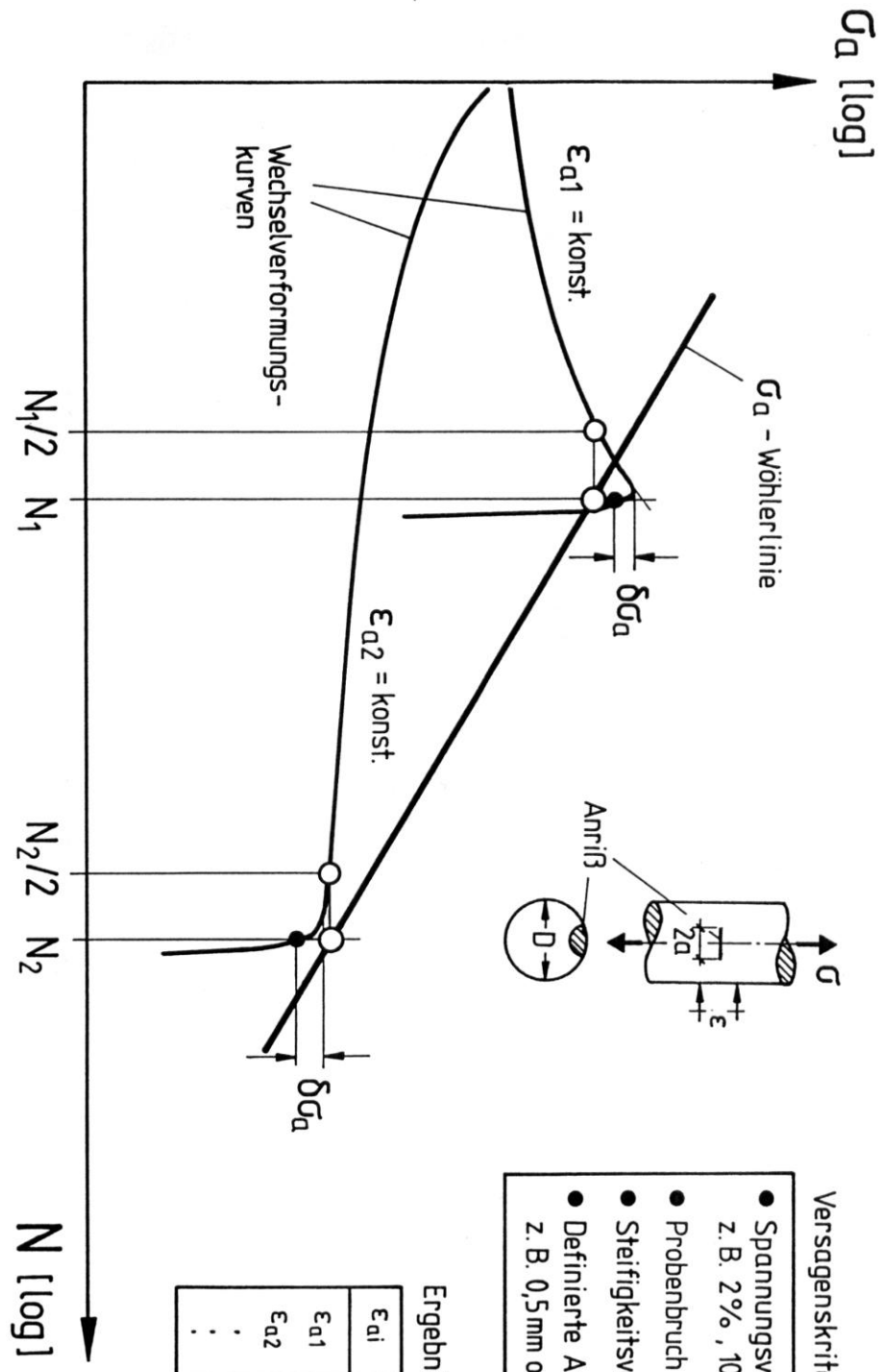
2.18

Die 3 Arten des Werkstoff - Memory



TU D

Werkstoffmechanik



- Versagenskriterien :
- Spannungsverlust $\delta\sigma_a$
z. B. 2% , 10% usw.
 - Probenbruch
 - Steifigkeitsverlust in %
 - Definierte Anrißlänge $2a$,
z. B. 0,5mm oder 1mm usw.

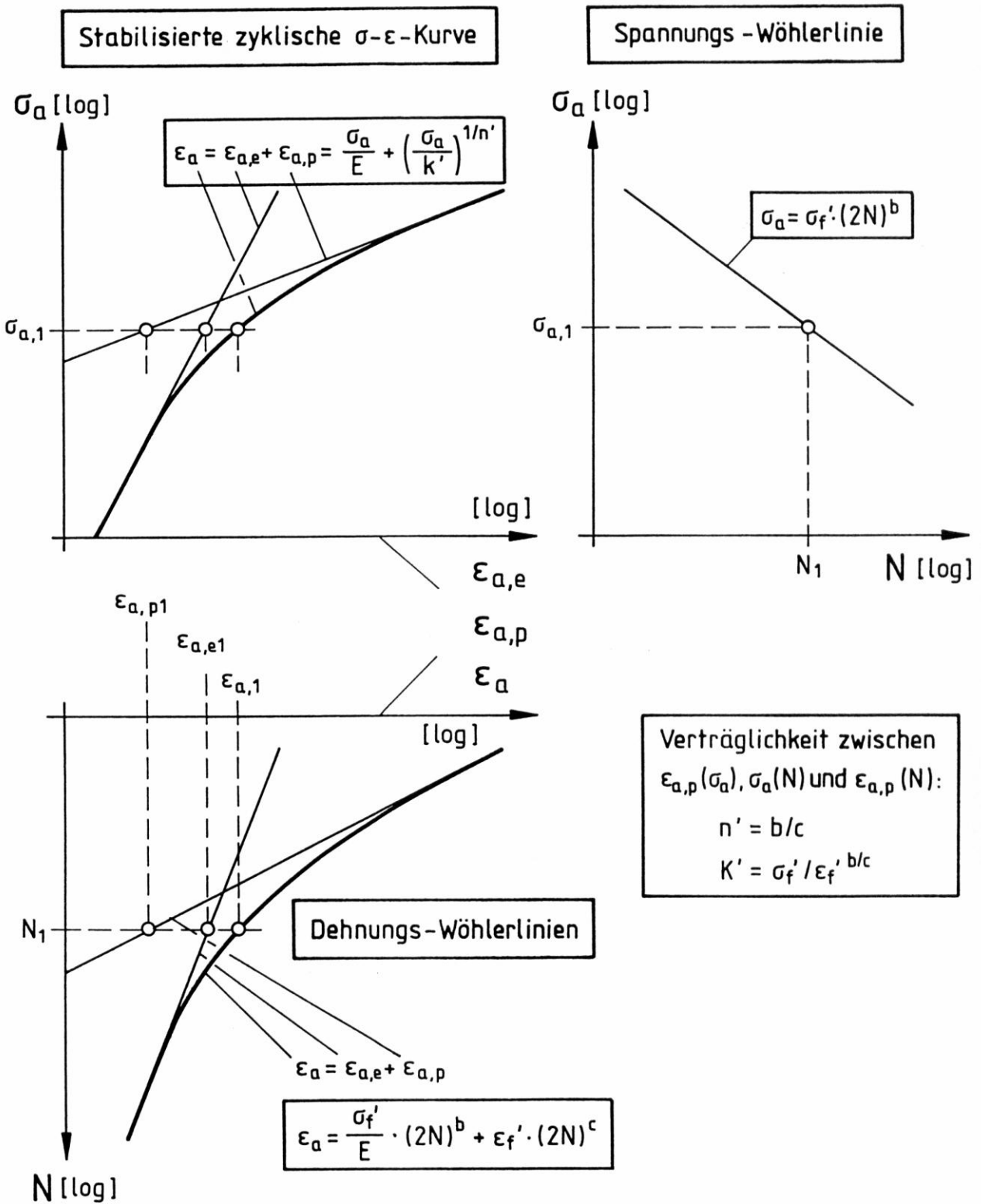
Ergebnisse :

E_{ai}	σ_{ai}	N_i
E_{a1}	σ_{a1}	N_1
E_{a2}	σ_{a2}	N_2
...

2.20a

Versagenskriterien bei ϵ -kontrollierten Versuchen

Analytischen popis deformacijskih Wöhlerjevih krivulj

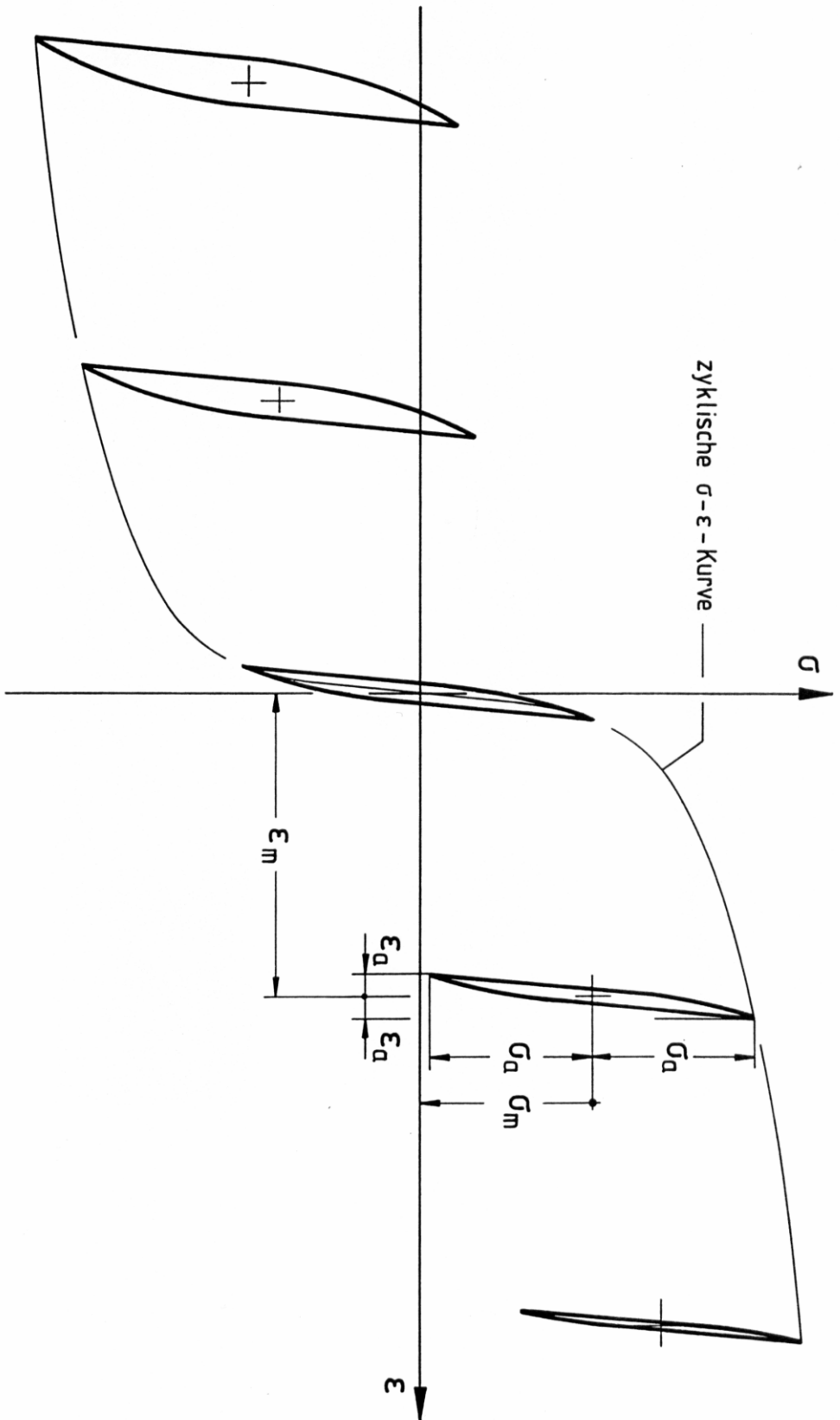


2.23

Manson / Coffin / Morrow-
Ansatz



Werkstoffmechanik



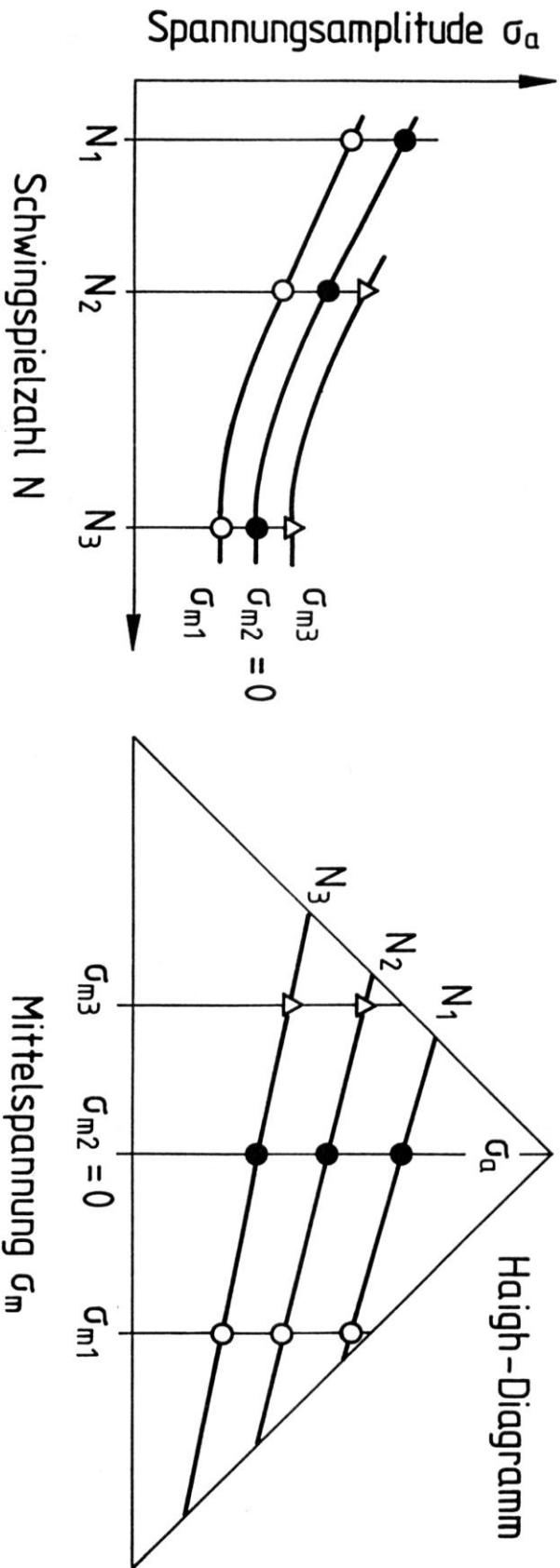
2.36

σ_m - und ϵ_m -Einfluß auf die Dauerfestigkeiten

$$F(\sigma_a, \sigma_m, N, \dots) = 0$$

Wöhlerlinien für $\sigma_m = \text{konst.}$

Spannungslinien für $N = \text{konst.}$

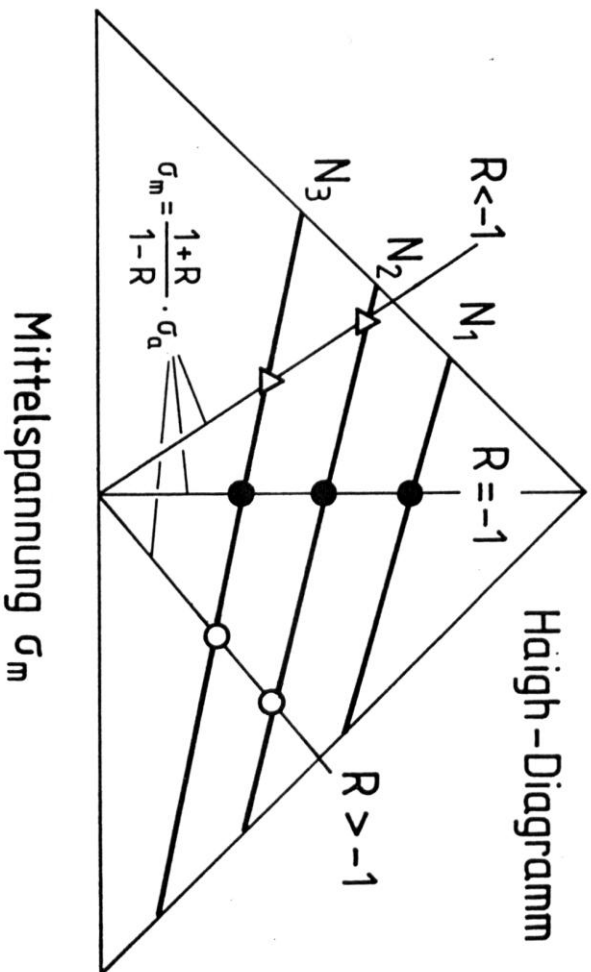
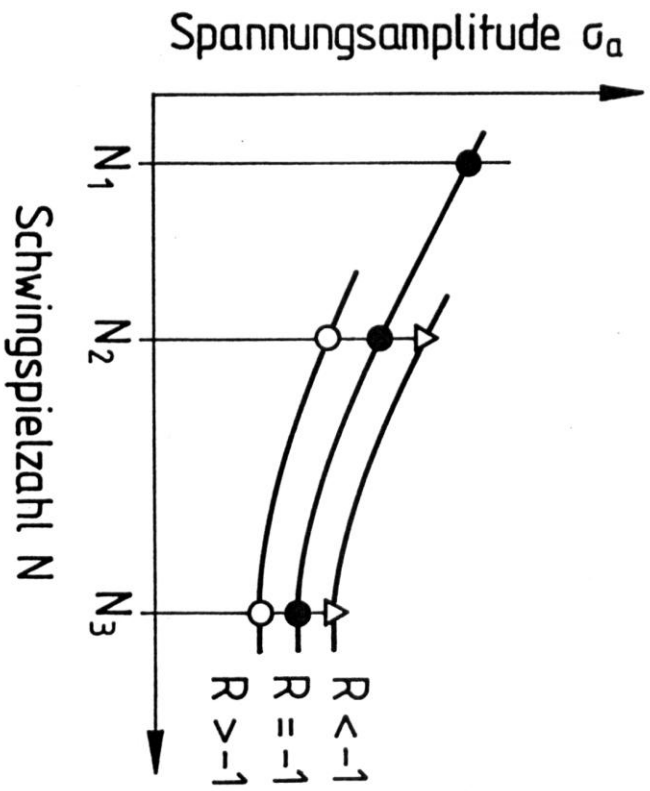


2.37
Zeit- und Dauerfestigkeiten
in Form von Wöhler- und Spannungslinien

$$F(\sigma_a, \sigma_m, N, \dots) = 0$$

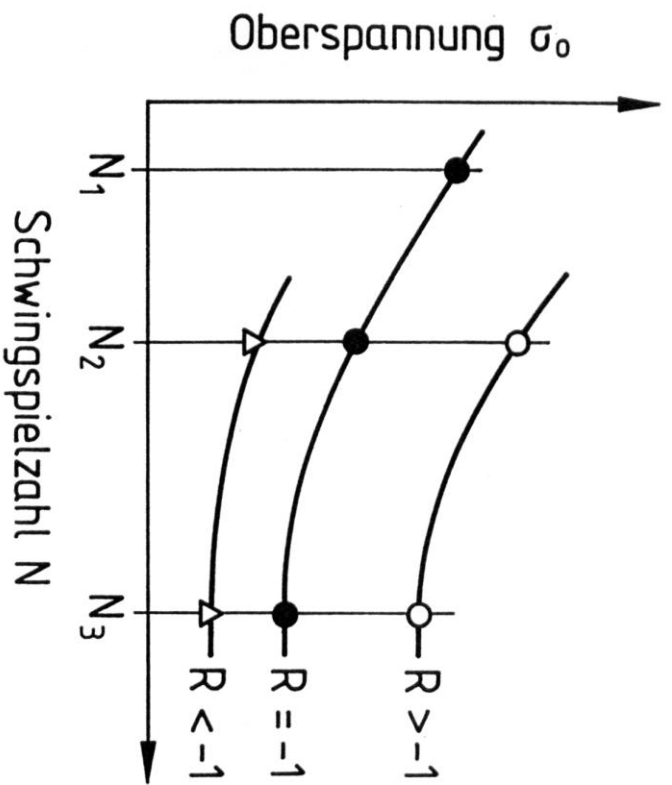
Wöhlerlinien für $R = \text{konst.}$

Spannungslinien für $N = \text{konst.}$



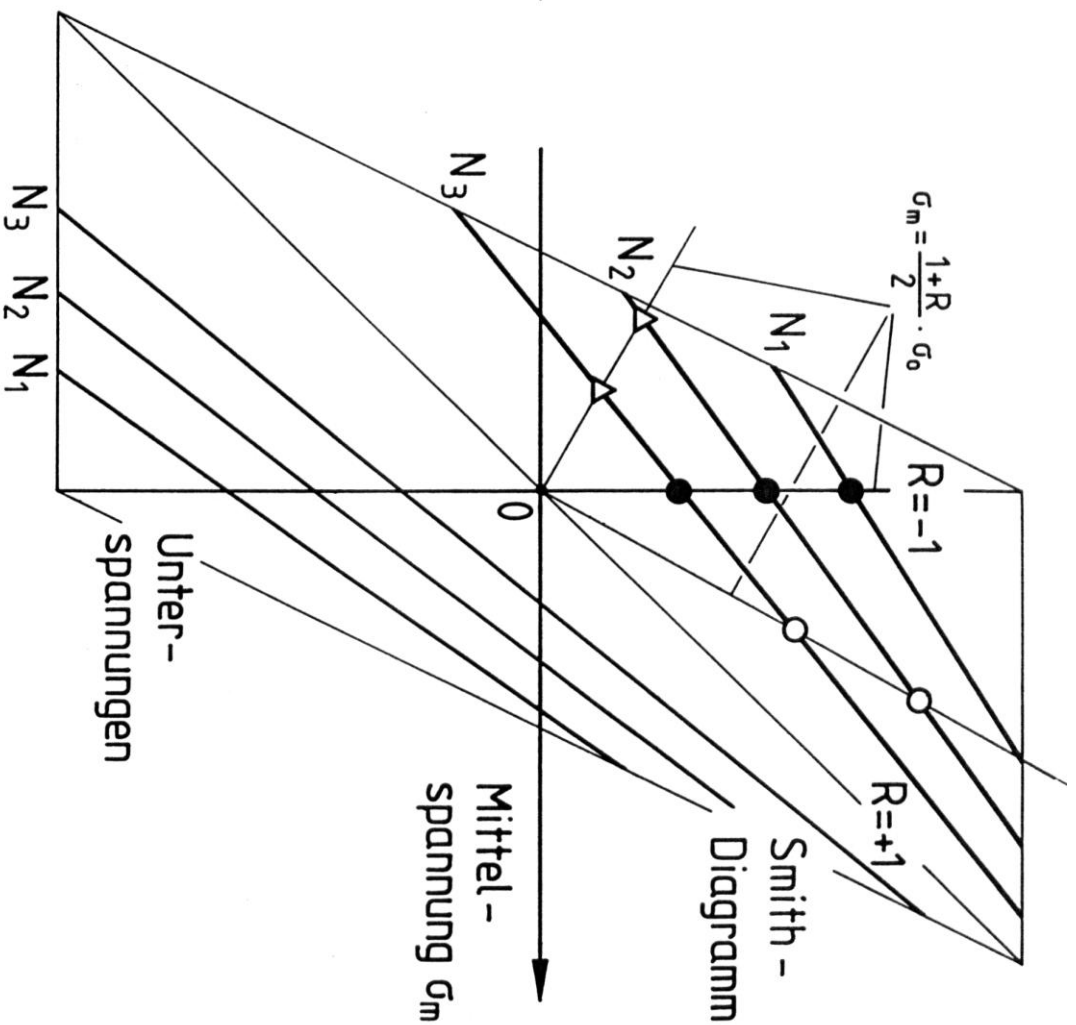
2.38

Zeit- und Dauerfestigkeiten
in Form von Wöhler- und Spannungslinien



$$F(\sigma_a, \sigma_m, N, \dots) = 0$$

$$\sigma_a = \sigma_0 - \sigma_m$$



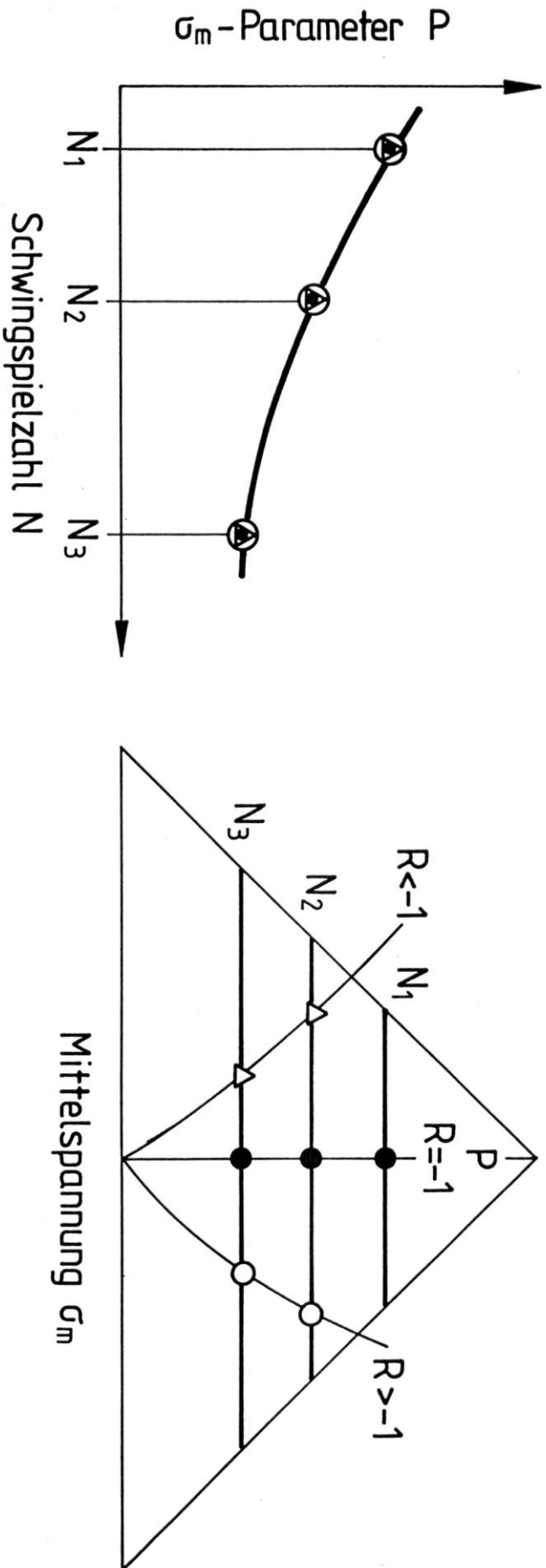
2.39 Zeit- und Dauerfestigkeiten
in Form von Wöhler- und Spannungslinien

$$F(\sigma_a, \sigma_m, N, \dots) = 0$$

$$P(\sigma_a, \sigma_m, \dots) = f(N, \dots)$$

P-Wöhlerlinie für R, σ_m usw. = konst.

P- σ_m -Linien für N = konst.



2.40 Zeit- und Dauerfestigkeiten in Form von P-Wöhlerlinien und P- σ_m -Linien

Analytischen popis vpliva srednjega nivoja napetosti

Autor		Mittelspannungs-/Schädigungsparameter		P - Wöhlerlinie
Morrow	σ	$P_{M1,2} =$	$\sigma_a \cdot \frac{1}{1 - k_{1,2} \cdot \sigma_m / \sigma_f'}$; $k_1, k_2 = \text{Freiwerte}$	$\sigma_f' \cdot (2N)^b$
	ϵ	-	$\epsilon_a = \frac{\sigma_f' - \sigma_m}{E} \cdot (2N)^b + \epsilon_f' \cdot (2N)^c$	
Smith Watson Topper	σ, ϵ	$P_{M3} =$	$\frac{\sigma_a}{E} \cdot \frac{1}{1 - \sigma_m / \sigma_f'} + \epsilon_{a,p}$	$\frac{\sigma_f'}{E} \cdot (2N)^b + \epsilon_f' (2N)^c$
		$P_{SWT} =$	$\sqrt{(\sigma_a + \sigma_m) \cdot \epsilon_a \cdot E}$	
		$P_B =$	$\sqrt{(\sigma_a + k \cdot \sigma_m) \cdot \epsilon_a \cdot E}$; $k = \text{Freiwert}$	$\sqrt{\sigma_f'^2 \cdot (2N)^{2b} + \sigma_f' \cdot E \cdot \epsilon_f' (2N)^{b+c}}$ <small>• Msite • Mbu</small>
Nihei u.a.		$P_{eff} =$	$\sqrt{(\sigma_a^\gamma \cdot (\sigma_a + \sigma_m)^{1-\gamma} \cdot \epsilon_a \cdot E)}$; $\gamma = \text{Freiwert}$	
Heitmann u.a.	Sch	$P_{He} =$	$\frac{2,9}{2E} \cdot \left[\frac{3,72 \cdot 2\sigma_a}{(3-R)^{1,74}} \right]^2 + \frac{2,5}{1+n'} \cdot 2\sigma_a \cdot 2\epsilon_{a,p}$	$\sigma_f' (2N)^b \cdot \left[0,645 \cdot \frac{\sigma_f'}{E} (2N)^b + \frac{10}{1+n'} \cdot \epsilon_f' \cdot (2N)^c \right]$
Haibach Lehrke	Sch	$P_{HL} =$	$2\sigma_{a,eff} \cdot 2\epsilon_{a,eff}$	$f_{HL} (N)$
Vormwald	Sch	$P_J =$	$1,24 \cdot \frac{(\sigma_0 - \sigma_{cl})^2}{E} + \frac{1,02}{\sqrt{n'}} (\sigma_0 - \sigma_{cl}) \cdot \left[(\epsilon_0 - \epsilon_{cl}) - \frac{\sigma_0 - \sigma_{cl}}{E} \right]$	$f_J (N)$

zyklische $\sigma - \epsilon$ - Kurve : $\epsilon_a = \epsilon_{a,e} + \epsilon_{a,p} = \frac{\sigma_a}{E} + \left(\frac{\sigma_a}{K'} \right)^{1/n'}$

$$R = \frac{\sigma_u}{\sigma_0} = \frac{\sigma_m - \sigma_a}{\sigma_m + \sigma_a}$$

\Rightarrow Zeitfestigkeitsfunktion

2.41

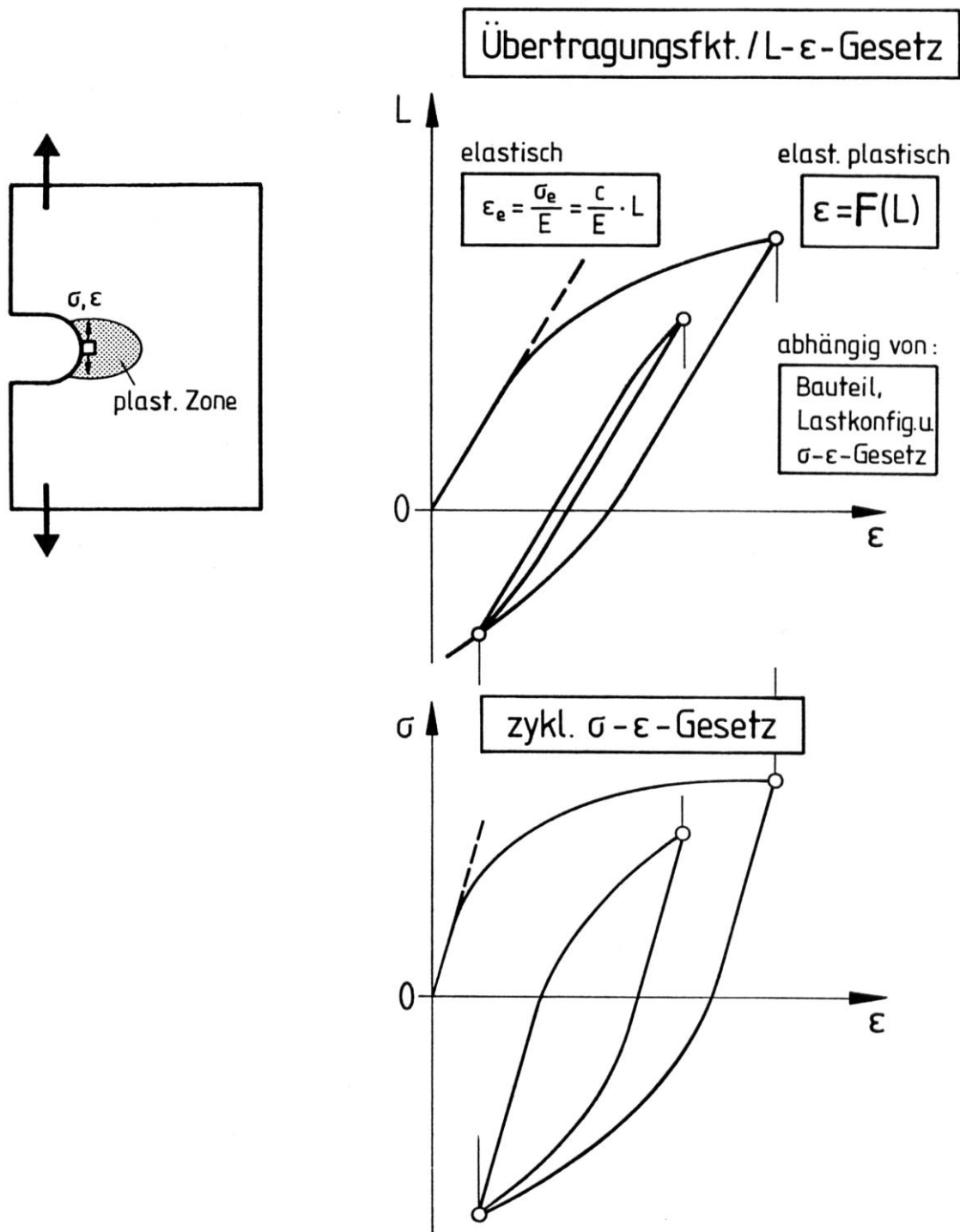
Mittelspannungsparameter, P-Wöhlerlinie und Zeitfestigkeitsfunktion



TU D

Werkstoffmechanik

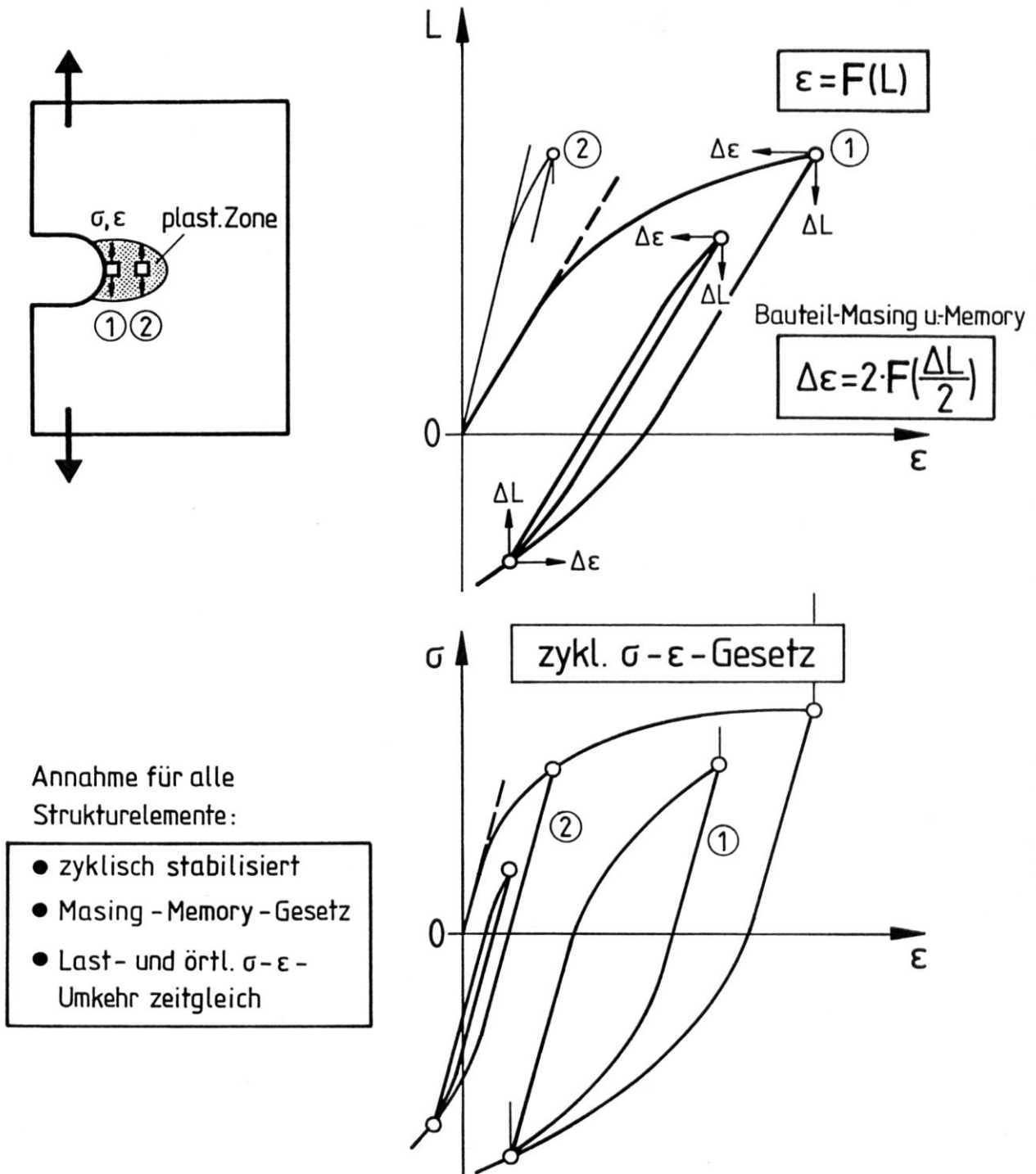
Zveza med lokalnim napetostno-deformacijskim stanjem in zunanji obremenitvami



3.1

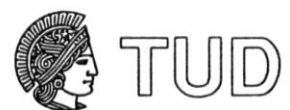
Elastisch-plastische Übertragungsfunktion

Masingovo in memory pravila na nivoju izdelka



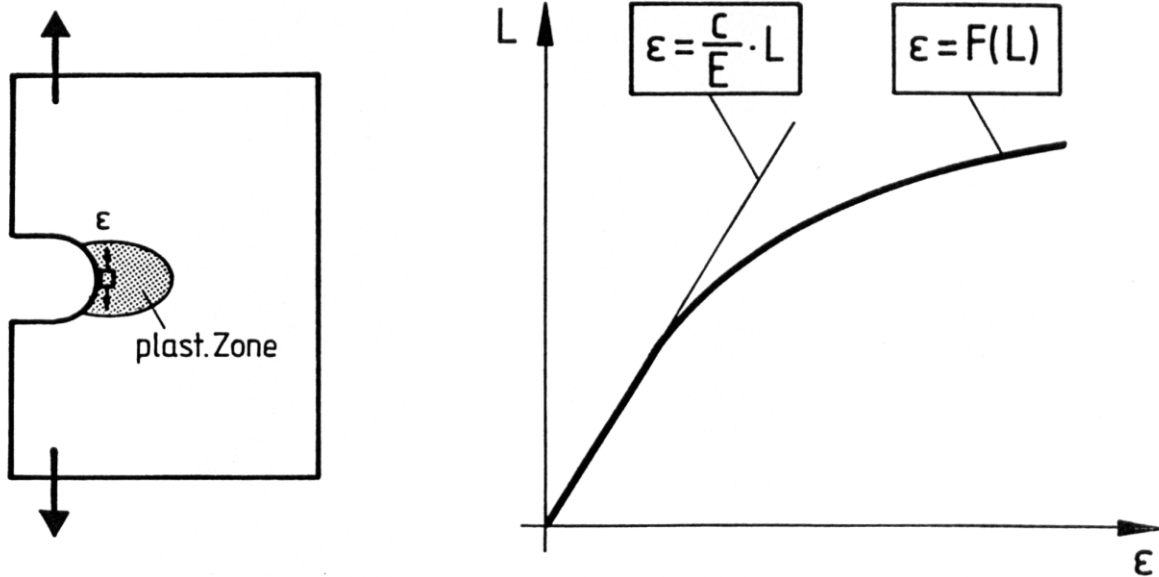
3.2

Masing-Memory-Modell für Bauteile



Werkstoffmechanik

Metode za določitev L-ε krivulje

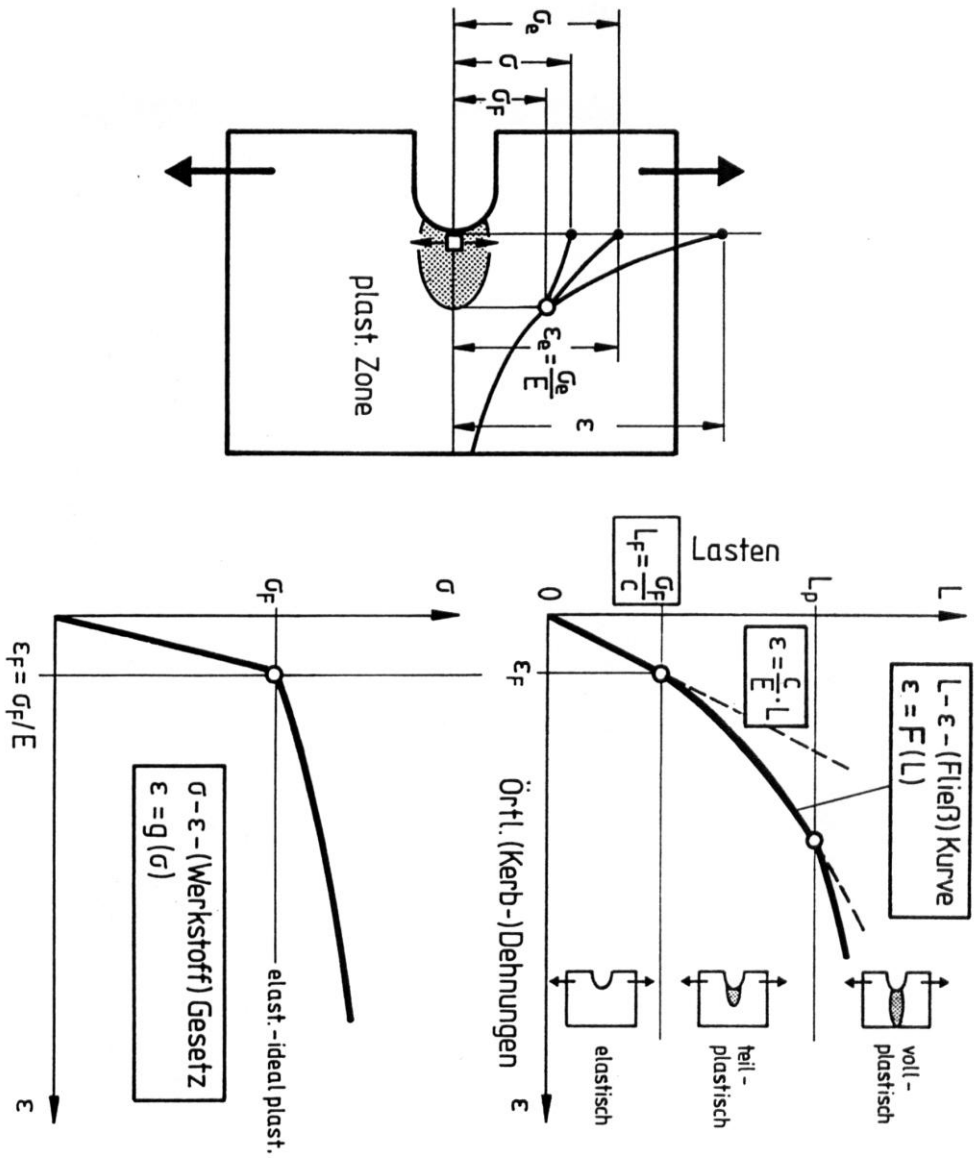


$\epsilon = F(L)$ aus:

- Näherungsformeln
- Elast.-plast. FE - Rechnung (monotone Bel.)
- Bauteil-Versuche (z.B. Incremental-Step-Test)

$$\epsilon = \frac{c \cdot L}{E} + \left(\frac{L}{L'} \right)^{\frac{1}{k'}}$$

mit Konstantenanpassung



Definitionen :

L = Lastgröße
$L_F = \sigma_F / c =$ Last bei örtl. Fließbeginn
$L_p =$ vollplast. Grenzlast
elast.-ideal plastisch
c = elast. Übertragungsfaktor
$\sigma_a =$ örtl. Spannung
elastisch
$\sigma_F =$ Fließspannung
$\sigma =$ örtl. Spannung
elast.-plastisch
$\epsilon =$ örtl. Dehnung

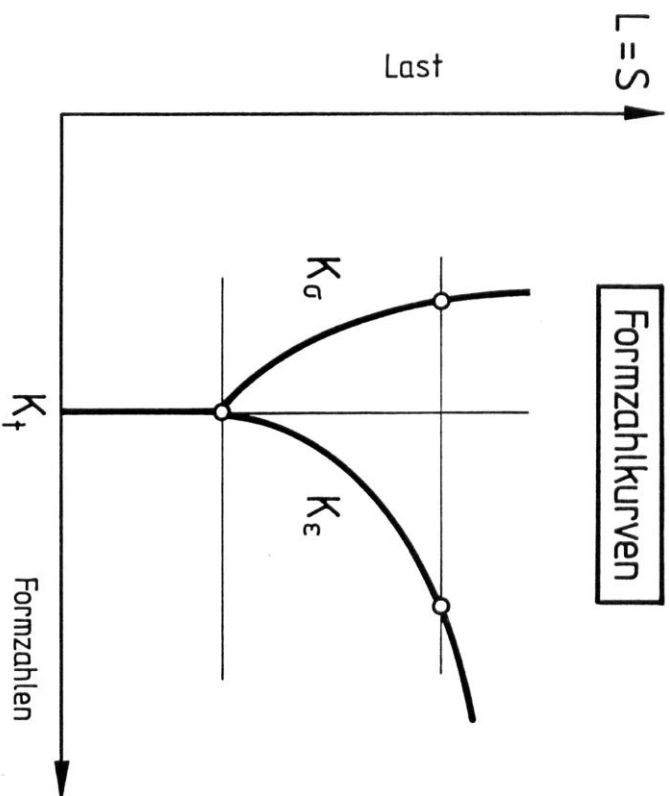
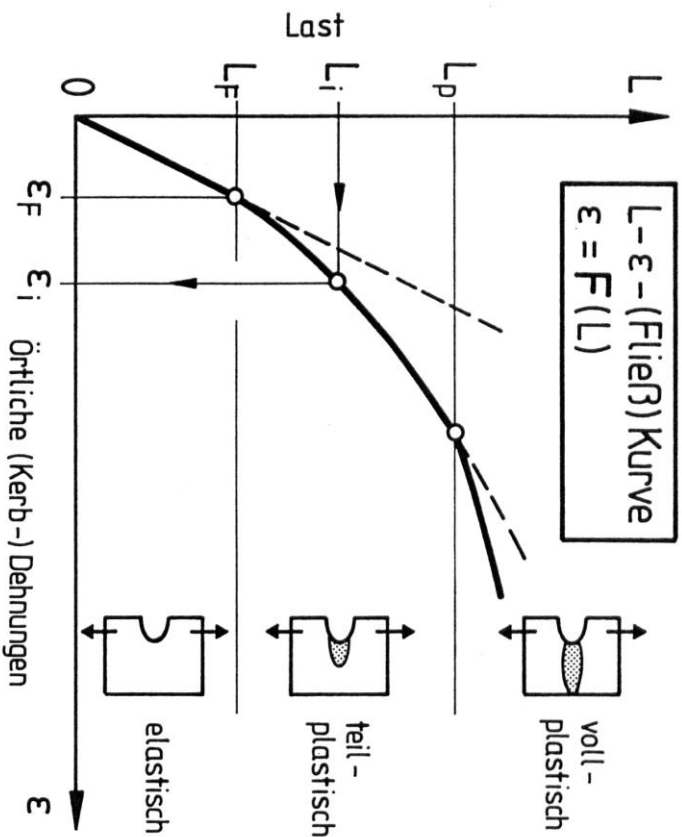
3.5

L-ε-(Fliieß-) Kurve, Begriffe, Definitionen



TU D

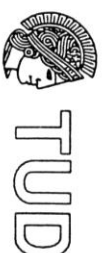
Werkstoffmechanik



S = Nennspannung (beliebige Definition)
 $K_\dagger = \sigma_e / S$ elastizitätstheor. Formzahl (α_K)
 $K_\epsilon = \epsilon / e^*$ Dehnformzahl (α_ϵ)
 $K_\sigma = \sigma / S$ Spannungsformzahl (α_σ)
 e^* = Nenndehnung (besondere Definition)

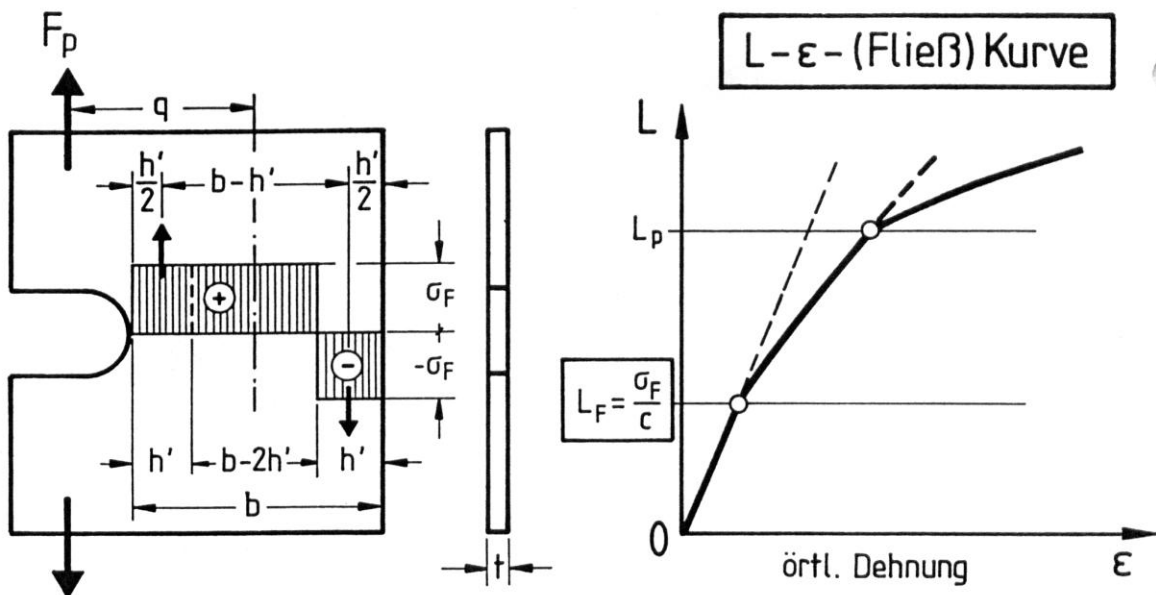
3.6

Fließ- und Formzahlkurven



Werkstoffmechanik

Mejno število K_p



Traglastberechnung :

$$F_p = \sigma_F (b - 2h') \cdot t \quad \text{Normalkraft}$$

$$F_p \cdot q = \sigma_F \cdot h' \cdot t \cdot (b - h') \quad \text{Moment}$$

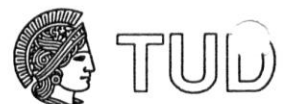
$$h'^2 - h' \cdot (2q + b) + q \cdot b = 0 \longrightarrow h' \longrightarrow F_p$$

Traglastformzahl K_p :

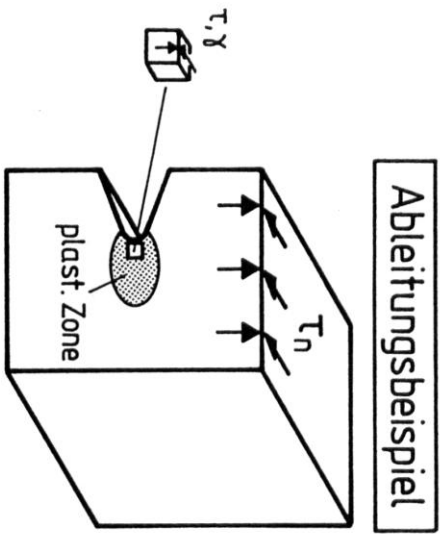
$$\frac{L_p}{L_F} = \frac{F_p}{F_F} = \frac{S_p}{S_F} = \frac{\sigma_{ep}}{\sigma_F} = K_p \quad (\text{auch } \alpha_p)$$

σ_F - unabhängig

3.7 Traglast und Traglastformzahl



Werkstoffmechanik



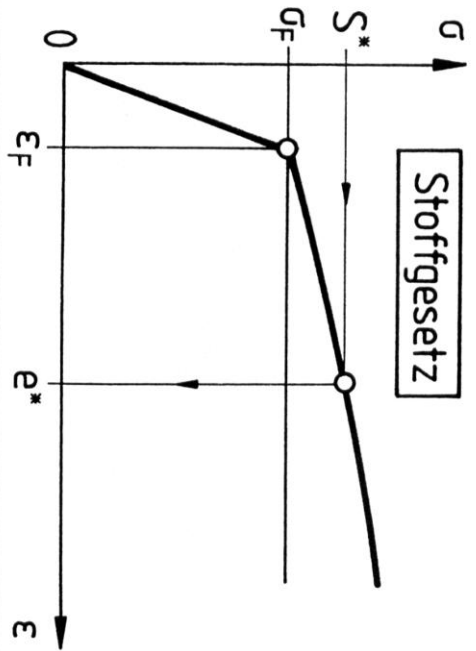
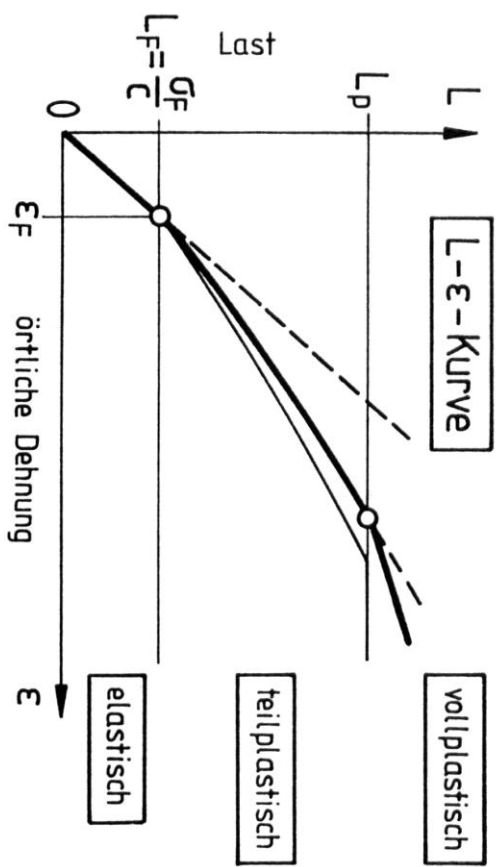
$$\epsilon = \frac{\sigma}{E} \cdot \left[\left(\frac{L \cdot C}{\sigma} \right)^2 \right] \cdot \left(\frac{e^*}{S^*/E} \right) \quad L \geq L_F$$

(Sonderfall $S^* = S; e^* = e; K_p = K_f$)

$$\sigma \cdot \epsilon = K_f^2 \cdot S \cdot e$$

$$S^* = \sigma_F \cdot \frac{L}{L_p} = \frac{L \cdot C}{K_p} ; e^* = g(S^*)$$

$$\epsilon = g(\sigma)$$



3.11 Näherungsformel nach Neuber