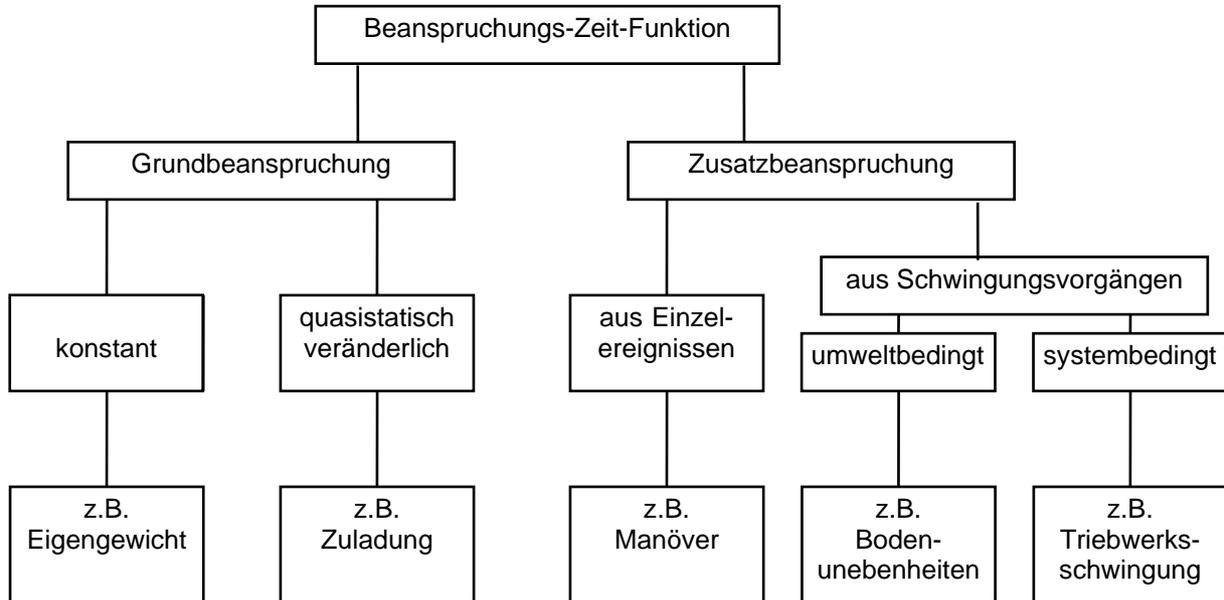
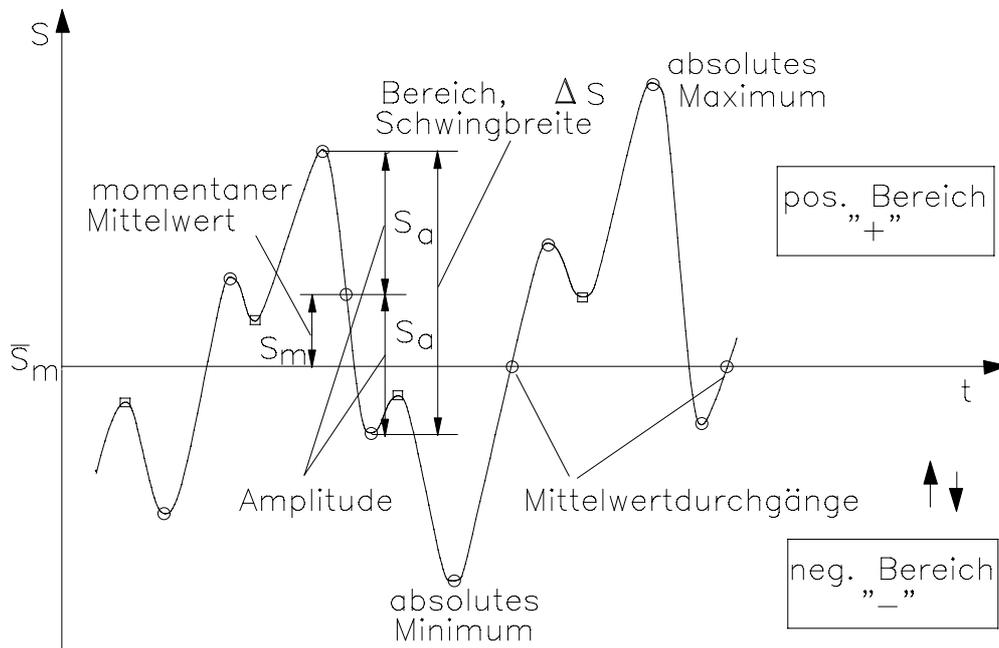


Ursachen der Beanspruchungs-Zeit-Funktionen, nach Buxbaum



Vereinbarungen zur Beanspruchungsanalyse



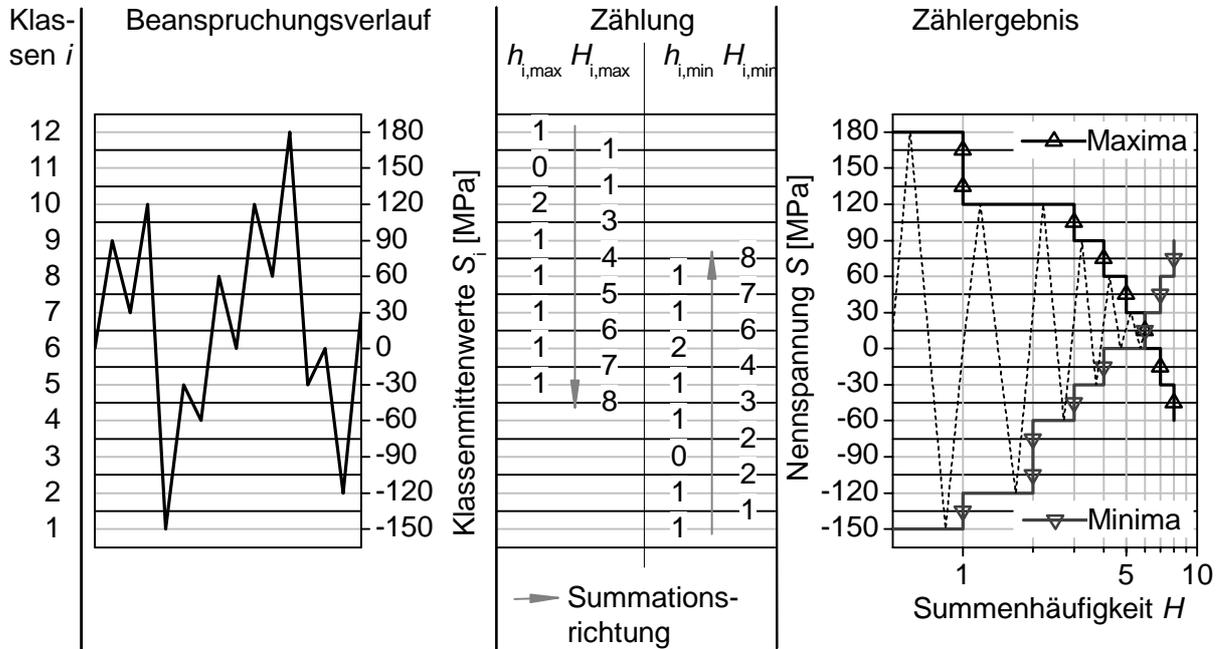
Maxima im pos. Bereich } reguläre Extremwerte ○
 Minima im neg. Bereich }

Maxima im neg. Bereich } irreguläre Extremwerte □
 Minima im pos. Bereich }

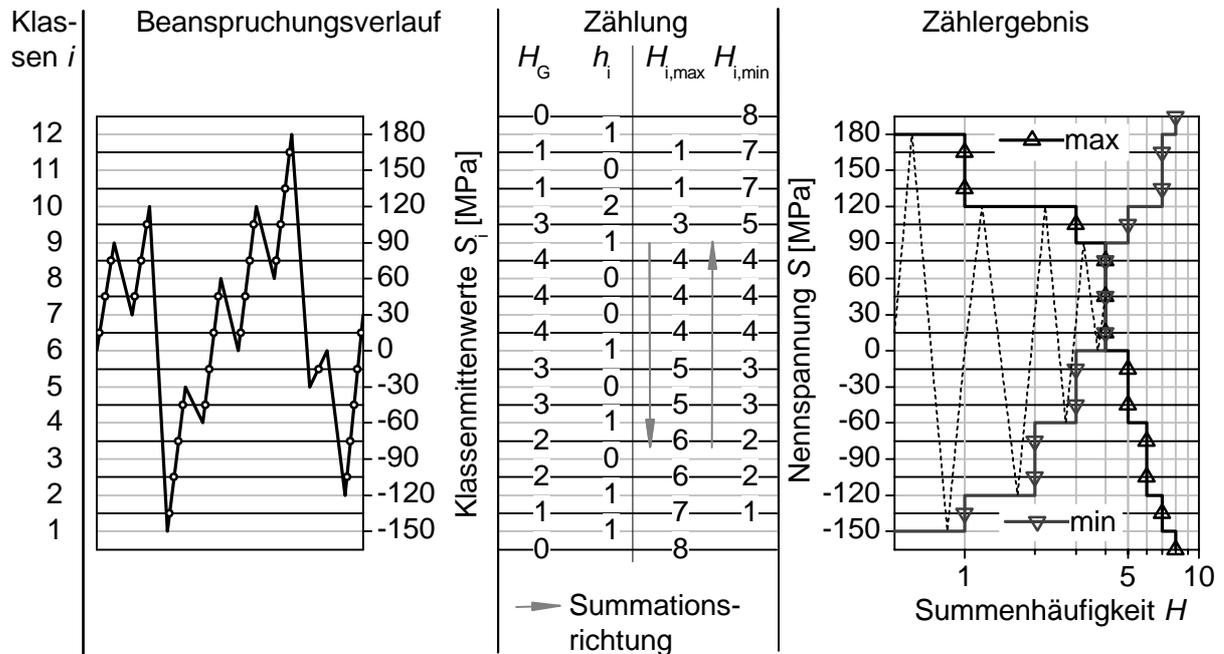
Einparametrische Zählverfahren

Extremwertzählung

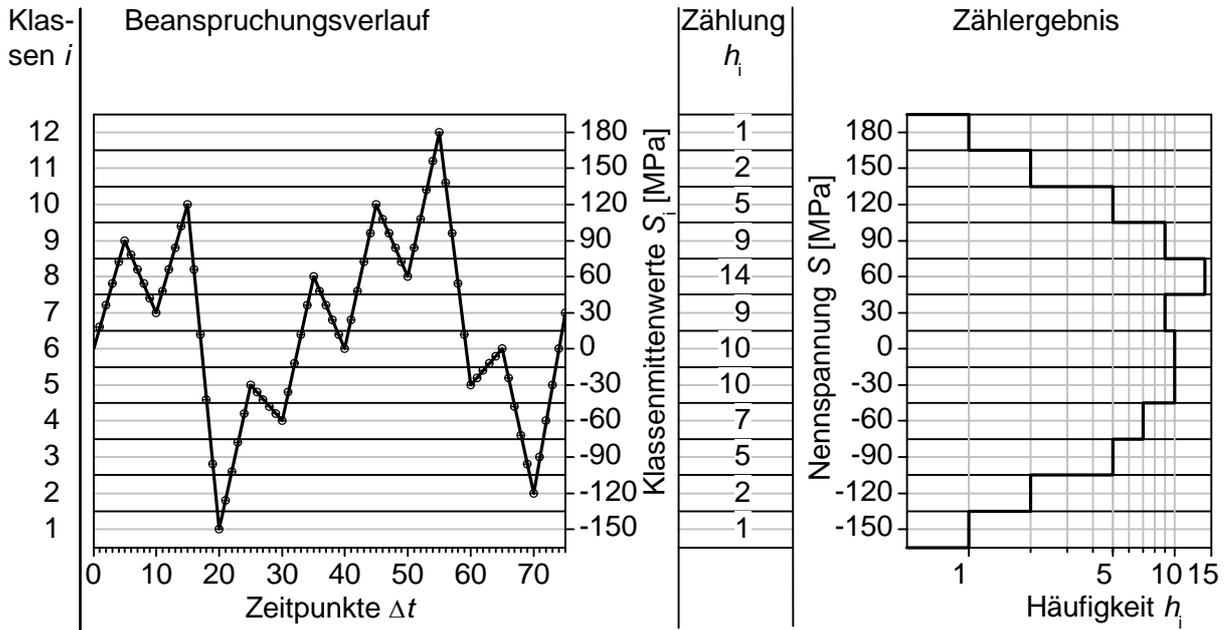
Zählung aller Extremwerte Minima • Maxima



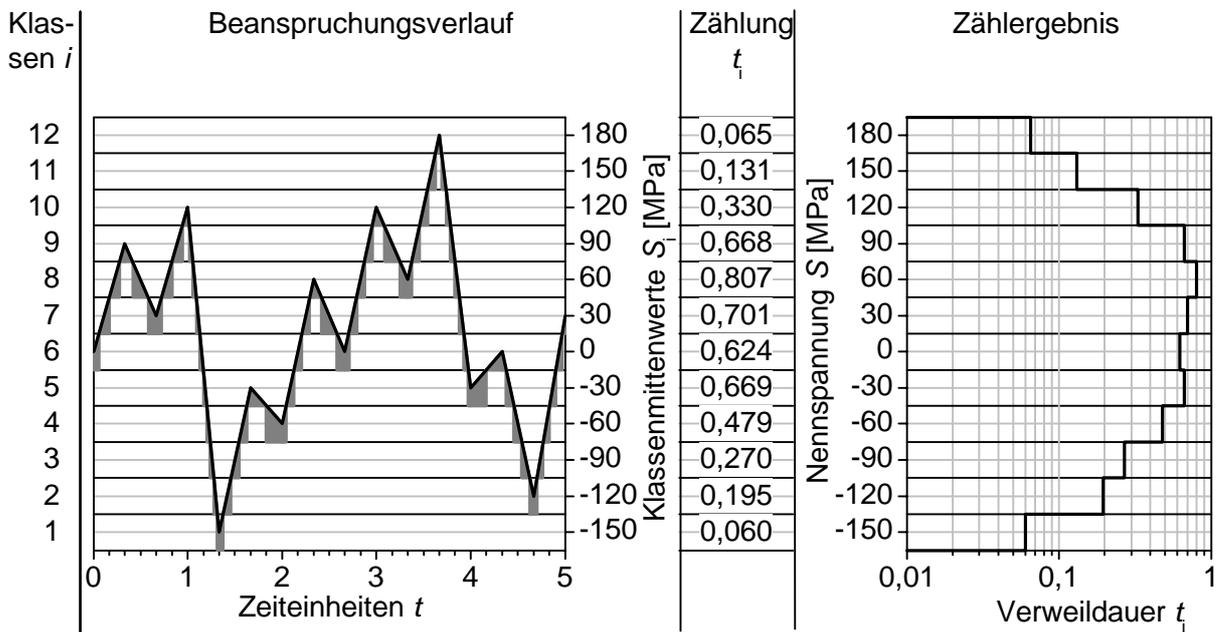
Klassengrenzenüberschreitungs-zählung



Momentanwertzählung

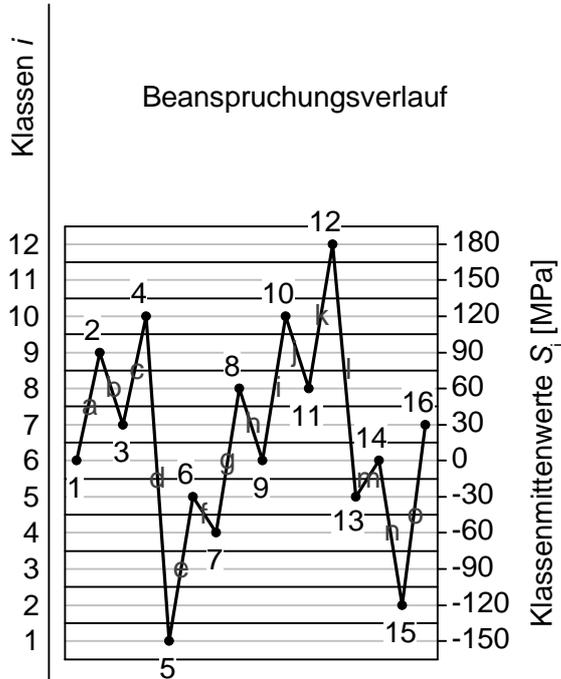


Verweildauerzählung



Zweiparametrische Zählverfahren

Übergangsklassierung

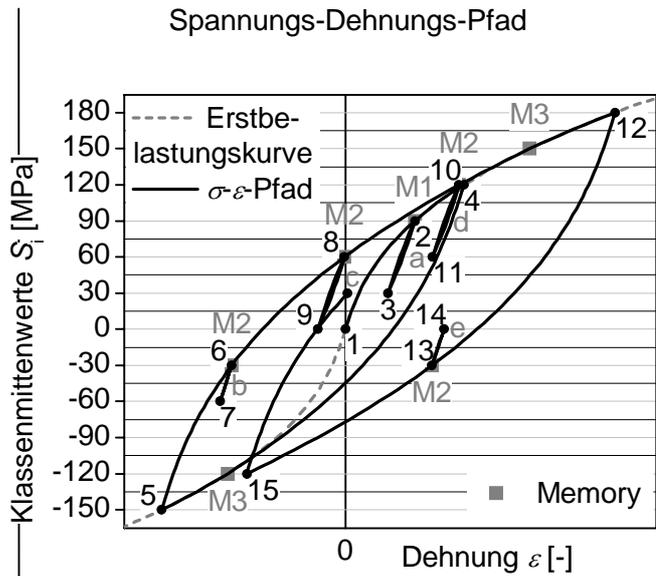
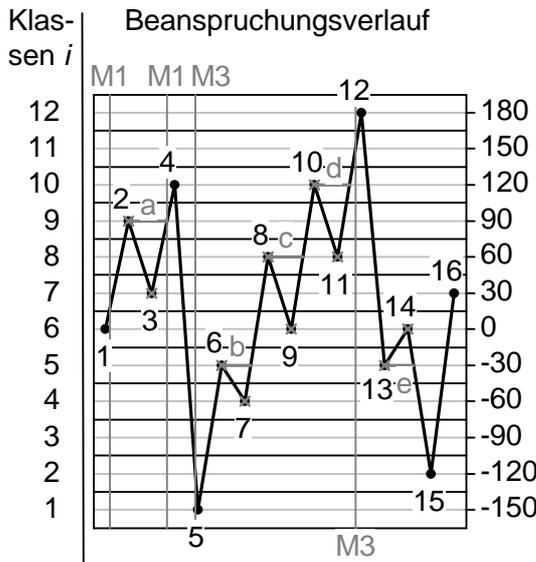


Ergebnismatrix

Zielklasse

S_i [MPa]	S_j [MPa]	-150	-120	-90	-60	-30	0	30	60	90	120	150	180
Startklasse	i	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
-150	1					e							
-120	2							o					
-90	3												
-60	4								g				
-30	5				f		m						
0	6		n							a	i		
30	7										c		
60	8						h						k
90	9							b					
120	10	d								j			
150	11												
180	12					l							

Rainflow-Klassierung



Klassierungsschritte (Algorithmus)

Punkte	Hysteresen	$ S _{max}$	gültige Punkte
1	0		0
2	90	90	90
3	30		90; 30
4	120	30/90	120
5	-150	150	-150
6	-30		-150; -30
7	-60		-150; -30; -60
8	60	-60/-30	-150; 60
9	0		-150; 60; 0
10	120	0/60	-150; 120
11	60		-150; 120; 60
12	180	60/120	180
13	-30	180	180; -30
14	0		180; -30; 0
15	-120	0/-30	180; -120
16	30		180; -120; 30

Rainflowmatrix

schließender Ast nach Klasse

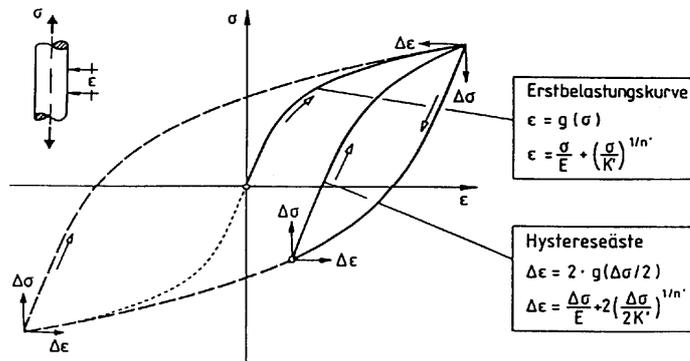
S_i [MPa]	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1												
2												
3												
4												
5												
6												
7												
8												
9												
10												
11												
12												

schließender Ast von Klasse

S_i [MPa]	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1												
2												
3												
4												
5												
6												
7												
8												
9												
10												
11												
12												

Residuum: 0; 120; -150; 180; -120; 30
bzw. als Umkehrpunkte: 1-4-5-12-15-16

Masing – Verhalten des Werkstoffes (Referenz: Seeger)

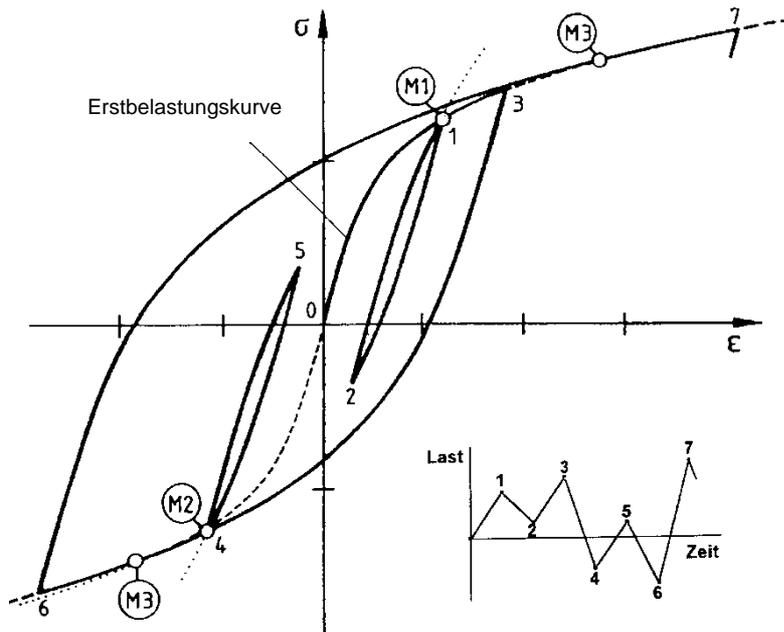


Erstbelastungskurve : $\epsilon = g(\sigma)$

Masing - Verhalten bedeutet } $2\sigma = \Delta\sigma$
Verdopplung von σ und ϵ } $2\epsilon = \Delta\epsilon$

Funktion der Hystereseseite : $\Delta\epsilon = 2 \cdot g(\Delta\sigma/2)$

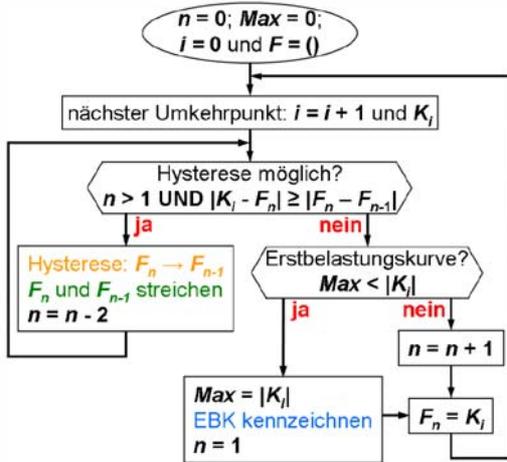
Werkstoff-Memory (Referenz: Seeger)



Es werden drei Arten des Werkstoff“gedächtnisses“ beobachtet, die so wie im Bild nicht besser darstellbar sind.

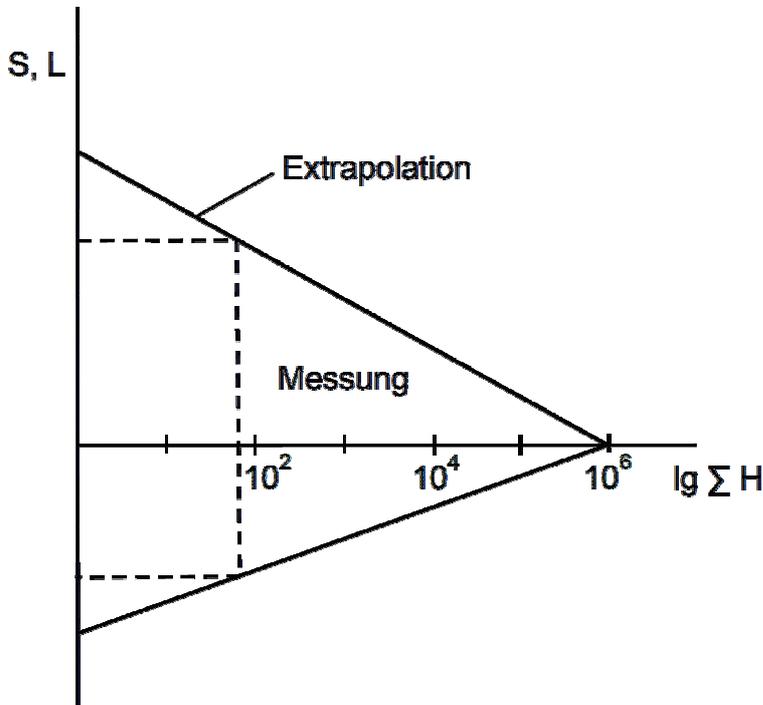
- M1: Nach dem Schließen einer Hysteresis, die von der Erstbelastungskurve ausging, setzt sich der Spannungs-Dehnungs-Pfad auf der Erstbelastungskurve fort.
- M2: Nach dem Schließen einer Hysteresis, die von einem Hysteresiseast ausging, setzt sich der Spannungs-Dehnungs-Pfad auf dem ursprünglichen Hysteresiseast fort.
- M3: Ein von der Erstbelastungskurve ausgehender Hysteresiseast setzt sich bei Erreichen der Erstbelastungskurve im gegenüberliegenden Quadranten auf dieser fort.

Rainflow-Klassierung - Grafisch -

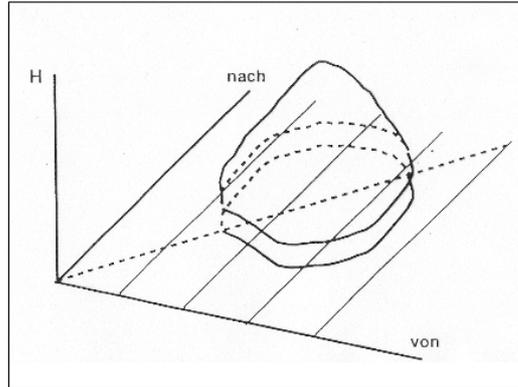


- n : Anzahl der Umkehrpunkte, die schließfähige Hysteresenäste begrenzen; Skalar
- Max : Maximale Spannung auf der Erstbelastungskurve; Skalar
- K : Umkehrpunktfolge; Vektor
- i : Zählindex der Umkehrpunktfolge; Skalar
- F : Umkehrpunkte, die schließfähige Hysteresenäste begrenzen; Vektor
- H : Hysteresen beschrieben durch schließende Äste mit 'von Klassenmittenwert' in Zeile und 'nach Klassenmittenwert' in Spalte; Matrix
- Res : Umkehrpunkte nicht geschlossener Hysteresenäste; Vektor

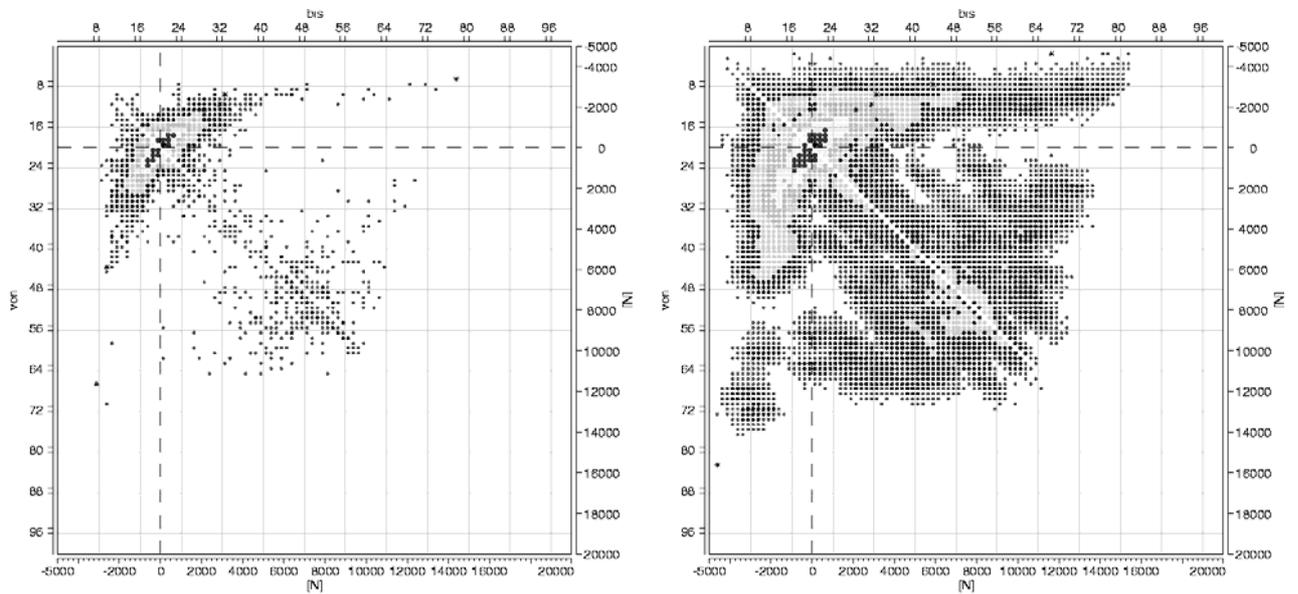
Erweitertes und extrapoliertes Kollektiv am Beispiel einer „Geradlinienverteilung“



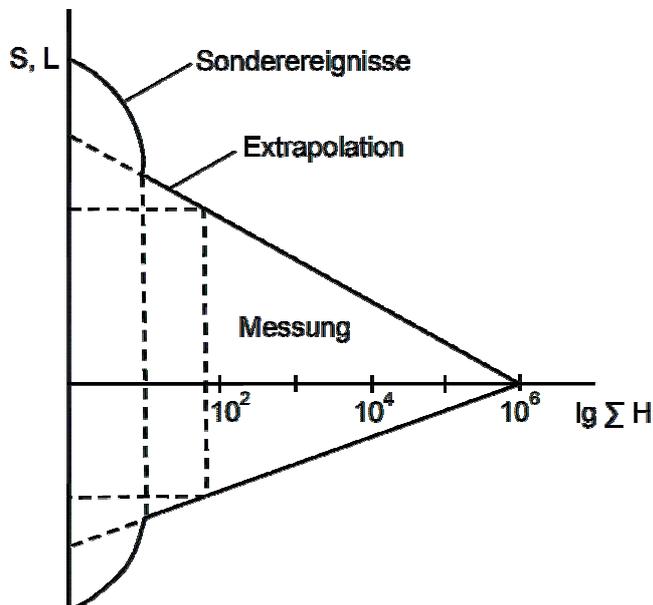
Grundprinzip der Rainflow-Extrapolation



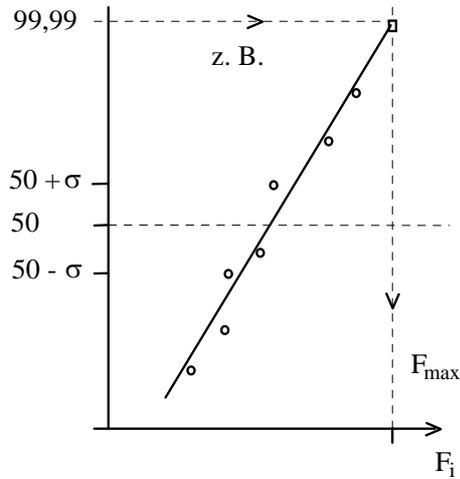
Extrapolation der Rainflowmatrix



Messung, Extrapolation, Sonderereignisse im Beanspruchungskollektiv

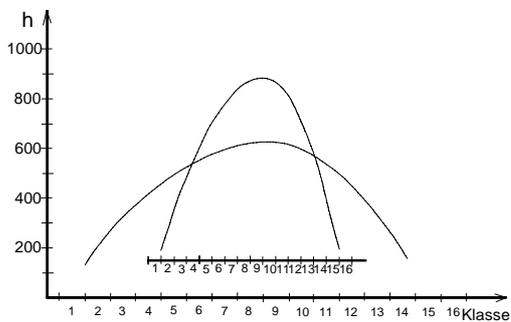
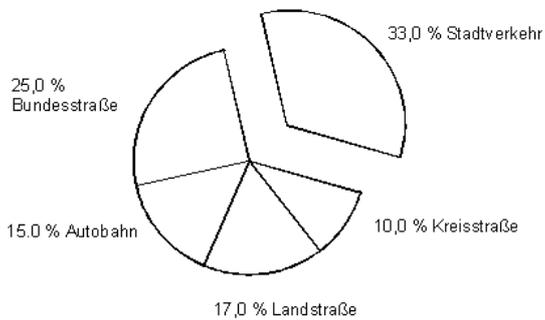


Bestimmung des Kollektivgrößtwertes aus Extremalwertbetrachtung

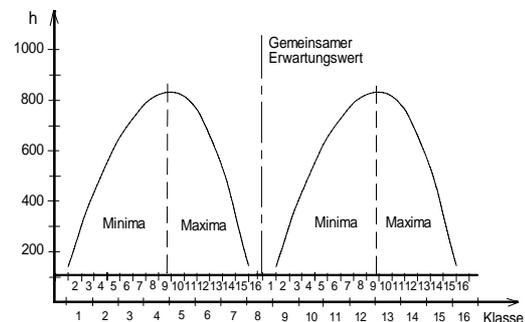


Normalkollektivstrecke

Kreisstraße	10 %
Landstraße	17 %
Autobahn	15 %
Bundesstraße	25 %



Teilkollektive mit ähnlichem Erwartungswert



Teilkollektive mit stark unterschiedlichem Erwartungswert

Normalkollektivsysteme

- als Bezugs- und Vergleichskollektive
- industriezweigspezifisch für Berechnungsvorschriften

LBF: parabelförmige Beschreibung der Summenhäufigkeitskurve etwa normalverteilt

$$H = 10^6 \quad p = \frac{S_{a_{min}}}{S_{a_{max}}}$$

