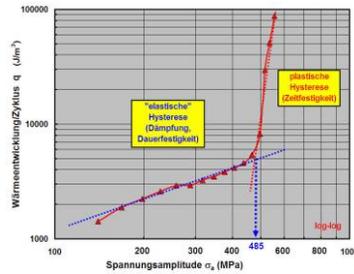
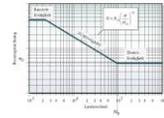


Vier Einprobenverfahren zur Bestimmung der Dauerfestigkeit

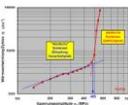


AK Materialermüdung 1./2. Oktober 2015/Saarbrücken

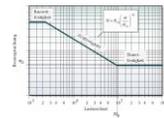
Dr.- Ing. Klaus F. Stärk
Alstom Schweiz AG

Dr.- Ing. F. Loubat
Alstom Frankreich AG

Dipl.- Ing. Josef Denk
ABB Schweiz AG

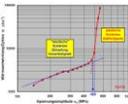


Vier Einprobenverfahren zur Bestimmung der Dauerfestigkeit

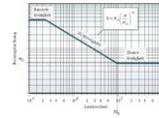


Gliederung

1. Quantitative Thermometrie
2. Temperaturmessung
3. Leistungsmessung
4. Laststeigerungsverfahren
5. Beispiele
 - 5.1 Kupfer
 - 5.2 Grauguss
 - 5.3 Vergütungsstahl
 - 5.4 Martensit. Stahl
6. Zusammenfassung

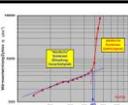


Vier Einprobenverfahren zur Bestimmung der Dauerfestigkeit

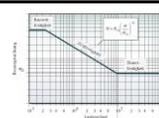


Gliederung

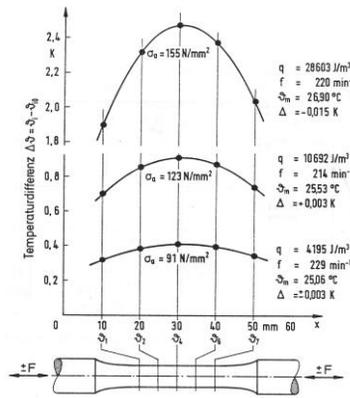
1. Quantitative Thermometrie



Vier Einprobenverfahren zur Bestimmung der Dauerfestigkeit



quantitative
Thermometrie
Bestimmung der
Wärmequellen
pro Zyklus
etwas mehr
als nur
Temperatur-
messung

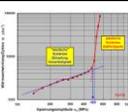


spez.
Wärmemenge q
pro Lastspiel
aus der
Krümmung der
Temperatur-
Parabel

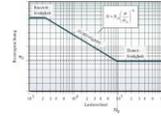
q ist die irreversible Verformungsenergie pro Zyklus

Auflösung
mit Halbleitern
< 0.001K=1mK

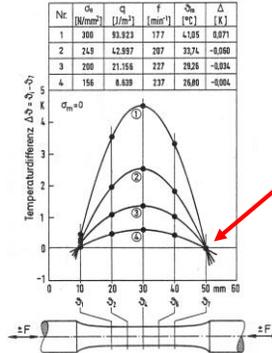
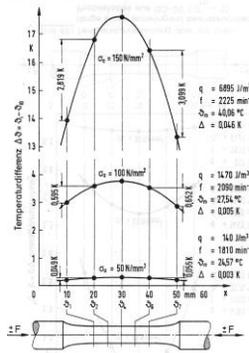




Vier Einprobenverfahren zur Bestimmung der Dauerfestigkeit

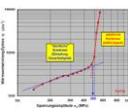


quantitative Thermometrie

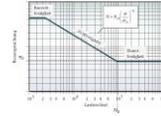


z. B. Bezugspunkt

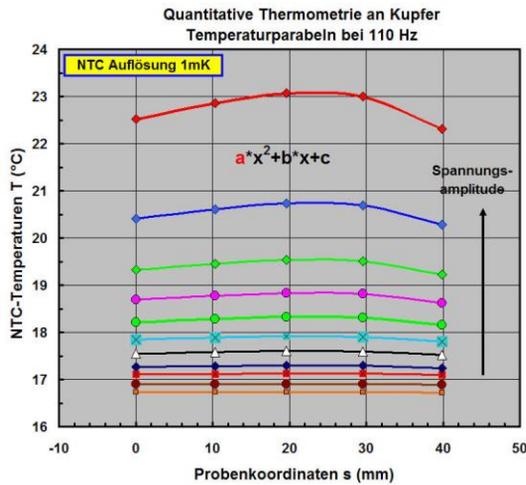
spez. Wärmemenge q pro Lastspiel ist unabhängig von den Randbedingungen!



Vier Einprobenverfahren zur Bestimmung der Dauerfestigkeit

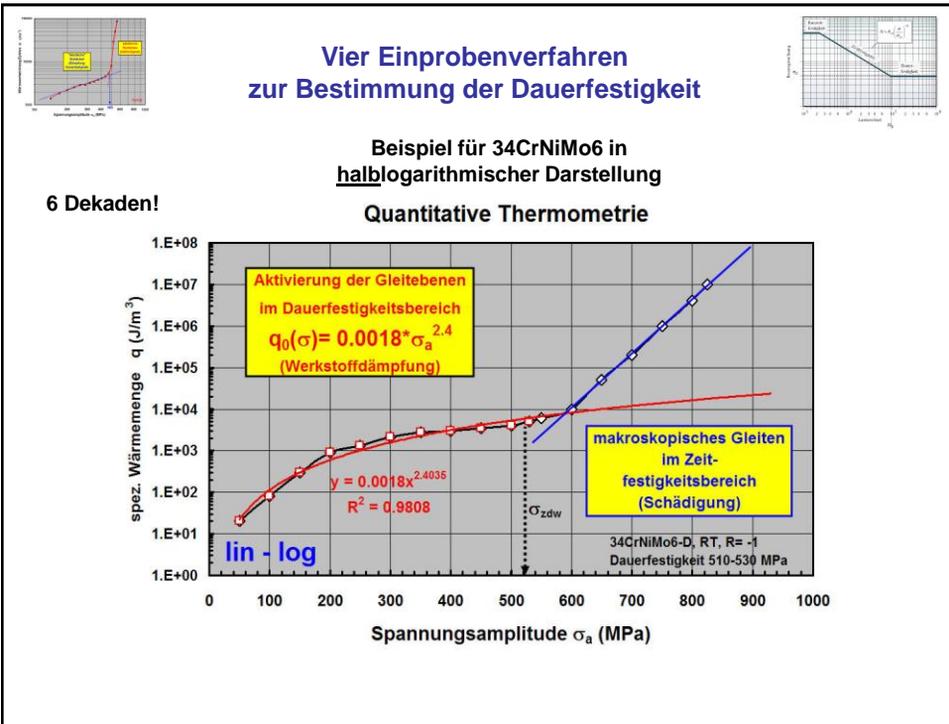
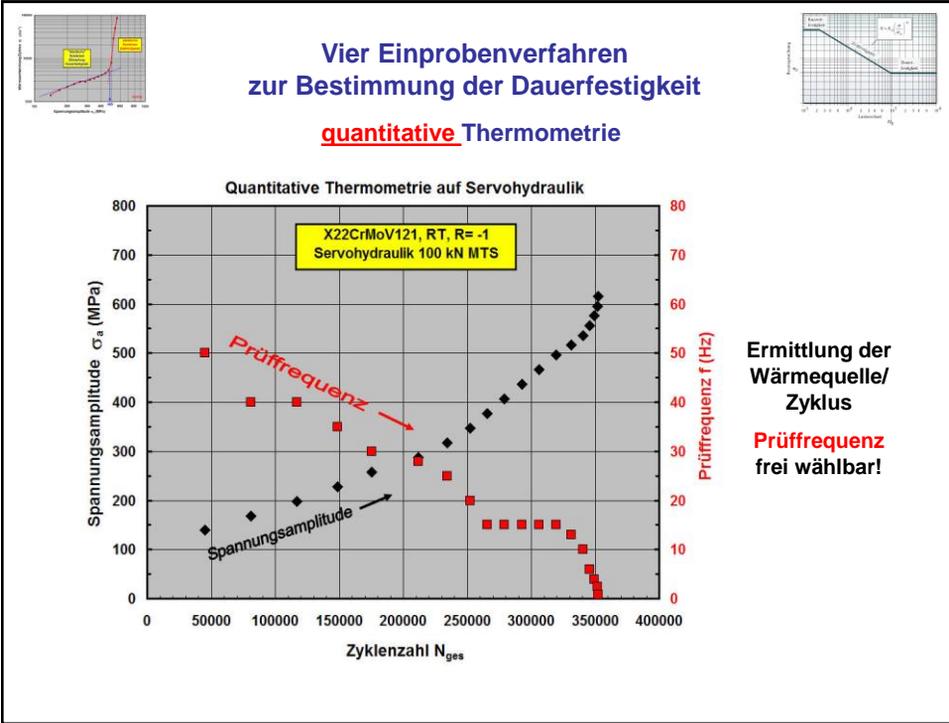


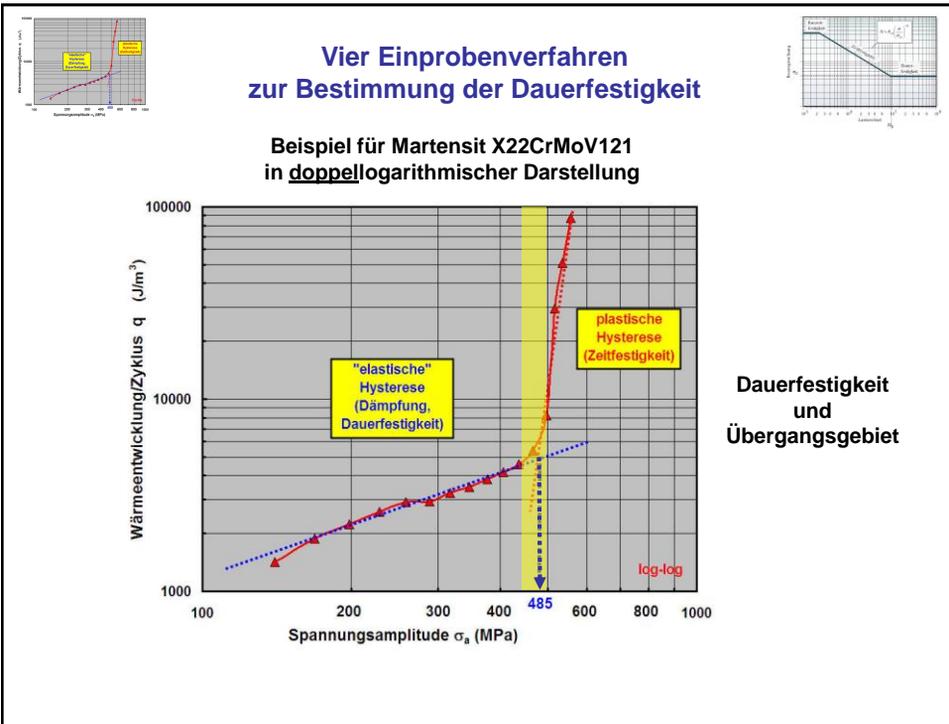
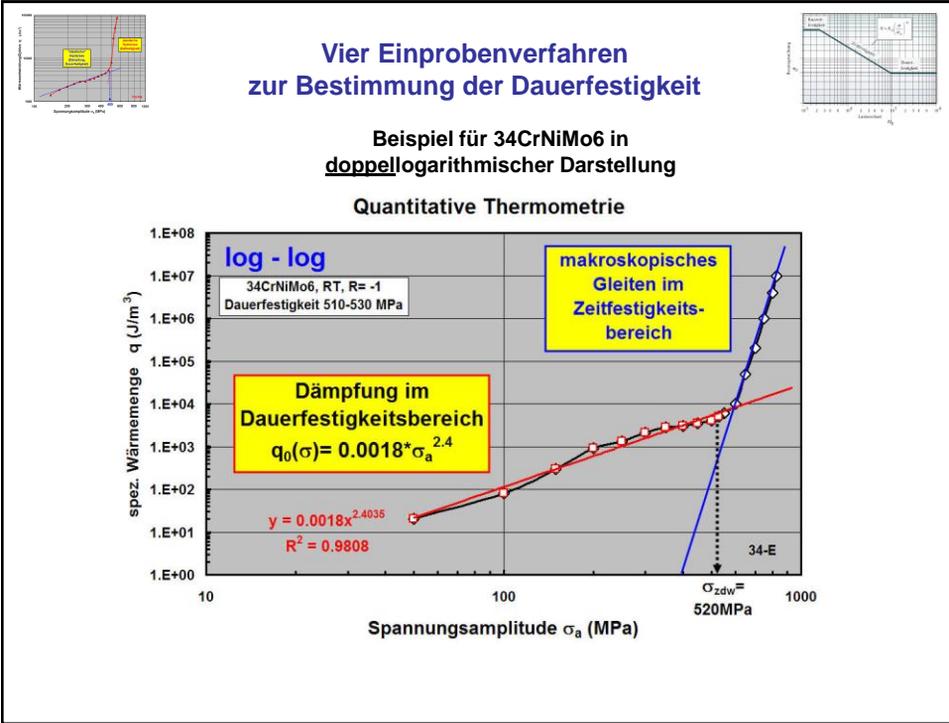
quantitative Thermometrie

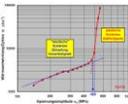


Messung sogar an Kupfer mit Wärmeleitfähigkeit 400 W/mK

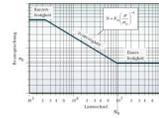
Auflösung mit NTC-Halbleitern < 0.001K=1mK





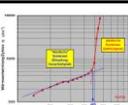


Vier Einprobenverfahren zur Bestimmung der Dauerfestigkeit

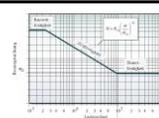


Gliederung

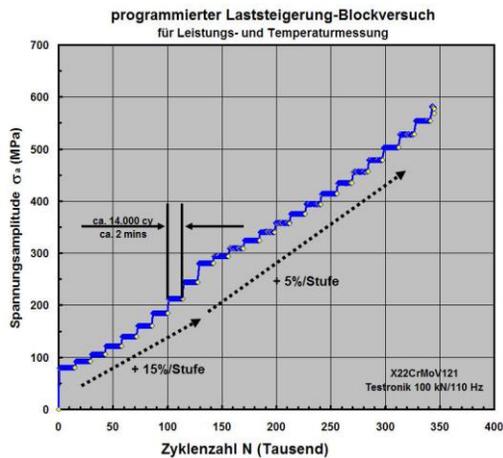
1. Quantitative Thermometrie
2. Temperaturmessung



Vier Einprobenverfahren zur Bestimmung der Dauerfestigkeit



automatischer programmierter Blockversuch

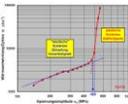


Temperaturmessung an glatten Proben

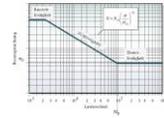
mit
 NTC-Halbleiter,
 Folien-Thermoelement,
 Kupferdraht etc.
 in Probenmitte
 oder

$$\Delta T = T_{\text{Mitte}} - 0.5 \cdot (T_1 + T_3)$$

mit 3 Messfühlern

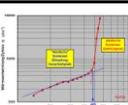


Vier Einprobenverfahren zur Bestimmung der Dauerfestigkeit

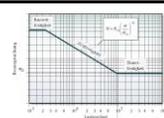


Gliederung

1. Quantitative Thermometrie
2. Temperaturmessung
3. Leistungsmessung

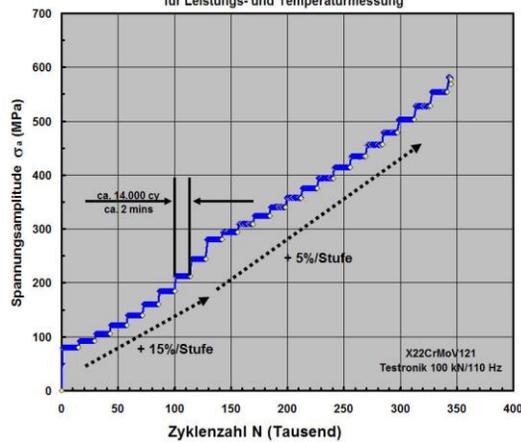


Vier Einprobenverfahren zur Bestimmung der Dauerfestigkeit



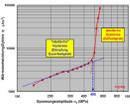
automatischer programmierter Blockversuch

programmierter Laststeigerung-Blockversuch für Leistungs- und Temperaturmessung

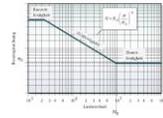


Leistungsmessung
an
Resonanzpulsern

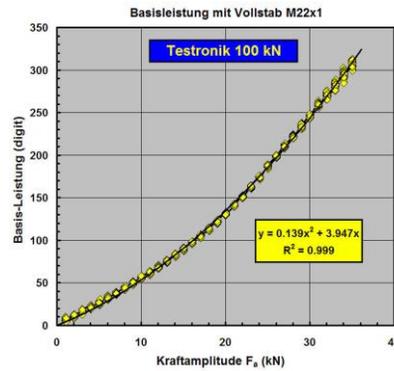
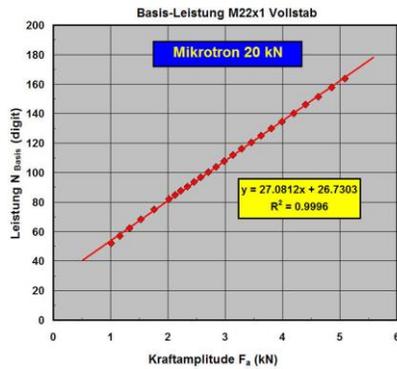
elektr. Gesamt-
Leistungsaufnahme
der Prüfmaschine
und Basisleistung
mit Massivstab



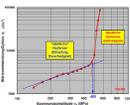
Vier Einprobenverfahren zur Bestimmung der Dauerfestigkeit



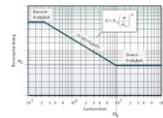
Basis-Leistungsaufnahme von Resonanzpulsern



**Proben-Leistung =
Gesamtleistung – Basis-Leistung**

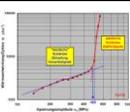


Vier Einprobenverfahren zur Bestimmung der Dauerfestigkeit

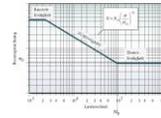


Gliederung

1. Quantitative Thermometrie
2. Temperaturmessung
3. Leistungsmessung
4. Laststeigerungsverfahren

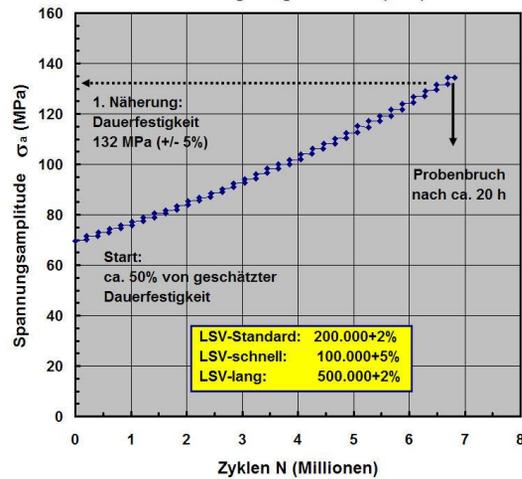


Vier Einprobenverfahren zur Bestimmung der Dauerfestigkeit

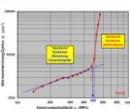


automatischer programmierter Blockversuch

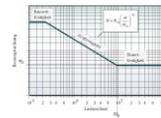
Laststeigerungsverfahren (LSV)



automatischer programmierter Blockversuch je nach Zeitdruck (Prüffrequenz, Laststeigerung, Blocklänge, Erfahrung)

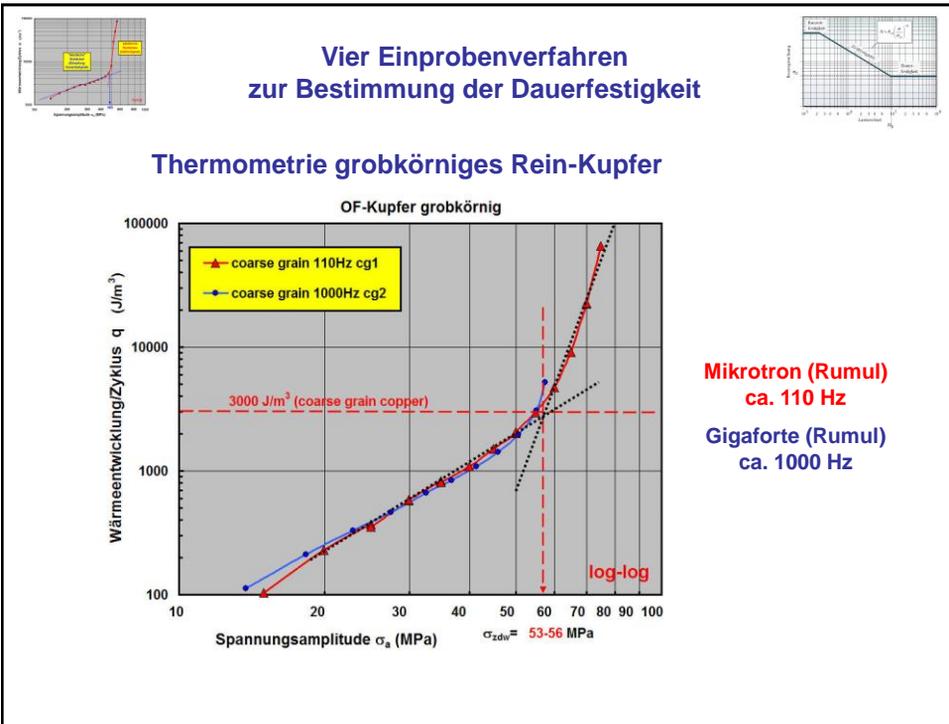
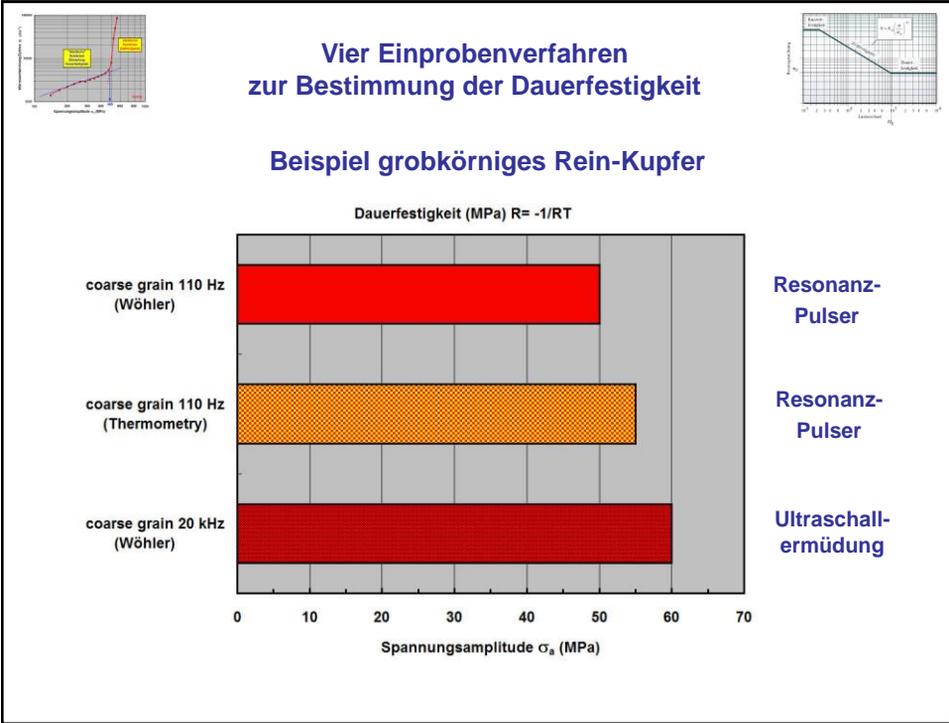


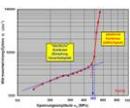
Vier Einprobenverfahren zur Bestimmung der Dauerfestigkeit



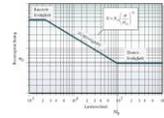
Gliederung

1. Quantitative Thermometrie
2. Temperaturmessung
3. Leistungsmessung
4. Laststeigerungsverfahren
5. Beispiele
 - 5.1 Kupfer

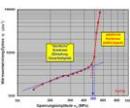
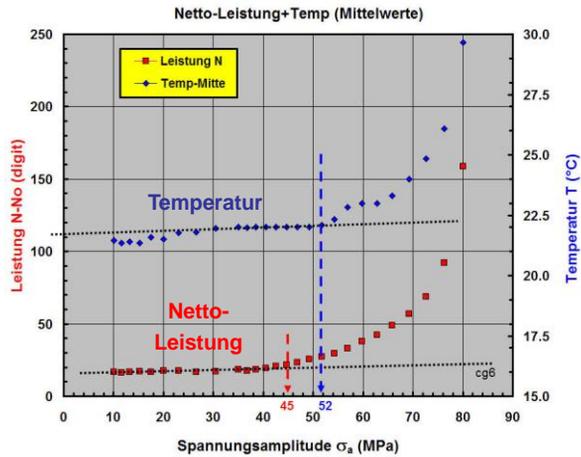




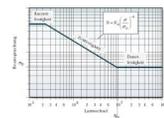
Vier Einprobenverfahren zur Bestimmung der Dauerfestigkeit



Netto-Leistung bzw. Temperatur grobkörniges Rein-Kupfer

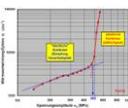


Vier Einprobenverfahren zur Bestimmung der Dauerfestigkeit

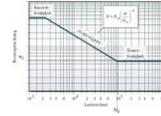


Gliederung

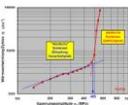
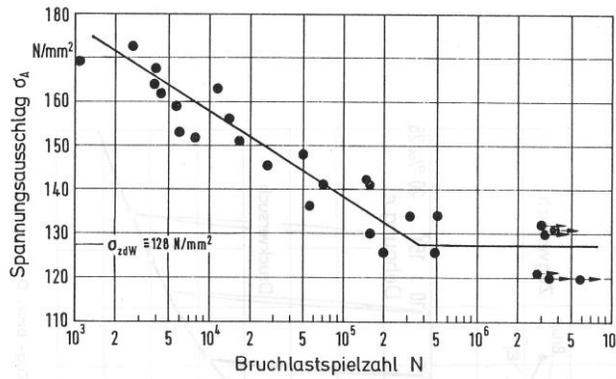
1. Quantitative Thermometrie
2. Temperaturmessung
3. Leistungsmessung
4. Laststeigerungsverfahren
5. Beispiele
 - 5.1 Kupfer
 - 5.2 Grauguss



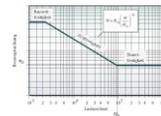
Vier Einprobenverfahren zur Bestimmung der Dauerfestigkeit



Wöhlerversuche Grauguss (27 Proben)



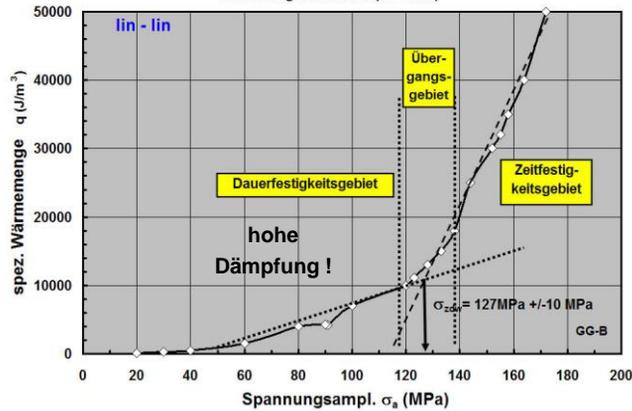
Vier Einprobenverfahren zur Bestimmung der Dauerfestigkeit

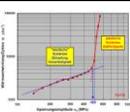


Thermometrie Grauguss (1 Probe)

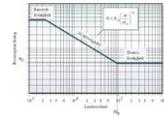
GGL-20

Dauerfestigkeit 128MPa (R=-1/RT)

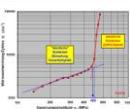
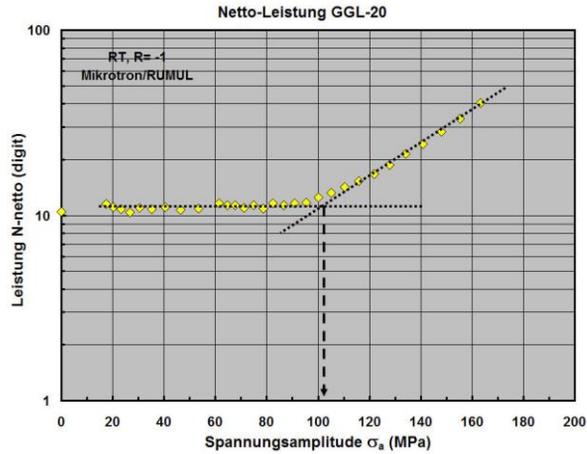




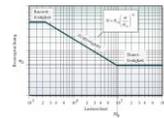
Vier Einprobenverfahren zur Bestimmung der Dauerfestigkeit



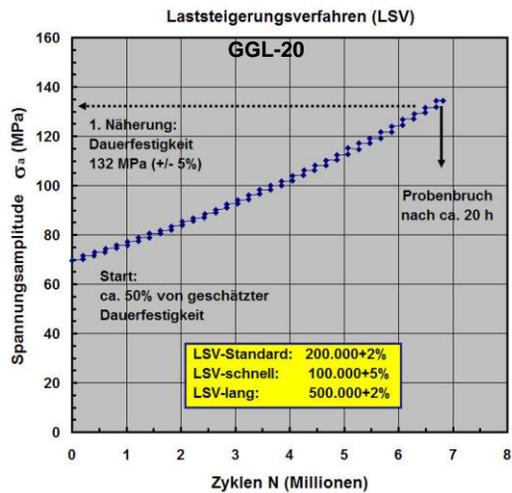
Netto-Leistung Grauguss (1 Probe)

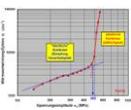


Vier Einprobenverfahren zur Bestimmung der Dauerfestigkeit

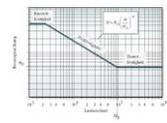


Laststeigerung Grauguss (1 Probe)



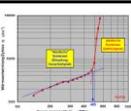


Vier Einprobenverfahren zur Bestimmung der Dauerfestigkeit

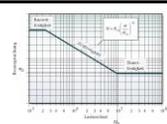


Gliederung

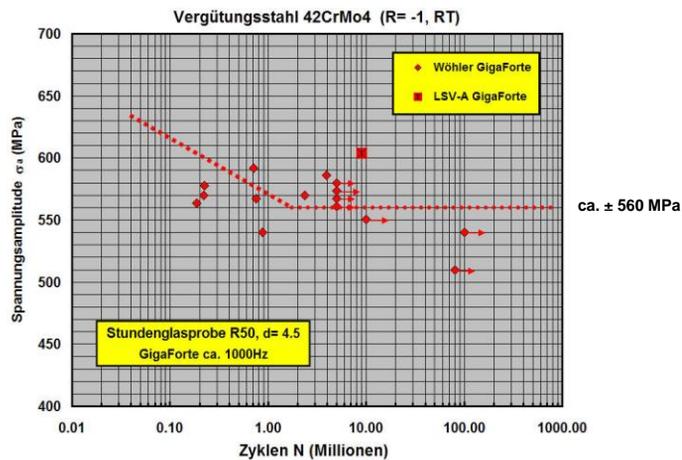
1. Quantitative Thermometrie
2. Temperaturmessung
3. Leistungsmessung
4. Laststeigerungsverfahren
5. Beispiele
 - 5.1 Kupfer
 - 5.2 Grauguss
 - 5.3 Vergütungsstahl

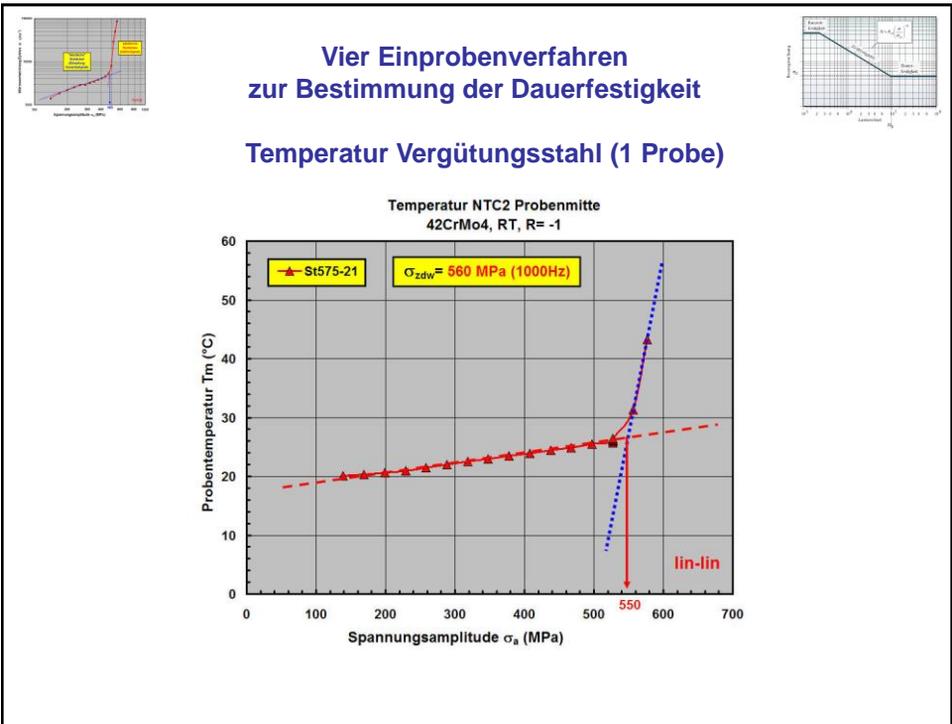
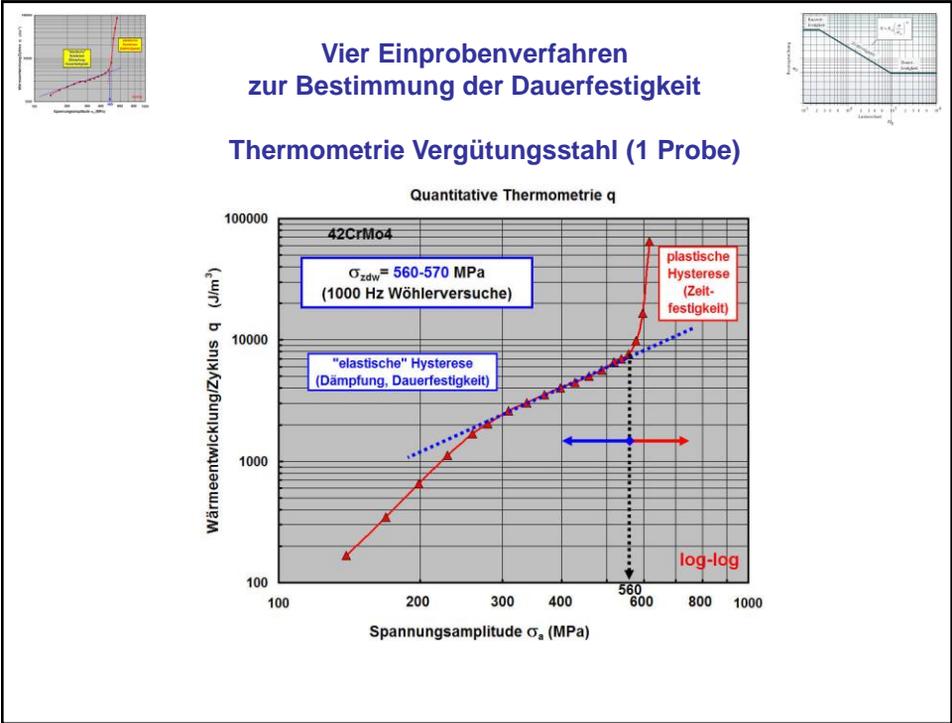


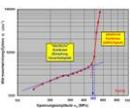
Vier Einprobenverfahren zur Bestimmung der Dauerfestigkeit



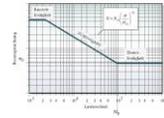
Wöhlerversuche Vergütungsstahl (14 Proben)





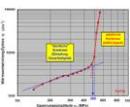
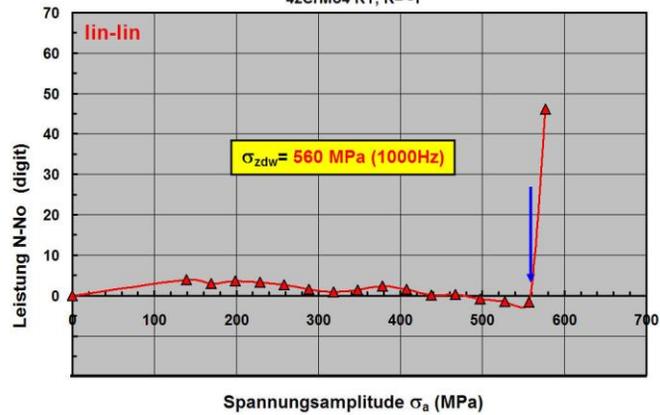


Vier Einprobenverfahren zur Bestimmung der Dauerfestigkeit

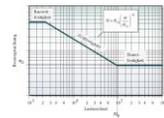


Netto-Leistung Vergütungsstahl (1 Probe)

Netto-Leistung N-No Testronik 100 kN
42CrMo4 RT, R= -1

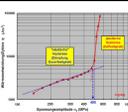


Vier Einprobenverfahren zur Bestimmung der Dauerfestigkeit

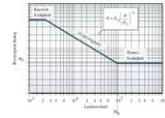


Gliederung

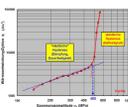
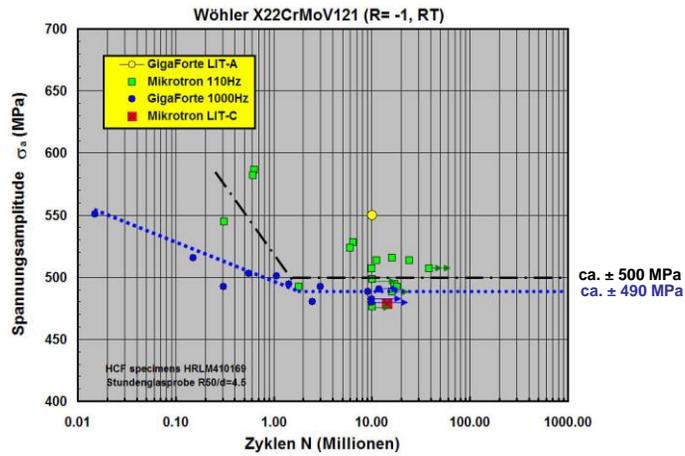
1. Quantitative Thermometrie
2. Temperaturmessung
3. Leistungsmessung
4. Laststeigerungsverfahren
5. Beispiele
 - 5.1 Kupfer
 - 5.2 Grauguss
 - 5.3 Vergütungsstahl
 - 5.4 Martensit. Stahl



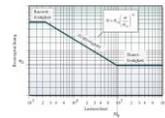
Vier Einprobenverfahren zur Bestimmung der Dauerfestigkeit



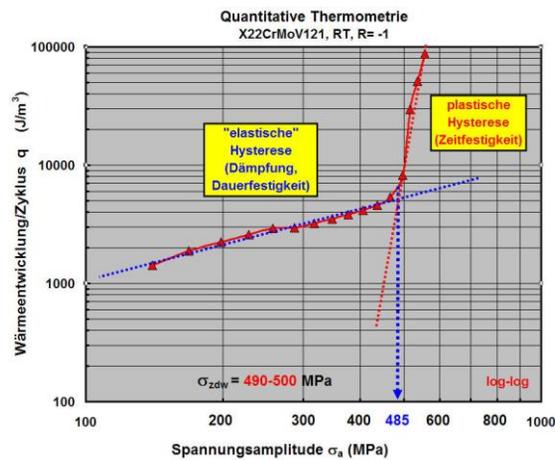
Wöhlerversuche Martensit (14+11 Proben)

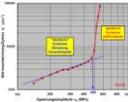


Vier Einprobenverfahren zur Bestimmung der Dauerfestigkeit

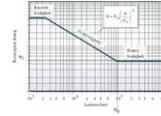


Thermometrie Martensit (1 Probe)



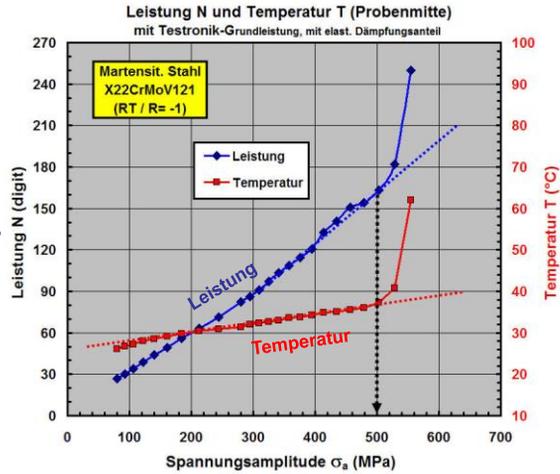


Vier Einprobenverfahren zur Bestimmung der Dauerfestigkeit

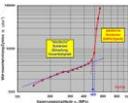


Leistung bzw. Temperatur Martensit (je 1 Probe)

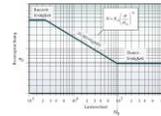
Leistungs-
Aufnahme



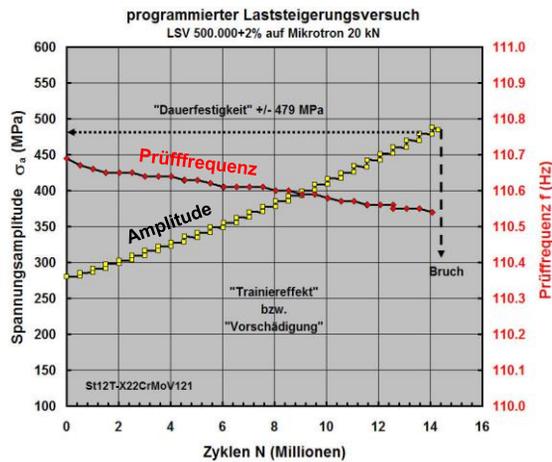
Temperatur

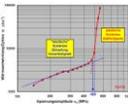


Vier Einprobenverfahren zur Bestimmung der Dauerfestigkeit

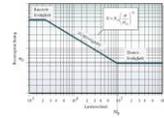


Laststeigerungsversuch Martensit (1 Probe)



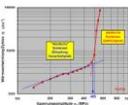


Vier Einprobenverfahren zur Bestimmung der Dauerfestigkeit

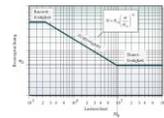


Gliederung

1. Quantitative Thermometrie
2. Temperaturmessung
3. Leistungsmessung
4. Laststeigerungsverfahren
5. Beispiele
 - 5.1 Kupfer
 - 5.2 Grauguss
 - 5.3 Vergütungsstahl
 - 5.4 Martensit. Stahl
6. Zusammenfassung



Vier Einprobenverfahren zur Bestimmung der Dauerfestigkeit

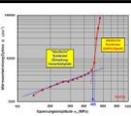


Vergleich Wöhlerversuche mit Einprobenverfahren

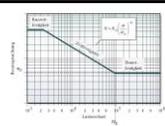
Einprobenverfahren

Prüfverfahren \ Werkstoffe	Rein-Kupfer	Grauguss	Vergütungs-	12%-Cr-
	oxygen-free coarse grain	lamellar GGL-20	stahl (St575)	Stahl (St12T)
	OF-Co	EN-GJL-200	42CrMo4	X22CrMoV121
Wöhler (Einstufenversuche)	50 ± 5	128 ± 5	560 ± 10	495 ± 10
Quantitative Thermometrie	55	127	560	485
Leistungsmessung	45	102	560	500
Temperaturmessung	52	-	550	500
Laststeigerung (LSV)	51	132	577	479

45-55 102-132 550-577 479-500



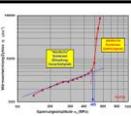
Vier Einprobenverfahren zur Bestimmung der Dauerfestigkeit



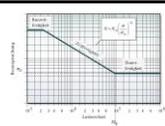
Eignung

Prüfmethode	Prüfmaschine	Prüffrequenz	Prüftemperatur	Probe Messlänge	Bauteil (Kerbe)	Instrumentierung
Quantitative Thermometrie	alle	> 1 Hz	< 40 °C	zylindrisch	nein	Probe
Leistungsmessung	Resonanzpulsler	> 50 Hz	alle	glatt	nein	Maschine
Temperaturmessung	alle	> 1 Hz	RT	glatt	nein	Probe
Laststeigerungsverfahren	alle	> 10 Hz	alle	alle	ja	keine

im Prinzip alles
Energie-Verfahren

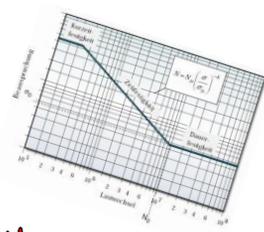
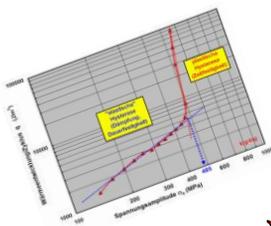


Vier Einprobenverfahren zur Bestimmung der Dauerfestigkeit



Vielen Dank!

Fragen?
Anregungen?
Beiträge?



Nun sind Sie dran !!

Dr.- Ing. Klaus F. Stärk
Untersiggenthal/Schweiz

klaus.staerk@swissonline.ch
www.staerk-erdwaerme.ch