



DIN 50100 Schwingfestigkeitsversuch

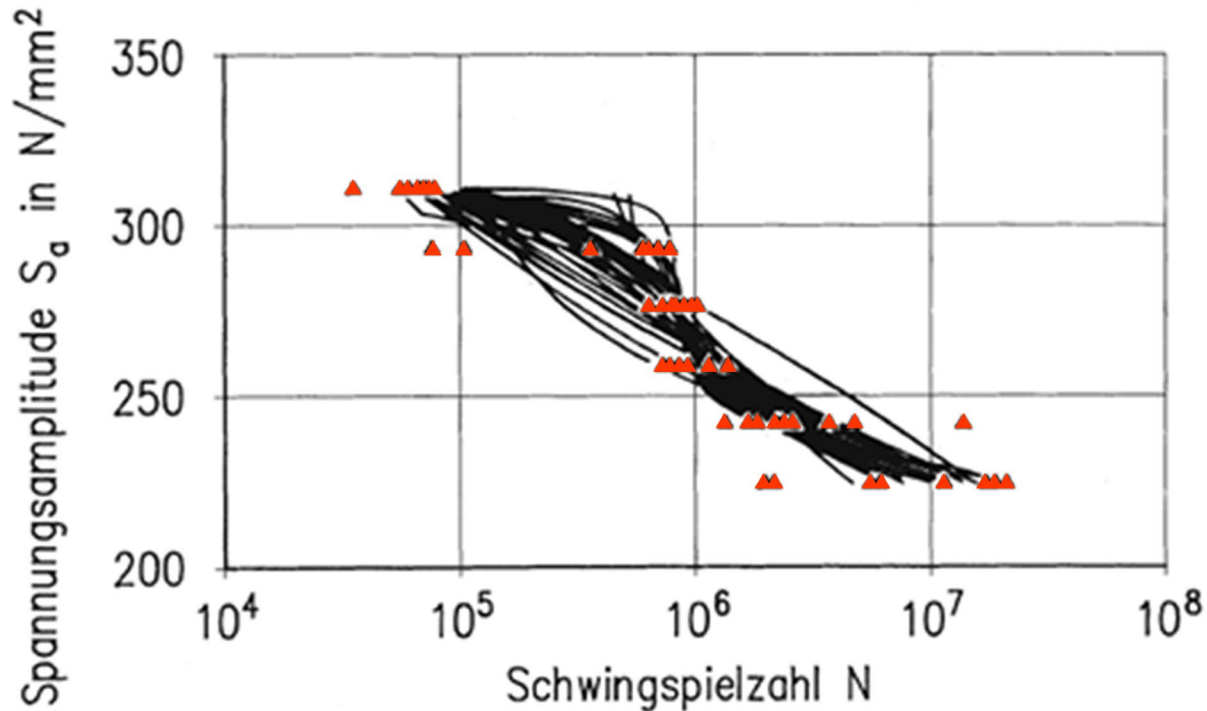
Wie viele Proben sollten es sein?

Rainer Masendorf

testXpo - Fachmesse für Prüftechnik

17. Oktober 2022, Ulm

Einheitliche Auswertung von Wöhlerversuchen



Ziel DIN 50100 - Schwingfestigkeitsversuch

Von unterschiedlichen Prüfstellen ermittelte Wöhlerlinien sollen untereinander vergleichbar sein.

[Finney, J.M.; Mann, J.Y.: Fatigue S/N data in relation to variability in predicted life. Proc. of a Symposium on Aircraft Structural Fatigue, Aeronautical Research Laboratories, Melbourne (1976)]

Arbeitsausschuss Ermüdungsprüfung

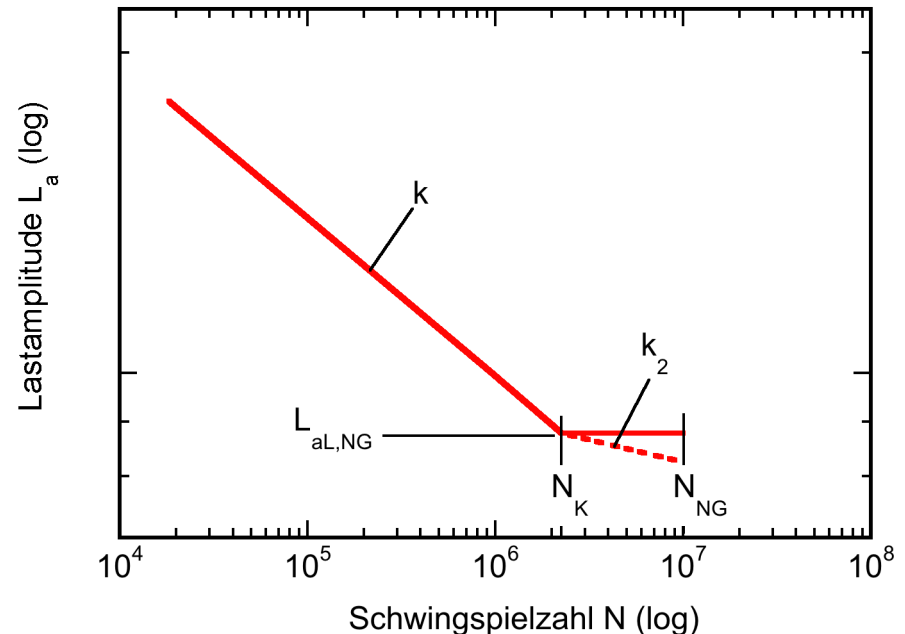
- 2010 Gründung Arbeitsausschuss Ermüdungsprüfung im Normenausschuss Materialprüfung
- Nationale und internationale Normenarbeit
- Arbeitsgruppe zur DIN 50100
 - Christoph Henkel, AMAG rolling GmbH, Ranshofen
 - Hellmuth Klingelhöffer, BAM, Berlin
 - Franz Klubberg, RWTH Aachen, IWM
 - Rainer Wagener, LBF, Darmstadt
 - Rainer Masendorf, TU Clausthal, IMAB

Wöhlerlinie nach DIN 50100

- Gleichung Zeitfestigkeitsgerade nach Basquin (1910)

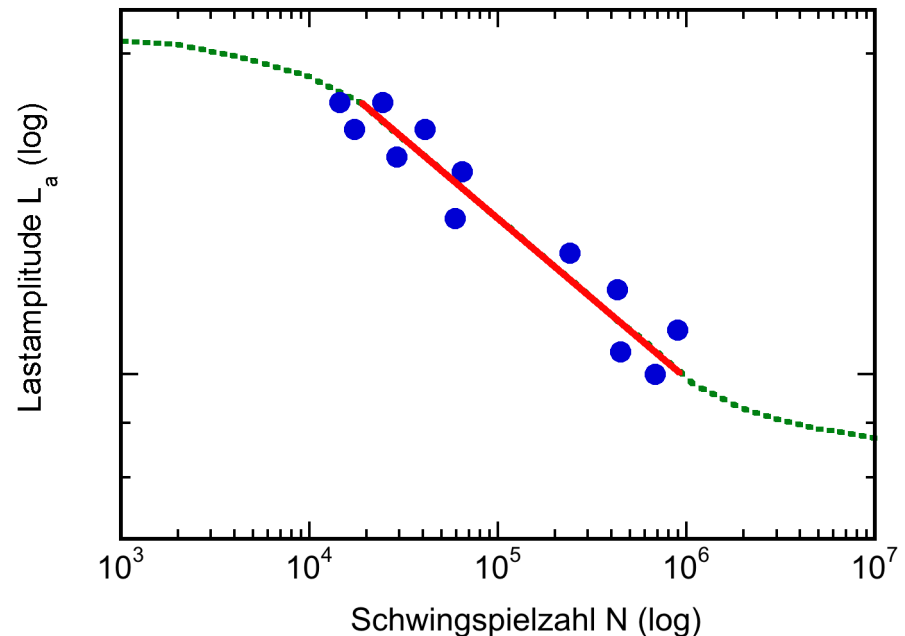
$$N = C \cdot L_a^{-k}$$

- Lage C und Neigung k der Zeitfestigkeitsgerade durch Perlenschnur- oder Horizontenverfahren
- Langzeitfestigkeit $L_{aL,NG}$ durch Treppenstufenverfahren
- Knick-Schwingspielzahl N_K
- Weiterer Abfall im Langzeitfestigkeitsbereich mit der Neigung k_2 möglich
- Keine Extrapolation



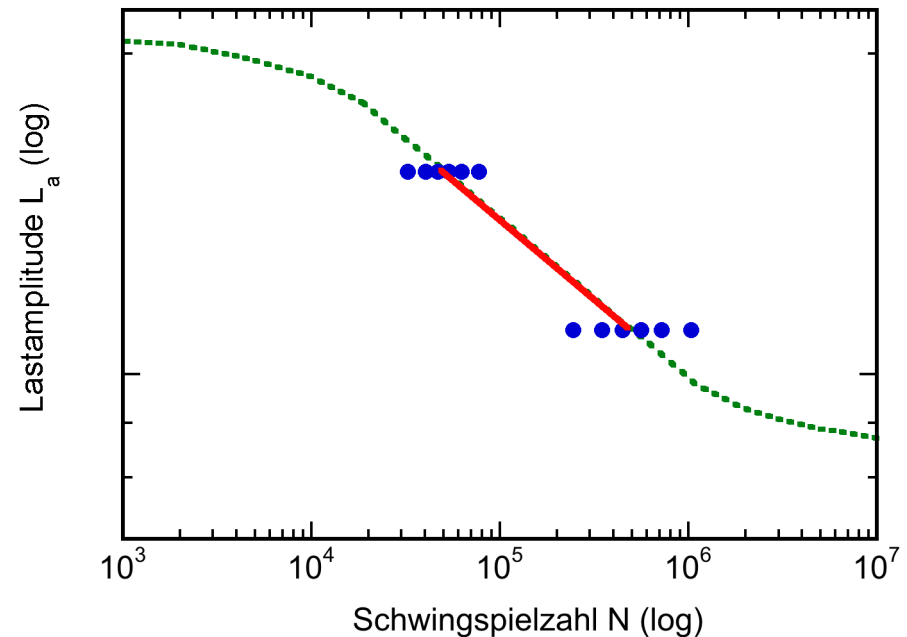
Perlenschnurverfahren

- Wahl der Lasthorizonte abhängig von bereits vorliegenden Ergebnissen
- Vorteil:
Herantasten an Übergangsbereiche
- Nachteil:
Neigungsschätzung ungünstig
- Gut geeignet wenn Lage der Wöhlerlinie unbekannt



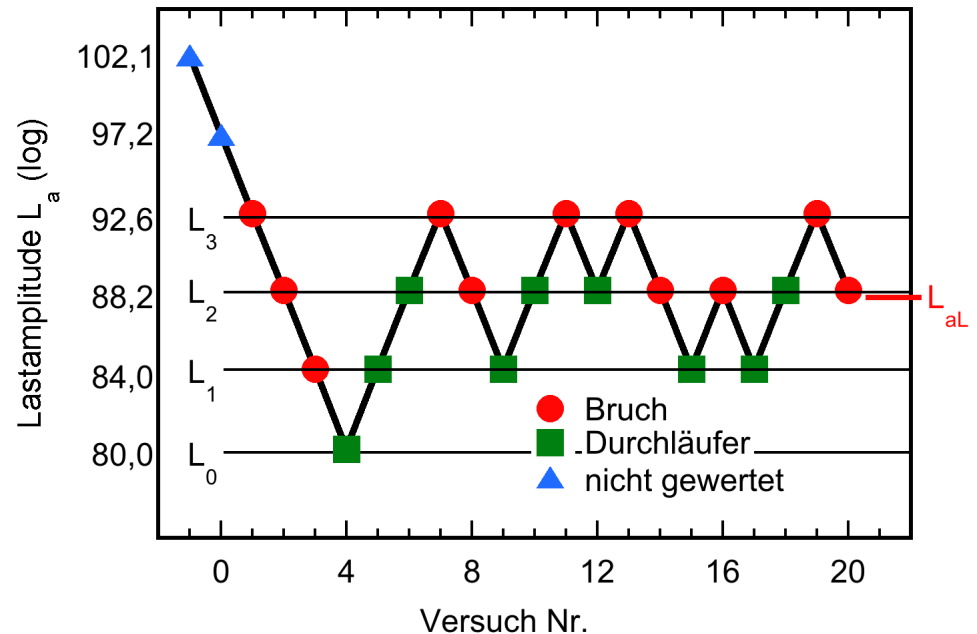
Horizontenverfahren

- 2 Lasthorizonte vor Versuchsbeginn wählen
- Vorteil:
Neigungsschätzung günstig
- Nachteil:
Lasthorizonte im Übergangsbereich bleiben unbemerkt
- Gut geeignet wenn Lage der Wöhlerlinie bekannt



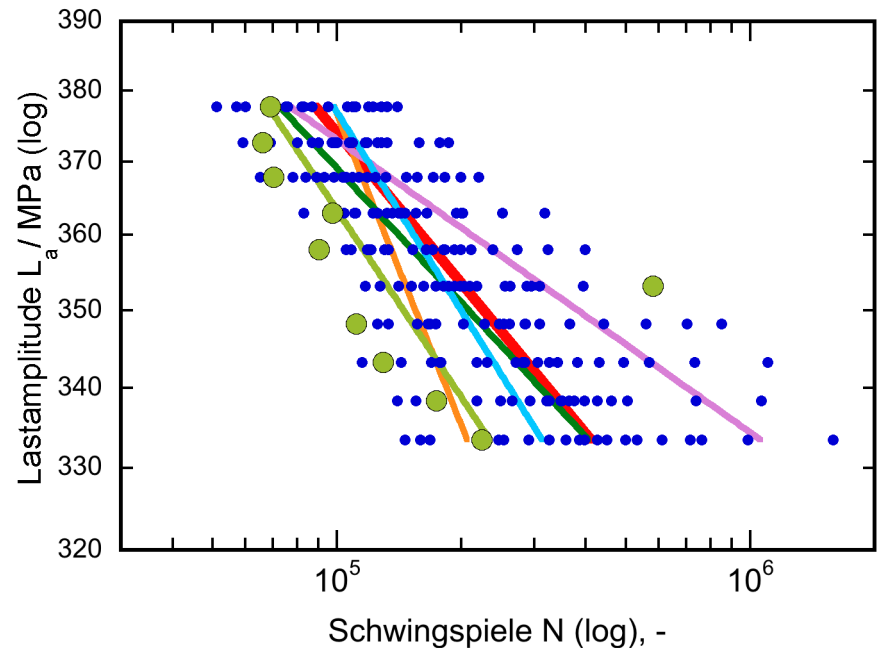
Treppenstufenverfahren

- Durchläufer, Grenzwahrszahl wird ohne Ausfall erreicht
- Bei selber Lastamplitude Bruch und Durchläufer möglich
- Äquidistante Laststufen
- Folgeverfahren:
 - Bruch: Stufe niedriger
 - Durchläufer: Stufe höher
- Ergebnisse konzentrieren sich um den Wert der Langzeitfestigkeit



Erforderliche Größe einer Stichprobe

- Mit kleiner Stichprobe auf die Grundgesamtheit schließen
- Zufallsartig 10 Ergebnisse aus 200 Ergebnissen
- Im Mittel werden Lage und Neigung getroffen
- Flachere oder steilere Neigungen sind im Einzelfall möglich
- Bewertung von Ausreißern schwierig
- Eigenschaften der Grundgesamtheit bleiben unbekannt



Welcher Stichprobenumfang ist notwendig?

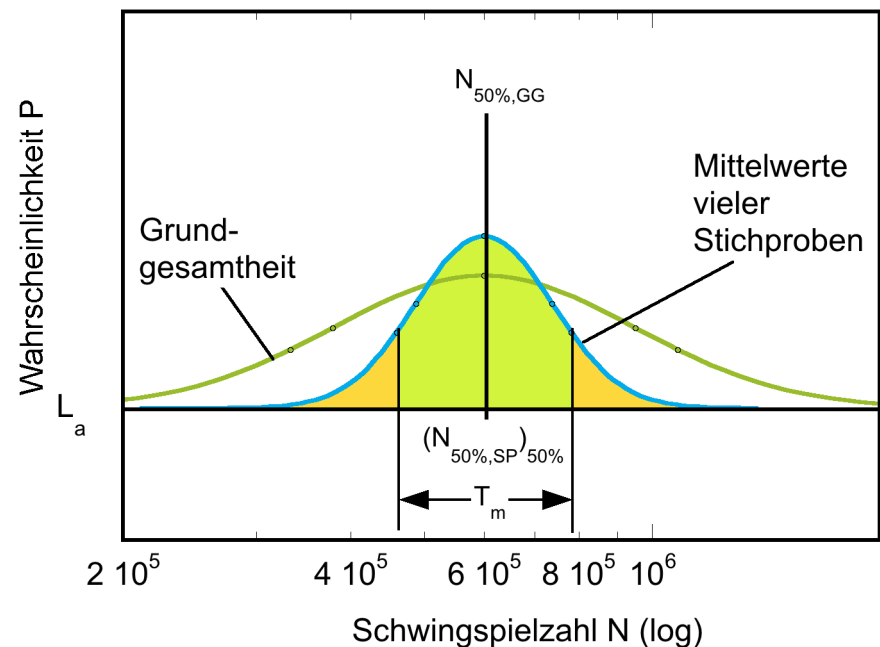
Daten: Maennig, W.-W., Dissertation TU Berlin (1966)

DIN 50100 Schwingfestigkeitsversuch
Wie viele Proben sollten es sein?

Auftretenswahrscheinlichkeit eines Mittelwertes im Zeitfestigkeitsbereich

- Mit kleiner Stichprobe auf den Mittelwert der Grundgesamtheit schließen
- Verteilungsfunktion der Grundgesamtheit gegeben
- 80% alle Ergebnisse zwischen $N_{10\%,GG}$ und $N_{90\%,GG}$
- Stichprobe $n = 5$ ziehen
- Mittelwert der Stichprobe $N_{50\%,SP}$
- Verteilungsfunktion für die Mittelwerte von vielen Stichproben
- 80% aller Mittelwerte liegen zwischen 460.000 und 780.000 Schwingspielen

$$T_m = \frac{\left(N_{50\%,SP}\right)_{90\%}}{\left(N_{50\%,SP}\right)_{10\%}}$$

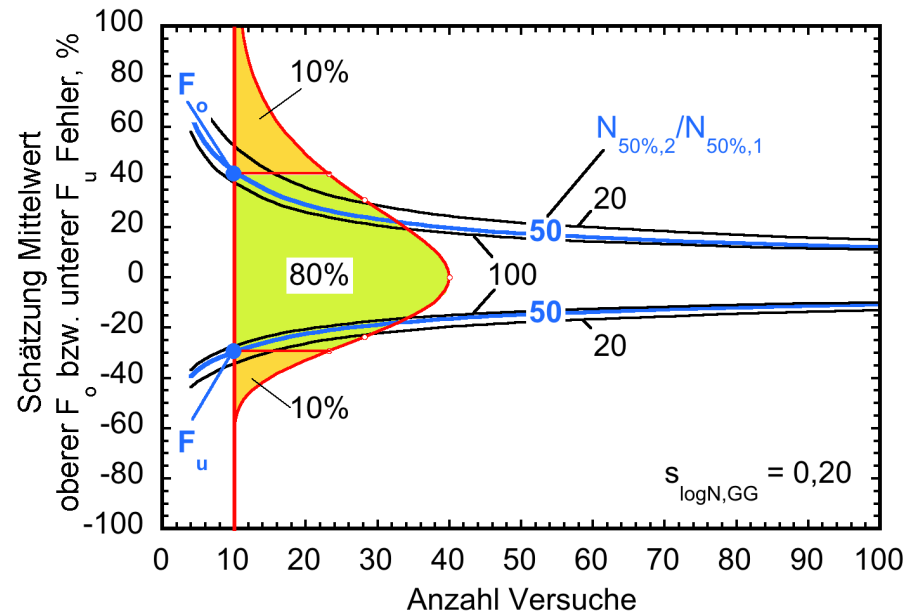
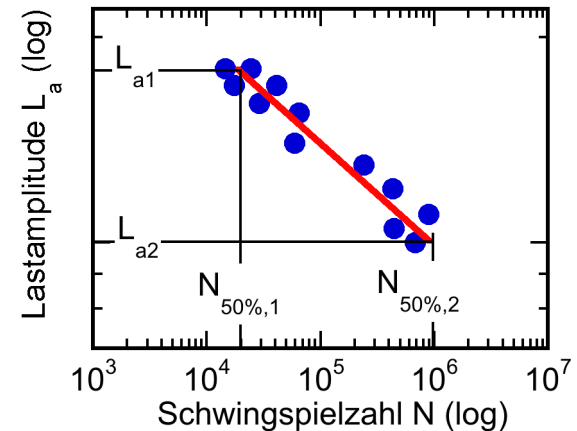


Fehler Mittelwertschätzung Perlenschnurverfahren

- Abhängig von:
 - Standardabweichung der Grundgesamtheit
 - Quotient Schwingspielzahl

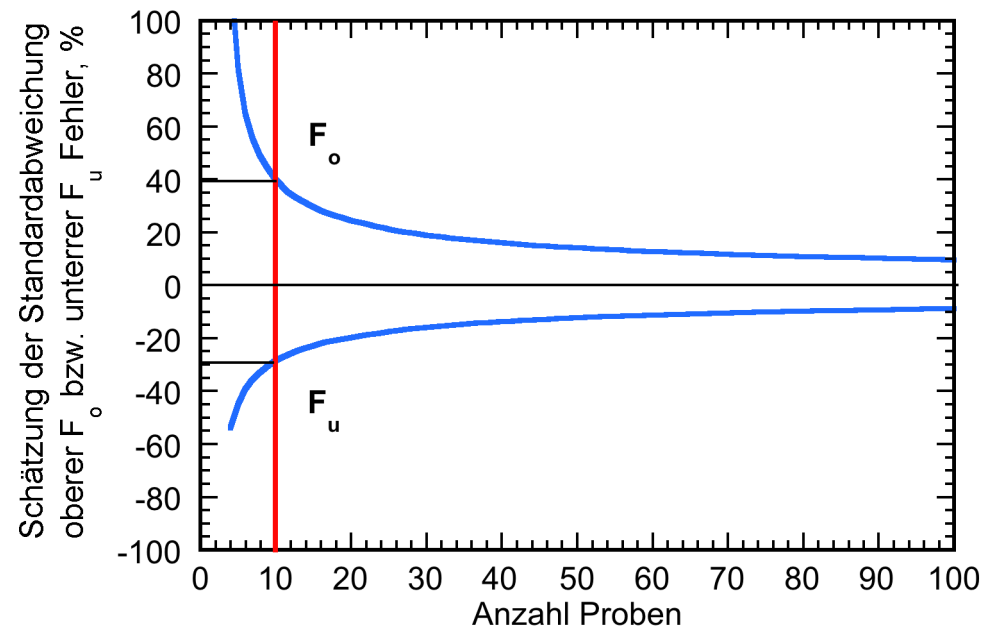
$$\frac{N_{50\%,2}}{N_{50\%,1}}$$

- Stichprobenumfang
- 80 % aller Stichproben liegen zwischen oberem und unterem Fehler
- Beispiel: $N_{50\%} = 100.000$
 $N_{10\%} = 70.000$
 $N_{90\%} = 140.000$



Fehler Schätzung Standardabweichung Perlenschnurverfahren

- Abhängig vom:
 - Stichprobenumfang
- 80 % aller Stichproben liegen zwischen oberem und unterem Fehler
- Beispiel: $s_{\log N, 50\%} = 0,20$
 $s_{\log N, 10\%} = 0,14$
 $s_{\log N, 90\%} = 0,28$

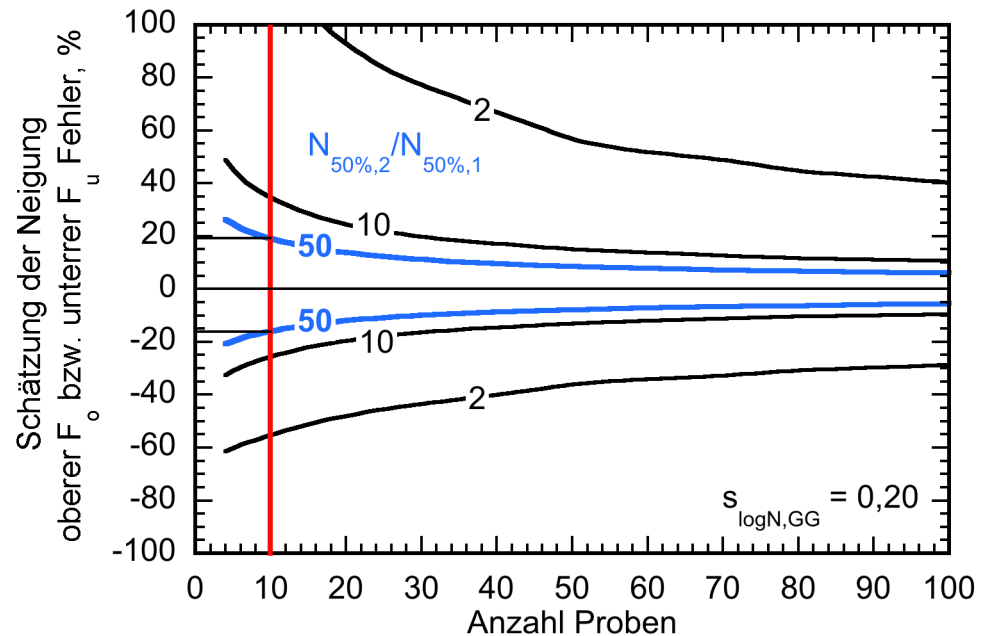
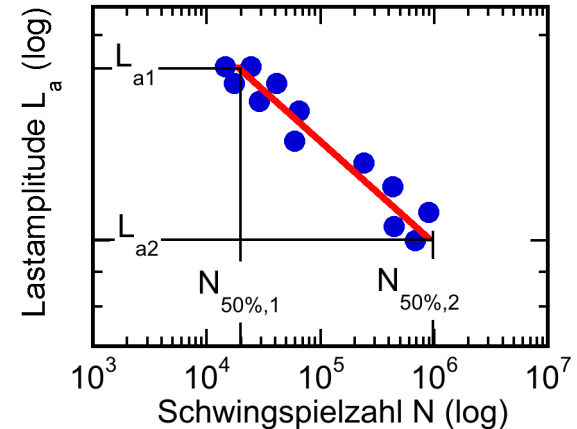


Fehler Neigungsschätzung Perlschnurverfahren

- Abhängig von:
 - Standardabweichung der Grundgesamtheit
 - Quotient Schwingspielzahl

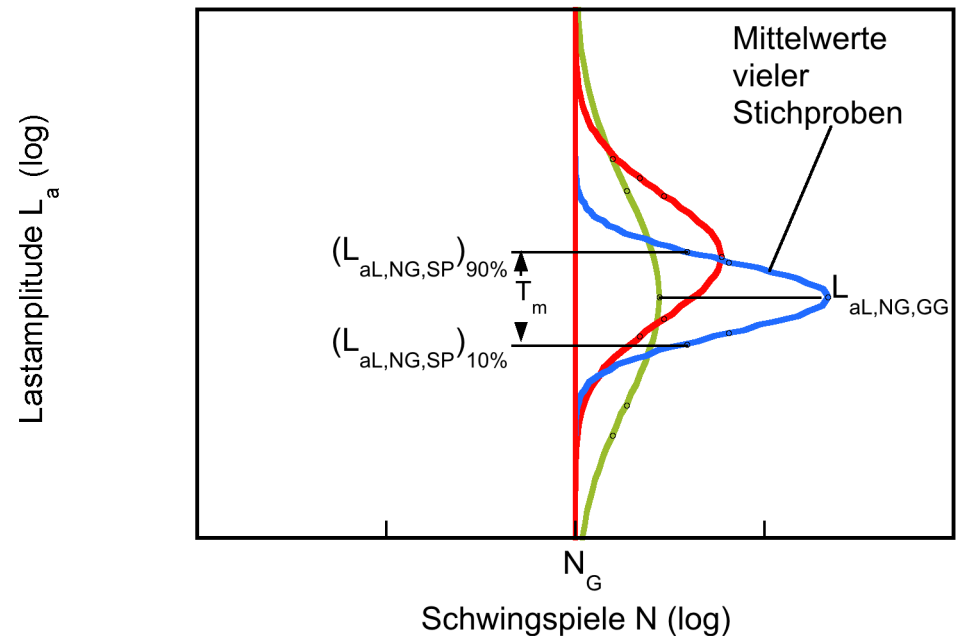
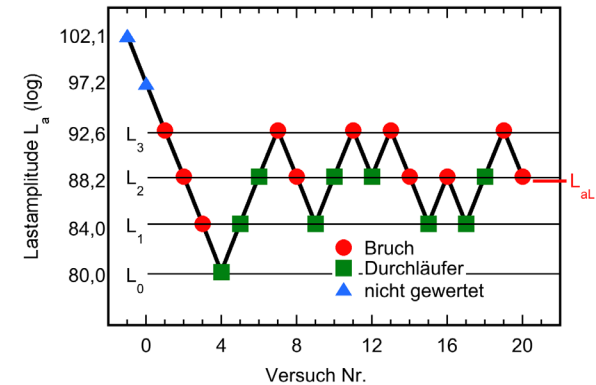
$$\frac{N_{50\%,2}}{N_{50\%,1}}$$

- Stichprobenumfang
- 80 % aller Stichproben liegen zwischen oberem und unterem Fehler
- Beispiel: $k_{50\%} = 5$
 $k_{10\%} = 4,2$
 $k_{90\%} = 5,9$



Auftretenswahrscheinlichkeit eines Mittelwertes im Langzeitfestigkeitsbereich

- Ausfälle und Durchläufer bei gleicher Lastamplitude
- Auswertung in Richtung der Lastamplitude
- Treppenstufenfolge mit mehreren Laststufen
- Mittelwert einer Stichprobe und der Grundgesamtheit unterschiedlich
- Mittelwerte vieler Stichproben treffen die Grundgesamtheit
- Streuung der Mittelwerte abhängig vom Stichprobenumfang



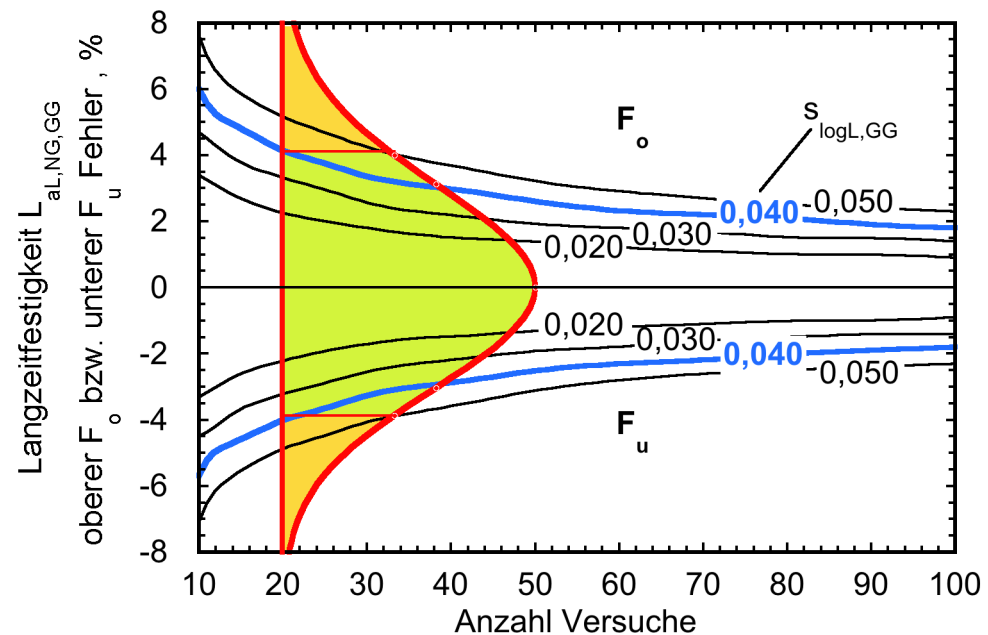
Fehler Mittelwertschätzung Treppenstufenverfahren

- Abhängig von:
 - Standardabweichung der Grundgesamtheit
 - $s_{\log L, GG} = 0,040$
 - Stichprobenumfang
- 80 % aller Stichproben liegen zwischen oberem und unterem Fehler
- Einfluss der Standardabweichung der Grundgesamtheit
- Beispiel: 20 Proben

$$L_{aL,50\%} = 300 \text{ MPa}$$

$$L_{aL,10\%} = 288 \text{ MPa}$$

$$L_{aL,90\%} = 312 \text{ MPa}$$



Fehler Schätzung Standardabweichung

- Abhängig vom:
 - Stichprobenumfang
- 80 % aller Stichproben liegen zwischen oberem und unterem Fehler
- Beispiel: 20 Proben

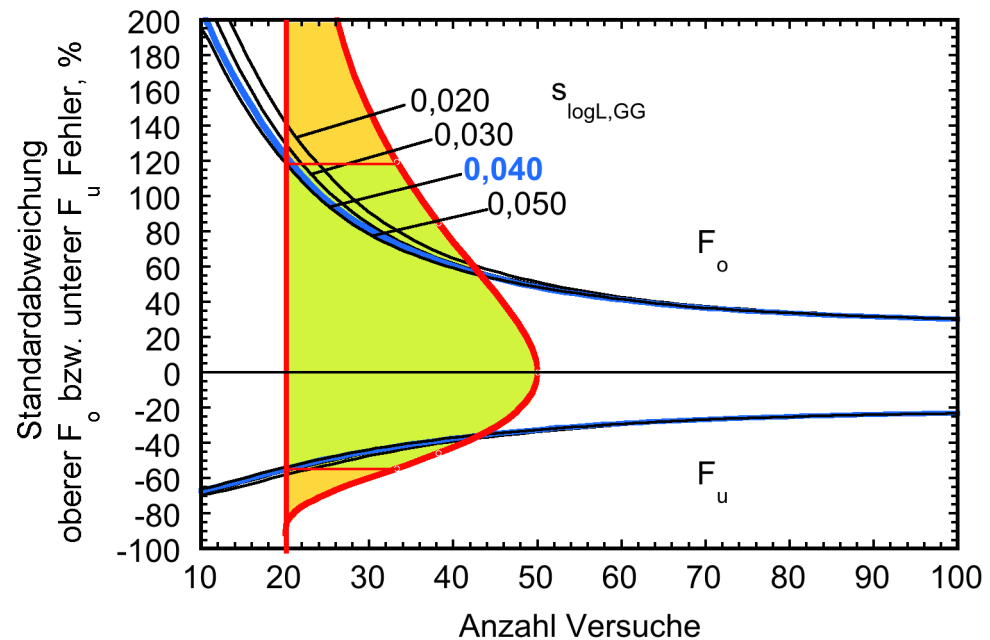
$$s_{\log N, 50\%} = 0,040$$

$$s_{\log N, 10\%} = 0,018$$

$$s_{\log N, 90\%} = 0,088$$

Abschätzung der Standardabweichung mit einer Stichprobe unzuverlässig.

Literaturwerte aus der Mittelung vieler Stichproben verwenden.



Zusammenfassung

- Schwingfestigkeitsversuche nach DIN 50100 sind vergleichbar
 - Definition von Versuchsdurchführung, -auswertung und Dokumentation
 - Einschränkung des Interpretationsspielraums durch Beispiele
 - Angaben zur erforderlichen Probenanzahl in Abhängigkeit von der geforderten Treffsicherheit
- Der Mittelwert kann mit wenigen Proben meist gut, die Standardabweichung dagegen schlecht abgeschätzt werden
- Die Standardabweichung aus einer kleinen Stichprobe ist zur Bewertung der Grundgesamtheit ungeeignet
- Wie viele Proben sollten es sein? - Welche Treffsicherheit hätten sie gern?
 - Zeitfestigkeitsgerade: üblich 10 - 15 Proben
 - Langzeitfestigkeit: üblich 15 - 20 Proben
- 2023 erscheint neue Fassung von DIN 50100

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!



Institut für Maschinelle Anlagentechnik und Betriebsfestigkeit