

DIN 50100:2022-12 (D)

Schwingfestigkeitsversuch - Durchführung und Auswertung von zyklischen Versuchen mit konstanter Lastamplitude für metallische Werkstoffproben und Bauteile

Inhalt	Seite
Vorwort	9
Einleitung	10
1 Anwendungsbereich.....	11
2 Normative Verweisungen	11
3 Begriffe	11
4 Formelzeichen und Abkürzungen.....	12
4.1 Formelzeichen.....	12
4.2 Abkürzungen	17
5 Wöhlerlinie.....	17
6 Lastgrößen.....	22
7 Probenform und Probenfertigung.....	25
8 Prüftechnik.....	26
9 Versuchsdurchführung.....	27
9.1 Allgemeines.....	27
9.2 Zeitfestigkeit.....	28
9.2.1 Allgemeines.....	28
9.2.2 Perlenschnurverfahren.....	32
9.2.3 Horizontenverfahren	42
9.3 Langzeitfestigkeit.....	52
9.3.1 Allgemeines.....	52
9.3.2 Treppenstufenverfahren	55
10 Versuchsauswertung.....	61
10.1 Allgemeines.....	61
10.2 Zeitfestigkeit.....	62
10.2.1 Allgemeines.....	62
10.2.2 Perlenschnurverfahren.....	62
10.2.3 Horizontenverfahren	66
10.3 Auswertung Langzeitfestigkeit	68
10.3.1 Allgemeines.....	68
10.3.2 Auswertung Treppenstufenverfahren.....	68
10.4 Knick-Schwingspielzahl und Verlauf der Wöhlerlinie im Langzeitfestigkeitsbereich	71
10.5 Wöhlerlinie für eine von 50 % abweichende Ausfallwahrscheinlichkeit.....	72
11 Dokumentation	73
11.1 Allgemeines.....	73
11.2 Werkstoff	73
11.3 Versuchskörper (Werkstoffprobe oder Bauteil)	73
11.4 Versuchsaufbau.....	74
11.5 Versuchsdurchführung.....	74
11.6 Versuchsauswertung.....	75
11.7 Wöhler-Diagramm	75

Anhang A (normativ) Perlenschnurverfahren: Bestimmung des erforderlichen Stichprobenumfangs	76
A.1 Perlenschnurverfahren: Erforderliche Anzahl von Proben zur Abschätzung der mittleren Schwingspielzahl	76
A.2 Perlenschnurverfahren: Erforderliche Anzahl von Proben zur Abschätzung der Neigung der Zeitfestigkeitsgeraden	87
Anhang B (normativ) Horizontenverfahren: Bestimmung des erforderlichen Stichprobenumfangs	97
B.1 Horizontenverfahren: Erforderliche Anzahl von Proben der gesamten Versuchsreihe zur Abschätzung der mittleren Schwingspielzahl.....	97
B.2 Horizontenverfahren: Erforderliche Anzahl von Proben der gesamten Versuchsreihe zur Abschätzung der Neigung der Zeitfestigkeitsgeraden	108
Anhang C (informativ) Typische Standardabweichungen im Zeitfestigkeitsbereich.....	118
Anhang D (informativ) Beispiele Versuchsprotokolle.....	119
D.1 Beispiele Versuchsprotokolle	119
D.1.1 Allgemeines.....	119
D.1.2 Protokoll Versuchsreihe Zeitfestigkeit	120
D.1.3 Protokoll Versuchsreihe Langzeitfestigkeit.....	123
Anhang E (normativ) Beispiele für Versuchsauswertungen.....	125
E.1 Beispiel: Auswertung Zeitfestigkeitsgerade Perlenschnurverfahren.....	125
E.1.1 Versuchsergebnisse.....	125
E.1.2 Lage und Neigung der Zeitfestigkeitsgeraden	125
E.1.3 Zeitfestigkeitsgerade für eine Ausfallwahrscheinlichkeit von 50 %	126
E.1.4 Standardabweichung der Versuchsergebnisse	127
E.1.5 Zeitfestigkeitsgerade für eine Ausfallwahrscheinlichkeit von 10 %	128
E.1.6 Zeitfestigkeitsgerade für eine Ausfallwahrscheinlichkeit von 90 %	129
E.1.7 Grafische Darstellung der Zeitfestigkeitsgeraden.....	129
E.2 Beispiel: Auswertung Zeitfestigkeitsgerade Horizontenverfahren.....	130
E.2.1 Versuchsergebnisse.....	130
E.2.2 Mittelwert und Standardabweichung Lasthorizont 1	131
E.2.3 Mittelwert und Standardabweichung Lasthorizont 2	132
E.2.4 Zeitfestigkeitsgerade für eine Ausfallwahrscheinlichkeit von 50 %	133
E.2.5 Wöhlerlinie für eine Ausfallwahrscheinlichkeit von 10 %.....	133
E.2.6 Zeitfestigkeitsgerade für eine Ausfallwahrscheinlichkeit von 90 %	133
E.2.7 Grafische Darstellung der Zeitfestigkeitsgerade	133
E.3 Beispiel: Auswertung Langzeitfestigkeit Treppenstufenverfahren	134
E.4 Beispiel: Ermittlung der Knick-Schwingspielzahl und Verlauf der Wöhlerlinien bis zur Grenzschwingspielzahl.....	137
E.4.1 Perlenschnurverfahren.....	137
E.4.2 Horizontenverfahren	138
E.5 Beispiel: Grafische Darstellung der Wöhlerlinie	140
E.5.1 Perlenschnurverfahren.....	140
E.5.2 Horizontenverfahren	143
Literaturhinweise	145
Bilder	
Bild 1 — Wöhlerdiagramm (schematisch)	20
Bild 2 — Wöhlerdiagramm im Bereich hoher Schwingspielzahlen (schematisch).....	21
Bild 3 — Beispiel für die Darstellung von Versuchsergebnissen im Zeit- und Langzeitfestigkeitsbereich	22

Bild 4 — Last-Zeit-Verlauf im Schwingfestigkeitsversuch (schematisch)	23
Bild 5 — Benennung der Last in Abhängigkeit vom Mittelwert L_m	25
Bild 6 — Ermittlung der Streuspannen für Mittelwert und Standardabweichung durch Auswertung einer großen Anzahl von Stichproben aus Monte-Carlo-Simulationen.....	29
Bild 7 — Abschätzen des Mittelwerts der Grundgesamtheit auf der Basis einer Stichprobe	30
Bild 8 — Wöhlerdiagramm (schematisch), Perlenschnurverfahren	32
Bild 9 — Perlenschnurverfahren, erforderliche Probenanzahl zur Schätzung des Mittelwertes $N_{50\%,GG}$ (Ergebnisse aus je 20 000 Simulationen je Probenanzahl)	37
Bild 10 — Perlenschnurverfahren, erforderliche Probenanzahl zur Schätzung der Standardabweichung $S_{lgN,GG}$ (Ergebnisse aus je 20 000 Simulationen je Probenanzahl).....	39
Bild 11 — Perlenschnurverfahren, erforderliche Probenanzahl zur Schätzung der Wöhlerlinienneigung (Ergebnisse aus je 20 000 Simulationen je Probenanzahl).....	42
Bild 12 — Wöhlerdiagramm (schematisch), Horizontenverfahren	42
Bild 13 — Erforderliche Anzahl von Proben in Abhängigkeit von der geforderten Streuspanne T_m und dem erwarteten Verhältnis der Schwingspielzahlen $N_{50\%,La,2}/N_{50\%,La,1}$ auf dem oberen und unteren Lasthorizont (Ergebnisse aus je 20 000 Simulationen je Probenanzahl).....	47
Bild 14 — Horizontenverfahren, erforderliche Anzahl von Proben zur Schätzung der Standardabweichung $S_{lgN,GG}$ (Ergebnisse aus je 20 000 Simulationen je Probenanzahl).....	49
Bild 15 — Horizontenverfahren, erforderliche Probenanzahl zur Schätzung der Wöhlerlinienneigung k_{GG} (Ergebnisse aus je 20 000 Simulationen je Probenanzahl).....	52
Bild 16 — Ermittlung der Streuspannen für Mittelwert und Standardabweichung durch Auswertung einer großen Anzahl von Stichproben aus Monte-Carlo-Simulationen.....	53
Bild 17 — Abschätzen des Mittelwerts der Grundgesamtheit auf der Basis einer Stichprobe.....	54
Bild 18 — Folge im Treppenstufenverfahren	55
Bild 19 — Treppenstufenverfahren, erforderliche Anzahl von Proben zur Schätzung der Langzeitfestigkeit $L_{aL,NG,GG}$ (Ergebnisse aus je 20 000 Simulationen je Probenanzahl).....	59
Bild 20 — Treppenstufenverfahren, erforderliche Anzahl von Proben zur Schätzung der Standardabweichung S_{lgL} der Langzeitfestigkeit (Ergebnisse aus je 20 000 Simulationen je Probenanzahl).....	61
Bild 21 — Standardabweichung in Schwingspielzahl- bzw. Lastrichtung (schematisch)	62
Bild 22 — Ergebnisse der Versuchsdurchführung Perlenschnurverfahren (schematisch)	63
Bild 23 — Verschieben der Versuchsergebnisse auf einen gemeinsamen Lasthorizont (schematisch).....	64
Bild 24 — Berechnung der Zeitfestigkeitsgerade aus zwei Lasthorizonten (schematisch)	67
Bild 25 — Treppenstufenfolge und Ermittlung der Kennziffern für die Auswertung.....	69

Bild 26 — Abschätzung der Standardabweichung s_{lg} in Abhängigkeit von der Hilfsgröße D_T , dem Stufensprung d_{lg} und der Anzahl der Versuche n	70
Bild E.1 — Wöhlerdiagramm, grafische Darstellung der Zeitfestigkeitsgerade.....	130
Bild E.2 — Wöhlerdiagramm, grafische Darstellung der Zeitfestigkeitsgerade.....	134
Bild E.3 — Wöhlerdiagramm Typ I, grafische Darstellung der Versuchsergebnisse und der statistischen Auswertung.....	141
Bild E.4 — Wöhlerdiagramm Typ II, grafische Darstellung der Versuchsergebnisse und der statistischen Auswertung.....	142
Bild E.5 — Wöhlerdiagramm Typ I, grafische Darstellung der Versuchsergebnisse und der statistischen Auswertung.....	143
Bild E.6 — Wöhlerdiagramm Typ II, grafische Darstellung der Versuchsergebnisse und der statistischen Auswertung.....	144
 Tabellen	
Tabelle 1 — Formelzeichen und ihre Bedeutung.....	12
Tabelle 2 — Perlenschnurverfahren, erforderliche Anzahl von Proben zur Schätzung des Mittelwertes $N_{50\%,GG}$ unter Annahme der Standardabweichung $s_{lgN,GG} = 0,20$ der Grundgesamtheit.....	35
Tabelle 3 — Perlenschnurverfahren, erforderliche Anzahl von Proben zur Schätzung der Standardabweichung $s_{lgN,GG}$	38
Tabelle 4 — Perlenschnurverfahren, erforderliche Anzahl von Proben zur Schätzung der Neigung der Wöhlerlinie k_{GG} unter Annahme der Standardabweichung $s_{lgN,GG} = 0,20$ der Grundgesamtheit.....	40
Tabelle 5 — Horizontenverfahren, erforderliche Anzahl von Proben zur Schätzung des Mittelwertes $N_{50\%,GG}$ unter Annahme der Standardabweichung $s_{lgN,GG} = 0,20$ der Grundgesamtheit.....	45
Tabelle 6 — Horizontenverfahren, erforderliche Anzahl von Proben zur Schätzung der Standardabweichung $s_{lgN,GG}$	48
Tabelle 7 — Horizontenverfahren, erforderliche Anzahl von Proben zur Schätzung der Neigung der Wöhlerlinie k_{GG} unter Annahme der Standardabweichung $s_{lgN,GG} = 0,20$ der Grundgesamtheit.....	50
Tabelle 8 — Standardabweichung der Grundgesamtheit und Stufensprung für das Treppenstufenverfahren.....	56
Tabelle 9 — Treppenstufenverfahren, erforderliche Probenanzahl zur Schätzung der Langzeitfestigkeit $L_{aL,NG,GG}$	58
Tabelle 10 — Treppenstufenverfahren, erforderliche Anzahl von Proben zur Schätzung der Standardabweichung s_{lg} der Langzeitfestigkeit.....	60
Tabelle 11 — Quantil u zur Berechnung unterschiedlicher Ausfallwahrscheinlichkeiten P_A unter der Annahme einer lg-Normalverteilung	72

Tabelle A.1 — Perlenschnurverfahren — Erforderliche Anzahl von Proben zur Schätzung des Mittelwertes $N_{50\%,GG}$ unter Annahme der Standardabweichung $s_{lgN,GG} = 0,10$ der Grundgesamtheit	77
Tabelle A.2 — Perlenschnurverfahren — Erforderliche Anzahl von Proben zur Schätzung des Mittelwertes $N_{50\%,GG}$ unter Annahme der Standardabweichung $s_{lgN,GG} = 0,15$ der Grundgesamtheit	79
Tabelle A.3 — Perlenschnurverfahren — Erforderliche Anzahl von Proben zur Schätzung des Mittelwertes $N_{50\%,GG}$ unter Annahme der Standardabweichung $s_{lgN,GG} = 0,20$ der Grundgesamtheit	81
Tabelle A.4 — Perlenschnurverfahren — Erforderliche Anzahl von Proben zur Schätzung des Mittelwertes $N_{50\%,GG}$ unter Annahme der Standardabweichung $s_{lgN,GG} = 0,25$ der Grundgesamtheit	83
Tabelle A.5 — Perlenschnurverfahren — Erforderliche Anzahl von Proben zur Schätzung des Mittelwertes $N_{50\%,GG}$ unter Annahme der Standardabweichung $s_{lgN,GG} = 0,30$ der Grundgesamtheit	85
Tabelle A.6 — Perlenschnurverfahren — erforderliche Anzahl von Proben zur Schätzung der Neigung der Wöhlerlinie k_{GG} unter Annahme der Standardabweichung $s_{lgN,GG} = 0,10$ der Grundgesamtheit	87
Tabelle A.7 — Perlenschnurverfahren — erforderliche Anzahl von Proben zur Schätzung der Neigung der Wöhlerlinie k_{GG} unter Annahme der Standardabweichung $s_{lgN,GG} = 0,15$ der Grundgesamtheit	89
Tabelle A.8 — Perlenschnurverfahren — erforderliche Anzahl von Proben zur Schätzung der Neigung der Wöhlerlinie k_{GG} unter Annahme der Standardabweichung $s_{lgN,GG} = 0,20$ der Grundgesamtheit	91
Tabelle A.9 — Perlenschnurverfahren — erforderliche Anzahl von Proben zur Schätzung der Neigung der Wöhlerlinie k_{GG} unter Annahme der Standardabweichung $s_{lgN,GG} = 0,25$ der Grundgesamtheit	93
Tabelle A.10 — Perlenschnurverfahren — erforderliche Anzahl von Proben zur Schätzung der Neigung der Wöhlerlinie k_{GG} unter Annahme der Standardabweichung $s_{lgN,GG} = 0,30$ der Grundgesamtheit	95
Tabelle B.1 — Horizontenverfahren — erforderliche Anzahl von Proben der gesamten Versuchsreihe zur Schätzung des Mittelwertes $N_{50\%,GG}$ unter Annahme der Standardabweichung $s_{lgN,GG} = 0,10$ der Grundgesamtheit.....	98
Tabelle B.2 — Horizontenverfahren — erforderliche Anzahl von Proben der gesamten Versuchsreihe zur Schätzung des Mittelwertes $N_{50\%,GG}$ unter Annahme der Standardabweichung $s_{lgN,GG} = 0,15$ der Grundgesamtheit.....	100
Tabelle B.3 — Horizontenverfahren — erforderliche Anzahl von Proben der gesamten Versuchsreihe zur Schätzung des Mittelwertes $N_{50\%,GG}$ unter Annahme der Standardabweichung $s_{lgN,GG} = 0,20$ der Grundgesamtheit.....	102
Tabelle B.4 — Horizontenverfahren — erforderliche Anzahl von Proben der gesamten Versuchsreihe zur Schätzung des Mittelwertes $N_{50\%,GG}$ unter Annahme der Standardabweichung $s_{lgN,GG} = 0,25$ der Grundgesamtheit.....	104

Tabelle B.5 — Horizontenverfahren — erforderliche Anzahl von Proben der gesamten Versuchsreihe zur Schätzung des Mittelwertes $N_{50\%,GG}$ unter Annahme der Standardabweichung $s_{\text{ig}N,GG} = 0,30$ der Grundgesamtheit.....	106
Tabelle B.6 — Horizontenverfahren — erforderliche Anzahl von Proben der gesamten Versuchsreihe zur Schätzung der Neigung der Wöhlerlinie k_{GG} unter Annahme der Standardabweichung $s_{\text{ig}N,GG} = 0,10$ der Grundgesamtheit.....	108
Tabelle B.7 — Horizontenverfahren — erforderliche Anzahl von Proben der gesamten Versuchsreihe zur Schätzung der Neigung der Wöhlerlinie k_{GG} unter Annahme der Standardabweichung $s_{\text{ig}N,GG} = 0,15$ der Grundgesamtheit.....	110
Tabelle B.8 — Horizontenverfahren — erforderliche Anzahl von Proben der gesamten Versuchsreihe zur Schätzung der Neigung der Wöhlerlinie k_{GG} unter Annahme der Standardabweichung $s_{\text{ig}N,GG} = 0,20$ der Grundgesamtheit.....	112
Tabelle B.9 — Horizontenverfahren — erforderliche Anzahl von Proben der gesamten Versuchsreihe zur Schätzung der Neigung der Wöhlerlinie k_{GG} unter Annahme der Standardabweichung $s_{\text{ig}N,GG} = 0,25$ der Grundgesamtheit.....	114
Tabelle B.10 — Horizontenverfahren — erforderliche Anzahl von Proben der gesamten Versuchsreihe zur Schätzung der Neigung der Wöhlerlinie k_{GG} unter Annahme der Standardabweichung $s_{\text{ig}N,GG} = 0,30$ der Grundgesamtheit.....	116
Tabelle C.1 — Typische Standardabweichungen im Zeitfestigkeitsbereich aus einer großen Anzahl von Stichproben.....	118
Tabelle E.1 — Versuchsergebnisse Perlenschnurverfahren	125
Tabelle E.2 — Summenbildung für Regressionsrechnung	126
Tabelle E.3 — Verschieben der Versuchsergebnisse auf gemeinsamen, fiktiven Lasthorizont.....	127
Tabelle E.4 — Versuchsergebnisse Horizontenverfahren.....	130
Tabelle E.5 — Aufbereitung der Versuchsergebnisse Horizont $L_{a1} = 470$ MPa.....	131
Tabelle E.6 — Aufbereitung der Versuchsergebnisse Horizont $L_{a2} = 330$ MPa.....	132
Tabelle E.7 — Treppenstufenfolge.....	134
Tabelle E.8 — Stützstellen der Wöhlerlinie Perlenschnurverfahren, Wöhlerlinie Typ I.....	140
Tabelle E.9 — Stützstellen der Wöhlerlinie Perlenschnurverfahren, Wöhlerlinie Typ II.....	142
Tabelle E.10 — Stützstellen der Wöhlerlinie Horizontenverfahren, Wöhlerlinie Typ I.....	143
Tabelle E.11 — Stützstellen der Wöhlerlinie Horizontenverfahren, Wöhlerlinie Typ II	144