

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 |