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 $s_{\lg L}$ 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 $s_{\lg N,GG} = 0{,}20$ der Grundgesamtheit 35

Tabelle 3 — Perlenschnurverfahren, erforderliche Anzahl von Proben zur Schätzung der Standardabweichung $s_{\lg N,GG}$ 38

Tabelle 4 — Perlenschnurverfahren, erforderliche Anzahl von Proben zur Schätzung der Neigung der Wöhlerlinie k_{GG} unter Annahme der Standardabweichung $s_{\lg N,GG} = 0{,}20$ der Grundgesamtheit 40

Tabelle 5 — Horizontenverfahren, erforderliche Anzahl von Proben zur Schätzung des Mittelwertes $N_{50\%,GG}$ unter Annahme der Standardabweichung $s_{\lg N,GG} = 0{,}20$ der Grundgesamtheit 45

Tabelle 6 — Horizontenverfahren, erforderliche Anzahl von Proben zur Schätzung der Standardabweichung $s_{\lg N,GG}$ 48

Tabelle 7 — Horizontenverfahren, erforderliche Anzahl von Proben zur Schätzung der Neigung der Wöhlerlinie k_{GG} unter Annahme der Standardabweichung $s_{\lg N,GG} = 0{,}20$ 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 $s_{\lg L}$ 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 $s_{lgN,GG} = 0{,}30$ 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 $s_{lgN,GG} = 0{,}10$ 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 $s_{lgN,GG} = 0{,}15$ 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 $s_{lgN,GG} = 0{,}20$ 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 $s_{lgN,GG} = 0{,}25$ 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 $s_{lgN,GG} = 0{,}30$ 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