

# E DIN 50100:2021-09 (D)

Erscheinungsdatum: 2021-08-06

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

---

Inhalt	Seite
Vorwort .....	8
Einleitung .....	9
1 Anwendungsbereich.....	10
2 Normative Verweisungen .....	10
3 Begriffe .....	10
4 Symbole und Abkürzungen .....	11
5 Wöhlerlinie.....	16
6 Lastgrößen.....	21
7 Probenform und Probenfertigung.....	24
8 Prüftechnik.....	25
9 Versuchsdurchführung.....	26
9.1 Allgemeines .....	26
9.2 Zeitfestigkeit .....	26
9.2.1 Allgemeines .....	26
9.2.2 Perlenschnurverfahren .....	30
9.2.3 Horizontenverfahren .....	42
9.3 Langzeitfestigkeit.....	54
9.3.1 Allgemeines .....	54
9.3.2 Treppenstufenverfahren .....	58
10 Versuchsauswertung.....	63
10.1 Allgemeines .....	63
10.2 Zeitfestigkeit .....	64
10.2.1 Allgemeines .....	64
10.2.2 Perlenschnurverfahren .....	64
10.2.3 Horizontenverfahren .....	68
10.3 Auswertung Langzeitfestigkeit .....	70
10.3.1 Allgemeines .....	70
10.3.2 Auswertung Treppenstufenverfahren.....	70
10.4 Knick-Schwingspielzahl und Verlauf der Wöhlerlinie im Langzeitfestigkeitsbereich .....	73
10.5 Wöhlerlinie für eine von 50 % abweichende Ausfallwahrscheinlichkeit.....	74
11 Dokumentation .....	75
11.1 Allgemeines .....	75
11.2 Werkstoff .....	75
11.3 Versuchskörper (Werkstoffprobe oder Bauteil) .....	75
11.4 Versuchsaufbau.....	76
11.5 Versuchsdurchführung.....	76
11.6 Versuchsauswertung.....	77
11.7 Wöhler-Diagramm .....	77
Anhang A (normativ) Perlenschnurverfahren: Bestimmung des erforderlichen Stichprobenumfangs .....	78

A.1	Perlenschnurverfahren: Erforderliche Anzahl von Proben zur Abschätzung der mittleren Schwingspielzahl .....	78
A.2	Perlenschnurverfahren: Erforderliche Anzahl von Proben zur Abschätzung der Neigung der Zeitfestigkeitsgeraden .....	92
Anhang B (normativ) Horizontenverfahren: Bestimmung des erforderlichen Stichprobenumfangs .....		106
B.1	Horizontenverfahren: Erforderliche Anzahl von Proben der gesamten Versuchsreihe zur Abschätzung der mittleren Schwingspielzahl.....	106
B.2	Horizontenverfahren: Erforderliche Anzahl von Proben der gesamten Versuchsreihe zur Abschätzung der Neigung der Zeitfestigkeitsgeraden .....	122
Anhang C (informativ) Typische Standardabweichungen im Zeitfestigkeitsbereich.....		138
Anhang D (informativ) Beispiele Versuchsprotokolle.....		139
D.1	Protokoll Versuchsreihe Zeitfestigkeit .....	140
D.2	Protokoll Versuchsreihe Langzeitfestigkeit .....	141
Anhang E (normativ) Beispiele für Versuchsauswertungen.....		143
E.1	Beispiel: Auswertung Zeitfestigkeitsgerade Perlenschnurverfahren.....	143
E.1.1	Versuchsergebnisse.....	143
E.1.2	Lage und Neigung der Zeitfestigkeitsgeraden .....	144
E.1.3	Zeitfestigkeitsgerade für eine Ausfallwahrscheinlichkeit von 50 % .....	145
E.1.4	Standardabweichung der Versuchsergebnisse .....	145
E.1.5	Zeitfestigkeitsgerade für eine Ausfallwahrscheinlichkeit von 10 % .....	147
E.1.6	Zeitfestigkeitsgerade für eine Ausfallwahrscheinlichkeit von 90 % .....	147
E.1.7	Grafische Darstellung der Zeitfestigkeitsgeraden.....	148
E.2	Beispiel: Auswertung Zeitfestigkeitsgerade Horizontenverfahren.....	148
E.2.1	Versuchsergebnisse.....	148
E.2.2	Mittelwert und Standardabweichung Lasthorizont 1 .....	149
E.2.3	Mittelwert und Standardabweichung Lasthorizont 2 .....	150
E.2.4	Zeitfestigkeitsgerade für eine Ausfallwahrscheinlichkeit von 50 % .....	151
E.2.5	Wöhlerlinie für eine Ausfallwahrscheinlichkeit von 10 %.....	151
E.2.6	Zeitfestigkeitsgerade für eine Ausfallwahrscheinlichkeit von 90 % .....	152
E.2.7	Grafische Darstellung der Zeitfestigkeitsgerade .....	152
E.3	Beispiel: Auswertung Langzeitfestigkeit Treppenstufenverfahren .....	153
E.4	Beispiel: Ermittlung der Knick-Schwingspielzahl und Verlauf der Wöhlerlinien bis zur Grenzschwingspielzahl.....	156
E.4.1	Perlenschnurverfahren.....	156
E.4.2	Horizontenverfahren .....	157
E.5	Beispiel: Grafische Darstellung der Wöhlerlinie .....	159
E.5.1	Perlenschnurverfahren.....	159
E.5.2	Horizontenverfahren .....	161
Literaturhinweise .....		164

## Bilder

Bild 1 — Wöhlerdiagramm (schematisch) .....	19
Bild 2 — Wöhlerdiagramm im Bereich hoher Schwingspielzahlen (schematisch).....	19
Bild 3 — Beispiel für die Darstellung von Versuchsergebnissen im Zeit- und Langzeitfestigkeitsbereich .....	21
Bild 4 — Last-Zeit-Verlauf im Schwingfestigkeitsversuch (schematisch).....	22
Bild 5 — Benennung der Last in Abhängigkeit vom Mittelwert $L_m$ .....	23

Bild 6 — Ermittlung der Streuspannen für Mittelwert und Standardabweichung durch Auswertung einer großen Anzahl von Stichproben aus Monte-Carlo-Simulationen.....	28
Bild 7 — Abschätzen des Mittelwerts der Grundgesamtheit auf der Basis einer Stichprobe .....	29
Bild 8 — Wöhlerdiagramm (schematisch), Perlenschnurverfahren .....	31
Bild 9 — Perlenschnurverfahren, erforderliche Probenanzahl zur Schätzung des Mittelwertes $N_{50\%,GG}$ (Ergebnisse aus je 20 000 Simulationen je Probenanzahl) .....	36
Bild 10 — Perlenschnurverfahren, erforderliche Probenanzahl zur Schätzung der Standardabweichung $S_{\log N,GG}$ (Ergebnisse aus je 20 000 Simulationen je Probenanzahl) .....	38
Bild 11 — Perlenschnurverfahren, erforderliche Probenanzahl zur Schätzung der Wöhlerlinienneigung (Ergebnisse aus je 20 000 Simulationen je Probenanzahl) .....	42
Bild 12 — Wöhlerdiagramm (schematisch), Horizontenverfahren .....	43
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) .....	48
Bild 14 — Horizontenverfahren, erforderliche Anzahl von Proben zur Schätzung der Standardabweichung $S_{\log N,GG}$ (Ergebnisse aus je 20 000 Simulationen je Probenanzahl) .....	50
Bild 15 — Horizontenverfahren, erforderliche Probenanzahl zur Schätzung der Wöhlerlinienneigung $k_{GG}$ (Ergebnisse aus je 20 000 Simulationen je Probenanzahl) .....	54
Bild 16 — Ermittlung der Streuspannen für Mittelwert und Standardabweichung durch Auswertung einer großen Anzahl von Stichproben aus Monte-Carlo-Simulationen.....	56
Bild 17 — Abschätzen des Mittelwerts der Grundgesamtheit auf der Basis einer Stichprobe .....	56
Bild 18 — Folge im Treppenstufenverfahren .....	58
Bild 19 — Treppenstufenverfahren, erforderliche Anzahl von Proben zur Schätzung der Langzeitfestigkeit $L_{aL,NG,GG}$ (Ergebnisse aus je 20 000 Simulationen je Probenanzahl) .....	61
Bild 20 — Treppenstufenverfahren, erforderliche Anzahl von Proben zur Schätzung der Standardabweichung $S_{\log L}$ der Langzeitfestigkeit (Ergebnisse aus je 20 000 Simulationen je Probenanzahl) .....	63
Bild 21 — Standardabweichung in Schwingspielzahl- bzw. Lastrichtung (schematisch) .....	64
Bild 22 — Ergebnisse der Versuchsdurchführung Perlenschnurverfahren (schematisch) .....	65
Bild 23 — Verschieben der Versuchsergebnisse auf einen gemeinsamen Lasthorizont (schematisch) .....	66
Bild 24 — Berechnung der Zeitfestigkeitsgerade aus zwei Lasthorizonten (schematisch) .....	69
Bild 25 — Treppenstufenfolge und Ermittlung der Kennziffern für die Auswertung .....	71
Bild 26 — Abschätzung der Standardabweichung $s_{\log L}$ in Abhängigkeit von der Hilfsgröße $D_T$ , dem Stufensprung $d_{\log}$ und der Anzahl der Versuche $n$ .....	72
Bild E.1 — Wöhlerdiagramm, grafische Darstellung der Zeitfestigkeitsgerade .....	148

Bild E.2 — Wöhlerdiagramm, grafische Darstellung der Zeitfestigkeitsgerade.....	152
Bild E.3 — Wöhlerdiagramm Typ I, grafische Darstellung der Versuchsergebnisse und der statistischen Auswertung.....	160
Bild E.4 — Wöhlerdiagramm Typ II, grafische Darstellung der Versuchsergebnisse und der statistischen Auswertung.....	161
Bild E.5 — Wöhlerdiagramm Typ I, grafische Darstellung der Versuchsergebnisse und der statistischen Auswertung.....	162
Bild E.6 — Wöhlerdiagramm Typ II, grafische Darstellung der Versuchsergebnisse und der statistischen Auswertung.....	163

## Tabellen

Tabelle 1 — Formelzeichen, Abkürzungen und ihre Bedeutung.....	11
Tabelle 2 — Perlenschnurverfahren, erforderliche Anzahl von Proben zur Schätzung des Mittelwertes $N_{50\%,GG}$ unter Annahme der Standardabweichung $s_{\log N,GG} = 0,20$ der Grundgesamtheit.....	33
Tabelle 3 — Perlenschnurverfahren, erforderliche Anzahl von Proben zur Schätzung der Standardabweichung $s_{\log N,GG}$ .....	37
Tabelle 4 — Perlenschnurverfahren, erforderliche Anzahl von Proben zur Schätzung der Neigung der Wöhlerlinie $k_{GG}$ unter Annahme der Standardabweichung $s_{\log N,GG} = 0,20$ der Grundgesamtheit .....	39
Tabelle 5 — Horizontenverfahren, erforderliche Anzahl von Proben zur Schätzung des Mittelwertes $N_{50\%,GG}$ unter Annahme der Standardabweichung $s_{\log N,GG} = 0,20$ der Grundgesamtheit.....	45
Tabelle 6 — Horizontenverfahren, erforderliche Anzahl von Proben zur Schätzung der Standardabweichung $s_{\log N,GG}$ .....	49
Tabelle 7 — Horizontenverfahren, erforderliche Anzahl von Proben zur Schätzung der Neigung der Wöhlerlinie $k_{GG}$ unter Annahme der Standardabweichung $s_{\log N,GG} = 0,20$ der Grundgesamtheit.....	51
Tabelle 8 — Standardabweichung der Grundgesamtheit und Stufensprung für das Treppenstufenverfahren.....	59
Tabelle 9 — Treppenstufenverfahren, erforderliche Anzahl von Proben zur Schätzung der Langzeitfestigkeit $L_{aL,NG,GG}$ .....	60
Tabelle 10 — Treppenstufenverfahren, erforderliche Anzahl von Proben zur Schätzung der Standardabweichung $s_{\log L}$ der Langzeitfestigkeit .....	62
Tabelle 11 — Quantil $u$ zur Berechnung unterschiedlicher Ausfallwahrscheinlichkeiten $P_A$ unter der Annahme einer log-Normalverteilung.....	74
Tabelle A.1 — Perlenschnurverfahren — Erforderliche Anzahl von Proben zur Schätzung des Mittelwertes $N_{50\%,GG}$ unter Annahme der Standardabweichung $s_{\log N,GG} = 0,10$ der Grundgesamtheit.....	79

<b>Tabelle A.2 — Perlenschnurverfahren — Erforderliche Anzahl von Proben zur Schätzung des Mittelwertes <math>N_{50\%,GG}</math> unter Annahme der Standardabweichung <math>s_{\log N,GG} = 0,15</math> der Grundgesamtheit .....</b>	<b>81</b>
<b>Tabelle A.3 — Perlenschnurverfahren — Erforderliche Anzahl von Proben zur Schätzung des Mittelwertes <math>N_{50\%,GG}</math> unter Annahme der Standardabweichung <math>s_{\log N,GG} = 0,20</math> der Grundgesamtheit .....</b>	<b>83</b>
<b>Tabelle A.4 — Perlenschnurverfahren — Erforderliche Anzahl von Proben zur Schätzung des Mittelwertes <math>N_{50\%,GG}</math> unter Annahme der Standardabweichung <math>s_{\log N,GG} = 0,25</math> der Grundgesamtheit .....</b>	<b>86</b>
<b>Tabelle A.5 — Perlenschnurverfahren — Erforderliche Anzahl von Proben zur Schätzung des Mittelwertes <math>N_{50\%,GG}</math> unter Annahme der Standardabweichung <math>s_{\log N,GG} = 0,30</math> der Grundgesamtheit .....</b>	<b>89</b>
<b>Tabelle A.6 — Perlenschnurverfahren — erforderliche Anzahl von Proben zur Schätzung der Neigung der Wöhlerlinie <math>k_{GG}</math> unter Annahme der Standardabweichung <math>s_{\log N,GG} = 0,10</math> der Grundgesamtheit .....</b>	<b>93</b>
<b>Tabelle A.7 — Perlenschnurverfahren — erforderliche Anzahl von Proben zur Schätzung der Neigung der Wöhlerlinie <math>k_{GG}</math> unter Annahme der Standardabweichung <math>s_{\log N,GG} = 0,15</math> der Grundgesamtheit .....</b>	<b>95</b>
<b>Tabelle A.8 — Perlenschnurverfahren — erforderliche Anzahl von Proben zur Schätzung der Neigung der Wöhlerlinie <math>k_{GG}</math> unter Annahme der Standardabweichung <math>s_{\log N,GG} = 0,20</math> der Grundgesamtheit .....</b>	<b>98</b>
<b>Tabelle A.9 — Perlenschnurverfahren — erforderliche Anzahl von Proben zur Schätzung der Neigung der Wöhlerlinie <math>k_{GG}</math> unter Annahme der Standardabweichung <math>s_{\log N,GG} = 0,25</math> der Grundgesamtheit .....</b>	<b>100</b>
<b>Tabelle A.10 — Perlenschnurverfahren — erforderliche Anzahl von Proben zur Schätzung der Neigung der Wöhlerlinie <math>k_{GG}</math> unter Annahme der Standardabweichung <math>s_{\log N,GG} = 0,30</math> der Grundgesamtheit .....</b>	<b>103</b>
<b>Tabelle B.1 — Horizontenverfahren — erforderliche Anzahl von Proben der gesamten Versuchsreihe zur Schätzung des Mittelwertes <math>N_{50\%,GG}</math> unter Annahme der Standardabweichung <math>s_{\log N,GG} = 0,10</math> der Grundgesamtheit .....</b>	<b>107</b>
<b>Tabelle B.2 — Horizontenverfahren — erforderliche Anzahl von Proben der gesamten Versuchsreihe zur Schätzung des Mittelwertes <math>N_{50\%,GG}</math> unter Annahme der Standardabweichung <math>s_{\log N,GG} = 0,15</math> der Grundgesamtheit .....</b>	<b>110</b>
<b>Tabelle B.3 — Horizontenverfahren — erforderliche Anzahl von Proben der gesamten Versuchsreihe zur Schätzung des Mittelwertes <math>N_{50\%,GG}</math> unter Annahme der Standardabweichung <math>s_{\log N,GG} = 0,20</math> der Grundgesamtheit .....</b>	<b>113</b>
<b>Tabelle B.4 — Horizontenverfahren — erforderliche Anzahl von Proben der gesamten Versuchsreihe zur Schätzung des Mittelwertes <math>N_{50\%,GG}</math> unter Annahme der Standardabweichung <math>s_{\log N,GG} = 0,25</math> der Grundgesamtheit .....</b>	<b>116</b>
<b>Tabelle B.5 — Horizontenverfahren — erforderliche Anzahl von Proben der gesamten Versuchsreihe zur Schätzung des Mittelwertes <math>N_{50\%,GG}</math> unter Annahme der Standardabweichung <math>s_{\log N,GG} = 0,30</math> der Grundgesamtheit .....</b>	<b>119</b>

Tabelle B.6 — Horizontenverfahren — erforderliche Anzahl von Proben der gesamten Versuchsreihe zur Schätzung der Neigung der Wöhlerlinie $k_{GG}$ unter Annahme der Standardabweichung $s_{\log N, GG} = 0,10$ der Grundgesamtheit.....	123
Tabelle B.7 — Horizontenverfahren — erforderliche Anzahl von Proben der gesamten Versuchsreihe zur Schätzung der Neigung der Wöhlerlinie $k_{GG}$ unter Annahme der Standardabweichung $s_{\log N, GG} = 0,15$ der Grundgesamtheit.....	126
Tabelle B.8 — Horizontenverfahren — erforderliche Anzahl von Proben der gesamten Versuchsreihe zur Schätzung der Neigung der Wöhlerlinie $k_{GG}$ unter Annahme der Standardabweichung $s_{\log N, GG} = 0,20$ der Grundgesamtheit.....	129
Tabelle B.9 — Horizontenverfahren — erforderliche Anzahl von Proben der gesamten Versuchsreihe zur Schätzung der Neigung der Wöhlerlinie $k_{GG}$ unter Annahme der Standardabweichung $s_{\log N, GG} = 0,25$ der Grundgesamtheit.....	132
Tabelle B.10 — Horizontenverfahren — erforderliche Anzahl von Proben der gesamten Versuchsreihe zur Schätzung der Neigung der Wöhlerlinie $k_{GG}$ unter Annahme der Standardabweichung $s_{\log N, GG} = 0,30$ der Grundgesamtheit.....	135
Tabelle C.1 — Typische Standardabweichungen im Zeitfestigkeitsbereich aus einer großen Anzahl von Stichproben.....	138
Tabelle E.1 — Versuchsergebnisse Perlenschnurverfahren .....	143
Tabelle E.2 — Summenbildung für Regressionsrechnung .....	144
Tabelle E.3 — Verschieben der Versuchsergebnisse auf gemeinsamen, fiktiven Lasthorizont.....	146
Tabelle E.4 — Versuchsergebnisse Horizontenverfahren.....	149
Tabelle E.5 — Aufbereitung der Versuchsergebnisse Horizont $L_{a1} = 470$ MPa.....	150
Tabelle E.6 — Aufbereitung der Versuchsergebnisse Horizont $L_{a2} = 330$ MPa.....	151
Tabelle E.7 — Treppenstufenfolge .....	154
Tabelle E.8 — Stützstellen der Wöhlerlinie Perlenschnurverfahren, Wöhlerlinie Typ I .....	159
Tabelle E.9 — Stützstellen der Wöhlerlinie Perlenschnurverfahren, Wöhlerlinie Typ II.....	160
Tabelle E.10 — Stützstellen der Wöhlerlinie Horizontenverfahren, Wöhlerlinie Typ I .....	161
Tabelle E.11 — Stützstellen der Wöhlerlinie Horizontenverfahren, Wöhlerlinie Typ II .....	162