

Inhalt

| | |
|--|-------------|
| Vorwort | XIII |
| 1 Mess- und Prüfprozesseignung | 1 |
| 1.1 Warum Mess- und Prüfprozesseignung? | 1 |
| 1.2 Historischer Rückblick und Ausblick | 13 |
| 1.2.1 Entwicklung „Messsystemanalyse und -fähigkeit“ | 14 |
| 1.2.2 Entwicklung „Prüfprozesseignung“ | 17 |
| 1.3 Anmerkung der Autoren zu MSA und VDA 5 | 18 |
| 1.4 Experimentelle Beurteilung | 21 |
| 2 Definitionen und Begriffe | 25 |
| 2.1 Prozess | 25 |
| 2.2 Messprozess | 25 |
| 2.3 Prüfen | 26 |
| 2.4 Mess- und Prüfmittel | 27 |
| 2.5 Messabweichungen und Messunsicherheit | 30 |
| 2.5.1 Messabweichungen | 30 |
| 2.5.1.1 Systematische Messabweichungen | 31 |
| 2.5.1.2 Zufällige Messabweichungen | 32 |
| 2.5.2 Messergebnis | 32 |
| 2.5.3 Wiederholpräzision | 33 |
| 2.5.4 Vergleichpräzision | 33 |
| 2.5.5 Linearität | 34 |
| 2.5.6 Stabilität/Messbeständigkeit | 37 |

| | | |
|----------|--|-----------|
| 3 | Einflussgrößen auf den Messprozess | 39 |
| 3.1 | Typische Einflussgrößen | 39 |
| 3.2 | Auswirkung der Einflussgrößen beim Messsystem | 42 |
| 3.3 | Bewertung des Messprozesses | 44 |
| 4 | Messsystemfähigkeit als Eignungsnachweis für Messprozesse | 49 |
| 4.1 | Grundlegende Verfahren und Vorgehensweise | 49 |
| 4.2 | Messsystembezogene Verfahren | 53 |
| 4.2.1 | Unsicherheit des Normals/Einstellmeister | 53 |
| 4.2.2 | Einfluss der Auflösung | 56 |
| 4.2.3 | Beurteilung der systematischen Messabweichung | 59 |
| 4.2.4 | Verfahren 1 | 63 |
| 4.2.5 | Qualitätsfähigkeitskenngrößen C_g und C_{gk} | 67 |
| 4.2.6 | Verfahren 1 für einseitig begrenzte Merkmale | 77 |
| 4.2.7 | Verfahren 1 für mehrere Merkmale | 79 |
| 4.2.8 | Linearität | 80 |
| 4.2.8.1 | Begriffserklärung „Linearität“ | 81 |
| 4.2.8.2 | Durchführung der Linearitätsuntersuchung | 83 |
| 4.3 | Messprozessbezogene Verfahren | 92 |
| 4.3.1 | Spannweitenmethode (Short-Range-Methode) | 92 |
| 4.3.2 | Verfahren 2: %GRR mit Bedienerinfluss | 94 |
| 4.3.2.1 | Durchführung der Verfahren | 94 |
| 4.3.2.2 | Grafische Darstellung der Ergebnisse | 96 |
| 4.3.2.3 | Numerische Auswertung der Versuchsdaten | 103 |
| 4.3.3 | Verfahren 3: %GRR ohne Bedienerinfluss | 121 |
| 4.4 | Überprüfung der Messbeständigkeit | 123 |
| 4.5 | Weitere Verfahren | 128 |
| 4.5.1 | Verfahren 4 nach Ford EU 1880 | 128 |
| 4.5.2 | Verfahren 5 nach Ford EU 1880 | 131 |
| 4.6 | Vorgehensweise nach CNOMO | 133 |

| | | |
|----------|--|------------|
| 5 | Eignungsnachweis von attributiven Prüfprozessen | 137 |
| 5.1 | Lehren | 137 |
| 5.2 | Lehren oder Messen | 138 |
| 5.3 | Voraussetzungen für eine erfolgreiche attributive Prüfung | 139 |
| 5.4 | Untersuchung von attributiven Prüfprozessen | 140 |
| 5.4.1 | Einleitung | 140 |
| 5.4.2 | Testen von Hypothesen (Cohens Kappa) | 146 |
| 5.4.3 | Kappa-Koeffizient nach Fleiss | 152 |
| 5.4.4 | Beurteilung der Effektivität eines attributiven Prüfsystems ... | 160 |
| 5.4.4.1 | Effektivität bei einem Prüfer ohne Referenz-Vergleich | 161 |
| 5.4.4.2 | Effektivität bei einem Prüfer mit Referenz-Vergleich | 163 |
| 5.4.4.3 | Effektivität bei allen Prüfern ohne Referenz-Vergleich | 164 |
| 5.4.4.4 | Effektivität bei allen Prüfern mit Referenz-Vergleich | 164 |
| 5.4.5 | Methode der Signalerkennung | 165 |
| 5.4.6 | Bewertung von attributiven Prüfprozessen mithilfe der „Short Method“ | 170 |
| 6 | Erweiterte Messunsicherheit als Eignungsnachweis für Messprozesse | 173 |
| 6.1 | Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement | 173 |
| 6.1.1 | Grundlagen | 174 |
| 6.1.2 | Zielsetzung und Zweck des GUM | 175 |
| 6.1.3 | Anwendungsbereich | 176 |
| 6.1.4 | Der Inhalt des Leitfadens | 177 |
| 6.1.5 | Definitionen und Begriffe | 178 |
| 6.2 | Ermittlung von Messunsicherheiten | 182 |
| 6.2.1 | Ermittlung der Standardunsicherheit | 183 |
| 6.2.2 | Ermittlung der kombinierten Standardunsicherheit | 189 |
| 6.2.3 | Ermittlung der erweiterten Unsicherheit | 191 |
| 6.2.4 | Protokollierung der Unsicherheit | 194 |
| 6.2.5 | Angabe des Ergebnisses | 195 |

| | | |
|----------|---|------------|
| 6.3 | Beispiel GUM H.1 Endmaß-Kalibrierung | 195 |
| 6.3.1 | Messaufgabe | 196 |
| 6.3.2 | Standardunsicherheiten | 196 |
| 6.3.2.1 | Unsicherheit $u(l_s)$ der Kalibrierung des Normals | 197 |
| 6.3.2.2 | Unsicherheit $u(d)$ der gemessenen Längendifferenz .. | 197 |
| 6.3.2.3 | Unsicherheit $u(\alpha_s)$ des Wärmeausdehnungs- koeffizienten | 199 |
| 6.3.2.4 | Unsicherheit $u(\Theta)$ der Temperaturabweichung des Endmaßes | 199 |
| 6.3.2.5 | Unsicherheit $u(\delta\alpha)$ der Differenz der Ausdehnungskoeffizienten | 200 |
| 6.3.2.6 | Unsicherheit $u(\delta\Theta)$ der Temperaturdifferenz der Maße | 201 |
| 6.3.2.7 | Kombinierte Standardunsicherheit | 201 |
| 6.4 | Kalibrierung eines Gewichtsstückes mit dem Nennwert 10 kg (S2) ... | 204 |
| 6.4.1 | Messaufgabe | 204 |
| 6.4.2 | Standardunsicherheiten | 204 |
| 6.4.3 | Erweiterte Messunsicherheit und vollständiges Messergebnis | 207 |
| 6.5 | Kalibrierung eines Messschiebers | 208 |
| 6.5.1 | Messaufgabe | 209 |
| 6.5.2 | Standardmessunsicherheiten | 209 |
| 6.5.3 | Erweiterte Messunsicherheit und vollständiges Messergebnis | 212 |
| 6.6 | Interpretation des GUM für Mess- und Prüfprozesse in der Serienfertigung | 215 |
| 7 | Eignungsnachweis und erweiterte Messunsicherheit nach ISO 22514-7 und VDA Band 5 | 217 |
| 7.1 | Ablaufschema | 217 |
| 7.1.1 | Schematisierte Vorgehensweise | 220 |
| 7.1.2 | Eignungskennwerte und kleinste messbare Toleranz | 223 |
| 7.1.3 | Bestimmung der Standardunsicherheiten | 224 |
| 7.2 | Fallbeispiele Standardunsicherheit | 229 |
| 7.2.1 | Standardunsicherheit aus der Kalibrierkette u_{CAL} | 229 |
| 7.2.2 | Standardunsicherheit aus der Auflösung u_{RE} | 229 |

| | | |
|-----------|---|------------|
| 7.2.3 | Standardunsicherheit aus der systematischen Restabweichung u_{BI} | 230 |
| 7.2.4 | Standardunsicherheit u_{MS} bei Standardmessmittel | 232 |
| 7.2.5 | Standardunsicherheit aus der Wiederholbarkeit am Referenzteil u_{EVR} | 233 |
| 7.2.6 | Standardunsicherheit aus der Wiederholbarkeit am Objekt u_{EVO} | 234 |
| 7.2.7 | Standardunsicherheit aus der Vergleichbarkeit der Bediener u_{AV} | 235 |
| 7.2.8 | Standardunsicherheit aus der Inhomogenität des Messobjekts u_{OBJ} | 236 |
| 7.2.9 | Standardunsicherheit aus dem Temperatureinfluss u_{TEMP} | 240 |
| 7.2.10 | Standardunsicherheit aus Linearitätsabweichungen u_{LIN} | 243 |
| 7.2.11 | Standardunsicherheit aus der Stabilität u_{STAB} | 246 |
| 7.3 | Mehrfachberücksichtigung von Unsicherheitskomponenten | 248 |
| 7.4 | Bestimmung der erweiterten Messunsicherheit | 249 |
| 7.5 | Berücksichtigung der erweiterten Messunsicherheit an den Spezifikationsgrenzen | 249 |
| 7.6 | Fallbeispiele | 251 |
| 7.6.1 | Längenmessung mit einem Standardmessmittel | 251 |
| 7.6.1.1 | Beurteilung des Messsystems | 251 |
| 7.6.1.2 | Beurteilung und Nachweis der Messprozesseignung | 253 |
| 7.6.2 | Längenmessung mit speziellem Messmittel | 258 |
| 8 | Vergleich Firmenrichtlinien, AIAG MSA und VDA 5 bzw. ISO 225 14-7 | 265 |
| 9 | Sonderfälle bei der Mess- und Prüfprozesseignung | 275 |
| 9.1 | Was ist ein Sonderfall? | 275 |
| 9.2 | Typische Sonderfälle | 275 |
| 9.3 | Umgang mit Sonderfällen | 276 |
| 10 | Umgang mit nicht geeigneten Messsystemen und Messprozessen | 281 |
| 10.1 | Vorbemerkungen | 281 |
| 10.2 | Vorgehensweisen nach AIAG MSA | 283 |

| | | |
|-----------|--|------------|
| 10.3 | Vorgehensweise nach Bosch Heft 10 | 284 |
| 10.4 | Vorgehensweise nach VDA Band 5 | 286 |
| 10.4.1 | Optimierung des Messsystems | 287 |
| 10.4.2 | Optimierung des Messprozesses | 288 |
| 10.4.3 | Neubeschaffung eines Messsystems | 289 |
| 10.4.4 | Risikoanalyse mit bedingter Freigabe | 289 |
| 10.4.5 | Neubewertung der Grenzwerte | 290 |
| 10.4.6 | Merkmals- und Toleranzbetrachtung | 290 |
| 10.4.7 | Sonderregelungen nach VDA 5 | 291 |
| 10.4.7.1 | Fine Tolerances-Regelung (FT-Regelung) | 291 |
| 10.4.7.2 | Verringerung der Messunsicherheit durch Mehrfachmessung | 295 |
| 11 | Typische Fragen zur Mess- und Prüfprozesseignung | 299 |
| 11.1 | Fragestellung | 299 |
| 11.2 | Antworten | 300 |
| 12 | Eignungsnachweis bei der Sichtprüfung | 303 |
| 12.1 | Anforderungen an die Sichtprüfung | 303 |
| 12.2 | Eignungstest für Sichtprüfer | 304 |
| 13 | Beschaffung von Prüfmitteln | 309 |
| 13.1 | Beispiel für Messaufgabenbeschreibung | 311 |
| 13.2 | Beispiel für Lastenheft | 312 |
| 14 | Eignungsnachweis für Mess- und Prüfsoftware | 313 |
| 14.1 | Allgemeine Betrachtung | 313 |
| 14.2 | Das Märchen von der „Excel-Tabelle“ | 318 |
| 14.3 | Testbeispiele | 320 |
| 15 | Anhang | 337 |
| 15.1 | Tabellen | 337 |
| 15.1.1 | d_2^* -Tabelle zur Bestimmung der K-Faktoren und Freiheitsgrade für t-Werte | 337 |
| 15.1.2 | k-Faktoren zur Berechnung der erweiterten Messunsicherheit | 340 |

| | | |
|--------|--|------------|
| 15.2 | Auswirkung des Messprozesses auf die Prozessfähigkeit | 341 |
| 15.3 | Modelle der Varianzanalyse | 342 |
| 15.3.1 | Messsystemanalyse – Verfahren 2 | 342 |
| 15.3.2 | Messsystemanalyse – Verfahren 3 | 348 |
| 15.4 | Verzeichnis der verwendeten Abkürzungen | 351 |
| 15.5 | Formeln | 354 |
| 15.6 | Literaturverzeichnis | 356 |
| | Leitfaden zum „Fähigkeitsnachweis von Messsystemen“ | 361 |
| | Index | 395 |



Der Verlag und die Autoren haben sich mit der Problematik einer gendergerechten Sprache intensiv beschäftigt. Um eine optimale Lesbarkeit und Verständlichkeit sicherzustellen, wird in diesem Werk auf Gendersternchen und sonstige Varianten verzichtet; diese Entscheidung basiert auf der Empfehlung des Rates für deutsche Rechtschreibung. Grundsätzlich respektieren der Verlag und die Autoren alle Menschen unabhängig von ihrem Geschlecht, ihrer Sexualität, ihrer Hautfarbe, ihrer Herkunft und ihrer nationalen Zugehörigkeit.