

# Inhalt

<b>Vorwort .....</b>	<b>XIII</b>
<b>1    Mess- und Prüfprozesseignung .....</b>	<b>1</b>
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
<b>2    Definitionen und Begriffe .....</b>	<b>25</b>
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

<b>3</b>	<b>Einflussgrößen auf den Messprozess .....</b>	<b>39</b>
3.1	Typische Einflussgrößen .....	39
3.2	Auswirkung der Einflussgrößen beim Messsystem .....	42
3.3	Bewertung des Messprozesses .....	44
<b>4</b>	<b>Messsystemfähigkeit als Eignungsnachweis für Messprozesse .....</b>	<b>49</b>
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 Bedienereinfluss .....	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 Bedienereinfluss .....	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

<b>5</b>	<b>Eignungsnachweis von attributiven Prüfprozessen .....</b>	<b>137</b>
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
<b>6</b>	<b>Erweiterte Messunsicherheit als Eignungsnachweis für Messprozesse .....</b>	<b>173</b>
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 Wärmeausdehnungskoeffizienten . . . . .	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
<b>7</b>	<b>Eignungsnachweis und erweiterte Messunsicherheit nach ISO 22514-7 und VDA Band 5 . . . . .</b>	<b>217</b>
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
<b>8</b>	<b>Vergleich Firmenrichtlinien, AIAG MSA und VDA 5 bzw. ISO 22514-7</b> . . . . .	<b>265</b>
<b>9</b>	<b>Sonderfälle bei der Mess- und Prüfprozesseignung</b> . . . . .	<b>275</b>
9.1	Was ist ein Sonderfall? . . . . .	275
9.2	Typische Sonderfälle . . . . .	275
9.3	Umgang mit Sonderfällen . . . . .	276
<b>10</b>	<b>Umgang mit nicht geeigneten Messsystemen und Messprozessen</b> . . . . .	<b>281</b>
10.1	Vorbemerkungen . . . . .	281
10.2	Vorgehensweisen nach AIAG MSA . . . . .	283



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
<b>Leitfaden zum „Fähigkeitsnachweis von Messsystemen“ .....</b>	<b>361</b>
<b>Index .....</b>	<b>395</b>