

# 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 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

<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 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
<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

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
<b>11</b>	<b>Typische Fragen zur Mess- und Prüfprozesseignung .....</b>	<b>299</b>
11.1	Fragestellung .....	299
11.2	Antworten .....	300
<b>12</b>	<b>Eignungsnachweis bei der Sichtprüfung .....</b>	<b>303</b>
12.1	Anforderungen an die Sichtprüfung .....	303
12.2	Eignungstest für Sichtprüfer .....	304
<b>13</b>	<b>Beschaffung von Prüfmitteln .....</b>	<b>309</b>
13.1	Beispiel für Messaufgabenbeschreibung .....	311
13.2	Beispiel für Lastenheft .....	312
<b>14</b>	<b>Eignungsnachweis für Mess- und Prüfsoftware .....</b>	<b>313</b>
14.1	Allgemeine Betrachtung .....	313
14.2	Das Märchen von der „Excel-Tabelle“ .....	318
14.3	Testbeispiele .....	320
<b>15</b>	<b>Anhang .....</b>	<b>337</b>
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
	<b>Leitfaden zum „Fähigkeitsnachweis von Messsystemen“ .....</b>	<b>361</b>
	<b>Index .....</b>	<b>395</b>