

Edgar Dietrich  
Alfred Schulze

# Eignungsnachweis von Prüfprozessen

Prüfmittelfähigkeit und Messunsicherheit  
im aktuellen Normenumfeld

3., aktualisierte und erweiterte Auflage

HANSER

# Inhaltsverzeichnis

Vorwort .....	iii
Vorwort zur 2. Auflage .....	iv
Vorwort zur 3. Auflage .....	iv
Inhaltsverzeichnis .....	vii
<b>1 Prüfprozesseignung .....</b>	<b>1</b>
1.1 Einführung .....	1
1.1.1 Warum Prüfprozesseignung? .....	1
1.2 Historischer Rückblick und Ausblick .....	7
1.2.1 Entwicklung „Prüfprozesseignung“ .....	9
1.3 Anmerkung Autoren zu MSA [1] und VDA 5 [57] .....	11
1.4 Experimentelle Beurteilung .....	12
<b>2 Prüfmittelüberwachung als Grundlage für die Prüfprozesseignung .....</b>	<b>16</b>
2.1 Kalibrierung von Prüfmitteln .....	16
2.2 Kalibrierung einer Messuhr .....	17
2.3 Eignungsnachweise für Standardmessmittel .....	19
<b>3 Definitionen und Begriffe .....</b>	<b>22</b>
3.1 Prozess .....	22
3.2 Prüfprozess .....	22
3.3 Prüfen .....	23
3.4 Prüfmittel .....	24
3.5 Messabweichungen und Messunsicherheit .....	27
3.5.1 Systematische Messabweichung .....	28
3.5.2 Wiederholpräzision .....	29
3.5.3 Vergleichspräzision .....	30
3.5.4 Linearität .....	31
3.5.5 Stabilität / Messbeständigkeit .....	33
<b>4 Einflussgrößen auf den Prüfprozess .....</b>	<b>34</b>
4.1 Typische Einflussgrößen .....	34
4.2 Auswirkung der Einflussgrößen .....	37
4.3 Bewertung des Prüfprozesses .....	40
<b>5 Prüfmittelfähigkeit als Eignungsnachweis für Messprozesse .....</b>	<b>44</b>
5.1 Grundlegende Verfahren und Vorgehensweise .....	44
5.2 Beurteilung Messmittel .....	47
5.2.1 Unsicherheit des Normals / Einstellmeister .....	47
5.2.2 Einfluss der Auflösung .....	49
5.2.3 Beurteilung der Systematischen Messabweichung .....	51
5.2.4 Verfahren 1 .....	53
5.2.5 Qualitätsfähigkeitskenngrößen Cg und Cgk .....	58
5.2.6 Verfahren 1 für einseitig begrenzte Merkmale .....	66

5.2.7	Verfahren 1 für mehrere Merkmale.....	69
5.2.8	Linearität.....	69
5.2.8.1	Begriffserklärung „Linearität“.....	70
5.3	Beurteilung Prüfprozess.....	80
5.3.1	Spannweitenmethode (Short Method).....	80
5.3.2	Verfahren 2: %R&R mit Bediener Einfluss.....	82
5.3.3	Verfahren 3: %R&R ohne Bediener Einfluss.....	102
5.4	Überprüfung der Messbeständigkeit.....	105
5.5	Weitere Verfahren.....	109
5.5.1	Verfahren 4.....	109
5.5.2	Verfahren 5.....	111
5.6	Vorgehensweise nach CNOMO.....	114
6	Eignungsnachweis von attributiven Prüfprozessen.....	117
6.1	Lehren.....	117
6.2	Lehren oder Messen.....	118
6.3	Voraussetzungen für eine erfolgreiche attributive Prüfung.....	119
6.4	Untersuchung von attributiven Prüfprozessen „Short Method“.....	120
6.5	Untersuchung von attributiven Prüfprozessen „Erweiterte Methode“.....	123
6.5.1	Einleitung.....	123
6.5.2	Testen von Hypothesen.....	127
6.5.2.1	Aufbau einer Kreuztabelle für zwei Prüfer.....	128
6.5.3	Beurteilung der Effektivität eines attributiven Prüfsystems.....	132
6.5.3.1	Effektivität bei einem Prüfer ohne Referenz-Vergleich.....	133
6.5.3.2	Effektivität bei einem Prüfer mit Referenz-Vergleich.....	134
6.5.3.3	Effektivität bei allen Prüfern ohne Referenz-Vergleich.....	135
6.5.3.4	Effektivität bei allen Prüfer mit Referenz-Vergleich.....	136
6.5.4	Methode der Signalerkennung.....	137
7	Erweiterte Messunsicherheit als Eignungsnachweis für Messprozesse.....	142
7.1	Guide to the expression of Uncertainty in Measurement.....	142
7.1.1	Grundlagen.....	142
7.1.2	Zielsetzung und Zweck der GUM.....	143
7.1.3	Anwendungsbereich.....	144
7.1.4	Der Inhalt des Leitfadens.....	145
7.1.5	Definitionen und Begriffe.....	146
7.2	Ermittlung von Messunsicherheiten.....	149
7.2.1	Ermittlung der Standardunsicherheit.....	150
7.2.2	Ermittlung der kombinierten Standardunsicherheit.....	155
7.2.3	Ermittlung der erweiterten Unsicherheit.....	157
7.2.4	Protokollierung der Unsicherheit.....	160
7.2.5	Angabe des Ergebnisses.....	161
7.3	Beispiel GUM H.1 Endmaß-Kalibrierung.....	162
7.3.1	Messaufgabe.....	162
7.3.2	Standardunsicherheiten.....	163
7.3.2.1	Unsicherheit $u(S)$ der Kalibrierung des Normals.....	163
7.3.2.2	Unsicherheit $u(d)$ der gemessenen Längendifferenz.....	163
7.3.2.3	Unsicherheit $u(\alpha S)$ des Wärmeausdehnungskoeffizienten.....	165
7.3.2.4	Unsicherheit $u(\Theta)$ der Temperaturabweichung des Endmaßes.....	165

7.3.2.5	Unsicherheit $u(\delta\alpha)$ der Differenz der Ausdehnungskoeffizienten.....	166
7.3.2.6	Unsicherheit $u(\delta\Theta)$ der Temperaturdifferenz der Maße.....	166
7.3.2.7	Kombinierte Standardunsicherheit.....	167
7.4	Kalibrierung eines Gewichtsstückes mit dem Nennwert 10 kg (S2).....	171
7.4.1	Messaufgabe.....	171
7.4.2	Standardunsicherheiten.....	171
7.4.3	Erweiterte Messunsicherheit und vollständiges Messergebnis.....	178
7.5	Kalibrierung eines Messschiebers.....	180
7.5.1	Messaufgabe.....	180
7.5.2	Standardmessunsicherheit (S10.3-S10.9).....	181
7.5.3	Erweiterte Messunsicherheit und vollständiges Messergebnis.....	184
7.6	Interpretation der GUM für Prüfprozesse in der Serienfertigung.....	186
8	Bestimmung der erweiterten Messunsicherheit nach VDA 5.....	187
8.1	Ablaufschema VDA 5.....	187
8.1.1	Schematisierte Vorgehensweise.....	188
8.1.2	Eignung des Prüfmittels.....	189
8.1.3	Bestimmung der Standardunsicherheit nach Ermittlungsmethode A.....	190
8.1.4	Bestimmung der Standardunsicherheit nach Ermittlungsmethode B.....	191
8.2	Wesentliche Standardunsicherheitskomponenten.....	194
8.2.1	Standardunsicherheit $u_{ref}$ .....	195
8.2.2	Standardunsicherheit der Auflösung $u_{res}$ .....	196
8.2.3	Standardunsicherheit $u_{Bi}$ .....	197
8.2.4	Standardunsicherheit $u_{pm}$ bei Standardprüfmittel.....	198
8.2.5	Standardunsicherheit durch das Prüfmittel $u_g$ .....	198
8.2.6	Standardunsicherheit durch das Prüfmittel $u_{EV}$ .....	198
8.2.7	Standardunsicherheit durch den Bedienerinfluss $u_{AV}$ .....	200
8.2.8	Standardunsicherheit durch das Prüfobjekt $u_{pa}$ .....	202
8.2.9	Standardunsicherheit durch Temperatureinfluss $u_{Temp}$ .....	203
8.2.10	Standardunsicherheit durch Linearitätsabweichungen $u_{Lin}$ .....	206
8.2.11	Standardunsicherheit durch Stabilität $u_{Stab}$ .....	207
8.3	Mehrfachberücksichtigung von Unsicherheitskomponenten.....	209
8.4	Berücksichtigung der erweiterten Messunsicherheit an den Spezifikationsgrenzen.....	209
8.5	Fallbeispiele nach VDA 5.....	211
8.5.1	Fallbeispiel „Längenmessung mit einem Standardprüfmittel“.....	211
8.5.1.1	Beurteilung der Prüfmittelverwendbarkeit.....	212
8.5.1.2	Beurteilung und Nachweis der Prüfprozesseignung.....	213
8.5.2	Fallbeispiel: „Längenmessung mit speziellem Prüfmittel“.....	219
9	Vereinfachte Bestimmung der Messunsicherheit.....	224
9.1	AIO-Verfahren („All-in-One“ Verfahren).....	224
9.1.1	Nachweis der Prüfprozesseignung.....	224
9.1.2	Bestimmung der erweiterten Messunsicherheit.....	224
9.1.2.1	Bestimmung der einzelnen Standardunsicherheiten.....	225
9.2	Fallbeispiele zum Verfahren „All-in-One“.....	228
9.2.1	Messprozess mit linearer Maßverkörperung.....	228
9.2.2	Messprozess ohne lineare Maßverkörperung.....	230
10	Sonderfälle bei der Prüfprozesseignung.....	233

10.1	Was ist ein Sonderfall? .....	233
10.2	Typische Sonderfälle .....	233
11	Umgang mit nicht geeigneten Messprozessen .....	235
11.1	Vorgehensweise zur Verbesserung von Prüfprozessen .....	235
12	Typische Fragen zur Prüfprozesseignung .....	238
12.1	Fragestellung .....	238
12.2	Antworten .....	238
13	Eignungsnachweis bei der Sichtprüfung .....	241
13.1	Anforderungen an die Sichtprüfung .....	241
13.2	Eignungstest für Sichtprüfer .....	242
14	Beschaffung von Prüfmitteln .....	245
14.1	Beispiel für Messaufgabenbeschreibung .....	246
14.2	Beispiel für Lastenheft .....	247
15	Eignungsnachweis für Prüfsoftware .....	248
15.1	Allgemeine Betrachtung .....	248
15.2	Das Märchen von der „Excel Tabelle“ .....	251
15.3	Testbeispiele zur Prüfmittelfähigkeit .....	254
16	Anhang .....	267
16.1	Tabellen .....	267
16.1.1	$d^2$ -Tabelle zur Bestimmung der K-Faktoren u. Freiheitsgrade für t-Werte .....	267
16.1.2	Eignungsgrenzen gemäß VDA 5 .....	270
16.1.3	k-Faktoren .....	271
16.2	Modelle der Varianzanalyse .....	271
16.2.1	Messsystemanalyse – Verfahren 2 .....	271
16.2.2	Messsystemanalyse – Verfahren 3 .....	276
17	Verzeichnisse .....	279
17.1	Verzeichnis der verwendeten Abkürzungen .....	279
17.2	Formeln .....	283
17.3	Literaturverzeichnis .....	285
17.4	Abbildungsverzeichnis .....	291
17.5	Tabellenverzeichnis .....	295
18	Index .....	296
	Leitfaden zum „Fähigkeitsnachweis von Messsystemen“ .....	300
	General Motors PowerTrain: Richtlinie für Messsystemanalysen (EMS) .....	329
	Bosch Heft 10: Fähigkeit von Mess- und Prüfprozessen .....	377
	DaimlerChrysler LF05: Eignungsnachweis von Prüfprozessen .....	401