



Eignungsnachweise bei attributiven Prüfprozessen

Teil 3: Eignungsnachweise für diskretisierte Merkmale

Dieses Dokument ist der letzte Teil einer dreiteiligen Whitepaper-Reihe zu attributiven Prüfprozessen. Die Reihe stellt die verschiedenen Methoden zum Eignungsnachweis attributiver Prüfprozesse in einer kompakten Übersicht vor. Dabei wird auf aktuelle Verbands- und Firmenrichtlinien Bezug genommen und es werden Voraussetzungen, typische Anwendungsbereiche sowie methodische Grundlagen erläutert. Das erste Whitepaper der Reihe hat sich mit den Grundlagen und Begrifflichkeiten der attributiven Prüfprozesse beschäftigt. Im zweiten Whitepaper wurden ausgewählte Methoden vorgestellt, die für den Eignungsnachweis von Prüfprozessen nominaler Merkmale verwendet werden können.

In diesem Whitepaper werden spezielle Methoden für diskretisierte Merkmale beschrieben und es wird auf die Besonderheiten bildgebender Verfahren am Beispiel von Kameramesstechnik eingegangen.

Methoden für ausschließlich diskretisierte Merkmale

Die Methoden für diskretisierte Merkmale nutzen die Tatsache, dass das Merkmal auch variabel gemessen werden kann. Dadurch lässt sich eine Messunsicherheit bestimmen und auch ein Eignungsindex, wie im variablen Fall. Allerdings ist die direkte Nutzung der Messunsicherheit zur Einrichtung von Schutzabständen nicht möglich. Diese Schutzabstände können nur konstruktiv bei der Auslegung der Lehre berücksichtigt werden.

Signalerkennung

Die Signalerkennung kann als Weiterentwicklung der Short Method betrachtet werden, bei der im Gegensatz zur Short Method, der Unsicherheitsbereich explizit gesucht und bewertet wird.

Voraussetzung

Die Signalerkennung kann nur bei binären Merkmalen durchgeführt werden, d. h. die Merkmale müssen sich eindeutig einer von zwei Kategorien zuordnen lassen (z. B. i. o./n. i. o.).

Das Prüflos muss aus mindestens 50 Teilen bestehen, die den gesamten Toleranzbereich zuzüglich der erwarteten Messunsicherheit überdecken. Diesen Referenzteilen ist jeweils ein Referenz-Messwert zugeordnet. Jeweils das größte und kleinste Teil müssen von den Prüfern übereinstimmend als n.i.O geprüft werden. Sollte das nicht der Fall sein, ist die Spanne des Prüfloses zu erweitern. Nach AIAG MSA und VDA Band 5 sollten je 25 % der Teile in der Nähe der Toleranzgrenzen liegen. Es wird empfohlen, sogenannte „Salted samples“ zu nutzen, also randlagige Teile in kleineren Abständen zu wählen (siehe Abbildung 1).

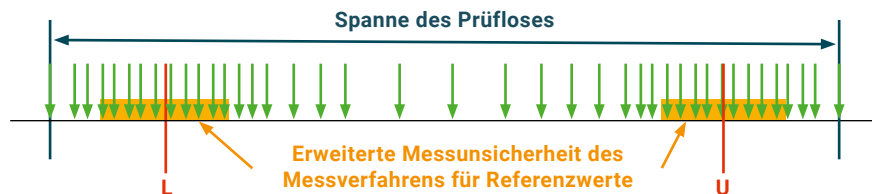


Abbildung 1: Spanne des Prüfloses

Durchführung

Die 50 Teile werden von mindestens 2 Prüfern je 2x in zufälliger Reihenfolge geprüft. Anschließend werden die Ergebnisse nach den Referenzwerten sortiert (siehe Abbildung 2).

n	Ref.	$X_{A,1}$	$X_{A,2}$	$X_{B,1}$	$X_{B,2}$	Beurt.
28	3,6640	-	-	-	-	
7	3,6520	-	-	-	-	
30	3,6520	-	-	-	-	
2	3,6490	-	-	-	-	
6	3,6450	-	-	-	-	
22	3,6420	-	-	-	-	
32	3,6410	-	-	+	-	
9	3,6340	-	-	-	+	
27	3,6320	-	-	+	+	
36	3,6320	-	-	+	+	
1	3,6320	-	-	+	+	
47	3,6320	-	-	+	+	
46	3,6260	+	+	+	+	
10	3,6250	+	+	+	+	
26	3,6220	+	+	+	+	
23	3,6210	+	+	+	+	
5	3,6210	+	+	+	+	
15	3,6170	+	+	+	+	
33	3,6140	+	+	+	+	
42	3,6140	+	+	+	+	
43	3,6130	+	+	+	+	
50	3,6090	+	+	+	+	
38	3,6030	+	+	+	+	
34	3,6000	+	+	+	+	
8	3,5990	+	+	+	+	
40	3,5970	+	+	+	+	
13	3,5950	+	+	+	+	
21	3,5950	+	+	+	+	
25	3,5930	+	+	+	+	
44	3,5920	+	+	+	+	
35	3,5910	+	+	+	+	
41	3,5870	+	+	+	+	
3	3,5870	+	+	+	+	
31	3,5860	+	+	+	+	
16	3,5850	+	+	+	+	
18	3,5820	+	+	+	+	
39	3,5780	+	+	+	+	
20	3,5740	+	+	+	+	
48	3,5730	+	+	+	+	
11	3,5720	+	+	+	+	
37	3,5700	+	+	+	+	
24	3,5650	+	+	-	-	
14	3,5610	+	+	-	+	
45	3,5600	+	+	-	-	
49	3,5590	+	+	-	-	
4	3,5520	+	-	-	-	
12	3,5520	+	-	-	-	
29	3,5460	-	-	-	-	
19	3,5440	-	-	-	-	
17	3,5310	-	-	-	-	

Abbildung 2: Beispiel Unsicherheitsbereich Signalerkennung

Alle Entscheidungen der Prüfer müssen gleich ausfallen. Falls auch gegen eine Referenzbewertung geprüft wird, muss die Entscheidung der Prüfer mit der Referenzbewertung übereinstimmen.

Dabei entstehen im Allgemeinen zwei Bereiche, in denen keine eindeutigen Entscheidungen getroffen wurden. Der mittlere Abstand von der letzten Übereinstimmung zur ersten Wieder-Übereinstimmung wird als Bereich der Messunsicherheit $[-U; +U] = 2 \cdot U_{ATTR}$ interpretiert. Damit kann der Eignungsindex $Q_{MP,ATTR} = \frac{2 \cdot U_{ATTR}}{T}$ errechnet werden. Analog zu variablen Messprozessen wird in VDA Band 5 ein Grenzwert von $Q_{MP,max} = 30\%$ empfohlen.

In der Sichtweise der AIAG MSA entspricht der mittlere Abstand von der letzten Übereinstimmung zur ersten Wieder-Übereinstimmung dem Wert für $6 \cdot GRR$, wodurch der Fähigkeitsindex $\%GRR = \frac{6 \cdot GRR}{T}$ berechnet werden kann. Es gelten dann die bekannten Grenzwerte von $\%GRR = 10\%$ für fähige Messprozesse und $\%GRR = 30\%$ für bedingt fähige Messprozesse.

Anmerkung

Der maßliche Abstand der ausgewählten Teile bestimmt somit signifikant die ermittelte Messunsicherheit, weshalb auch hier auf eine sinnvolle Zusammenstellung des Prüfloses zu achten ist.

Es gibt diverse Situationen, die in den Referenzhandbüchern nicht eindeutig beschrieben sind.

Dazu gehören:

- keine Teile mit Fehlentscheidungen
- vereinzelte Übereinstimmungen innerhalb der Unsicherheitsbereiche
- einseitige Toleranzen

Hierzu müssen firmenspezifische Regelungen gefunden werden.

Analytische Methode (Gage Performance Curve)

In der ersten (1990) und zweiten (1995) Auflage der AIAG MSA wurde diese Methoden „Long Method“ genannt. Leider hat in diesem Papier seitdem auch keine methodische Weiterentwicklung stattgefunden, weshalb die eigentlich sehr interessante Ermittlung der Leistungskurve (oder auch Trennschärfe) auf sehr traditionellen Techniken beruht. Die analytische Methode bewertet das Verhalten des attributiven Prüfprozesses an jeder Toleranzgrenze getrennt und berücksichtigt keinen Vergleich von Prüfern.

Eine Besonderheit dieser Methode ist, dass man nicht von einem vorgegebenen Prüflös ausgeht, sondern mindestens acht Teile pro Toleranzgrenze sucht, die folgende Eigenschaften besitzen:

- Ein Referenzteil muss 20x i. o. geprüft werden ($a = 20$)
- Ein Referenzteil muss 20x mal n. i. o. geprüft werden ($a = 0$)
- Alle anderen Prüfteile sollten Annahmezahlen zwischen $1 \leq a < 20$ aufweisen.

Voraussetzung

Die analytische Methode kann nur bei binären Merkmalen durchgeführt werden, d. h. die Merkmale müssen sich eindeutig einer von zwei Kategorien zuordnen lassen (z. B. i. o./n. i. o.). Es müssen ausreichend Referenzteile zur Verfügung stehen, um die mindestens 8 Teile zu finden, die den obigen Anforderungen genügen.

Durchführung

Aus einem Pool von Referenzteilen werden so lange Teile geprüft, bis mindestens 8 Teile gefunden wurden, die den oben genannten Anforderungen entsprechen. Für diese Teile wird jeweils ein Referenzwert gemessen. Der Unsicherheitsbereich wird aus den Annahmezahlen a und den Referenzwerten auf Basis einer Normalverteilung ermittelt. Durch die Bewertung der Lage der Unsicherheiten kann in diesem Fall sogar eine systematische Abweichung (Bias) der Lehre bestimmt werden.

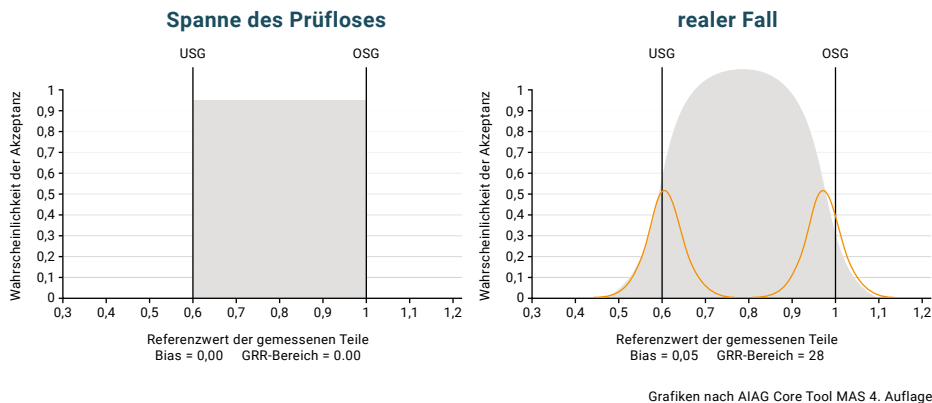


Abbildung 3: Wahrscheinlichkeitsverteilung idealer Fall vs. realer Fall

Anmerkungen

Oftmals gestaltet sich die Suche nach geeigneten Prüfteilen schwierig und es muss gegebenenfalls eine große Zahl von Teilen geprüft werden, um diese acht speziellen Teile zu finden.

Kamerasysteme

Kameras in der Messtechnik werden oft als attributiv prüfende Systeme verstanden, weil der Output des Kamerasystems meist eine binäre (i. o./n. i. o.) oder multikategoriale (Nacharbeit/i. o./n. i. o.) Entscheidung ist. Bei genauerer Betrachtung ist das aber oftmals nicht der Fall. Diese Entscheidung basiert in der Regel auf Messwerten, die von der Software des Kamerasystems intern verarbeitet werden, ohne dass der Anwender Zugriff auf diese Werte hat. Anhand dieser Messwerte kommen deshalb für den Eignungsnachweis auch die üblichen Verfahren für die Abnahme von Messprozessen zum Tragen.

Komplexere Kamerasysteme geben oftmals auch Wahrscheinlichkeiten für eine Bewertung aus. Werden z. B. Aufnahmen mit Referenzbildern verglichen, kann die Kamera einen Übereinstimmungsgrad in Prozent angeben. Auch hier lässt sich vielfach anhand einer begrenzten Anzahl kalibrierter Referenzbilder die Wiederholbarkeit und systematische Abweichung des Messsystems bestimmen, ohne dass auf attributive Eignungsnachweise zurückgegriffen werden muss.

Je komplexer die Erkennungstechniken sind, insbesondere mit Unterstützung von KI-Methoden, desto schwerer wird es, adäquate Methoden mit geringem Aufwand durchzuführen. Eine pauschale Anwendung attributiver Eignungsnachweise (z. B. Kappa-Methoden) würde oftmals den Rahmen sprengen. Bei der Anwendung von KI-Systemen ist darüber hinaus darauf zu achten, dass die Algorithmen eingefroren und versioniert werden, um eine stetige, unüberwachte Veränderung der

Entscheidungskriterien zu verhindern.

An dieser Stelle sind in naher Zukunft auch interessante Entwicklungen und optimierte Techniken zu erwarten.

Es ist auf jeden Fall zu empfehlen, für die Auswahl der Methoden und die Festlegung der Vorgehensweise auf Expertenrat zurückzugreifen.

Fazit

Wie beschrieben eignen sich die speziellen Methoden für diskretisierte Merkmale, um Unsicherheitsbeiträge für attributive Prüfverfahren zu ermitteln. Die Unsicherheit hängt dabei stark davon ab wie das Prüflös gestaltet wird. Für Kamerasysteme gilt, dass nicht jede Prüfung mit einer Kamera bedeutet das es sich um eine attributive Prüfung handelt. Sollten von der Kamera Messwerte verarbeitet werden, ist es oft einfacher, einen Eignungsnachweis für „messende“ Prüfmittel zu erstellen. Sowohl AIAG MSA als auch VDA Band 5 beschreiben Methoden für attributive Eignungsnachweise, ohne eine bestimmte Methode zu fordern. Es ist eine Einzelfallentscheidung, welche Methode eine adäquate Bewertung des attributiven Prüfprozesses erlaubt. Der Aufwand wird immer höher sein als bei den Eignungsnachweisen für messende Prüfprozesse, die Sicherheit des Prüfprozesses dagegen immer geringer.

Deshalb kommen die Autoren des VDA Bandes 5 auch zu dem Schluss, dass attributive Prüfprozesse im Sinne einer „Null-Fehler“-Strategie nicht geeignet sind und hohe Genauigkeitsanforderungen nicht erfüllen können. Dennoch werden attributive Prüfungen auf Grund ihrer Schnelligkeit und Anwendungsnähe immer wieder zur Anwendung kommen. Somit muss auch deren Eignung nachgewiesen werden.

Über Testo Industrial Services

Die Testo Industrial Services GmbH ist einer der führenden Anbieter von messtechnischen Dienstleistungen für Kalibrierung und GxP-Services in Deutschland. Als Tochter des Messgeräteherstellers Testo SE & Co. KGaA verfügen wir über mehr als 60 Jahre Erfahrung in der Messtechnik. Zum Dienstleistungsportfolio zählen neben ISO-/Werkskalibrierung ebenso DAkkS-akkreditierte Kalibrierungen nach DIN EN ISO/IEC 17025:2018 und ganzheitliche Prüfmittelmanagementlösungen für eine zuverlässige Prüfmittelüberwachung. Darüber hinaus bieten wir auch Services in den Bereichen Qualitätssicherung, Qualifizierung und Validierung an. Ein breites Weiterbildungsangebot mit Seminaren und kostenfreien Webinaren rundet das Serviceportfolio ab.

Consulting Quality Assurance

Wir bieten Schulung und Beratung zur Anlaufbegleitung nach APQP und Qualitätssicherung sowie Akkreditierungsvorbereitungen nach ISO/IEC 17025 in den Branchen:

- Automotive (OEMs und Zulieferer)
- Aerospace
- Medical und
- Defence

Unsere Beratungsdienstleistungen im Detail

- Qualifizierung von Mess- und Prüfprozessen
- Messsystemanalyse, MSA
- Eignungsnachweise nach VDA5.X
- Qualifizierung von Fertigungsprozessen
- Maschinen- und Prozessfähigkeit, MFU/PFU
- Statistische Prozesslenkung, SPC
- Prüfplanung
- Identifikation der zu messende Merkmale
- Technologiescreening für Planung und Aufbau eines neuen Prüfstands
- Prüfmittelmanagement
- Digitale Prüfmittelverwaltung (PRIMAS)
- Optimiertes Prüfmittelmanagement z.B.: Kalibrierintervall/Fehlergrenze/Entscheidungsregeln
- Akkreditierungsvorbereitung nach ISO/IEC17025
- Aufnahme Ist-Situation/Gap-Analyse
- Handlungsempfehlung anhand der identifizierten GAPs und Ausarbeitung einer Projektskizze für die Akkreditierungsvorbereitung

Autoren

**Frank Platte**

Junior Consultant Quality Assurance
fplatte@testotis.de

Frank Platte ist Juniorberater im Bereich Consulting Quality Assurance bei der Testo Industrial Services GmbH. Seit 2023 ist er Teil des Consulting Quality Assurance-Teams. Zuvor studierte er Produktion und Logistik an der TH Köln. Bei Testo Industrials Services beschäftigt er sich mit Eignungsnachweis nach VDA 5, MSA nach AIAG

und Akkreditierungsvorbereitungen für Prüf und Kalibrierlaboratorien nach ISO/IEC 17025:2017.

**Dipl.-Ing. Stephan Conrad**

Senior Consultant Quality Assurance
sconrad@testotis.de

Dipl.-Ing. Stephan Conrad ist Senior Berater im Team Consulting Quality Assurance bei Testo Industrial Services GmbH. Seit 2000 beschäftigt er sich mit den Anforderungen und Vorgehensweisen zur Qualifikation von Maschinen und Prozessen, Statistical Process Control (SPC), Prozessoptimierung sowie Messsystemanalysen

und dem Eignungsnachweis von Mess- und Prüfprozessen. Mit seiner langjährigen Expertise unterstützt und berät er Unternehmen aus der Automobilindustrie, der Medizintechnik und dem Maschinenbau bei der Entwicklung von Qualitätsstrategien, der Prozess- und Richtliniengestaltung sowie deren methodischer Umsetzung.

