

Die F - G Z P informiert

## Messunsicherheit und Fehler-Möglichkeiten- und Einfluss-Analyse (FMEA) aus ZfP-Sicht

Dr. Klaus Kolb

### Einleitung

In einer zurückliegenden Mitteilung (1) wurde dargestellt, dass für die vier klassischen ZfP-Verfahren (RT und UT als Volumenprüfverfahren sowie PT und MT als Oberflächenprüfverfahren) die Forderung nach der Angabe der Messunsicherheit praxisfremd ist.

Statt dessen wurde durch Beschluß des DAP-Sektorkomitees SK-ZfP/FT für diese vier Standardverfahren der Begriff Messunsicherheit durch die Angabe der Prüfempfindlichkeit ersetzt, eine Praxis, die zum Beispiel für die Durchstrahlungsprüfung (RT) bereits seit 1935 mit DIN 1914 Standard ist (2).

Die Diskussion im Spiegel der DIN EN ISO/ IEC 17025:2000, Abschnitt 5.4.6 ergab jedoch, daß zumindest bei der Wanddickenmessung mit Ultraschall die Angabe der Messunsicherheit sinnvoll bzw. erforderlich sein kann, eine Forderung, welcher im Rahmen der DGZfP-Aktivitäten schon 1996 entsprochen wurde (3), (4).

Ein weiteres Thema, das eng mit der Messunsicherheit verknüpft ist, behandelt die Fehler-Möglichkeiten- und Einfluß-Analyse. Auf beide Themen soll nachfolgend eingegangen werden.

### Meßunsicherheit

Bei der Durchführung von Ultraschallwanddickenmessungen stellt sich die Frage, mit welcher Genauigkeit die

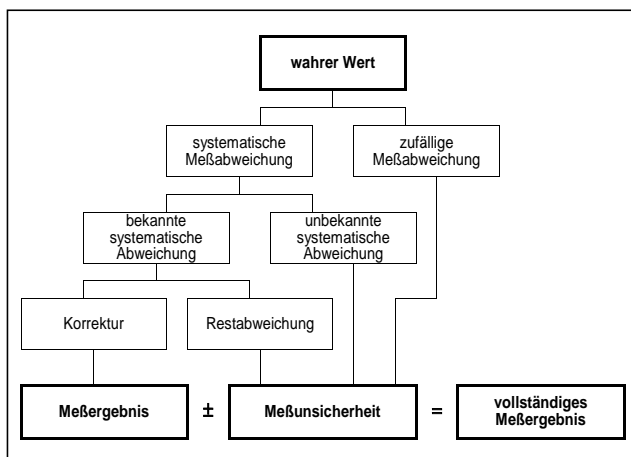


Bild 1: Die verschiedenen möglichen Module der Meßabweichung und ihre Berücksichtigung bei der Ermittlung des Meßergebnisses und der zugehörigen Meßunsicherheit

Bildschirmanzeige oder die Digitalanzeige behaftet ist. Oder: Wie genau kann ein Gerät die wahre Wanddicke anzeigen, und mit welcher Unsicherheit ist das Messergebnis behaftet?

Zur Verdeutlichung, welche Faktoren zur Messunsicherheit eines Messergebnisses beitragen, möge eine Art Flow-Chart (5) in Bild 1 dienen, welche etwas abgewandelt wurde. Aus dieser Chart wird ersichtlich, daß ein vollständiges Messergebnis aus einem korrigierten Messwert (Messergebnis) ± Messunsicherheit besteht. Ein vollständiges Messergebnis setzt sich aus dem Wertebereich für den wahren Wert der Messgröße zusammen.

Das genaue Vorgehen in Anlehnung an diese Flow-Chart und mit Bezug auf ein konkretes Beispiel wurde schon 1996 beschrieben (3, 4), weshalb hier nicht näher darauf eingegangen wird. Jedes ZfP-Prüflabor ist somit in der Lage, für die Wanddickenmessungen eine Messunsicherheit anzugeben.

Dass dieses so ermittelte vollständige Messergebnis dem wahren Wert allenfalls asymptotisch nahe kommt, belegen die zwei Module „unbekannte systematische Abweichung“ und „Restabweichung“.

### Fehler-Möglichkeiten- und Einflußanalyse (FMEA)

Die Methode der Fehler- Möglichkeiten- und Einfluß-Analyse (Failure Modes and Effects Analysis, kurz FMEA) wurde Mitte der 60er Jahre im Rahmen von Vorhaben der NASA entwickelt und in Projekten der Luft- und Raumfahrttechnik eingesetzt.

**In Deutschland wurde die FMEA im Jahr 1980 unter der Bezeichnung Ausfalleffektanalyse genormt**

In Deutschland wurde die FMEA im Jahr 1980 unter der Bezeichnung Ausfalleffektanalyse genormt. Einsatzgebiete waren dabei primär die Kerntechnik sowie die Luft- und Raumfahrttechnik. Der Einsatz der FMEA im Bereich der Produktionstechnik, hier primär im Bereich der Automobilindustrie, erfolgte erst in der zweiten Hälfte der 80er Jahre.

Prozeß (I)	Potentieller Fehler (II)	Potentielle Folgen des Fehlers (III)	Potentielle Fehlerursachen (IV)	Aktueller Analysenstand					Empfohlene Korrekturmaßnahmen zusätzl. zu Stufe 2-Zertifizierung (X)	Verantwortlichkeit liegt bei (XI)	Optimierter Zustand								
				Vorgesehene Kontrollmaßnahmen (V)	Aufreten A (VI)	Bedeutung B (VII)	Entdeckung E (VIII)	RPZ *) (IX)			Verbesserungsmaßnahmen (XII)	Aufreten A (XIII)	Bedeutung B (XIV)	Entdeckung E (XV)	RPZ *) (XVI)				
US-Wanddickenmessung (Stufe 2-Prüfer)	Falschmessung (Wanddickenwerte werden größer als vorhanden gemessen)	Vorspiegelung höherer Festigkeit: Falsche Aussage über Restlebensdauer und ggf. vorzeitiges Versagen des Systems (Leck, Bruch)	<b>Vom Prüfer beeinflussbar:</b>																
			▪ unsachgemäße Justierung	Nachjustierung	1	10	1	10	nicht erforderlich	Prüfer (Stufe 2)	kont. Stufenkörperwartg.	1	10	1	10				
			▪ ungenügender Anpreßdruck des Prüfkopfes	Stichpr. Nachkontr.	2	4	9	72	interne Schulung	PA/PL (Stufe 2/3)	Arbeitspausen	1	4	5	20				
			▪ zu dickflüssiges Koppelmittel	Stichpr. Nachkontr.	1	1	5	5	nicht erforderlich	PA (Stufe 2)	Verw. ZG-Paste	1	1	1	1				
			▪ zu dicke Koppelschicht	Stichpr. Nachkontr.	2	8	10	160	int. Schlg u. Demo	PA/PL (Stufe 2/3)	Hinweis auf Risiko	2	4	10	80				
			▪ falsch gewählte Verstärkung	Justierkontr. d. PA	1	4	5	20	interne Schulung	PA u. Prüfer (Stufe 2)	Hinweis	1	2	1	2				
			▪ Verwendung von Justierkörpern, die in ihrer Schallgeschwindigkeit nicht dem Prüfgegenstand entsprechen	Info im Auftragsblatt	4	4	10	160	Kontr. d. Prüfer u. PA	PA u. Prüfer (Stufe 2)	Schallgeschw.-Kontrolle	1	4	5	20				
			▪ Umwegfehler	Stichpr. Nachkontr.	1	10	5	50	interne Schulung	PA/PL (Stufe 2/3)	Hinweis	1	10	1	10				
			<b>Vom Prüfer bedingt beeinflussbar:</b>																
			▪ ungeeignetes Prüfsystem (Gerät und/oder Prüfkopf)	Kontrolle d. PA	4	4	10	160	Kontrolle d. PA	PA (Stufe 2)	Memo an PA	1	4	1	4				
			▪ Unebenheit bzw. große Rauheit der Meßstelle	Kontrolle d. Prüfer	2	4	1	8	Kontrolle d. Prüfer	PA (Stufe 2)	Memo an Prüfer (AA)	1	4	1	4				
			▪ Schichten zwischen Prüfkopf und Meßstelle (Farbe, Zunder, Prüfkopfschutzschicht u.ä.)	Kontrolle d. Prüfer	4	4	5	80	Kontrolle d. Prüfer	Prüfer (Stufe 2)	Memo an Prüfer (AA)	1	4	5	20				
			<b>Vom Prüfer nicht beeinflussbar:</b>																
			▪ Örtlich unterschiedliche Schallgeschwindigkeit im Prüfgegenstand	Werkstoffkontrolle	4	5	10	200	nicht möglich	PA/Prüfer (Stufe 2)	keine	4	2	10	80				
▪ innere Fehler (Doppelungen, Einschlüsse)	Homogenitätsprüfg.	1	10	1	10	bei Verdacht DoppelungsZFP-UT	Prüfer (Stufe 2)	Memo an Prüfer (AA)	1	10	1	10							
▪ Geometrie des Prüfgegenstandes	Objektkunde	1	2	5	10	Erkdg. bei Kunden	Prüfer (Stufe 2)	Memo an Prüfer	1	2	1	2							
▪ Temperatur des Prüfgegenstandes	Erfahrung	2	4	1	8	Objektfläche muß mit der Hand berührbar sein	Prüfer (Stufe 2)	Memo an Prüfer											
▪ Reflektivität der Rückwand des Prüfgegenstandes (Korrosionsnarben)	Erfahrung/Schulung	8	4	10	320	Kontrolle RE im Prüfbereich	Prüfer (Stufe 2)	Memo an Prüfer (AA u. Labordemo)	8	4	2	64							

**Vermerk:**

- De facto müssen 4 Situationen getrennt analysiert werden
- Sollwanddicke und Geometrie bekannt
  - Sollwanddicke bekannt, Geometrie unbekannt
  - Sollwanddicke unbekannt, Geometrie bekannt
  - Sollwanddicke und Geometrie unbekannt

Demobeispiel hier: Ein Mix aus vorgenannten 4 Spiegelstrichen, wobei außerdem relevant, ob

- Digitalgerät
- Bildschirmgerät
- Stufe 1- oder 2-Prüfer (Risiko bei Stufe 1-Prüfer ist höher anzusetzen)

- PL = Prüfstellenleiter
- PA = Prüfaufsicht
- AA = Arbeitsanweisung

**\*) Risikoprioritätszahl (RPZ = A x B x E)**

- A = Wahrscheinlichkeit des Auftretens (Fehler kann vorkommen):**
- unwahrscheinlich = 1
  - sehr gering = 2 - 3
  - gering = 4 - 6
  - mäßig = 7 - 8
  - hoch = 9 - 10

- B = Bedeutung:**
- kaum wahrnehmbare Auswirkungen = 1
  - unbedeutender Fehler = 2 - 3
  - mäßig schwerer Fehler = 4 - 6
  - schwerer Fehler = 7 - 8
  - äußerst schwerwiegender Fehler = 9 - 10

- E = Wahrscheinlichkeit der Entdeckung (vor Abgabe des Prüfergebnisses):**
- hoch = 1
  - mäßig = 2 - 5
  - gering = 6 - 8
  - sehr gering = 9
  - unwahrscheinlich = 10

- Priorität (RPZ):**
- hoch = 1000
  - mittel = 125
  - keine = 1

**Vermerk:**

Eine RPZ > 125 muß ein sofortiges Parieren der potentiellen Fehlerursache zur Konsequenz haben.

Bild 2: FMEA-Darstellung am Beispiel der Ultraschall-Wanddickenmessung

Aus dieser Historie wird ersichtlich, daß die FMEA primär ihren Platz in Konstruktion und Herstellung hat. Weiterhin ist offensichtlich, daß die FMEA vorbeugenden Charakter hat. Sie ist nicht als Werkzeug für Korrekturmaßnahmen sondern als Unterstützung für vorbeugende Maßnahmen gedacht. Eine vorbeugende Maßnahme ist hierbei ein im Vorgriff durchgeführter Vorgang (prophylaktischer Prozeß), um Verbesserungsmöglichkeiten zu ermitteln und keine Reaktion auf die Feststellung von Abweichungen, Beschwerden oder Schadensfällen (après Prozeß).

In letzter Zeit wurde auf dem ZfP-Sektor der Begriff FMEA zunehmend in die oben genannten beiden Qualitätsmanagementbausteine (Vorbeugemaßnahmen und Korrekturmaßnahmen) eingebaut. Da dies aber nur unter optionalen Gesichtspunkten erfolgte, wurde die eigentliche Realisierung einer ZfP-Dienstleistungs-FMEA bislang nicht praktiziert.

Im Zusammenhang mit der Arbeit zur Messunsicherheit bei Ultraschallwanddickenmessung (3) wird versucht, für die Ultraschallwanddickenmessung ein FMEA-Konzept zu entwerfen. In Anlehnung an vorhandene FMEA-Formblätter der Automobilindustrie wurde der Analyseprozeß durchgespielt. Als Ausgangseinschränkung, welche für die Abgrenzung des Problems erforderlich war, wurde angenommen, daß die Wanddicke zu groß bestimmt wurde.

In Bild 2 ist die FMEA-Darstellung für Fehlerursachen wiedergegeben, welche vom Operator beeinflussbar, bedingt beeinflussbar und nicht beeinflussbar sind (Spalte IV).

Auf Basis dieser drei Parameter erfolgte der Analysengang tabellarisch, wie aus Bild 2 ersichtlich.

**Zusammenfassung**

Es ist ersichtlich, daß die Bestimmung der Messunsicherheit und die FMEA teilweise eng miteinander verknüpft sind.

Die ZfP-Prüflabors und Inspektionsstellen sind zumindest auf dem Gebiet der Ultraschallwanddickenmessung in der Lage, eine Aussage zur Messunsicherheit mit Hilfe der FMEA zu machen.

*Die Analyse und die Risikoprioritätszahlen (RPZ) werden von Prüflabor zu Prüflabor unterschiedlich sein*

Die Tabelle in Bild 2 gibt in Abhängigkeit von den potentiellen Fehlerursachen (Spalte IV) Hinweise auf fällige Kontrollmaßnahmen (Spalte V), auf zu empfehlende Korrekturmaßnahmen (Spalte X) und auf Verbesserungsmaßnahmen (Spalte XII). Die Inhalte der Spalten

*Die eigentliche Realisierung einer ZfP-Dienstleistungs-FMEA wurde bislang nicht praktiziert*

V, X und XII haben offensichtlich alle vorbeugenden Charakter und sollen nicht als Bestandteil von Korrekturmaßnahmen gesehen werden.

Wichtig ist der Hinweis, daß die Analyse und die Risikoprioritätszahlen (RPZ) naturgemäß subjektiven Charakter haben. Die RPZ ist sehr stark abhängig von der Qualifikation und Erfahrung der Prüfer sowie vom Vertrauen des Prüfstellenleiters bzw. des Qualitätsmanagementbeauftragten in die Fähigkeiten der Prüfer. Dies bedeutet, daß die Werte der RPZ von Prüflabor zu Prüflabor unterschiedlich sein werden. Ebenso werden die Konsequenzen, welche aus dieser Analyse bzw. aus den Risikoprioritätszahlen zu ziehen sind, von Prüflabor zu Prüflabor verschieden sein.

**Literaturangaben:**

- (1) K. Kolb, Abgrenzung von Prüfempfindlichkeit und Messunsicherheit, ZfP-Zeitung 73, Februar 2001, Seite 40 – 41
- (2) DIN 1914 (August 1935), Abschnitt 2: Prüfung von Schweißverbindungen mit Röntgen- und Gammastrahlen  
Ersatz durch DIN 54110 (April 1954), Richtlinie für die Beurteilung der Bildgüte von Röntgen- und Gammafilmaufnahmen an metallischen Werkstoffen  
Fortschreibung über DIN 54109, Teil 1 (Oktober 1964, Mai 1976, Oktober 1987)  
bis zu DIN EN 462 (März 1994): Bildgüte von Durchstrahlungsaufnahmen, Teil 1, Bildgüteprüfkörper (Drahtsteg), Ermittlung der Bildgütezahl bzw. Teil 2 (Stufe-/ Loch-Typ).
- (3) W. Morgner, H. Würpel, H. Jünke, Zur Genauigkeit der Ultraschallwanddickenmessung – Ermittlung der Messunsicherheit, DGZfP-Zeitung 53, Juni 1996, Seite 60 – 63
- (4) DGZfP-Richtlinie US 1: Dickenmessung mit Ultraschall, August 1996
- (5) M. Hernia, Qualität und Zuverlässigkeit, 41 (1996) Seite 1156

**Der Autor:**

- 1954 Abitur
- 1960 Diplom TH Stuttgart
- 1963 Promotion an der Universität Stuttgart
- 1963 - 1965 MPI Metallforschung Stuttgart
- seit 1965 ZPKo Prüf- und Inspektionsstelle, Geschäftsführer und Sachverständiger
- 1979 - 1998 Geschäftsführender Vorstand Gütegemeinschaft ZfP e. V.
- seit 1999 Vorstandsvorsitzender F-GZP (DGZfP-Fachgesellschaft akkreditierter Prüfstellen)

