



# Ermittlung der Unsicherheiten in der Werkstoffprüfung

Ralf Häcker

BAM Bundesanstalt für Materialforschung und –prüfung  
Fachbereich Betriebsfestigkeit und Bauteilsicherheit

## Überblick

Einschränkung der Werkstoffprüfung  
Stand und Entwicklungen hinsichtlich der Messunsicherheit

Ein konkretes, einfaches Beispiel zum Zugversuch

- Modellunsicherheit
- Verfahrensunsicherheit

## ➤ Werkstoffprüfung

Prüfverfahren mit der selben Zielstellung sind in vielen Bereichen der Werkstoffprüfung genormt aufzufinden

- als Prüfverfahren für Gruppen von Werkstoffen
- als Prüfverfahren von Werkstoffverbunden
- in Produktnormen mit Beschreibung spezieller Verfahren
- branchenbezogene Verfahrensbeschreibungen

### **Zugversuch**

Metallische Werkstoffe: DIN EN ISO 6892-1, -2

Kunststoffe: DIN EN ISO 527-1 bis 5

Geokunststoffe DIN EN ISO 10319

Sperrholz: DIN 52377

Holz: ISO 3345, ISO 3346

Kautschuk, Elastomere: DIN 53504

Metallische Werkstoffe (Luft + Raumfahrt): DIN EN 2002-001, -002

Werkstoffverbindungen: ISO 14273

StahleisenPrüfblätter (SEP)

Einschränkung: Werkstoffprüfung im metallischen Bereich – zerstörend !!!

## ➤ Jahrzehntelange Vorgehensweise

### Basis der Qualitätssicherung

- Festlegung von Prüfbedingungen
- Formulierung von Anforderungen an Prüf- und Messtechnik
- Verwendung kalibrierter Prüfmittel, häufig in Form von (Qualitäts)-Klassen, z.B. Klasse 1: Abweichungen  $>1\%$

Ziel: ➔ Vergleichbarkeit der Ergebnisse

- Werte waren vergleichbar
- Aussagen zur Unsicherheit bspw. für Konformitätsbewertungen waren nicht möglich

## ➤ Stand und Entwicklung

Bei der Überarbeitung grundsätzlicher Normen wurden/werden Aspekte der Messunsicherheit integriert mit unterschiedlichen Ansätzen

## ➤ Stand und Entwicklung

Bei der Überarbeitung grundsätzlicher Normen wurden/werden Aspekte der Messunsicherheit integriert mit unterschiedlichen Ansätzen

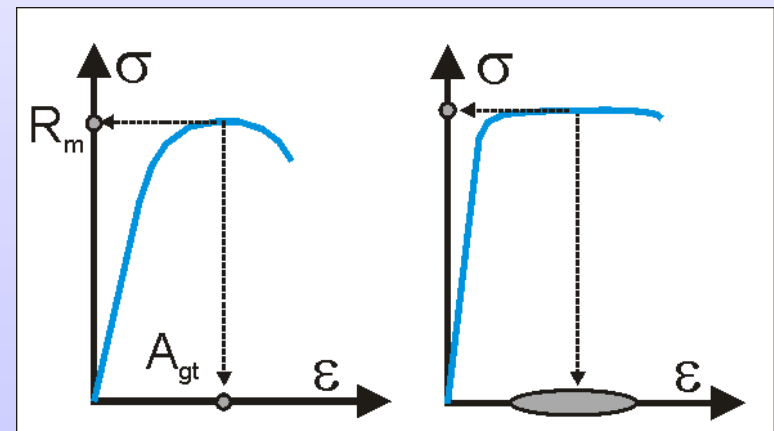
- **Klassische Methoden der Berechnung**

- + leicht anwendbar und übertragbar

- Erfassen nicht alle (wesentlichen) Parameter, die Einfluss auf das Ergebnis haben (Einspannbedingungen von Proben, Handlungsweisen, Kurvenverläufe,..)

$$R_m = \frac{F_m}{S_0}$$


$$u_{R_m} = \sqrt{\left(\frac{\partial R_m}{\partial F_m} u_{F_m}\right)^2 + \left(\frac{\partial R_m}{\partial S_0} u_{S_0}\right)^2} = \sqrt{\left(\frac{1}{S_0} u_{F_m}\right)^2 + \left(-\frac{F_m}{S_0^2} u_{S_0}\right)^2}$$



## ➤ Stand und Entwicklung

Bei der Überarbeitung grundsätzlicher Normen wurden/werden Aspekte der Messunsicherheit integriert mit unterschiedlichen Ansätzen

- Klassische Methoden der Berechnung
- **Referenzmaterialien**
  - = Proben mit bekannten Eigenschaften oder Verhalten, die z. T. während der Prüfung zerstört werden
  - + Erfassung vieler Einflussparameter
  - + Einsatz bei der indirekten Kalibrierung
  - Es gibt nur wenige (Härtevergleichsplatten, Proben für den Kerbschlagbiegeversuch, Zeitstandversuch, Zugversuch
  - einsetzbar nur bei vorgegebenen Prüfbedingungen (Werkstoffverhalten, Belastungshöhen, Temperatur,...)



The image shows a 'CERTIFICATE OF ANALYSIS' for ERM<sup>®</sup>-FA015x. It is issued by the Institute for Reference Materials and Measurements (IRMM) and the European Reference Material (ERM) program. The certificate details the analysis of Steel Charpy V-notch test pieces, providing a certified value of 81.1 J and an uncertainty of 2.4 J. It also includes footnotes explaining the measurement methods and traceability.

Steel Charpy V-notch test pieces		
	Certified value <sup>2)</sup> [J]	Uncertainty <sup>3)</sup> [J]
Absorbed energy (KV) <sup>1)</sup>	81.1	2.4

1) The absorbed energy (KV) is a method defined measurand. KV is the impact energy required to break a V-notched bar of standardised dimensions, as defined in EN 10045-1 and ISO 148-1. The certified value is valid only for strikers with a 2 mm tip radius, and in the temperature range of (20 ± 2) °C.

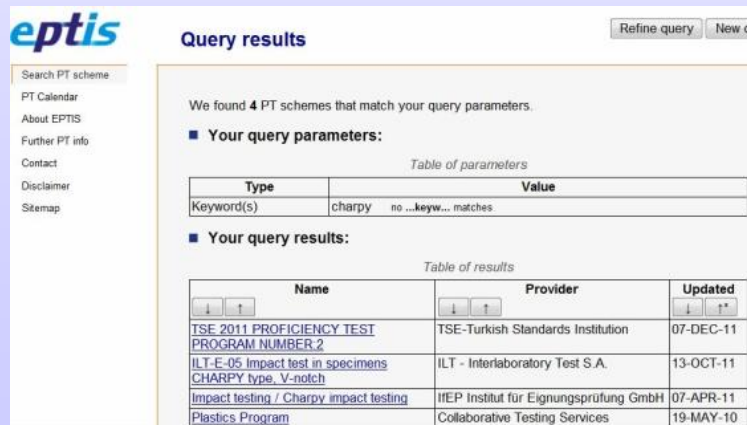
2) The certified value of ERM<sup>®</sup>-FA015x, and its uncertainty, are traceable to the International System of Units (SI), via the master batch ERM<sup>®</sup>-FA015v of the same nominal absorbed energy (80 J) by testing samples of ERM<sup>®</sup>-FA015v and ERM<sup>®</sup>-FA015x under repeatability conditions on an impact pendulum verified and calibrated with SI-traceably calibrated tools.

3) Estimated expanded uncertainty of the mean KV of the 5 specimens (delivered as 1 set), with a coverage factor k = 2, corresponding to a level of confidence of about 95%, as defined in the ISO/IEC Guide 98-3:2008.

## ➤ Stand und Entwicklung

Bei der Überarbeitung grundsätzlicher Normen wurden/werden Aspekte der Messunsicherheit integriert mit unterschiedlichen Ansätzen

- Klassische Methoden der Berechnung
- Referenzmaterialien
- **Vergleichs- und Eignungsprüfungen**
  - + Rasante Entwicklung von kommerziellen EP mit einer Vielzahl an Prüfverfahren
  - + Aussage zur Gesamtunsicherheit des Prüfverfahrens
  - Beschränkt auf häufig angewandte Prüfverfahren



The screenshot shows the EPTIS website interface. On the left is a navigation menu with links like 'Search PT scheme', 'PT Calendar', 'About EPTIS', etc. The main content area is titled 'Query results' and shows a search for 'charpy'. It displays the search parameters and a table of results.

**Query results**

We found 4 PT schemes that match your query parameters.

**Your query parameters:**

Type	Value
Keyword(s)	charpy no ...keyw... matches

**Your query results:**

Name	Provider	Updated
<a href="#">TSE 2011 PROFICIENCY TEST PROGRAM NUMBER 2</a>	TSE-Turkish Standards Institution	07-DEC-11
<a href="#">ILT-E-05 Impact test in specimens CHARPY type, V-notch</a>	ILT - Interlaboratory Test S.A.	13-OCT-11
<a href="#">Impact testing / Charpy impact testing</a>	ITEP Institut für Eignungsprüfung GmbH	07-APR-11
<a href="#">Plastics Program</a>	Collaborative Testing Services	19-MAY-10

www.bam.eptis.de



## ➤ Zusammenfassung

Bei der Überarbeitung grundsätzlicher Normen wurden/werden Aspekte der Messunsicherheit integriert mit unterschiedlichen Ansätzen

- Klassische Methoden der Berechnung
  - Referenzmaterialien
  - Vergleichs- und Eignungsprüfungen
- In der Praxis:  
Sinnvolle  
Kombination

In der Vergangenheit als gesonderte Unterlagen, z.B. CWA 15261-2, UNCERT COP

Übernahme /Integration in Normen, häufig als informative Anhänge

Aber dennoch  
wird der Prüfer  
auch finden....

### 11 Präzision

DIN EN ISO 527-2:1996, Teil 5:2009

Die Präzision dieses Prüfverfahrens ist nicht bekannt, weil keine Laborvergleiche vorliegen.

### 11.2 Gesamtunsicherheit der Ergebnisse

DIN EN ISO 204:2009 / DIN EN 10319-2:2007

Aufgrund der Tatsache, dass die Unsicherheit der Ergebnisse von der Art des Versuchswerkstoffs und den Prüfbedingungen abhängt, ist es nicht möglich, genaue Werte für die Unsicherheit anzugeben.

Beispiele von Schätzwerten der Unsicherheit sind für einige Werkstoffe im Anhang D angeführt.

## ➤ Beispiel zur Abschätzung der MU in der Werkstoffprüfung

### **Zugversuch nach DIN EN ISO 6892-1:2009**

- an metallischen Werkstoffen
- an Proben und ggf. Halbzeugen
- zur Ermittlung von Festigkeits- und Duktilitätskennwerten

## Gliederung

Abschätzung einer Unsicherheit des Prüfverfahrens  $U_V$  in 2 Schritten

- ① Analytisch-rechnerische Ermittlung einer Modellunsicherheit  $U_M$
- ② Abschätzung einer Unsicherheit des Prüfverfahrens unter Einbeziehung von Ergebnissen einer Eignungsprüfung
  - Idee und Vorgehensweise
  - Beispiel

## ➤ Teil 1: Analytisch-rechnerische Ermittlung einer Modellunsicherheit $U_M$

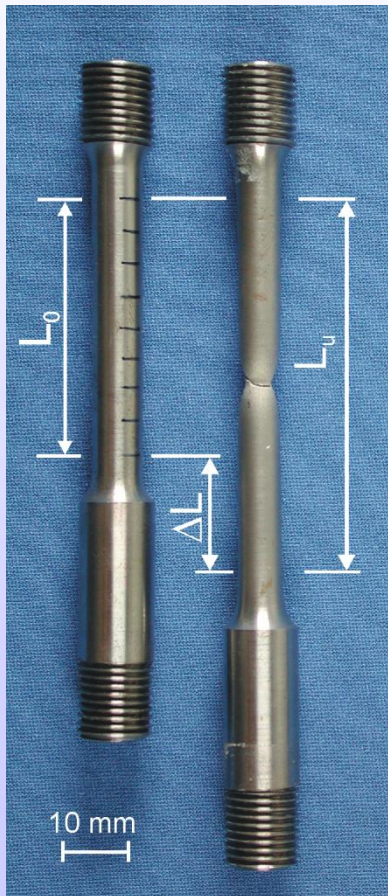
- Bestimmung der Eingangsgrößen aus den zu bestimmenden Messgrößen
- Zusammenstellung der Unsicherheits-Quellen
- Bestimmung der Standardunsicherheiten
- Formulierung der kombinierten Unsicherheit
- Berechnung der erweiterten Unsicherheit
- Angabe des Ergebnisses mit der berechneten Messunsicherheit

### Vorgehensweise nach

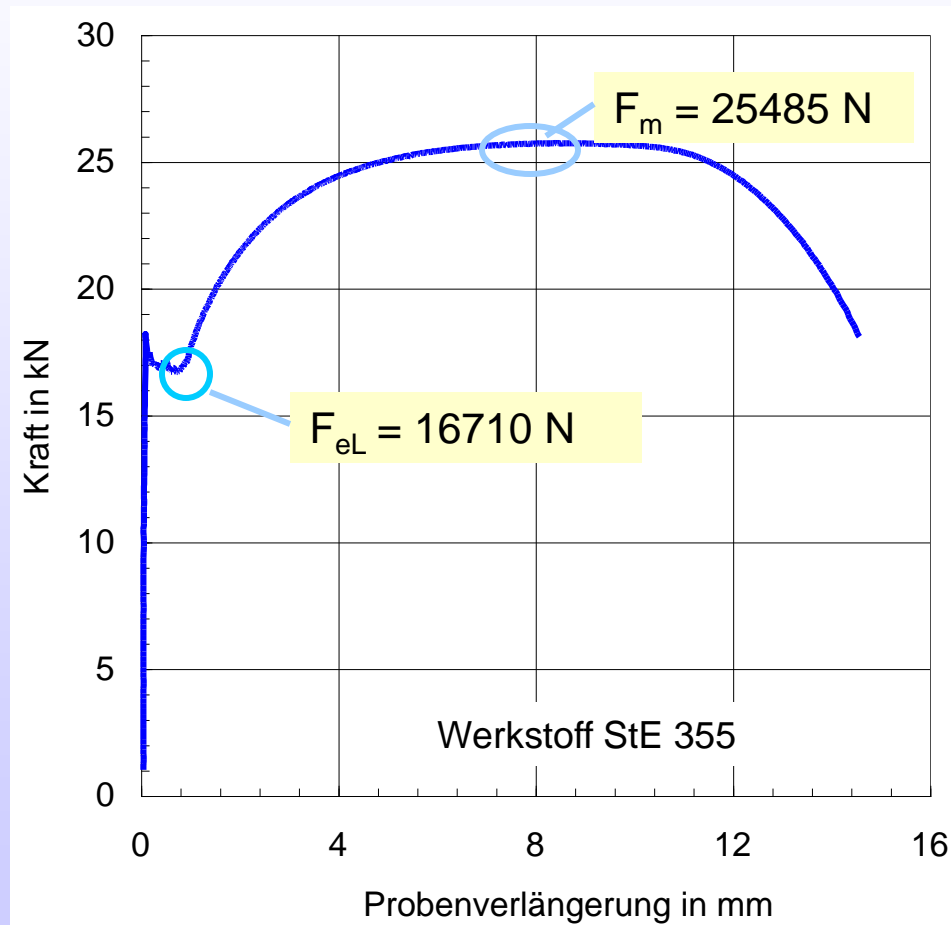
- GUM (Typ B)
- BAM-Leitfaden zur Ermittlung von Messunsicherheiten bei quantitativen Prüfergebnissen
- CWA 15261-2, UNCERT Code of Practice No. 7
- ...

## ➤ Eingangsgrößen

Probe vor/nach dem Versuch



Kraft-Verlängerungskurve



$$R_m = \frac{F_m}{S_0} \quad R_{eL} = \frac{F_{eL}}{S_0}$$

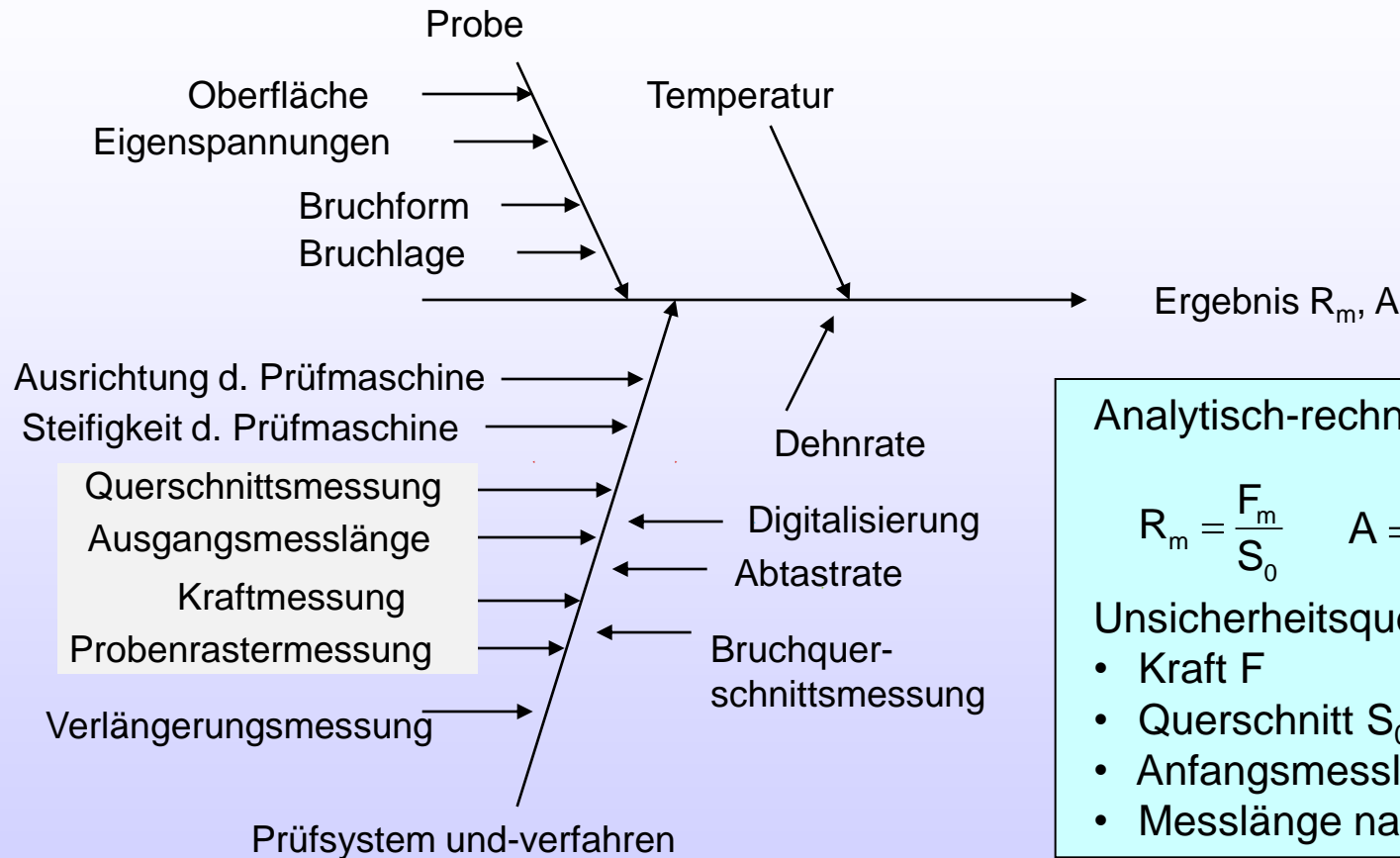
$$A = \frac{(L_U - L_0)}{L_0}$$

Beispiel

$d_0 = 8 \text{ mm}$   
 $L_0 = 40 \text{ mm}$   
 $F_m = 25485 \text{ N}$   
 $F_{eL} = 16710 \text{ N}$   
 $L_U = 54,50 \text{ mm}$

$S_0 = 50,27 \text{ mm}^2$   
 $R_m = 507 \text{ MPa}$   
 $R_{eL} = 332 \text{ MPa}$   
 $A = 0,36 \text{ (36 \%)}$

## Zusammenstellung der Unsicherheits-Quellen

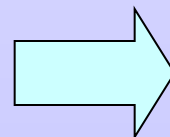


### Analytisch-rechnerische Ermittlung

$$R_m = \frac{F_m}{S_0} \quad A = \frac{(L_U - L_0)}{L_0} \quad \text{„Modelle“}$$

### Unsicherheitsquellen

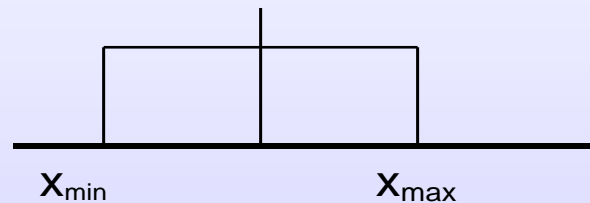
- Kraft  $F$
- Querschnitt  $S_0$  (Durchmesser  $D_0$ )
- Anfangsmesslänge  $L_0$
- Messlänge nach dem Bruch  $L_U$



Es werden nur **einige** der Unsicherheitsquellen in die Abschätzung mit einbezogen !

## ➤ Bestimmung der Standardunsicherheit für die Unsicherheits-Quellen

Eingangsgrößen	Angaben zu Genauigkeiten und Unsicherheiten aus Kalibrierungen, Zertifikaten, Kontrollkarten, Messungen ...
Kraft	Kalibrierung, Klasse 1 = 1%
Durchmesser (Querschnitt)	Messschieber 0,02 mm (DIN 862)
Anfangsmesslänge $L_0$	Rasteraufbringung 0,1 mm
Messlänge nach dem Bruch $L_U$	Rasterauswertung 0,2 mm



$$u(x) = \frac{(x_{\max} - x_{\min})}{\sqrt{12}}$$

Berechnung der Unsicherheiten auf der Basis einer Rechteckverteilung  
(Wahrscheinlichkeit des Auftretens des Messwertes in den Grenzen gleich groß)

### Beispielrechnung

$$F_m = 25485 \text{ N}$$

$$F_{eL} = 16710 \text{ N}$$

$$u_F = 0,58 \%$$

$$u_{Fm} = 147 \text{ N}$$

$$u_{FeL} = 96 \text{ N}$$

$$u_{D0} = 0,012 \text{ mm}$$

$$u_{L0} = 0,058 \text{ mm}$$

$$u_{LU} = 0,115 \text{ mm}$$

➤ Berechnung der kombinierten Unsicherheit:  $R_m$ ,  $R_{eL}$   
 aus den einzelnen Unsicherheitsbeiträgen für unkorrelierte Unsicherheitsbeiträge

allgemein:  $y = f(x_1, x_2, \dots, x_n)$

$$u_{\text{kombiniert}}(y) = \sqrt{\sum c_i^2 u(x_i)^2}$$

$$c_i = \frac{\partial f}{\partial x_i}$$

Empfindlichkeitskoeffizienten  $c_i$   
 Abhängigkeit der Ergebnisgröße  
 von den Eingangsgrößen

$$R_m = \frac{F_m}{S_0}$$

$$u_{R_m} = \sqrt{\left(\frac{\partial R_m}{\partial F_m} u_{F_m}\right)^2 + \left(\frac{\partial R_m}{\partial S_0} u_{S_0}\right)^2} = \sqrt{\left(\frac{1}{S_0} u_{F_m}\right)^2 + \left(-\frac{F_m}{S_0^2} u_{S_0}\right)^2}$$

$$S_0 = \frac{\pi}{4} D_0^2 \quad u_{S_0} = \sqrt{\left(\frac{\partial S_0}{\partial D_0} u_{D_0}\right)^2} = \sqrt{\left(\frac{\pi D_0}{2} u_{D_0}\right)^2}$$

$$u_{R_m} = \sqrt{\left(\frac{1}{S_0} u_{F_m}\right)^2 + \left(-\frac{F_m}{S_0^2} \frac{\pi D_0}{2} u_{D_0}\right)^2}$$

Beispielrechnung

$d_0 = 40 \text{ mm}$   
 $F_m = 25485 \text{ N}$   
 $F_{eL} = 16710 \text{ N}$

$u_{F_m} = 147 \text{ N}$   
 $u_{F_{eL}} = 96 \text{ N}$   
 $u_{D_0} = 0,012 \text{ mm}$

$u_{ReL} = 2,1 \text{ MPa} = 0,65 \%$   
 $u_{R_m} = 3,3 \text{ MPa} = 0,65 \%$



## ➤ Berechnung der kombinierten Unsicherheit: A

aus den einzelnen Unsicherheitsbeiträgen für unkorrelierte Unsicherheitsbeiträge

allgemein:  $y = f(x_1, x_2, \dots, x_n)$

$$u_{\text{kombiniert}}(y) = \sqrt{\sum c_i^2 u(x_i)^2}$$

$$c_i = \frac{\partial f}{\partial x_i}$$

Empfindlichkeitskoeffizienten  $c_i$   
Abhängigkeit der Ergebnisgröße  
von den Eingangsgrößen

$$A = \frac{(L_U - L_0)}{L_0}$$

$$u_A = \sqrt{\left(\frac{\partial A}{\partial L_0} u_{L_0}\right)^2 + \left(\frac{\partial A}{\partial L_U} u_{L_U}\right)^2}$$

$$u_A = \sqrt{\left(-\frac{1}{L_0} - \frac{L_U - L_0}{L_0^2}\right)^2 u_{L_0}^2 + \left(\frac{1}{L_0}\right)^2 u_{L_U}^2}$$

$$u_A = \sqrt{\left(-\frac{L_U}{L_0^2}\right)^2 u_{L_0}^2 + \left(\frac{1}{L_0}\right)^2 u_{L_U}^2}$$

### Beispielrechnung

$$L_0 = 40 \text{ mm}$$

$$L_U = 54,50 \text{ mm}$$

$$u_{L_0} = 0,058 \text{ mm}$$

$$u_{L_U} = 0,115 \text{ mm}$$

$$u_A = 0,0035 = 0,96 \%$$

## ➤ Ergebnis mit erweiterter Messunsicherheit

Erweiterte Unsicherheit  $U$  = “Überdeckungswahrscheinlichkeit” oder  
 ”Grad des Vertrauens”

$$U = k \cdot u(y)$$

$k$ : Erweiterungsfaktor

Erweiterungsfaktor

Wahrscheinlichkeit

$$k = 1$$

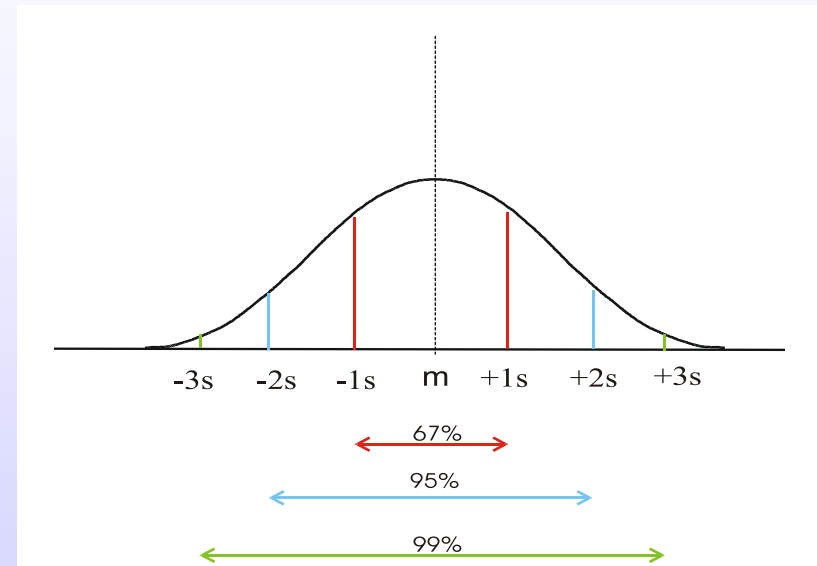
ca. 67%

$$k = 2$$

ca. 95%

$$k = 3$$

ca. 99%



Beispielrechnung

$k = 2$  ca. 95%

$$u_{ReL} = 2,1 \text{ MPa} = 0,65 \%$$

$$u_{Rm} = 3,3 \text{ MPa} = 0,65 \%$$

$$u_A = 0,0035 = 0,96 \%$$

$$U_{ReL} = 4,3 \text{ MPa} = 1,3 \%$$

$$U_{Rm} = 6,5 \text{ MPa} = 1,3 \%$$

$$U_A = 0,007 = 1,9 \%$$

## ➤ Angabe des Ergebnisses mit Messunsicherheit

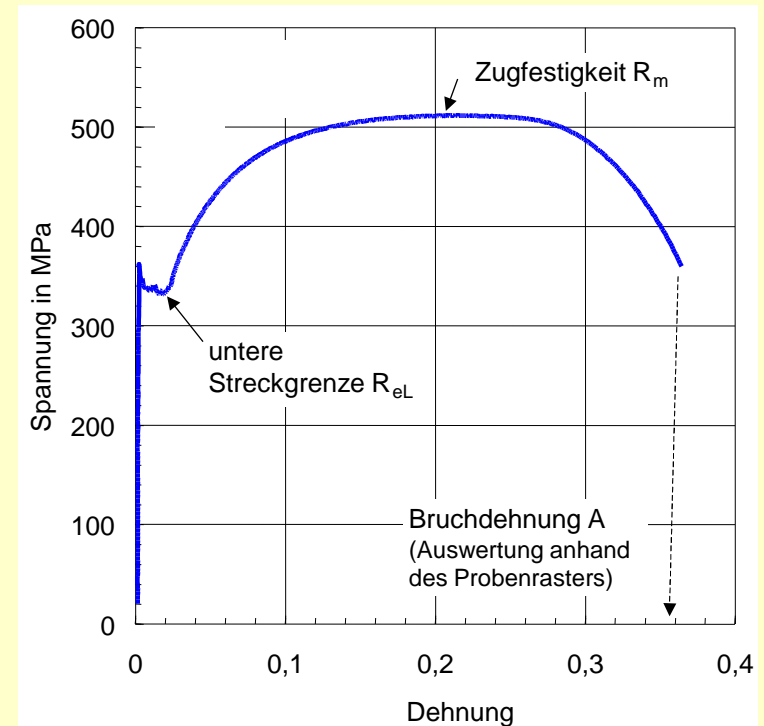
Informationen zur Messunsicherheit im Prüfbericht mitgeben

- auf welcher Basis ermittelt
- Angabe des Erweiterungsfaktors – wichtig zur weiteren Verwendung

### Beispielrechnung

$R_{eL} = 332 \text{ MPa}$	1,3 %
$R_m = 507 \text{ MPa}$	1,3 %
$A = 0,36$	1,9 %

Die Messunsicherheit ist eine erweiterte Unsicherheit (U), berechnet aus der kombinierten Unsicherheit und dem Erweiterungsfaktor  $k=2$  (Grad des Vertrauens von 95%).



# Umsetzung in ein Excel-Arbeitsblatt

Probenform: Rundzugprobe (kreisförmiger Querschnitt)  
 Ermittlung der Bruchdehnung anhand eines Rasters auf der Probe

Zusammenstellung der Eingangsgrößen, Angaben zu Genauigkeiten und Unsicherheiten											
Messgrößen				Unsicherheitsquellen				Standardunsicherheit für jede Quelle			
Symbol	Wert	Einheit		Symbol	Quelle der Unsicherheit	Wert +/-	Einheit	Wahrscheinlichkeitsverteilung	Divisor	Standardunsicherheit	Einheit
D <sub>0</sub>	8,00	mm		u(D <sub>0</sub> )	Meßschieber	0,020	mm	Typ B / Rechteck	1,73	0,012	mm
D <sub>u</sub>	6,00	mm		u(D <sub>u</sub> )	Durchlichtmikroskop	0,020	mm	Typ A / Normal	1,00	0,012	mm
l <sub>0</sub>	40,00	mm		u(l <sub>0</sub> )	Strichrasteraufbringung	0,100	mm	Typ B / Rechteck	1,73	0,058	mm
l <sub>u</sub>	54,40	mm		u(l <sub>u</sub> )	Strichrasterauswertung	0,200	mm	Typ B / Rechteck	1,73	0,115	mm
F <sub>m</sub>	25485	N		u(F <sub>m</sub> )	Kalibrierung, Klasse 1	1	%	Typ B / Rechteck	1,73	147	N
F <sub>Re</sub>	16710	N		u(F <sub>Re</sub> )	Kalibrierung, Klasse 1	1	%	Typ B / Rechteck	1,73	96	N

Berechnung der kombinierten Unsicherheit											
Ergebnisangabe - Erweiterungsfaktor k=1 (Wahrscheinlichkeit ca. 68%)											
absolute kombinierte Unsicherheit						relative kombinierte Unsicherheit					
S <sub>0</sub>	50,265	mm <sup>2</sup> ±	0,145	mm <sup>2</sup>	S <sub>0</sub>	50,265	mm <sup>2</sup> ±	0,3	%		
S <sub>u</sub>	28,274	mm <sup>2</sup> ±	0,109	mm <sup>2</sup>	S <sub>u</sub>	28,274	mm <sup>2</sup> ±	0,4	%		
R <sub>e</sub>	332	MPa ±	2,1	MPa	R <sub>e</sub>	332,4	MPa ±	0,6	%		
R <sub>m</sub>	507	MPa ±	3,3	MPa	R <sub>m</sub>	507,0	MPa ±	0,6	%		
Z	0,44	±	0,0027		Z	0,44	±	0,6	%		
A	0,36	±	0,0035		A	0,36	±	1,0	%		

Ermittlung der erweiterten Unsicherheit											
Ergebnisangabe - Erweiterungsfaktor k=2 (Wahrscheinlichkeit ca. 95%)											
absolute erweiterte Unsicherheit						relative erweiterte Unsicherheit					
S <sub>0</sub>	50,265	mm <sup>2</sup> ±	0,290	mm <sup>2</sup>	S <sub>0</sub>	50,265	mm <sup>2</sup> ±	0,6	%		
S <sub>u</sub>	28,274	mm <sup>2</sup> ±	0,218	mm <sup>2</sup>	S <sub>u</sub>	28,274	mm <sup>2</sup> ±	0,8	%		
R <sub>e</sub>	332	MPa ±	4,3	MPa	R <sub>e</sub>	332,4	MPa ±	1,3	%		
R <sub>m</sub>	507	MPa ±	6,5	MPa	R <sub>m</sub>	507,0	MPa ±	1,3	%		
Z	0,44	±	0,0054		Z	0,44	±	1,2	%		
A	0,36	±	0,0070		A	0,36	±	1,9	%		

## Normenforderungen

l<sub>0</sub>: < 1,0 %

l<sub>u</sub>: < 0,25 mm

F: < 1 %

S<sub>0</sub>: < 0,5 %

S<sub>u</sub>: < 2,0 %

## ➤ Diskussion der Ergebnisse

Das Ergebnis des aufgezeigten analytischen Verfahrens ist eine Modellunsicherheit  $U_M$ .

- berücksichtigt die numerischen Eingangsgrößen (Formeln).
- + vom Werkstoff unabhängige Betrachtungsweise

		Laborspezifische Bedingungen
$R_{eL}$	332 MPa	1,3 %
$R_m$	507 MPa	1,3 %
A	0,36	1,9 %

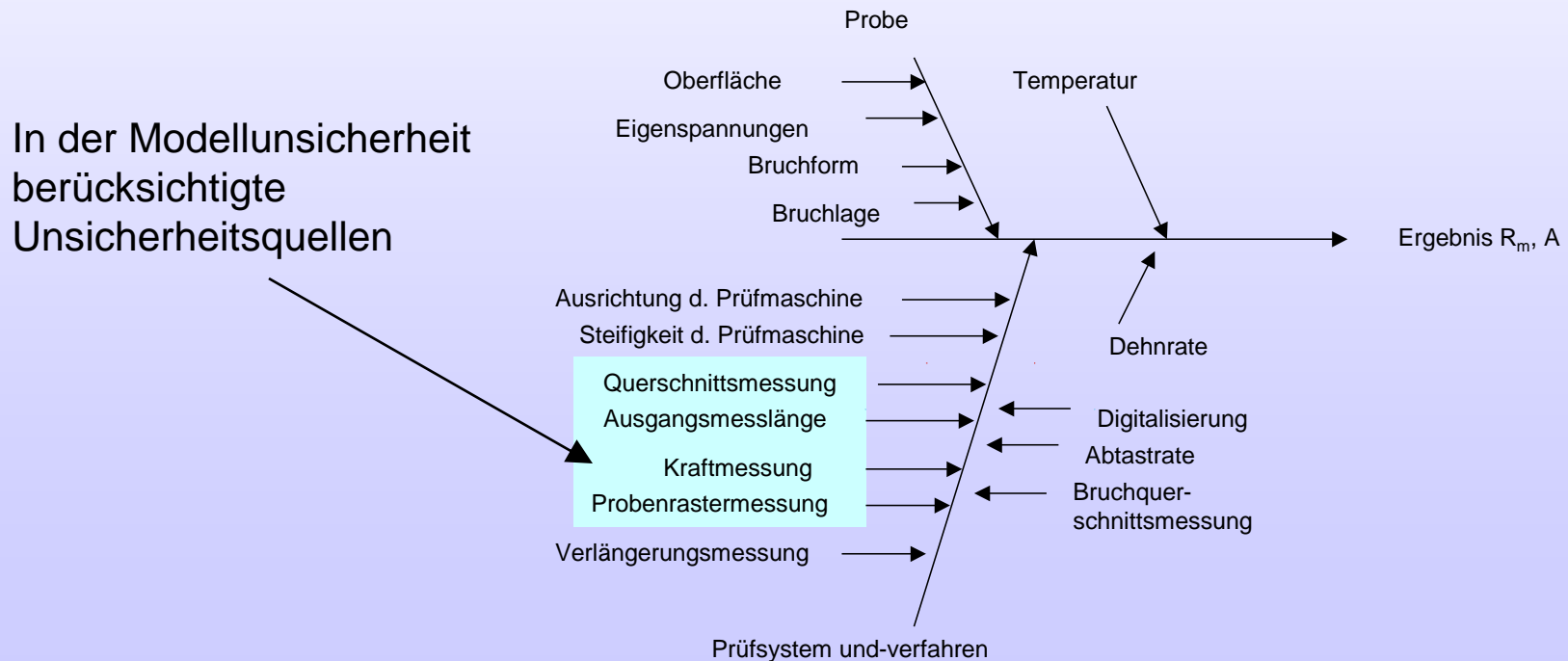
Nicht berücksichtigt sind alle nicht direkt in die Rechnung (Formeln) eingehenden weiteren Einflussgrößen = Unsicherheitsquellen mit systematischem und/oder zufälligem Charakter:

- Prüfmaschine und Einspannungen
- Realisierung der Versuchsparameter
- Probe und Probenfertigung
- Messtechnik
- Prüfer
- ...

## ➤ Teil 2: Abschätzung einer Unsicherheit des Prüfverfahrens

- Auf der Basis der analytisch ermittelten Modellunsicherheit  $U_M$  (aus Teil 1)
- Nutzung der Ergebnisse einer Eignungsprüfung

Ziel: Erfassung und Berücksichtigung weiterer Unsicherheitsquellen, die nicht in der Modellunsicherheit erfasst wurden, d.h. solcher Quellen, die nicht direkt in die Rechnung (Formeln) eingehen



## ➤ Möglichkeiten der Bewertung des Gesamtverfahrens

- Vergleich des zu bewertenden Verfahrens mit Referenzverfahren an geeigneten Messobjekten
- Anwendung des Verfahrens auf Referenzobjekte, wie z.B. Normale oder Referenzmaterialien

Im Bereich der mechanisch-technologischen Prüfverfahren:

- |                        |   |
|------------------------|---|
| Kerbschlagbiegeversuch | → Referenzproben                              |
| Härtemessung           | → Härtevergleichsplatten                      |
| Zugversuch             | → Eignungsprüfungen neu: zertifizierte Proben |

Hier: Auswertung einer Eignungsprüfung

Dabei sollten das Werkstoffverhalten und die Kennwerte vergleichbar sein.

## ➤ Auswertung der Ergebnisse einer Eignungsprüfung

Auswertung der Ergebnisse der Eignungsprüfung

- die Daten des eigenen Labors zur Eignungsprüfung
- die in der Eignungsprüfung ermittelten Referenzwerte ( ≠ wahre Werte)
- und deren Unsicherheiten

	Labor	Eignungsprüfung
$R_m$	x 694,7 MPa	693,4 MPa
	s 4,63 MPa	13 MPa
A	x 0,232	0,223
	s 0,008	0,015
Anzahl n	6	25

Die Berücksichtigung erfolgt hierbei auf der Seite der Messunsicherheit.

$$\text{Verfahrens-} \\ \text{unsicherheit} = \text{Modell-} \\ \text{unsicherheit} +$$

$$u_V(y) = u_M$$

Streuung der  
Messwerte des Lab +

$$u_{\text{Lab}} = t \cdot \frac{s_{\text{Lab}}}{\sqrt{n_{\text{Lab}}}}$$

Messunsicherheit  
der EP

$$u_{\text{EP}} = \frac{1,25 \cdot s_{\text{EP}}}{\sqrt{n_{\text{EP}}}}$$

$$U_{\text{Ges}} = k \cdot u_V(v) = k \cdot \sqrt{u_M^2 + u_{\text{Lab}}^2 + u_{\text{EP}}^2}$$

nach CWA 15261-2:2005

Measurement uncertainties in mechanical tests on metallic materials, part 2 tensile test

$R_m$ :	$u_M=0,65 \%$	$u_x=0,3 \%$	$u_{\text{EP}}=0,47 \%$
A:	$u_M=0,96 \%$	$u_x=1,46 \%$	$u_{\text{EP}}=1,68 \%$



➤ Erweiterung der Modellunsicherheit mit den berechneten Werten aus der Eignungsprüfung

Zusammenfassen der Modellsunsicherheit  $U_M$  mit den Werten aus der EP

$$U_{Ges} = k \cdot u_v(v) = k \cdot \sqrt{u_M^2 + u_x^2 + u_{EP}^2}$$

Messgröße $x_{mess}$		Modellunsicherheit $U_M$ Laborspezifische Bedingungen	Unsicherheit des Verfahrens auf der Basis der EP $U_v(y)$
$R_{eL}$	332 MPa	1,3 %	1,9 %
$R_m$	507 MPa	1,3 %	1,7 %
A	0,36	1,9 %	4,9 %
Modellunsicherheit beinhaltet die direkt eingehenden Unsicherheitsquellen.			
Die Gesamtunsicherheit des Prüfverfahrens berücksichtigt darüber hinaus weitere Unsicherheitsquellen.			

## Zusammenfassung

**Vorstellung einer analytisch-rechnerischen Vorgehensweise** aufgrund fehlender, statistisch auswertbarer Daten

- Berechnung einer Modellunsicherheit, die die messtechnischen Aspekte berücksichtigt.

**Auswertung der Ergebnisse einer Eignungsprüfung**

- Aufgrund der Vergleichsbedingungen sind eine Vielzahl von Unsicherheitsquellen, die in der analytischen Vorgehensweise nicht berücksichtigt werden, eingeschlossen.

**Gesamtergebnis: Eine Messunsicherheit des Prüfverfahrens**, welche

- auf der Basis der Prüfbedingungen im Labor und
- der Teilnahme (und den Ergebnissen) an einer Eignungsprüfung abgeschätzt wird.



Danke für die Aufmerksamkeit