

# **Wie berücksichtigt man den Einfluss des Zählers bei der Angabe der Messunsicherheit eines Prüfstandes?**

*Gudrun Wendt, PTB Braunschweig*

## **Aktuelle Diskussionen zum Thema im Rahmen der WGFF**

*18. – 19. Juni 2012, Colorado Springs*

- **Was ist die WGFF ?**
- **Was hat sie konkret mit Messunsicherheiten von Prüfständen zu tun?**
- **Aktueller Stand der Diskussionen („DUT uncertainty“)**

**1875 Meter Konvention** (*Meter Convention, Convention de Mètre, Metervertrag*)

- Ziel: „... die internationale Einigung und die Vervollkommnung des metrischen Systems zu sichern.“
- Gründung des Internationalen Büros für Maß und Gewicht BIPM (*Bureau international des poids et mesures*)

„... agiert in Sachen der weltweiten Metrologie, insbesondere hinsichtlich

- der Forderung nach Messeinrichtungen mit immer höheren Genauigkeiten, größeren Messbereichen und breiterer Vielfalt und
- der Notwendigkeit, die Einheitlichkeit der nationalen Normale nachzuweisen.“

führt u.a. die „BIPM key comparison database“ (KCDB) mit

- Calibration and measurement capabilities (CMCs) und
- List of key comparisons

organisiert seine Arbeit in zahlreichen Consultative und Joint Committees

➡ CCM: Konsultativkomitee für Masse und abgeleitete Einheiten

➡ **WGFF - Working Group on Fluid Flow**

Vertikal-  
Struktur

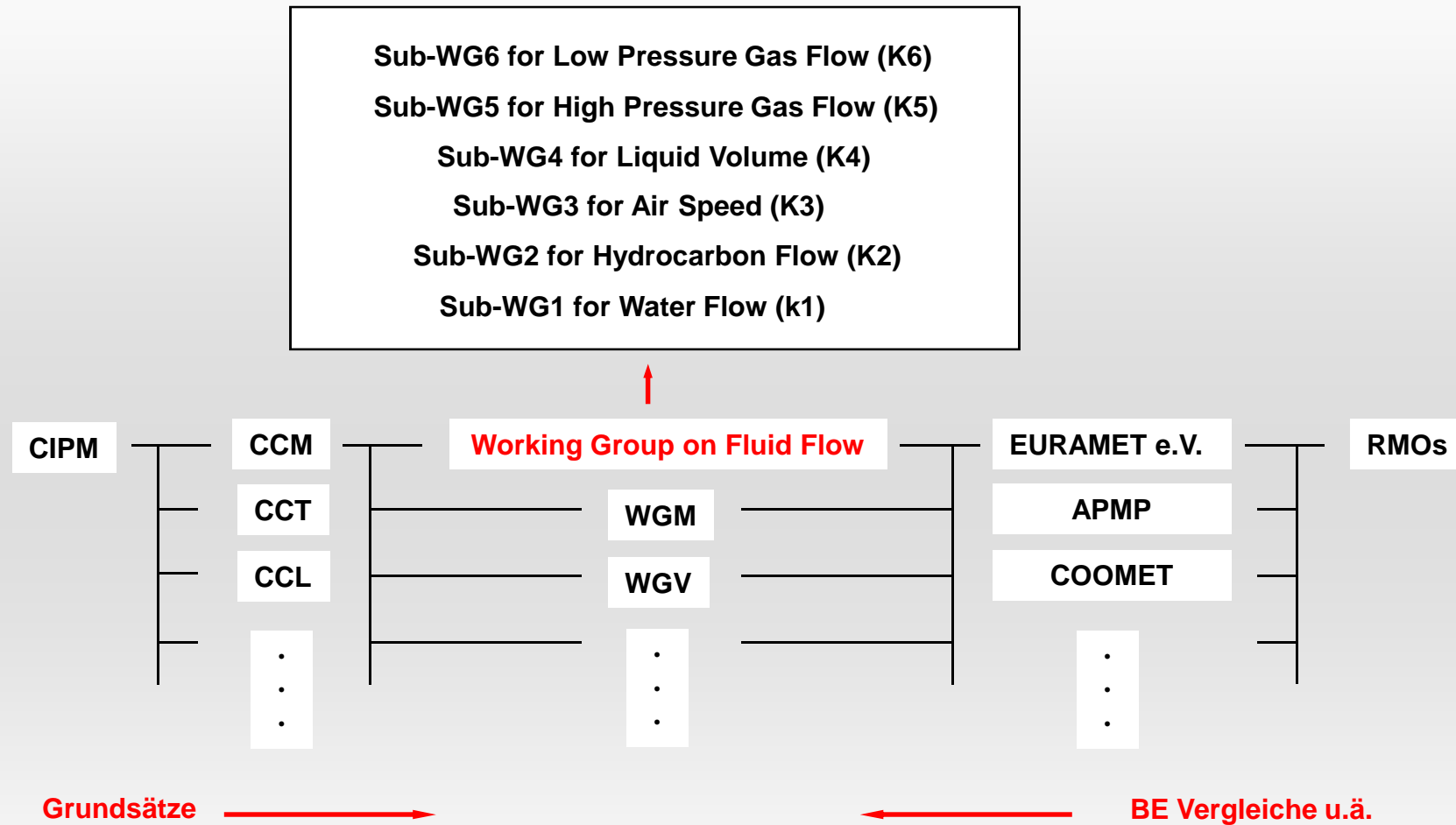
**Horizontal- Struktur**

*RMO: Regional metrology organizations*

- *Asia Pacific Metrology Programme (APMP - 24)*
- *Euro-Asian Cooperation of National Metrological Institutions (COOMET - 12)*
- *European Association of National Metrology Institutes (EURAMET e.V. - 33)*
- *Inter-American Metrology System (SIM - 34)*
- *Intra-Africa Metrology System (AFRIMETS - 14)*

 **WGFF - Working Group on Fluid Flow**

- Weitere Informationen unter [www.bipm.org](http://www.bipm.org)



WGFF-Sitzungen jährlich in Verbindung mit FLOMEKO oder ISFFM



Vorsitz: NIST/USA  
Dr. John Wright

Ständiger  
Vertreter: PTB/D  
Dr. Bodo Mickan

8. Sitzung: 18./19. Juni 2012, ISFFM in Colorado Springs/USA, 28 Teilnehmer

EURAMET: Portugal, Deutschland, UK, NL, Tschechien, Frankreich, Polen, Schweden, Italien, Türkei

APMP: Taiwan, China, Korea, Japan

SIM: Mexiko, USA

AFRIMETS: Kenia

COOMET: (Ukraine)

## Womit beschäftigt sich die WGFF ?

<b>Sicherstellung der</b>	<b>(vertikal)</b>	<b>Rückführbarkeit (auf nationale Normale)</b>
	<b>(horizontal)</b>	<b>Einheitlichkeit (durch Schlüsselvergleiche)</b>

### **Konkrete Aufgaben:**

- Vorbereitung, Durchführung und Auswertung der Schlüsselvergleiche
- Pflege, Überprüfung und Revision der **CMC-Einträge**
- Erarbeitung und Diskussion aller Grundsatzfragen hierzu, insbesondere unter dem Gesichtspunkt eines einheitlichen Herangehens und einer einheitlichen Bewertung
- Regelmäßige Berichterstattungen durch die RMOs und Abstimmungen aller Art zwischen ihnen

**Einheitliche Grundsätze für die Angabe der Messunsicherheit**

Liquid flowrate volume. Any flow measurement instrument or flow device,  
**20 m<sup>3</sup>/h to 180 m<sup>3</sup>/h**

Relative expanded uncertainty ( $k = 2$ , level of confidence 95%) in %: **0.2**

Pulsed, electrical, digital and optical outputs, various methods

**Liquid: water**

Temperature:

Pipe size: DN

Approved on

Internal NM

Flowrate volume (low pressure gas). Gasmeters, **200 m<sup>3</sup>/h to 24000 m<sup>3</sup>/h**

Relative expanded uncertainty ( $k = 2$ , level of confidence 95%) in %: **0.12**

Turbine meters, rotary piston meters

**Gas: air**

Temperature: ambient

Pressure:

Pipe size:

Approved

Internal

Mass. Flowmeters, **30 kg to 30000 kg**

Relative expanded uncertainty ( $k = 2$ , level of confidence 95%) in %: **0.02**

e.g. Coriolis-type flowmeters

**Liquid: water**

Temperature: ambient

Maximum pressure: 6 bar

Pipe size: DN 20 - 400

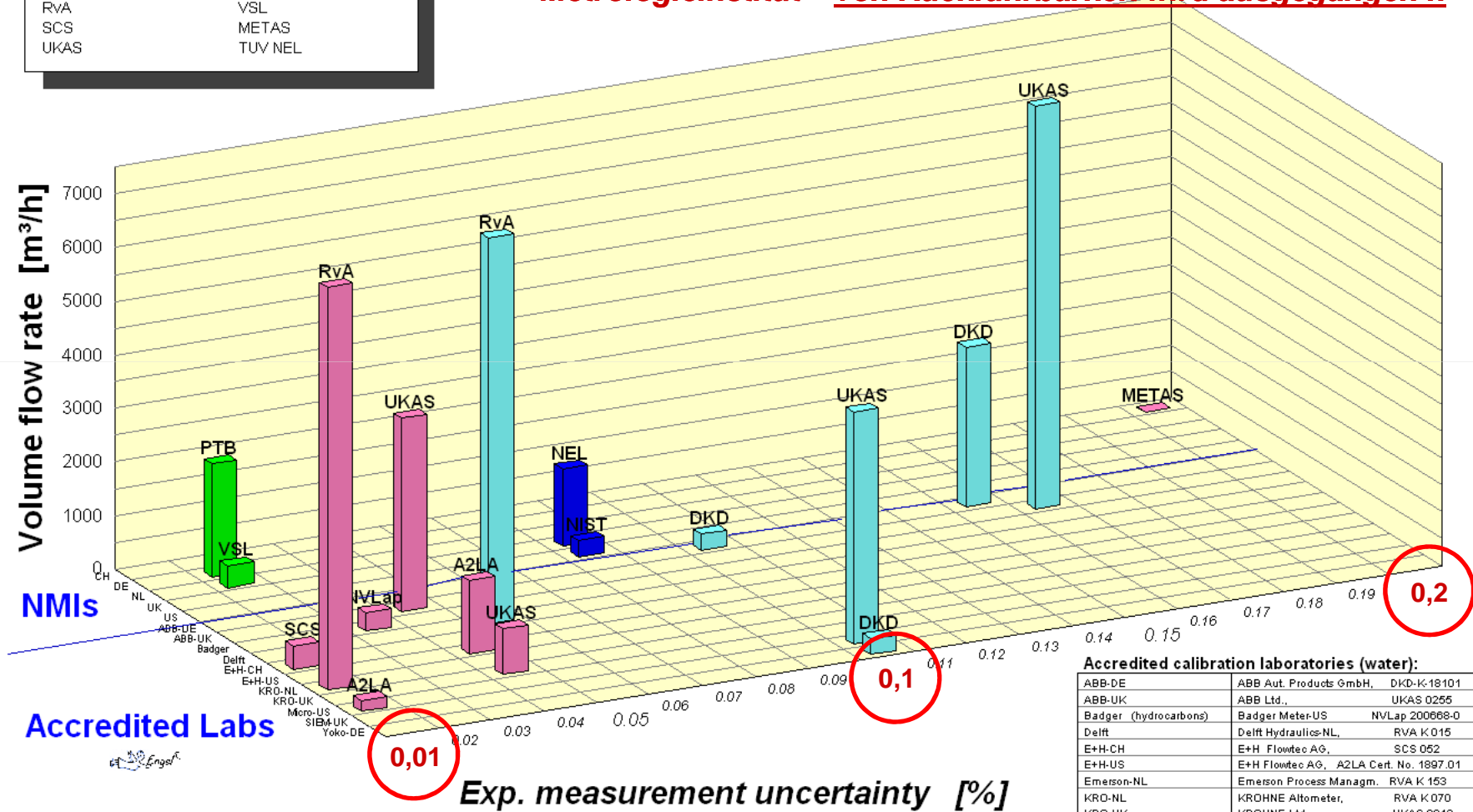
Approved on 03 January 2007

Internal NMI service identifier: **DE24**



Accreditation bodies	Traceability to
A2LA	NIST
DAkkS (DKD)	PTB
NVLap	NIST
RvA	VSL
SCS	METAS
UKAS	TUV NEL

**Zahlreiche Labs (rot) sind mit deutlich kleineren Messunsicherheiten akkreditiert als das nationale Metrologieinstitut – von Rückführbarkeit wird ausgegangen !!**



Accredited calibration laboratories (water):

ABB-DE	ABB Aut. Products GmbH,	DKD-K18101
ABB-UK	ABB Ltd.,	UKAS 0255
Badger (hydrocarbons)	Badger Meter-US	NVLap 200668-0
Delft	Delft Hydraulics-NL,	RVA K 015
E+H-CH	E+H Flowtec AG,	SCS 052
E+H-US	E+H Flowtec AG,	A2LA Cert. No. 1897.01
Emerson-NL	Emerson Process Managm.	RVA K 153
KRO-NL	KROHNE Altometer,	RVA K 070
KRO-UK	KROHNE Ltd.,	UKAS 0812
Micro-US	Micro Motion Inc.,	A2LA Cert. No. 2033.01
SIEM-UK	Siemens Flow Instrum. Ltd,	UKAS 0301
Yoko-DE	Rota Yokogawa GmbH,	DKD-K03901



Angaben in den  
Akkreditierungsurkunden



CMC-Einträge der nationalen  
Metrologieinstitute

**Unrealistisch kleine  
Messunsicherheiten der akkr.  
Labs (meist Hersteller);  
kein Nachweis durch  
internationale Vergleiche**



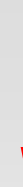
**Selbst die „moderateren“  
Unsicherheitsangaben  
der NMIs können bei  
Vergleichen kaum bzw. nicht  
nachgewiesen werden**

**ILAC**



**Widersprüche haben „politischen“  
Charakter angenommen**

**BIPM**



- Wettbewerbsverzerrungen
- Vor-Ort-Unsicherheiten meist  
weit höher als vorausgesetzt  
bzw. gefordert  
(„Faktor 5-Abschätzung“ durch  
EURAMET WG Flow)

- Bisherige Ergebnisse der  
Schlüsselvergleiche erfordern  
Erhöhung der Unsicherheiten  
der CMC-Einträge
- **Diskrepanz zu akkr. Labs wird  
noch größer**

- **Gründung einer „Joint BIPM/ILAC Working Group“ („Nashville meeting“ 2006)**
- **Feststellung der „complementary roles“ von CIPM MRA und ILAC MRA**

### **1. Einigung auf eine einheitliche Definition für CMCs:**

#### **Calibration and Measurement Capabilities in the context of CIPM MRA and ILAC MRA**

(CIPM MRA-D-04 Version 2, October 2010 und  
ILAC Policy for Uncertainty in Calibration, ILAC-P14:12/2010)

**„A CMC is a calibration and measurement capability *available to costumers under normal conditions*:**

- (a) **as published in the BIPM key comparison database (KCDB) of the CIPM MRA;**  
or
- (b) **as described in the laboratory's scope of accreditation granted by a signatory to the ILAC Arrangement.“**

**Unterschiedliche Strukturen (Philosophien) beider Organisationen erfordern inhaltliche Präzisierungen, um Gleichwertigkeit beider Ansätze zu erreichen**

**2. Einheitliche Interpretation der Messunsicherheit gemäß Definition, d.h. des Begriffs „available to costumers under normal conditions“:**

**- Messunsicherheitsbeitrag durch Prüfling ist zu berücksichtigen (DUT uncertainty)**

**- Für CMC-Eintrag bedeutet das (Nr. 5.4 in ILAC-P14:12/2010):**

*„Laboratories shall take notice of the performance of the „best existing device“ which is available for a specific category of calibrations“*

*„A reasonable amount of contribution to uncertainty from repeatability shall be included and contributions due to reproducibility should be included in the CMC uncertainty component, when available.“*

*„The term „best existing device“ is understood as a device to be calibrated that is commercially or otherwise available for costumers, even if it has a special performance (stability) or has a long history of calibration.“*

**- Vorhalten von „goldenen Referenznormalen“**

**- Gasmessung: Satz kritischer Düsen**

2. *Einheitliche Interpretation der Messunsicherheit gemäß Definition, d.h. des Begriffs „available to costumers under normal conditions“:*

- *Messunsicherheit des Prüflings ist zu berücksichtigen (DUT uncertainty)*

- **Für Kalibrierzertifikat gilt** (Nr. 6.4 in ILAC-P14:12/2010):

*„Contributions to the uncertainty stated on the calibration certificate shall include relevant short-term contributions during calibration and contributions that can reasonable be attributed to the costumer’s device.“*

- *wenn möglich gleiche Prozeduren wie für Bestimmung der CMC-Unsicherheit anwenden*

*oder*

- *entsprechende Messunsicherheitsbeiträge des „best existing device“ durch die des Prüflings selbst ersetzen*

- **Schlussfolgerung** (Nr. 6.5 in ILAC-P14:12/2010):

*„As the definition of CMC implies, accredited calibration laborotaries shall not report a smaller uncertainty of measurement than the uncertainty of the CMC for which the laboratory is accredited.“*

- **Ergänzendes Statement** (Note N3 in ILAC-P14:12/2010):

*„The ability of some NMIs to offer „special“ calibrations, with exceptionally low uncertainties which are not „under normal conditions“, and which are usually offered to a small sub-set of the NMI’s costumers for research or for reasons of national policy, is acknowledged. These calibrations are, however, not within the CIPM MRA ... They should not be offered to costumers who then use them to provide commercial, routinely available service. ...“*

*Unterschiedliche Strukturen (Philosophien) von ILAC und BIPM/CIPM existieren nach wie vor.*

*Bemühungen um eine Annäherung sind spürbar, insbesondere bezüglich einheitlicher Definitionen der grundlegenden Sachverhalte.*

*Als zentrale Frage bleibt offen:  
Inwieweit sind diese Ansätze für abgeleitete, dynamische Messgrößen anwendbar?*

*Typisch für „Flow-Messungen“*

*„Elementweise Rückführung“:  
Welche Einflussgrößen? Welche Korrelationen?  
Rolle von Schlüsselvergleichen?*

*Messungen sind nicht wiederholbar.  
Mess- und Einflussgrößen sind in der Zeit (ggf. auch räumlich) variabel. Anwendungsbedingungen?*

**Erarbeitung und Diskussion der**

**WGFF Guidelines for CMC Uncertainty and Calibration Report Uncertainty**  
(Aktuelle Version vom Juni 2012 – WGFF-Sitzung Colorado Springs)

**Abgestimmte Empfehlungen**

**CMC uncertainty for the best existing device under test (BED)**

$$U_{\text{CMC}} = 2u_{\text{CMC}} = 2\sqrt{u_{\text{base}}^2 + u_{\text{repeat,BED}}^2}$$

- **Messunsicherheitsbestimmung gemäß GUM**
- **$U_{\text{CMC}}$  repräsentiert eine Wahrscheinlichkeit von 95 % für eine Einzelmessung mit dem Normal, das routinemäßig für den Kunden zur Verfügung steht**

**Uncertainty of the mean performance indicator for a customer's device (DUT)**

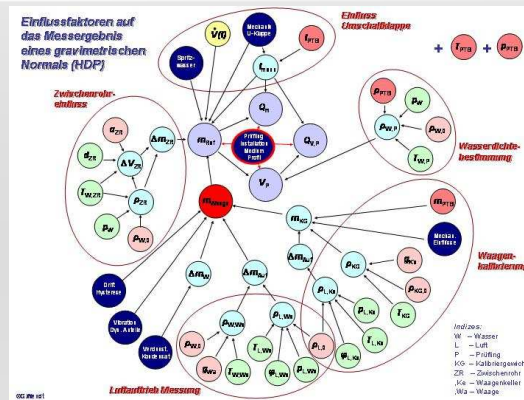
$$U_{\text{PI}} = 2u_{\text{PI}} = 2\sqrt{u_{\text{CMC}}^2 + u_{\text{AI}}^2 + u_{\text{prop}}^2 + u_{\text{reprd,DUT}}^2}$$

Performance indicator PI:  
Messabweichung, K-Faktor,  
Durchflussbeiwert, ...

$$U_{\text{CMC}} = 2u_{\text{CMC}} = 2\sqrt{u_{\text{base}}^2 + u_{\text{repeat,BED}}^2}$$

## Base uncertainty – Basisunsicherheit $u_{\text{base}}$ der CMC (gemäß GUM)

Berücksichtigung aller Messunsicherheitsbeiträge durch Eingangsmessgrößen und Einflussfaktoren



## Repeatability – Wiederholpräzision $u_{\text{repeat,BED}}$

Fähigkeit des Prüfstandes, über einen kurzen Zeitraum gleiche Ergebnisse zu produzieren

Setzt Verwendung eines DUT mit einer guten Wiederholpräzision voraus

Ist stets eine Kombination der Wiederholpräzisionen von DUT und Prüfstand \*)

Sie soll die Wiederholbarkeit quantifizieren - es wird **nicht** die Standardabweichung des Mittelwertes

~~$\sigma / \sqrt{n}$~~  verwendet



***Möglichkeiten der Trennung der Wiederholpräzision von Prüfstand und Prüfling***

- *Reihenschaltung von zwei Messgeräten*
- *Anwendung von Korrelationsmethoden oder einer Youden-Analyse für die jeweiligen Messwerte sind erlaubt*
- *Nur der Anteil der Wiederholpräzision, der für den Prüfstand ermittelt wurde, wird anstelle von  $u_{\text{repeat,BED}}$  für die  $u_{\text{CMC}}$ -Berechnung verwendet*
- *In diesem Fall ist in der Spalte „Bemerkungen“ des CMC-Eintrags zu vermerken:*

*„Contributions to the uncertainty from the device are not included“*

## Möglichkeiten der Trennung der Wiederholpräzision von Prüfstand und Prüfling

- Reihenschaltung von zwei Messgeräten
  - Aufnahme von Messreihen bei konstantem Durchfluss
  - Ermittlung der jeweiligen Messabweichungen für jedes Messgerät  $d_{1;i}$  und  $d_{2;i}$
- 
- Es werden die Summen und Differenzen aus den Messabweichungen für jede Messung

$$d_{+;i} = d_{1;i} + d_{2;i} \qquad d_{-;i} = d_{1;i} - d_{2;i}$$

sowie die zugehörigen Standardabweichungen

$$s_+ = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (d_{+;i} - \bar{d}_+)^2} \qquad s_- = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (d_{-;i} - \bar{d}_-)^2}$$

gebildet

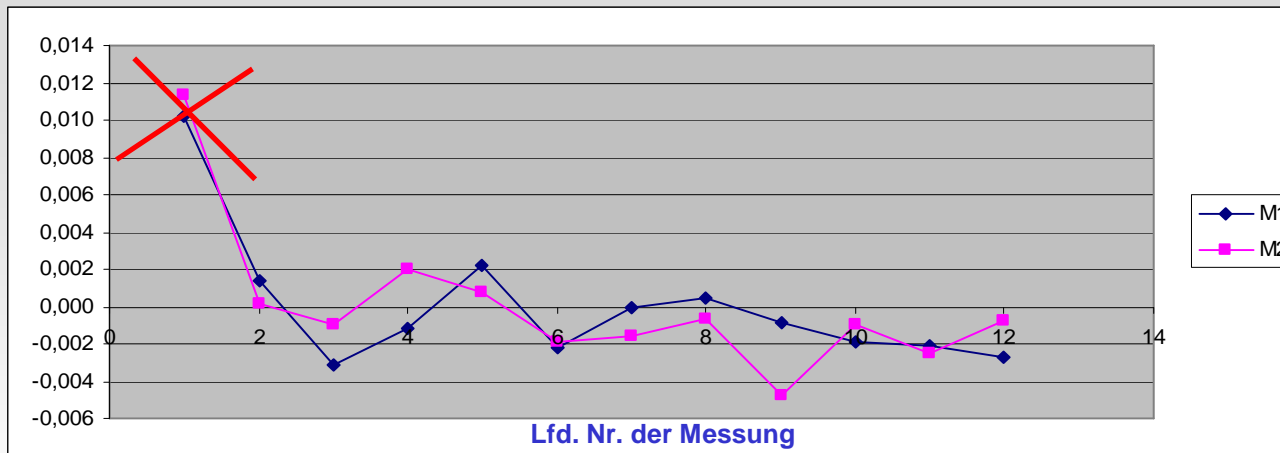
- Nach Prüfung, dass die Varianz  $s_+^2$  signifikant größer ist als die Varianz von  $s_-^2$  (Fisher-Test) ergibt sich für die Wiederholpräzision des Prüfstandes

$$s_{CMC} = \frac{1}{2} \sqrt{s_+^2 - s_-^2}$$

60 m <sup>3</sup> /h	M1	M2	"+"	"-"	Prüfstand
n	%	%	%	%	
1	0,1520	-0,3126	-0,1605	0,4646	
2	0,1432	-0,3238	-0,1806	0,4670	
3	0,1387	-0,3249	-0,1862	0,4636	
4	0,1407	-0,3220	-0,1813	0,4627	
5	0,1441	-0,3232	-0,1791	0,4673	
6	0,1396	-0,3259	-0,1863	0,4655	
7	0,1418	-0,3256	-0,1837	0,4674	
8	0,1423	-0,3246	-0,1823	0,4669	
9	0,1410	-0,3287	-0,1877	0,4697	
10	0,1400	-0,3250	-0,1850	0,4650	
11	0,1397	-0,3265	-0,1868	0,4662	
12	0,1391	-0,3247	-0,1856	0,4638	

Rel.St.abw. %	0,0036	0,0040	0,0073	0,0020	0,0035
---------------	--------	--------	--------	--------	--------

Abweichung vom jeweiligen Mittelwert in %



Rel.St.abw. %	0,0017	0,0018	0,0028	0,0021	0,0010
---------------	--------	--------	--------	--------	--------

### **Langzeitstabilität/Reproduzierbarkeit**

- Das Messunsicherheitsbudget für einen CMC-Eintrag muss einen Unsicherheitsbeitrag durch Drift enthalten
- Zu ermitteln durch entsprechende Trendanalysen (häufige Quervergleiche zwischen Prüfständen, Rekalibrierungskampagnen, Lab-zu-Lab-Vergleiche)
- Wenn ausreichend Messergebnisse vorliegen, ist ein Modell zur Berücksichtigung der Drift in der CMC-Unsicherheit zu erstellen (bis dahin sollten Erfahrungswerte verwendet werden)
- Das Modell ist durch Vergleichsmessungen (proficiency tests) zu validieren
- Fehlen der Nachweis der Langzeitstabilität und/oder Vergleichsmessungen zur Absicherung eines CMC-Eintrags,

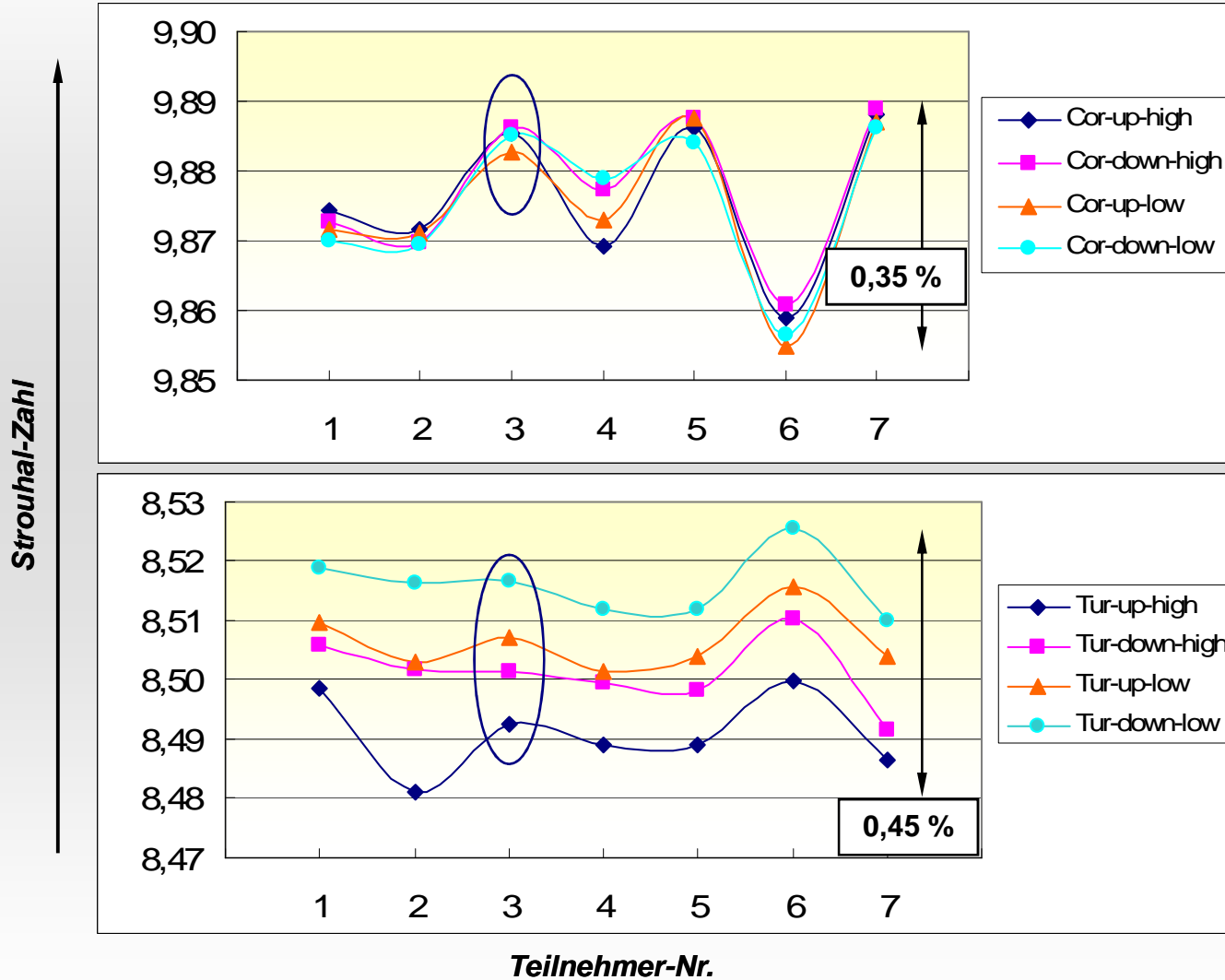
*sind der CMC-Eintrag bzw. die Akkreditierung zurückzuziehen*

### **Ergebnisse von Vergleichsmessungen**

- Erlangt ein Lab (NMI) ein negatives Vergleichsergebnis (Äquivalenzgrad  $|E_n| > 1$ ),

*sind Diagnostiktests durchzuführen,  
die Messunsicherheitsanalyse ist zu wiederholen,  
der CMC-Eintrag ist zu ändern*

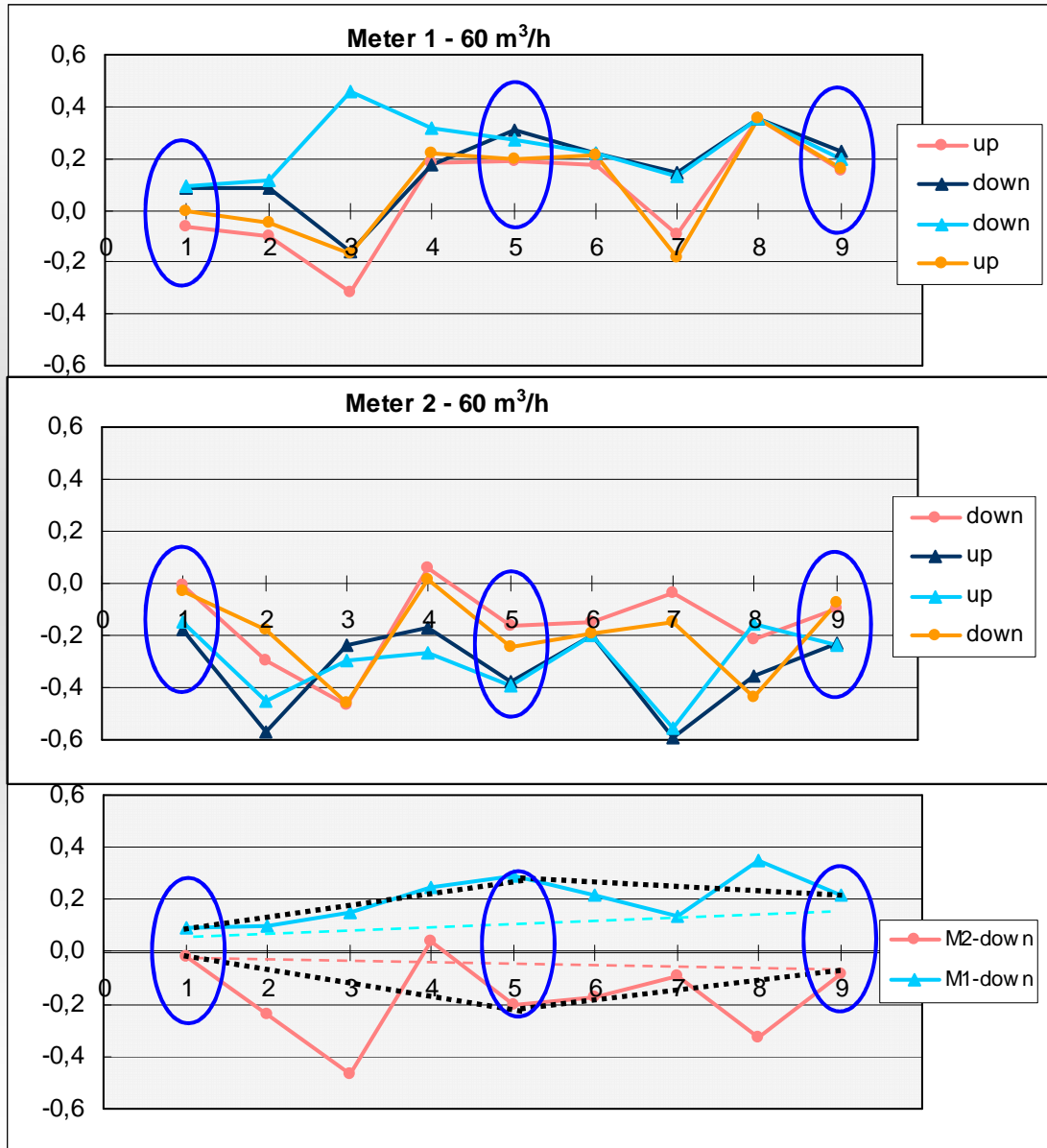
## CCM.FF-K1 Water Flow Sept. 2003 – Nov. 2004: Originalergebnisse



**Coriolis-Zähler**  
 bei zwei  
 Durchflüssen  
 und an zwei  
 Positionen

- Korea – KRISS – 0,15 %
- Schweden – SP – 0,08 %
- Deutschl. – PTB – 0,02 %
- Mexiko – CENAM – 0,12 %
- Japan – NMIJ – 0,10 %
- GB – NEL – 0,20 %
- Rückmessung

**Turbinen-Zähler**  
 bei zwei  
 Durchflüssen  
 und an zwei  
 Positionen



## COOMET.M.FF-S2 Water Flow 2009-2012 Originalergebnisse

**2 Turbinenzähler DN 80**

**20, 30, 40, 60, 80 und 100 m<sup>3</sup>/h  
an zwei Positionen**

- Anfangsmessung PTB – 0,02 %
- NMI 2 – 0,03 %
- NMI 3 – 0,3 %
- NMI 4 – 0,08 %
- Zwischenmessung PTB
- NMI 5 – 0,08 %
- NMI 6 – 0,08 %
- NMI 7 – 0,04 %
- Abschlussmessung PTB

$$U_{PI} = 2u_{PI} = 2\sqrt{u_{CMC}^2 + u_{AI}^2 + u_{prop}^2 + u_{reprd,DUT}^2}$$

**Enthält zusätzliche Komponenten über die CMC-Messunsicherheit hinaus für**

- Instrumentierung in Verbindung mit dem Prüfling (associated instrumentation: index „AI“)
- Medieneigenschaften (properties: Index „prop“)
- Wiederholbarkeit bzw. Kurzzeit-Reproduzierbarkeit des Kundenprüflings (Index: „reprd,DUT“)

**Beispiele für  $u_{AI}$  und  $u_{prop}$  für den Durchflussbeiwert einer kritischen Düse**

$$u_{AI} = \sqrt{u_p^2 + \frac{1}{4}u_T^2}$$

$$u_{prop} = \sqrt{u_{C^*}^2 + \frac{1}{4}u_M^2}$$

$P$  - Druck

$T$  - Temperatur

$C^*$  - kritischer Durchflussbeiwert

$M$  - Molare Masse

**Wiederholbarkeit bzw. Kurzzeit-Reproduzierbarkeit des Prüflings  $u_{reprd,DUT}$**

- Typ A Unsicherheitsbeitrag für den PI des Prüflings ist zu berücksichtigen
- Basis: Mehrfachmessungen an unterschiedlichen Prüfpunkten, unterschiedlichen Messorten und in unterschiedlichen Reihenfolgen (Erkennen einer möglichen Hysterese)



$$U_{PI} = 2u_{PI} = 2\sqrt{u_{CMC}^2 + u_{AI}^2 + u_{prop}^2 + u_{reprd,DUT}^2}$$

**Quantifizierung der Wiederholungsmessungen**

- Standardabweichung des Mittelwertes der Messreihen an jedem Prüfpunkt  $\sigma / \sqrt{n}$
- Welch-Satterthwaite-Methode angewendet für die Messreihen an jedem Prüfpunkt (eine Anpassung des Student-Tests für Stichproben mit unterschiedlichen Varianzen)
- Gewichtete Standardabweichung der Messreihen an jedem Prüfpunkt auf der Basis des  $t$ -Wertes der Student-Verteilung für die konkrete Anzahl der Messungen, dividiert durch 2, um eine Standardunsicherheit zu erhalten

**Grundsatzaussage (Nr. 6.5 in ILAC-P14:12/2010):**

*„..., accredited calibration laboratories shall not report a smaller uncertainty of measurement than the uncertainty of the CMC for which the laboratory is accredited.“*

- **ILAC und CIPM arbeiten an einem abgestimmten Vorgehen hinsichtlich CMC und Messunsicherheit**

*Einheitliche Definition für CMCs:*

*A CMC is a calibration and measurement capability available to costumers under normal conditions.*

*Messunsicherheit des Prüflings ist zu berücksichtigen (DUT uncertainty)*

- **WGFF hat Richtlinie zur Berücksichtigung dieser Prüflingsmessunsicherheit erarbeitet (WGFF Guideline for CMC Uncertainty and Calibration Report Uncertainty)**

*In die CMC-Messunsicherheit geht von seiten des Prüflings die Wiederholpräzision des besten existierenden Messgerätes ein*

$$U_{\text{CMC}} = 2u_{\text{CMC}} = 2\sqrt{u_{\text{base}}^2 + u_{\text{repeat,BED}}^2}$$

*Die Unsicherheit eines kalibrierten Kundengerätes enthält zusätzlich Beiträge für zugehörige Instrumentation, unterschiedliche Medieneigenschaften und die Wiederholpräzision des Prüflings*

$$U_{\text{PI}} = 2u_{\text{PI}} = 2\sqrt{u_{\text{CMC}}^2 + u_{\text{AI}}^2 + u_{\text{prop}}^2 + u_{\text{reprd,DUT}}^2}$$

- ***Nach wie vor wird den Spezifika einer abgeleiteten, dynamischen, komplexen Messgröße wie es „Flow“ ist zu wenig Aufmerksamkeit geschenkt***

*Beispiel: Eine elementweise Rückführung berücksichtigt weder die komplexen Zusammenhänge zwischen den Eingangs- und Einflussgrößen noch die Dynamik des Messprozesses selbst*

*Folge: Messunsicherheiten von Prüfständen können nur schwer oder gar nicht durch Vergleichsmessungen nachgewiesen werden, was normalerweise zu politisch und wirtschaftlich sehr brisanten Präzisierungen in den CMC-Einträgen und den akkreditierten Messunsicherheiten der Kalibrierlaboratorien führen müsste*



***Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit !***