

## Bericht zum Workshop

### Durchfluss- und Wärmemessung bei hohen Temperaturen Industrieller Bedarf und Praxis

Gemeinsamer Online-Workshop von PTB und EMATEM am 23./24.3.2021

#### 1. Zusammenfassung

Der Workshop wurde durchgeführt, um den Bedarf für ein Durchfluss- bzw. Durchflussmengennormal<sup>1</sup> für Flüssigkeiten bei Temperaturen über 90 °C zu ermitteln. Der zweitägige Online-Workshop wurde von bis zu 60 Teilnehmern aus dem einschlägigen Kreis von Industrieverbänden, Messgeräteherstellern, Eichämtern, Prüflaboratorien, Forschungsinstituten, sowie der PTB und dem RISE (Research Institute of Sveden) besucht. Durchflussmessgeräte für Fluide über 90°C sind in der Prozessindustrie, in Kraftwerken und in der Fernwärmeerzeugung häufig im Einsatz. Im Bereich der Konformitätsuntersuchungen gibt es einen klaren Bedarf für ein Durchflussmengennormal bis 160°C, bei der allgemeinen Rückführung für Durchflussmessgeräte auch für höhere Temperaturen. Um eine größere Wirkung für die Energiewende zu erzielen, ist auch die Rückführung für Salzschnmelzen als Fluide (< 290 °C) in Concentrated Solar Power Plants mittels Laser-Doppler-Velozimetrie sinnvoll.

#### 2. Ziel des Workshops

Ziel des Workshops war, den Bedarf in der Industrie und im öffentlichen Sektor für ein Durchflussnormal bei Temperaturen über 90 °C zu ermitteln. Im Detail ging es um die wirtschaftlichen Erfordernisse, Messgeräteanwendungen, Forschung, Entwicklung, Test und Herstellung, sowie die existierenden Prüfanlagen und Messtechnologien in Heißwasser- und anderen Hochtemperaturmedienkreisläufen sowie in der Prozessindustrie. Gegebenenfalls sollten auch Möglichkeiten für Kooperationen erörtert werden.

---

<sup>1</sup> Beim Durchflussmengennormal wird der Durchfluss über eine bestimmte Zeit integriert, um so die Volumenmessteile von Zählern zu prüfen oder zu kalibrieren. Wir verstehen hier und im Folgenden unter "Durchflussmessgeräte" solche Messgeräte oder die Durchfluss-/Volumenflussmessteile von Volumen- oder Wärmehählern.

### 3. Anwendungsgebiete

Folgende Anwendungsgebiete der Durchflussmessung (direkt oder das Durchflussmessteil eines Zählers) über 90 °C wurden im Workshop angesprochen:

- Fernwärme bis 160 °C bei 6 – 25 bar in DN 100 – DN 600 (durch die AGFW)
- Solarthermische Kraftwerke (Concentrated Solar Power CSP) für Wärmeträgeröle und Salzschnmelzen 290 °C bis 600 °C bei 20 bar (DLR)
- Heißwasserapplikationen im Kraftwerk z.B. bei Einspritzkühlung zur Regulierung der Dampftemperatur im Überhitzer des Kessels oder zur Kesselspeisewassermessung, 140 – 260 °C bei 100 - 200 bar (Flexim GmbH)
- Prozessindustrie und Kraftwerksbereich: Fluidtemperaturen zwischen 100 °C und 250 °C sind weit verbreitet, Fokus Genauigkeit. (Krohne GmbH)
- Brauereien bis 160 °C als Heißwasser (Krohne GmbH)
- Petrochemie: Fluidtemperaturen über 250 °C sind weit verbreitet im Bereich der Raffinerien zur Messung von Erdöl, Fokus Wiederholpräzision. (Krohne GmbH)
- industrielle Abwärmenutzung bei Temperaturen oberhalb von 130 °C in der Keramik-, Stahl- und Glasindustrie oder bei thermischen Nachverbrennungsanlagen in der Automobilindustrie, in der Bau- oder Holzverarbeitungsindustrie, bei mobilen Stromversorgungssystemen (Minol GmbH)
- Verstromung der industriellen Abwärme erfordert Heißwasser von 140 °C (Minol GmbH)

### 4. Bedarf aus Sicht des gesetzlichen Messwesens

Benannte Stellen in Europa sind mit Konformitätsuntersuchungen an Durchflussmessgeräten für Medientemperaturen zwischen 5 °C und 180 °C durch viele Hersteller beauftragt. Der exakte Temperaturbereich ist produktabhängig, liegt aber bei etwa der Hälfte der Messgeräte über 90 °C<sup>2</sup>. Die in der Fachgrundnorm zur Messung thermischer Energie EN 1434-4 standardisierten Temperaturprüfpunkte liegen, wegen der Nichtverfügbarkeit eines Durchflusssnormals für höhere Temperaturen, bei 20 °C, 50 °C und 85 °C. Für höhere Medientemperaturen werden Extrapolationsberechnungen und Messbeständigkeitsprognosen aus dem messtechnischen Verhalten an den untersuchten Temperaturprüfpunkten herangezogen.

---

<sup>2</sup> Kurze Statistik in Fußnote und gegebenenfalls im Anhang (Rose)

Das Dilemma der Konformitätsuntersuchung Benannter Stellen besteht darin, dass diese Extrapolationen messtechnisch nicht überprüft werden können. Die Hersteller selbst empfinden diese Situation als unbefriedigend. So berichtete die Fa. Belimo Automation, dass sie aus diesem Grund einen eigenen Teststand für Temperaturen bis 120 °C aufbaut (siehe Abschnitt 6. ).

Durch das Fehlen eines Durchflusssnormals für höhere Temperaturen sind die Messgeräte für ihren Feldeinsatz zu Durchflussmessungen in Hochtemperatur-Kreisläufen mit Wasser und anderen Medien unzureichend charakterisiert. Wie Frau Wagner vom Energieeffizienzverband für Wärme, Kälte und KWK e. V. (AGFW) deutlich machte, bedeutet dies ein großes Risikopotential bei der Abrechnung mit Wärmemengenzählern im Temperaturbereich 90 °C bis 160 °C. Für Kraft-Wärme-Kopplungs-Anlagen (KWK) mit einer elektrischen Leistung von mehr als 2 MW ist eine Messung der abgegebenen Nutzwärmemenge nach §14 Abs. 2 KWKG nötig. Die Wärmenetzeinspeisung aus der Erzeugung mit KWK betrug 222.000 TJ im Jahr 2019 (AGFW Hauptbericht 2019). Diese Wärmemenge entspricht ca. 4 % des gesamten deutschen Wärmeenergieumsatzes. Für eine Messung im Vorlauf sind dafür Messgeräte mit einer Zulassung bis 160 °C erforderlich.

Frau Wagner machte zudem deutlich, dass thermische Stresstests aus dem Wärmezählerprüfprogramm des AGFW (WZP VII/1) zusätzliche Messabweichungen der Messgeräte (AGFW) verursacht haben. Verschiedene Messgeräte zeigen unterschiedliche, uneinheitliche Veränderungen durch die Temperatur. Eine pauschale Extrapolation ist daher wissenschaftlich fundiert nicht möglich.

Die existierende Diskrepanz zwischen der Erwartung der Zuverlässigkeit an eine Zulassungsprüfung und dem tatsächlich geprüften Geräteverhalten ist längerfristig aus Sicht der im Workshop vertretenen Hersteller, Verwender und Prüfstellen nicht verantwortbar.

## **5. Bedarf aus Sicht der Messgerätehersteller und der Anwender in der Industrie**

In Deutschland betrug 2017 der industrielle Wärmeverbrauch bei hohen Temperaturen (Prozesswärme) 510 TWh, das waren 89 % der Gesamtwärmeverbrauchs in der Industrie. Der Industriesektor wiederum stellt 40 % des Gesamtwärmeverbrauchs in Deutschland. Dies zeigt die große Bedeutung der entsprechenden Durchflussmessgeräte bei hohen Temperaturen für die Messgerätehersteller.

Die Firma Optolution GmbH bietet als DAkkS-akkreditiertes Laboratorium Vor-Ort-Kalibrierungen von Volumenstrommessgeräten großer Nennweiten für Kunden im Bereich der Fernwärme- und Kälteversorgung sowie Wasserversorgung an. Sie benutzt für diesen Zweck die Laser-Doppler-Velozimetrie (LDV). Die Abweichungen der kalibrierten Messgeräte zeigten eine Abhängigkeit von der Temperatur. Zwischen 0 °C und 30 °C lagen 6 % der Geräte außerhalb der Fehlergrenzen des gesetzlichen Messwesens, zwischen 30 °C und 70 °C 16 % und im Temperaturbereich oberhalb von 70 °C lagen 27 % außerhalb der Fehlergrenzen, ein klarer Hinweis auf die Problematik der weiter oben (Abschnitt 4. ) erwähnten Extrapolation.

In thermischen Solarkraftwerken (CSP) werden Volumenstrommessgeräte für die Regelung des Salzschnmelzen- und Wärmeträgeröflusses benötigt, aber auch die Gesamtbilanz der Kraftwerkseffizienz wird über den Wärmestrom berechnet. Eine genaue und anhaltend stabile Messung ist gefordert, um die Anlage wirtschaftlich betreiben zu können. Auch Kalibrierungen mit Wasser über 90 °C bedeuten hier bereits einen Fortschritt bei den "performance tests" der eingesetzten Durchflussmessgeräte.

Die Firma Belimo Automation, Hersteller von Durchflussmessgeräten, hob hervor, dass nicht vorhandene Prüfmöglichkeiten bei hohen Temperaturen in unrealistisch geringen Angaben der Messunsicherheit der Messgeräte durch die Marketingabteilung resultieren. Da Kunden oftmals nur die Katalogwerte zur Auswahl heranziehen und sich nicht mit den Einflüssen durch den Anwendungsfall auseinandersetzen, ist hier mit einer Wettbewerbsverzerrung zu rechnen. Die Firma Belimo Automation sieht daher einen großen Wert eines Durchflussnormal über 90 °C in einem unabhängigen Laboratorium wie der PTB.

Frau Wagner (AGFW) betonte in diesem Zusammenhang, dass eine Erweiterung der Hersteller-Prüfstände auf hohe Temperaturen wirtschaftlich nicht bzw. schwer darstellbar ist, wenn ein staatlich anerkanntes Normal fehlt.

Sowohl im gesetzlichen wie im industriellen Messwesen ist die Materialbeständigkeit und die Messbeständigkeit der Geräte bei hohen Temperaturen ein wichtiges Thema. Darauf wiesen sowohl der AGFW als auch die Hersteller (Belimo, Flexim, KROHNE) hin. Im Bereich der Clamp-On Ultraschallmessgeräte wirkt sich die Temperatur vor allem auf das Keilmaterial aus. Beständigkeitsprüfungen sind ohne ein Durchflussnormal über 90 °C nicht möglich.

Die Hersteller decken die höheren, nicht geprüften Temperaturen über Korrekturfaktoren ab. Ein messtechnischer Nachweis der Eignung solcher Faktoren oder die Möglichkeit der Bestimmung geeigneter Korrekturfaktoren oberhalb von 90 °C ist für die Hersteller von großer Bedeutung.

## 6. Realisierungsmöglichkeiten

Die Firma Belimo Automation baut zur Entwicklung und zur Prüfung ihrer Messgeräte kleiner Nennweiten ein eigenes Messnormal bis 120 °C auf. In einem zum Patent eingereichten Ansatz wird das Wasser nur für die Strecke des zu prüfenden Messgeräts erwärmt, danach wieder abgekühlt, so dass die Rückführung gravimetrisch bei 25 °C erfolgen kann<sup>3</sup>.

Herr Mathies (KROHNE GmbH) berichtete über eine beim Wartungs- und Prüfungsdienst (WPD) Speyer realisierte Anlage, welche als Medium Weißöl WX 68 benutzt. Damit ist eine gravimetrische Rückführung für Wärmeträgeröle für Temperaturen bis 220 °C bis 2,5 m<sup>3</sup>/h und DN25 möglich. Die Messunsicherheit beträgt etwa 0,3%.

Die Möglichkeiten einer Rückführung durch LDV wurde durch Herrn Juling, PTB, vorgestellt. Sie ist von der Messmethodik her unabhängig von der Temperatur, bedarf jedoch eines den Anwendungs- und Umgebungsbedingungen entsprechenden optischen Zugangs.

In einem Diskussionsbeitrag erklärte Herr Büker, dass am RISE ein Messstand zu Forschungszwecken bis 180 °C und 40 m<sup>3</sup>/h mit Coriolis-Messgerät und Blendenmethode besteht, sowie ein volumetrischer Prüfstand, realisiert durch einen Piston Prover HT der Fa. Emerson, geplant ist.

In Herrn Roses Beitrag wurde erwähnt, dass es im Shandong Institute of Metrology, China, sowie im österreichischen BEV Durchflussprüfanlagen bis 130 °C gibt, letztere ist allerdings zurzeit nicht betriebsfähig.

## 7. Anhang

### 7.1. Teilnehmerliste

63 Teilnehmer, 42 waren registriert

Thomas	Adler	Landis+Gyr GmbH
Sebastian	Baack	PTB
Thomas	Bauer	Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt
Christian	Bombis	Kamstrup A/S
Daniel	Bott	JUMO GmbH & Co. KG
Oliver	Büker	RISE Research Institutes of Sweden AB
Martin	Dreier	Eichamt Heilbronn / Eichdirektion Stuttgart
Gerlinde	Eichhorn	PTB
Thomas	Eichler	PTB

---

<sup>3</sup> Die PTB, 7.5, hat diesen Ansatz für die geplante Anlage mit den mittleren Nennweiten geprüft. Es ist eine sehr hohe Wärme- und Kälteleistung erforderlich und damit ein sehr großer Wärmetauscher, so dass dieses Konzept nicht realistisch ist. Außerdem ist das Sicherheitskonzept von Belimo nicht schlüssig.

Ann-Kathrin	Ekat	PTB
Jesper	Eriksen	Kamstrup A/S
Daniel	Fehrenbach	EIFER – European Institute for Energy Research
Lorenz	Feucht	Belimo Automation AG
Tobias	Firle	JUMO GmbH & Co. KG
Denis	Funk	FLEXIM GmbH
Stefan	Giese	LBME NRW Eichamt Köln
Oliver	Haase	Duisburger Versorgungs- und Verkehrsgesellschaft mbH
Daniel	Hauser	Belimo Automation AG
Felix	Heitmann	PTB
Thomas	Hendel	Vattenfall GmbH
Patrick	Herrmann	Testo
Philip	Holoch	Belimo Automation AG
Karl	Jousten	PTB
Markus	Juling	PTB
Arne	Kähler	Techem Energy Services GmbH
Beat	Kissling	Endress+Hauser Flowtec AG
Wolfgang	Klassen	Sensus GmbH
Marc	Koepke	Endress+Hauser Flowtec AG
Corinna	Kroner	PTB
Markus	Kühn	PTB
Ulrich	Kunstein	Engelmann Sensor GmbH
Dick	Laan	KROHNE Group
Joshua	Leonhardt	PTB
Iryna	Marfenko	Endress+Hauser Flowtec AG
Nicolaus	Mathies	Krohne Messtechnik GmbH
Björn	Micko	Landis+Gyr GmbH
Klaus	Mückner	LBME NRW
Ulrich	Müller	Optolution Messtechnik GmbH
Matthias	Nau	JUMO GmbH & Co. KG
Tobias	Nickschick	PTB
Manuel	Niedermayer	Engelmann Sensor GmbH
Christian	Odenthal	Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt
Peter	Pasemann	Endress+Hauser GmbH+Co. KG
Bastian	Peetz	PTB
Marco	Prenzel	Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt
Stefan	Rademacher	MID-Cert Gesellschaft für Zertifizierung mbH
Judy	Ratte	PTB
Jörg	Richter	Richter Meßtechnik GmbH & Co. KG
Ingo	Röhle	Beuth Hochschule für Technik Berlin
Jürgen	Rose	PTB
Arno	Sammler	Landis+Gyr GmbH
Oliver	Schwarzhaupt	Engelmann Sensor GmbH
Humphrey	Spoor	Belimo Automation AG / Sontex SA
Martin	Straka	PTB
Dieter	Stuck	PTB

Markus	Sulzberger	Engelmann Sensor GmbH
Andreas	Tüchler	Wien Energie
Edgar	vom Schloss	Diehl Metering Hydrometer GmbH
Ulrike	Wagner	AGFW e.V.
Samuel	Weiß	PTB
Andreas	Weissenbrunner	PTB
Joachim	Wien	Minol Messtechnik W. Lehmann GmbH & Co. KG
Alfons	Witt	Witt Ingenieurbüro

## 7.2. Liste der Vorträge

### Dienstag, 23.März 2021

Zeit	Name	Vortrag, Inhalt
10:00	K. Jousten, J. Rose, M. Juling (PTB)	Einführung in den Workshop und Bedienung des Conceptboards
10:30	Jürgen Rose (PTB)	Konformitätsuntersuchungen nach MID an Wärmezählern für hohe Medientemperaturen
11:00	Ulrike Wagner (AGFW)	Bedarf eines Hochtemperaturprüfstands aus Sicht der Fernwärmebranche
11:20	Daniel Hauser (Belimo)	Lebensdauertests für Wärmezähler und Komponenten bei Temperaturen > 120 °C
11:40	Ulrich Müller (Optolution)	Ergebnisse von Vor-Ort-Kalibrierungen von großen Durchfluss-Messgeräten für Flüssigkeiten, insbesondere unter dem Aspekt der Fluidtemperatur
12:00	Joachim Wien (Minol)	Industrielle Abwärmenutzung mit Temperaturen über 130 °C
13:30	Thomas Bauer (DLR)	Durchflussmesstechnik für Flüssigsalz
14:10	Denis Funk (Flexim)	Überblick zu Clamp-On Ultraschalldurchflussmessungen an Heißwasserapplikationen
14:30	Dick Laan (KROHNE)	Volume flow measurement of high temperature liquids with inline ultrasonic flowmeters
15:00	Alle	Diskussion
16:00	Moderator	Zusammenfassung und Schlussfolgerungen

### Mittwoch, 24.März 2021

Zeit	Name	Vortrag, Inhalt
10:00	Jousten (PTB)	Einführung in den zweiten Tag
10:10	Lorenz Feucht (Belimo)	Ein flexibler Entwicklungsprüfstand von -20 °C bis 120 °C bei Belimo
10:30	Philip Holoch (Belimo)	Rückführung für Hochtemperaturmessungen – neuer Ansatz von BELIMO
10:50	Nicolaus Mathies (KROHNE)	Vorstellung einer Gravimetrischen Normmessenanlage für Temperaturen bis 220 °C

11:10	Markus Juling (PTB)	Laseroptische Rückführung von Durchflussmessungen bei Temperaturen über 90 °C
11:40	Moderatoren	Vorstellung der Ergebnisse der Diskussionsrunde des ersten Tages, Zusammenfassung und Schlussfolgerungen