
Genaue Messung geringer Durchflussmengen

Rückverfolgbare Kalibrierung von 2 bis 3 l/h ... bis in den Bereich der Leckageerkennung.

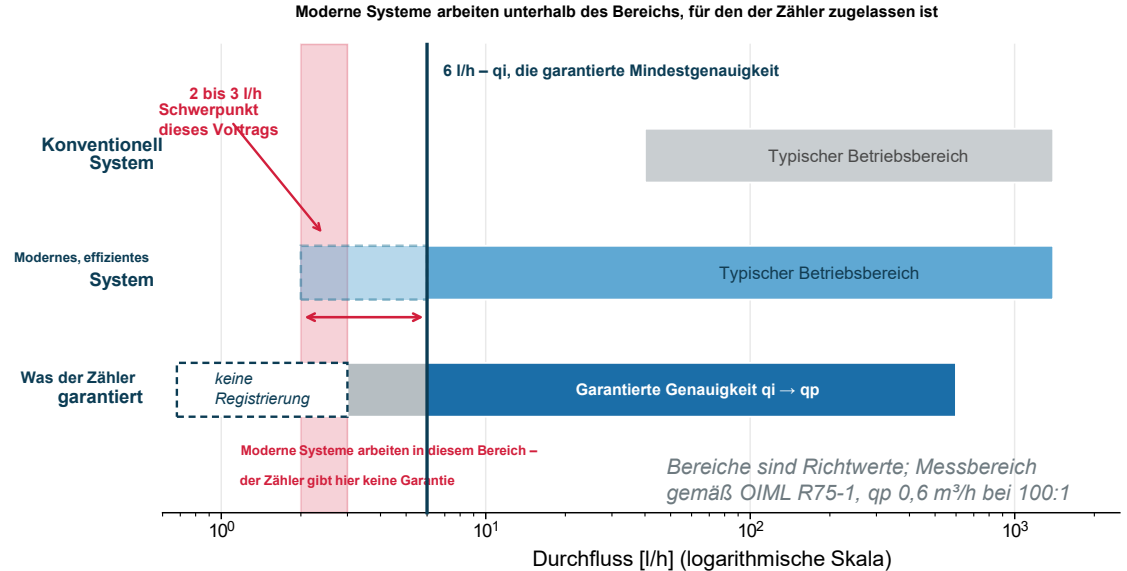
Oliver Büker · RISE Research Institutes of Sweden – Schwedens nationales Metrologieinstitut

22. Internationale EMATEM-Sommerschule · Kloster Haydau in Morschen (Deutschland) · 23.–24. September 2026

// Warum die Messung kleiner Durchflussmengen wichtig ist

- ❑ Moderne hocheffiziente Systeme wie Niedertemperaturheizungen, modulierende Pumpen und wassersparende Armaturen arbeiten über lange Zeiträume an oder unterhalb der Untergrenze eines Messgeräts.
- ❑ Nicht erfasste geringe Durchflussmengen führen zu einer systematischen Untererfassung des Verbrauchs genau dort, wo diese Systeme den größten Teil ihrer Laufzeit verbringen, was die Wärmeverteilung und Abrechnung verzerrt.

Eine rückverfolgbare Messung von geringen Durchflussmengen ist für eine faire Abrechnung, die Einhaltung von Normen und eine konsistente Bewertung der Energieeffizienz unerlässlich.



Die Betriebsbereiche sind Richtwerte und keine Messdaten; der Messbereich entspricht OIML R75-1 für $q_p = 0,6 \text{ m}^3/\text{h}$ bei 100:1.

// Heizung: Die alltägliche Teillast liegt bei 2 bis 4 l/h



Einzelner Heizkörper bei Teillast

An einem milden Herbsttag,
in einem gut gedämmten
Raum: das Thermostatventil
reduziert die Leistung des
Heizkörpers auf wenige
Prozent seiner Nennleistung.

50 W bei $\Delta T = 10 \text{ K}$

→ 4,3 l/h



Ein Ventil, das nicht mehr schließt

Kalk oder Schmutz auf dem
Ventilsitz lassen den ganzen
Sommer über eine geringe
Wassermenge durchströmen
– genug, um gemessen zu
werden, aber zu wenig, als
dass es jemand bemerkt.

30 W bei $\Delta T = 10 \text{ K}$

→ 2,6 l/h



Flache Station wird warm gehalten

Eine Wohnungsunterstation
oder ein
Fernwärmeanschluss, der die
Temperatur außerhalb der
Heizperiode aufrechterhält.
60 W bei $\Delta T = 15 \text{ K}$

→ 3,4 l/h



Pumpenabschaltung: Schwerkraftzirkulation

Hinter einem nominell
geschlossenen Ventil tritt
eine Thermosiphonbewegung
auf. R75-1 §6.2 ist eindeutig:
Dies darf überhaupt nicht
registriert werden.

muss Null anzeigen

$$\dot{m} [\text{l/h}] = Q [\text{W}] / (1,163 \cdot \Delta T [\text{K}])$$

Jede der obigen Zahlen stellt eine durchgerechnete
Wärmebilanzgleichung dar, keine Feldmessung.

Nicht jede kleine Last fällt hierunter: Fußbodenheizungen weisen
eine geringere Temperaturspanne (5 bis 8 K) auf, sodass für 100
bis 200 W immer noch 10 bis 35 l/h erforderlich sind. Der Bereich
von 2 bis 4 l/h betrifft Heizkörper und Teillastbetrieb.

// Kühlung: gleiche Durchflussmengen, schwierigere Messung



Server & Elektronik

→ 2,6 l/h

Ein kleiner, dedizierter Kreislauf, der über lange, ununterbrochene Zeiträume hinweg einige Dutzend Watt bei einem engen Sollwert abführt. 15 W bei $\Delta T = 5$ K



Labor- und medizinische Geräte

→ 4,3 l/h

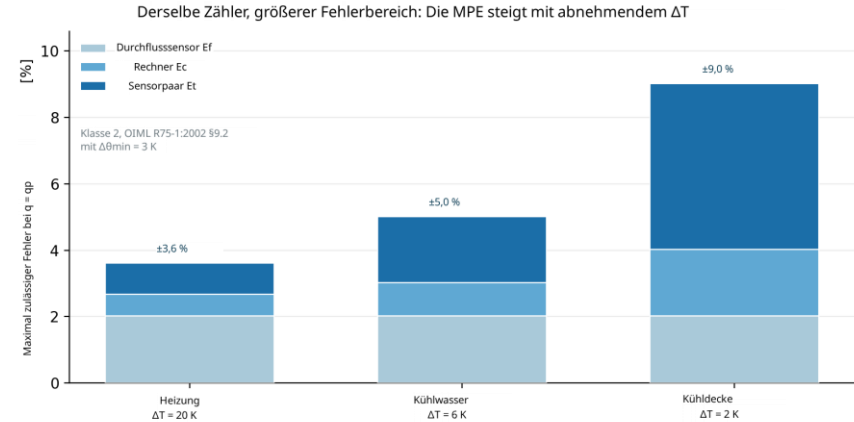
Laser, Analysegeräte und Bildgebungskomponenten werden in einem kontinuierlichen Dosierfluss auf einen Bruchteil eines Kelvins gehalten. 20 W bei $\Delta T = 4$ K



Kühldecke

≈ 8 l/h

Sie läuft konstruktionsbedingt mit etwa 40 l/h bei rund 90 W. Selbst ein Fünftel dieser Last erfordert 8 l/h, was über unserem Zielbereich liegt. Zweipunktventile verursachen Schwankungen und Nullwerte.



Von Natur aus ist die Kühlung der schwierigere Prozess.

Kaltwasser zirkuliert bei etwa 6 K, während eine Kühldecke nur bei etwa 2 K betrieben wird. Es ist nicht möglich, unter den Taupunkt zu gehen. Wenn ΔT abnimmt, steigt der zulässige Fehler, bevor der Durchflusssensor etwas registriert hat.

Bei $\Delta T = 6$ K und $q = q_i$ ist für denselben Zähler der Klasse 2 eine Abweichung von ± 7 % zulässig.

// Wasser: Undichtigkeiten treten unterhalb des Startdurchflusses des Zählers auf



Tropfender Wasserhahn

Ein einzelner Wassertropfen, der mit einer Rate von einem Tropfen pro Sekunde tropft, summiert sich auf mehr als 11.000 Liter pro Jahr – der klassische unsichtbare Verlust.

(US EPA WaterSense)
≈ 1,3 l/h



Laufende WC-Spülkasten

Ein Füllventil, das nie ganz dicht schließt. Das häufigste Leck im Haushalt und oft auch das größte.

4 bis 20 l/h



Mikrobewässerung

Einzelne Tropfer, Luftbefeuchter und Umkehrosmoseanlagen sind für einen Durchfluss von wenigen Litern pro Stunde ausgelegt.

jeweils ≈ 2 l/h



Minstdurchfluss in der Nacht

Ein Basiswert, der zwischen 2 und 4 Uhr morgens nie auf Null zurückfällt, ist das klassische Anzeichen für ein Leck bei intelligenten Zählern.

Die Erkennungsmethode

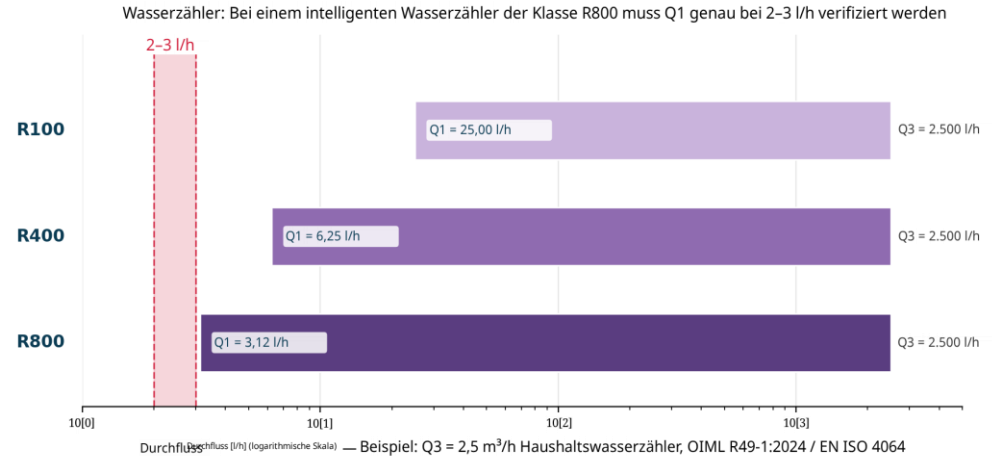
Um ein Leck von 1 l/h zu erkennen, muss der Zähler bei etwa 1 l/h ansetzen.

Moderne Ultraschall-Haushaltszähler haben Anlaufdurchflussmengen von 0,9 bis 1,4 l/h, und die Hersteller versprechen eine kontinuierliche Leckageerkennung ab 1,2 l/h. Im Gegensatz dazu springt ein mechanischer Zähler mit $Q_3 = 2,5 \text{ m}^3/\text{h}$ erst bei etwa 8 l/h an und ist daher nicht in der Lage, die Leckage zu erkennen, für deren Erkennung er eigentlich ausgelegt ist. Dies ist das „echte“ messtechnische Argument für den technologischen Wandel, nicht das Funkmodul.

1 l/h bei kontinuierlichem Durchfluss = $8,8 \text{ m}^3$ pro Jahr.

// Wasserzähler: Der Messbereich senkt Q1

- ❑ Wasserzähler werden durch die Durchflussraten Q1 (min), Q2, Q3 (permanent) und Q4 (Überlast) charakterisiert; der Dynamikbereich beträgt $R = Q3 / Q1$ (OIML R49-1:2024 / EN ISO 4064).
- ❑ Moderne Ultraschall- und elektromagnetische Smart-Meter weisen einen Bereich von R400 bis R800 und darüber hinaus auf, der weit über dem älteren mechanischer Zähler liegt.
- ❑ Bei einem typischen Haushaltszähler mit $Q3 = 2,5 \text{ m}^3/\text{h}$ liegt Q1 in der Klasse R800 bereits bei nur $3,1 \text{ l/h}$, was genau am Rand des heutigen Fokusbereichs liegt.
- ❑ Praxisbeobachtungen zeigen, dass bei Hauszählern, die bei 15 L/h getestet wurden, die Fehlerquote bei Mehrstrahl- und Einstrahlmodellen zwischen $-7,9 \%$ und $-16,5 \%$ lag, verglichen mit $+0,37 \%$ bei einem Volumenzähler (Karadirek et al., 2020).

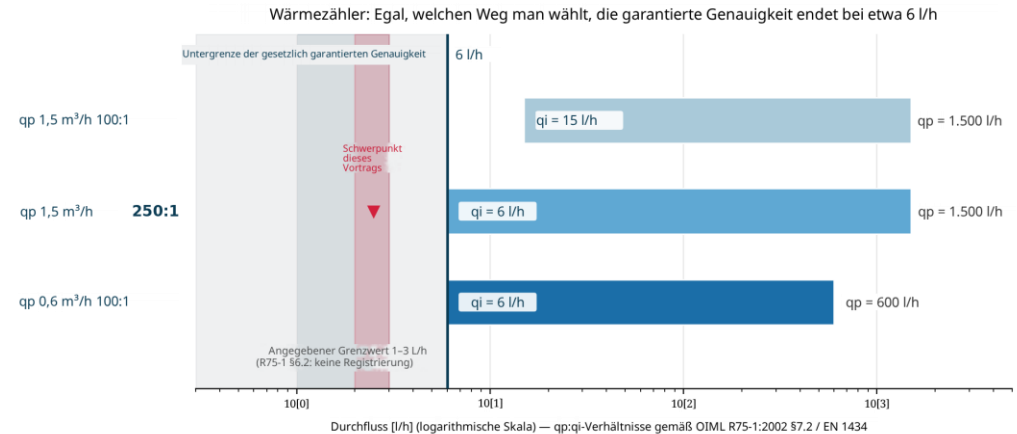


Rechenbeispiel aus OIML R49-1:2024 / EN ISO 4064 R-Klassen; $Q3 = 2,5 \text{ m}^3/\text{h}$ ist eine typische Größe für den Hausgebrauch.

Je höher R, desto besser die Leckageempfindlichkeit, jedoch nur, wenn Q1 direkt überprüft und nicht aus den technischen Daten des Zählers extrapoliert wurde.

// **Wärmezähler:** Die garantierte Genauigkeit endet bei etwa 6 L/h

- ❑ Wärmezähler werden durch q_i (min), q_t , q_p (permanent) und q_s charakterisiert; OIML R75-1:2002 §7.2 legt das Verhältnis q_p/q_i auf 10, 25, 50, 100 oder 250 fest.
- ❑ Ein kompakter Zähler mit $q_p = 0,6 \text{ m}^3/\text{h}$ (die kleinste übliche Wohnungsgröße) ist typischerweise mit einem Verhältnis von 100:1 zugelassen, was einem $q_i = 6 \text{ L/h}$ entspricht.
- ❑ In der Praxis wird das Verhältnis 250:1 erst ab $q_p = 1,5 \text{ m}^3/\text{h}$ angeboten, wobei wiederum $q_i = 6 \text{ L/h}$ erreicht wird. Beide Verhältnisse führen zum gleichen Wert.



OIML R75-1:2002 §6.2 „Wenn der Durchfluss unter einem vom Lieferanten angegebenen Schwellenwert liegt, ist keine Erfassung zulässig.“

Angegebene Schwellenwerte bei $q_p 0,6 \text{ m}^3/\text{h}$: 1 bis 3 L/h.

Der Schwerpunkt dieses Vortrags liegt unterhalb des gesetzlichen Schwellenwerts.

Zwischen dem angegebenen Schwellenwert und q_i darf ein Messgerät möglicherweise überhaupt nichts erfassen – dies ist beabsichtigt und entspricht der Norm. Da diese Durchflussmengen jedoch real sind und immer häufiger auftreten, ist es wichtig, sie genau messen zu können, um zu verstehen, was dabei übersehen wird.

// **Kühlungszähler:** mit anderen Flüssigkeiten als Wasser (LOTW)

Kennzeichnung und Deklaration

EN 1434-1 / OIML R75-1 §11 schreibt vor, dass die Wärmeübertragungsflüssigkeit gekennzeichnet werden muss, wenn es sich nicht um Wasser handelt. §8 verpflichtet den Lieferanten, den Wärmekoeffizienten als Funktion von Temperatur und Druck anzugeben. (Dies ist nicht in der MI-004-Beschriftungsliste der MID enthalten.)

Wie sich Glykol auf den Messwert auswirkt

Eine Studie der TU Berlin in Zusammenarbeit mit PTB, VDDW und ARGE HeiWaKo ergab bei Ultraschall-Durchflusssensoren in Glykol-Wasser-Gemischen Abweichungen von -45 % bis +30 %; bei Flügelradsensoren von -8 % bis +7 % sowie bei Coriolis- und Magnetflussmessern innerhalb von ± 1 %. Durch medienspezifische Korrekturen lassen sich etwa ± 2 % ausgleichen (Baack, 2020).

Warum niedrige Durchflussmengen das Problem verschlimmern

Ein Durchflussmesser mit $q_p 0,6 \text{ m}^3/\text{h}$ arbeitet von $Re \approx 38.000$ bei q_p bis hinunter zu $Re \approx 380$ bei q_i – er wechselt innerhalb seines zugelassenen Bereichs von turbulenter zu laminarer Strömung. Der diametrale Profilfaktor ändert sich von etwa 0,94 bei turbulenten Strömungen auf 0,75 bei laminaren Strömungen, und Glykol reduziert Re um einen weiteren Faktor fünf.

// Schwedens Nationales Metrologieinstitut

- ❑ Das staatlich beauftragte Nationale Metrologieinstitut (NMI) mit Sitz in Göteborg ist Teil von RISE, einem der größten Technologieforschungsinstitute Europas.
- ❑ Es verwaltet die nationalen Messnormale Schwedens und stellt international anerkannte Kalibrierzertifikate (einschließlich DCC) aus.

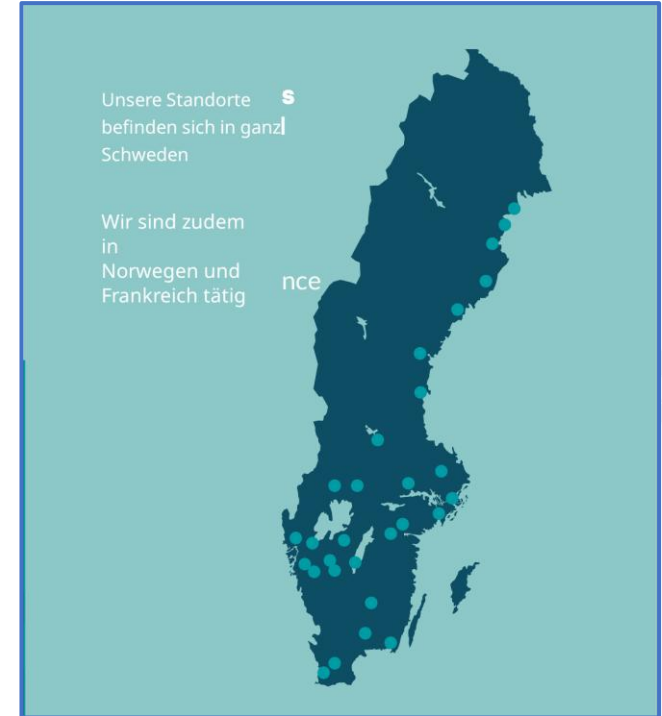
3.260
Mitarbeiter

4.394 Mio. SEK
Nettoumsatz (2025)

~130
Technologieinfrastrukturen

83
Kundenzufriedenheitsindex (2026)

Finanzierung, um ein unabhängiger, neutraler Partner zu bleiben: 50 % Wirtschaft · 25 % öffentliche Mittel · 18 % staatliche Mittel zur Kompetenzentwicklung · 7 % EU (2025). Auch international aktiv: 594 wissenschaftliche Publikationen und 188 EU-finanzierte Projekte im Jahr 2025.



Forschungsinstitute Schwedens RISE (2026)

// Riksmätplats – Schwedens nationale Referenznormen

- ❑ Vierzehn nationale Laboratorien („Riksmätplatser“) decken 32 physikalische Größen ab.
- ❑ Jedes Riksmätplats verwaltet die nationalen Referenznormale für seinen jeweiligen Bereich und stellt international anerkannte CMCs aus.
- ❑ Der Riksmätplats „Volumen, Durchfluss und Dichte“ (hervorgehoben) ist das Labor, um das es in dem heutigen Vortrag geht.

Alle 14 Riksmätplatser verwirklichen SI-rückführbare nationale Normale. Ionisierende Strahlung ist in Schweden ebenfalls ein nationaler Messbereich, doch die Zuständigkeit hierfür liegt bei der Strahlenschutzbehörde (SSM) und nicht bei RISE.

Masse

Länge und Maße

Zeit und Frequenz

Elektrische Größen

Temperatur

Chemische Messtechnik

Photometrie und Radiometrie

Druck und Vakuum

Kraft und Drehmoment

Leistung und Energie

Hochspannung und Hochstrom

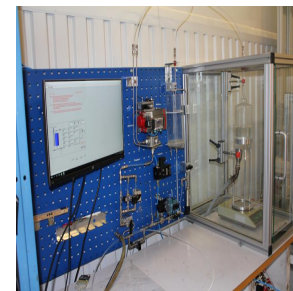
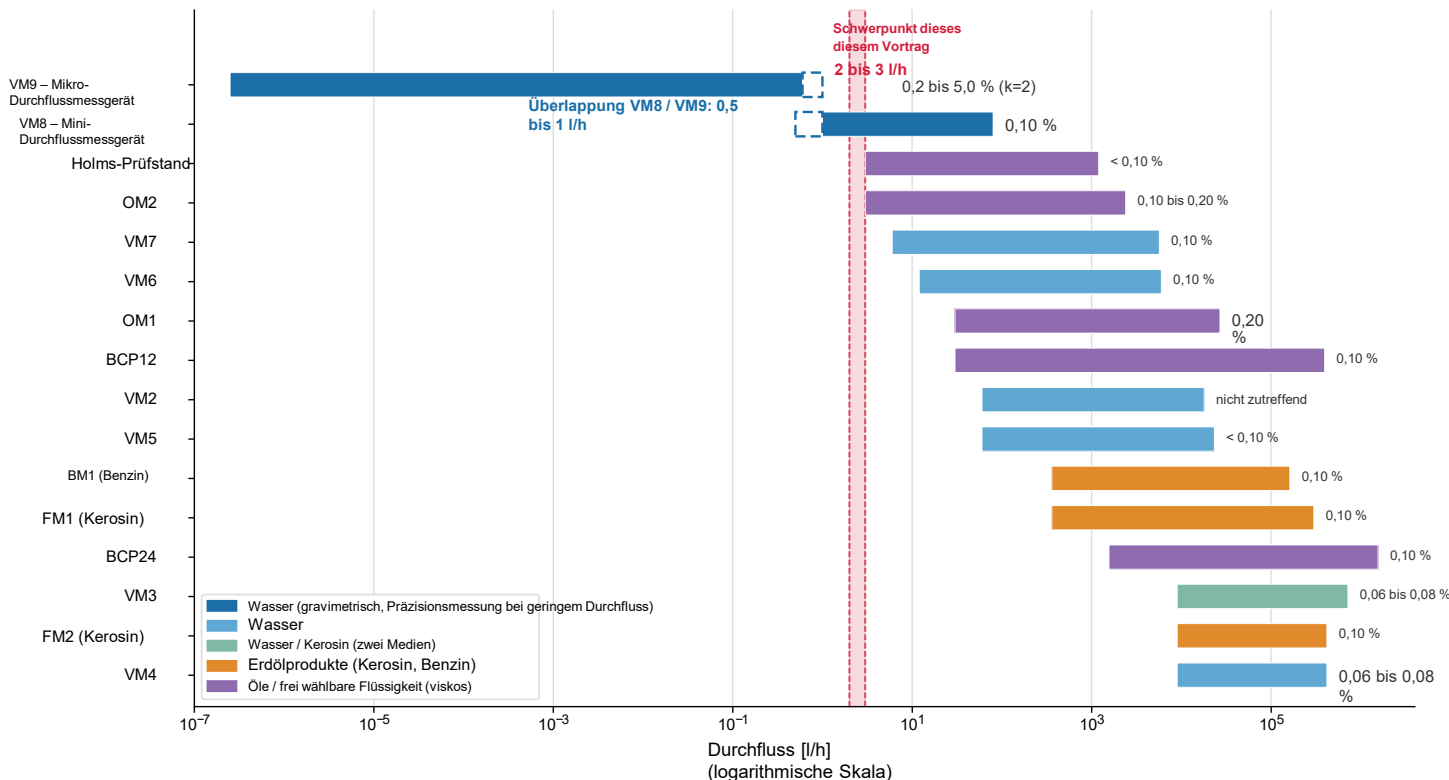
Volumen, Durchfluss & Dichte

Schall und Schwingung

Hochfrequenz und Mikrowellen

// Durchflusskalibrierungsmöglichkeiten bei RISE

RISE-Durchflusskalibrierungsanlagen – Messbereich und Medium



VM8



OM2 (Flüssigkeitskalibrator für geringe Durchflussmengen)

16 Messplätze, von Wasser bis zu viskosen Ölen, Unsicherheit von 0,06 bis 0,2 %

// VM8 – die Mini-Durchflussanlage für 2 bis 3 l/h



Beide Auffangbehälter sind nivelliert, um Schaltasymmetrien zu vermeiden; die Waage befindet sich in einem zugluftgeschützten Gehäuse, wobei ein Kondensatrücklauf Verdunstungsverluste begrenzt.

Durchflussbereich (0,5) 1 bis 80 l/h (Druck bis zu 2 bar)

Umgebungstemperatur Umgebungstemperatur (ca. 20 °C)

Rohrleitung DN 4

Medium deionisiertes, entgastes Wasser



Die gravimetrische Mini-Durchflussmessanlage VM8 bei RISE

// VM8 – Leistung und Rückverfolgbarkeit

- ❑ Auf jede Wägung wird eine Luft-Auftriebskorrektur von etwa 0,10 % angewendet (basierend auf dem Archimedes-Prinzip).
- ❑ Eine „doppelte Zeitmessung“ anhand eines 80-MHz-Taktgebers verbessert die Impulszählauflösung des Prüflings (DUT).
- ❑ Die Validierung erfolgt gegenüber VM7 ($U = 0,2 \%$, $k = 2$) unter Verwendung eines Danfoss CFM Di1.5 als Transferstandard.

EURAMET-Projekt 1805

INRIM-Pilotprojekt, RISE-Co-Pilot: Durchflussraten von 6 kg/h bis 20 000 kg/h
geplantes EURAMET-Projekt

PTB/CETIAT: Durchflussraten von 0,5 L/h bis 10 L/h

0,1 % ($k = 2$)

erweiterte Unsicherheit,
 $\geq 30 \text{ s} / \geq 0,1 \text{ L Probe}$

0,04 bis 0,07 %

Übereinstimmung mit VM7
(Transferstandard)

Vergleich mit VM7

(VM7 hat eine Begrenzung von 6 L/h, es steht keine andere Einrichtung zur Verfügung.)

Durchflussrate	6 l/h	12 l/h
Systematische Abweichung	$\leq 0,07 \%$	$\leq 0,07 \%$
Anzahl	-0,18	-0,31

Die angegebene Unsicherheit stimmt mit der beobachteten Übereinstimmung bei beiden Durchflussmengen überein: $|En| < 1,0$.

Fazit VM8 bietet eine gravimetrische Kalibrierung, die auf das SI-System rückführbar ist – genau dort, wo moderne Messgeräte und Leckagealarmfunktionen eine Verifizierung erfordern: im Durchflussbereich von 1 bis 80 l/h, derzeit bis zu 2 bar.

// ...und darüber hinaus: hin zu Durchflussraten für die Leckageerkennung

- ❑ Derselbe gravimetrische Ansatz lässt sich auch auf kleinere Durchflussmengen skalieren. Das RISE-Mikrodurchfluss-Messsystem (VM9) deckt den Bereich von 0,25 µL/h bis 600 mL/h ab und verwendet entgastes Wasser sowie eine Spritzenpumpe als Referenz (Büker et al., 2022).
- ❑ Selbst die Komponenten im Inneren des VM8 müssen eine extreme Dichtheit aufweisen; bei einem Bypassventil wurde eine Leckage von weniger als 0,04 g über 3.100 s nachgewiesen.
- ❑ Dies entspricht weniger als 0,0008 ml/h und liegt damit um mehr als drei Größenordnungen unter dem in diesem Vortrag behandelten Fokusbereich von 2 bis 3 l/h.

Als Nächstes: T. Firle & I. Jursic (JUMO) treiben die Leckageerkennung in der Messtechnik weiter voran:

Eine weltweite bahnbrechende Neuerung in Bezug auf Wasserverluste, Energieeffizienz und Netztransparenz.

2 bis 3 l/h

Schwerpunkt dieses Vortrags

1 bis 80 l/h

VM8-Reihe

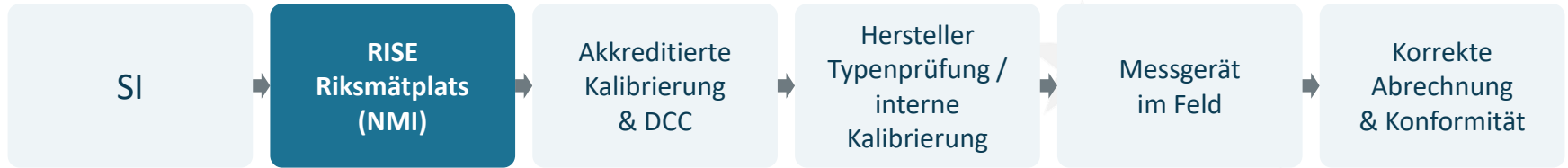
0,25 µl/h bis 600 ml/h

VM9 Mikroflussmessanlage

< 0,0008 ml/h

Dichtheit des VM8-Bypassventils

// Was Hersteller und Anwender von Rückverfolgbarkeit profitieren



- ❑ Verifizierte Angaben zur $q_{\min}$ - und Niedrigdurchflussleistung werden durch ein international anerkanntes CMC (CIPM MRA / EURAMET-Äquivalenz) untermauert.
- ❑ Die direkte Unterstützung bei der MID-Konformitätsbewertung und Marktüberwachung orientiert sich an den Vorgaben von OIML und WELMEC.
- ❑ Daten zu den Grundursachen für Forschung und Entwicklung ermöglichen die Trennung von Messgerätenfehlern von Installations- und Medieneinflüssen bei realistischen geringen Durchflussmengen.
- ❑ Eine dokumentierte, rückverfolgbare Unsicherheit bei niedrigen Durchflussmengen macht eine Spezifikationsangabe zu einer vertretbaren Aussage und bildet die Grundlage für eine faire Abrechnung gegenüber den Endkunden.

Kernaussagen

- 1 Bei einem Wärmezähler für Wohnungen endet die gesetzliche Genauigkeit bei etwa 6 l/h. Reale Systeme und reale Leckagen liegen unter diesem Wert, und zwar im Bereich von 2 bis 3 l/h, auf den sich dieser Vortrag konzentriert.
- 2 RISE bietet auf dieser Ebene (VM8) eine rückverfolgbare gravimetrische Kalibrierung an und erweitert diese über VM9 bis hin zu Durchflusswerten für die Leckageerkennung.
- 3 Eine rückverfolgbare Kalibrierung für niedrige Durchflussmengen gewährleistet konforme, zuverlässige und faire Messungen sowohl für Hersteller als auch für Endkunden.
- 4 RISE kann Geräte im Niedrigdurchflussbereich kalibrieren und gegenüberstellen.

Vielen Dank

Fragen und Diskussionen sind willkommen!!

Oliver Büker

RISE – Nationales Labor für Volumen, Durchfluss und Dichte

+46 10 516 5889 · oliver.buker@ri.se

RISE Research Institutes of Sweden – Schwedens nationales Metrologieinstitut