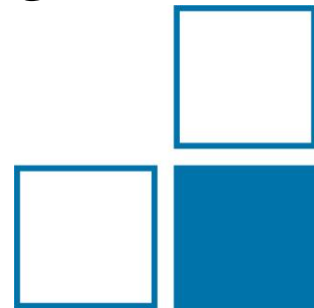


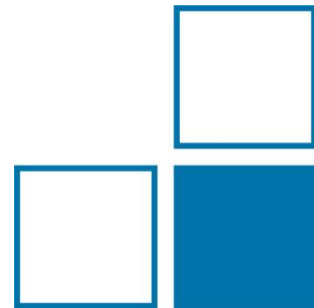
*English translation to be found
after the German part*



Metrologie schnellansprechender Messgeräte für thermische Energie

EMATEM-Sommerschule am 18.09.2025

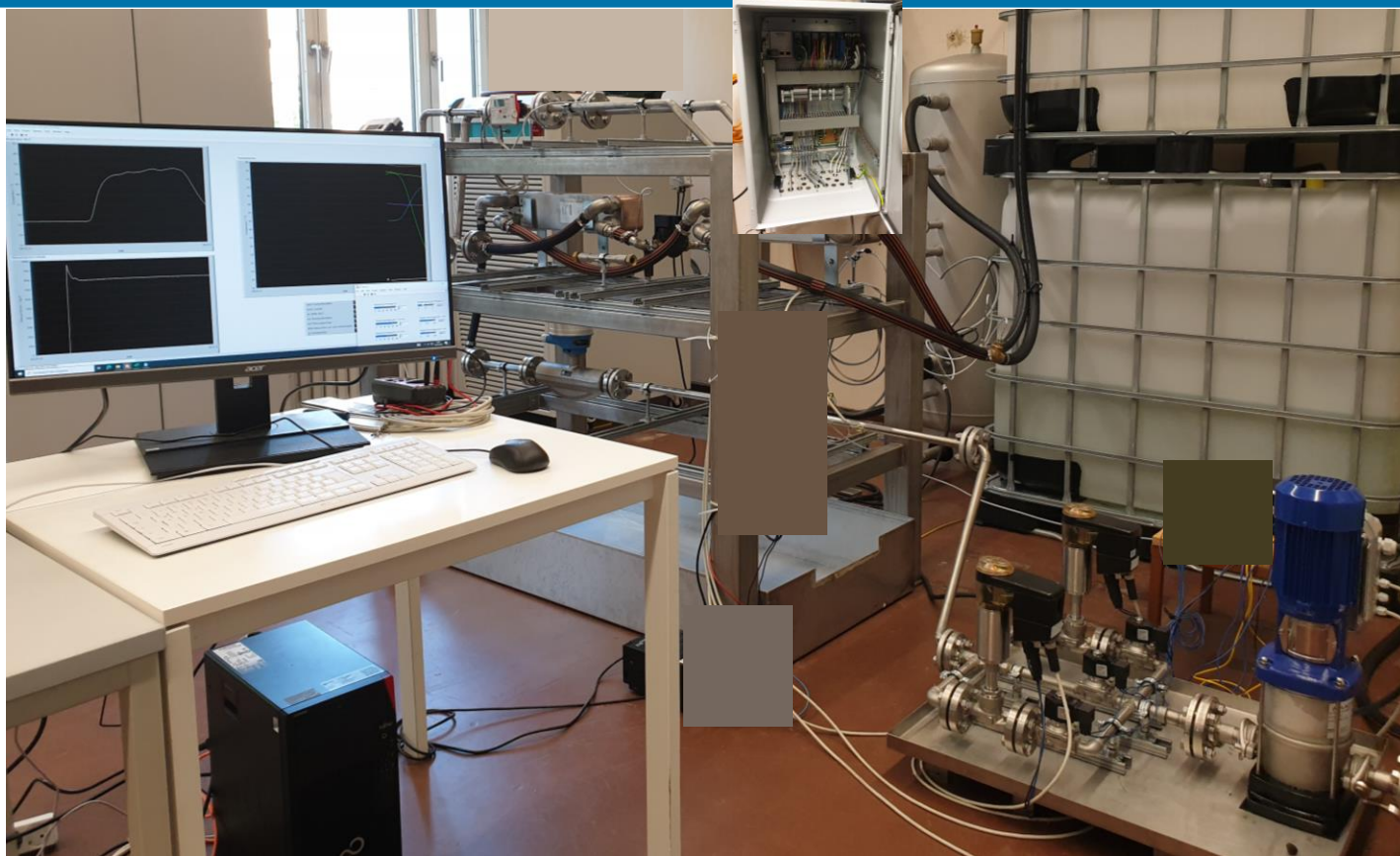
Markus Kühn, AG 7.52 Volumenstrom



- Schnellansprechende Zähler sind nötig bei
 - Warmwassersystemen ohne Speicher
 - Kombinierte Heiz- und Warmwassersysteme ohne Speicher
 - Fernwärme-Übergabestationen ohne Speicher
- Alle Teilgeräte des Wärmezählers von dynamischen Vorgängen betroffen
- Fehler in Abrechnung können die Folge sein
- Problem wurde als Work Item im CEN TC 176 WG 2 ernannt
- Bisher experimentell nur Teilgeräte isoliert untersucht, nicht gesamtes Messgerät für thermische Energie
- Forschungsprojekt unter Beteiligung von Industrie und Verbänden

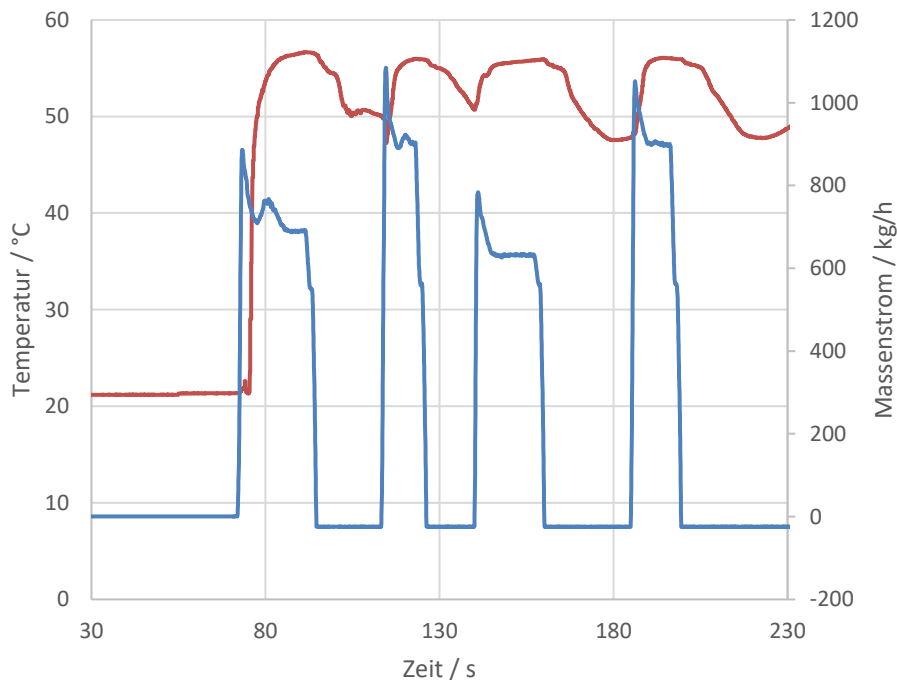
- Prüfstand in den letzten Zügen der Inbetriebnahme
- Optimierung des Aufbaus
- Erfassung und Synchronisierung von Prüflingsdaten (M-Bus-Kommunikation) implementiert
- Erste Testmessungen zur dynamischen Datenaufzeichnung
- Erst nach Testmessungen: Rückschlagklappe (Rohrleitungen laufen sonst leer, sichtbar in Messwerten als negativer Durchfluss)

Prüfstand in Betrieb

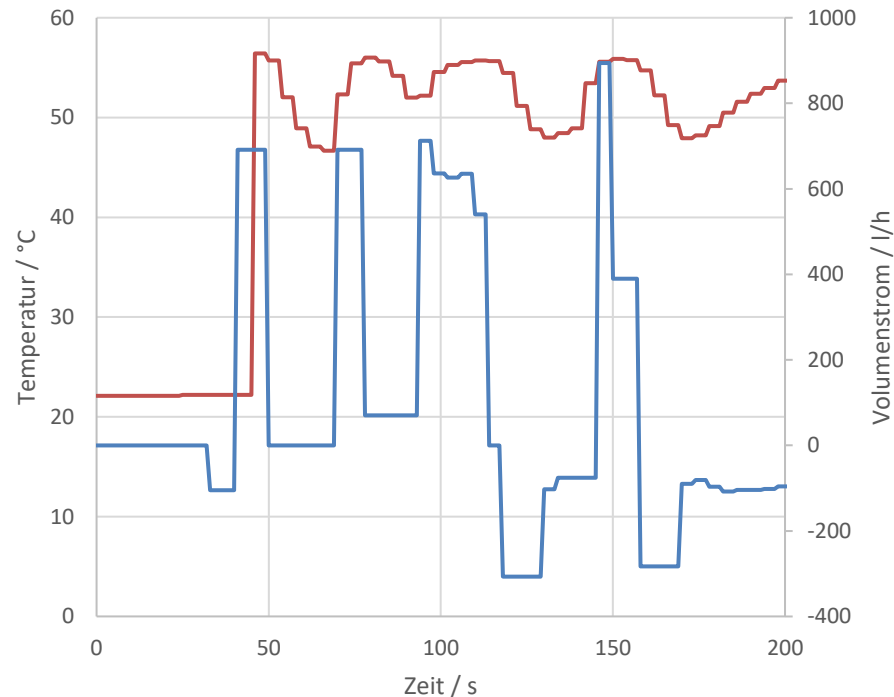


Vergleich M-Bus vs. Prüfstandsdaten

Daten Prüfstand



Daten Prüfling M-Bus

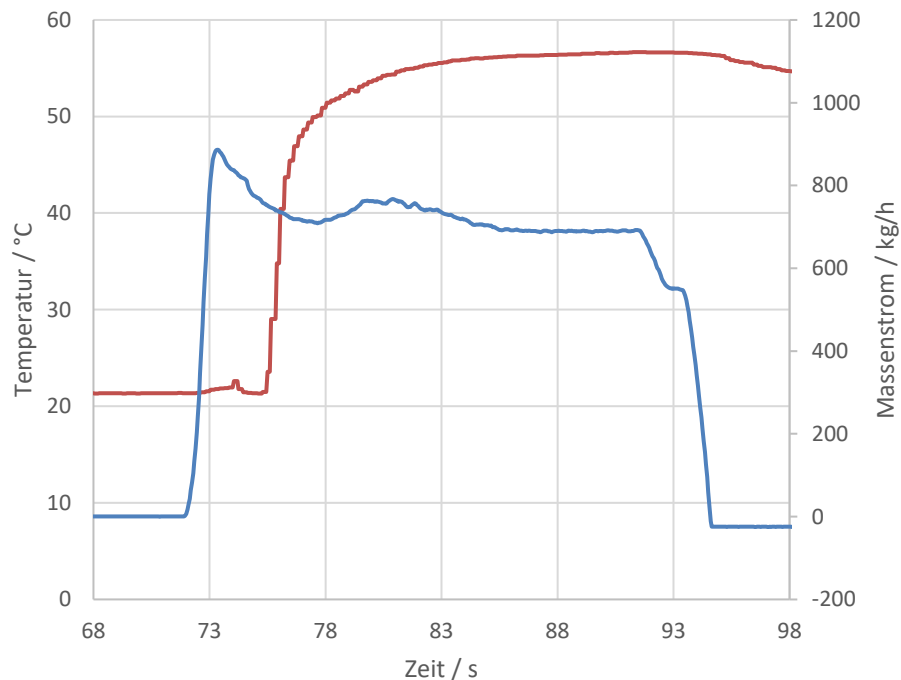


— Temperatur MUT Rohrmitte — Massenstrom Coriolis

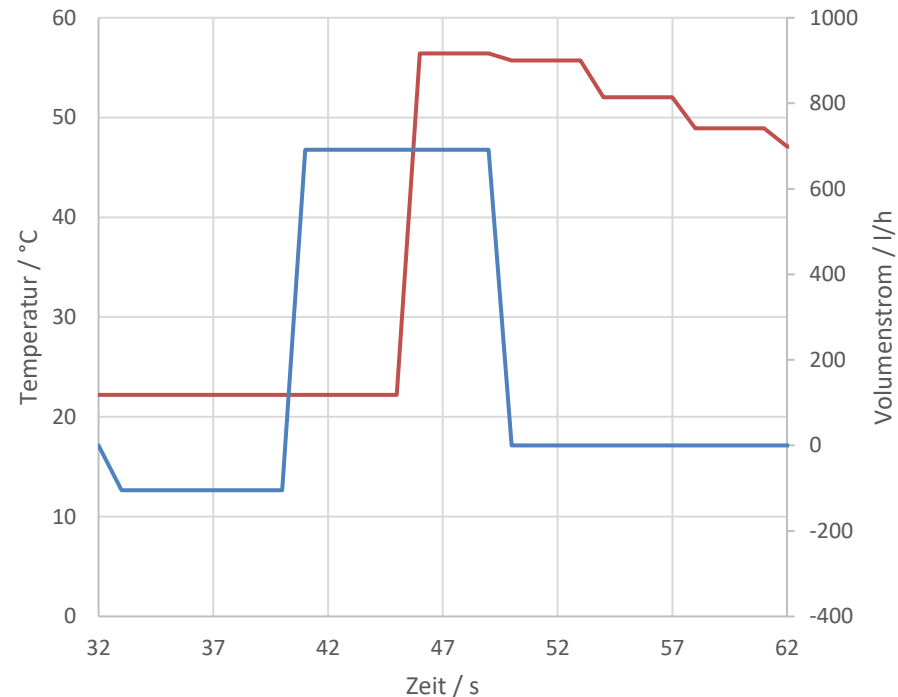
— T RL M-Bus — Volumenstrom M-Bus

Detail 1 M-Bus vs. Prüfstandsdaten

Daten Prüfstand



Daten Prüfling M-Bus

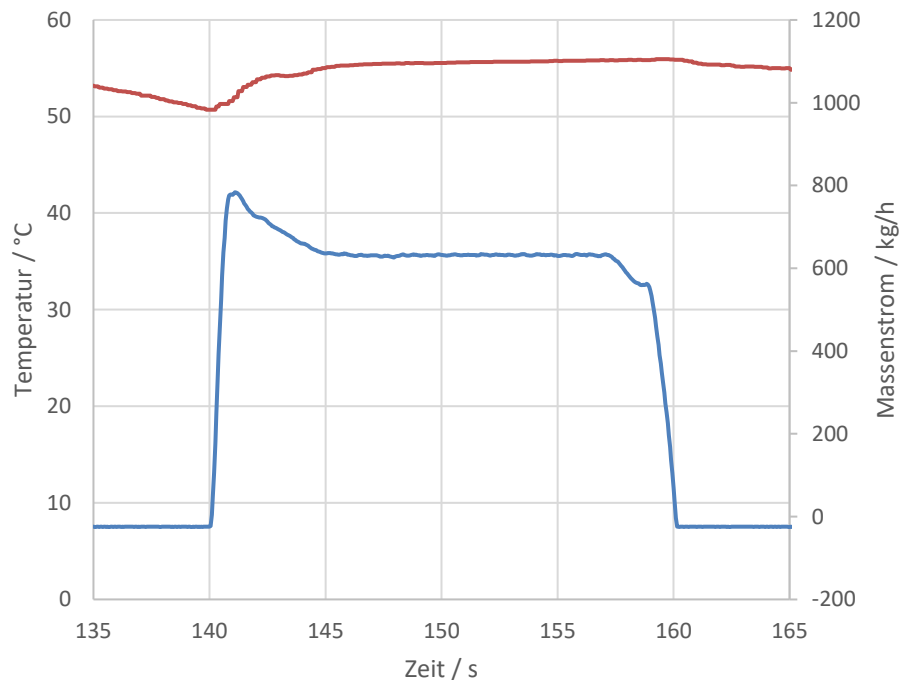


— Temperatur MUT Rohrmitte — Massenstrom Coriolis

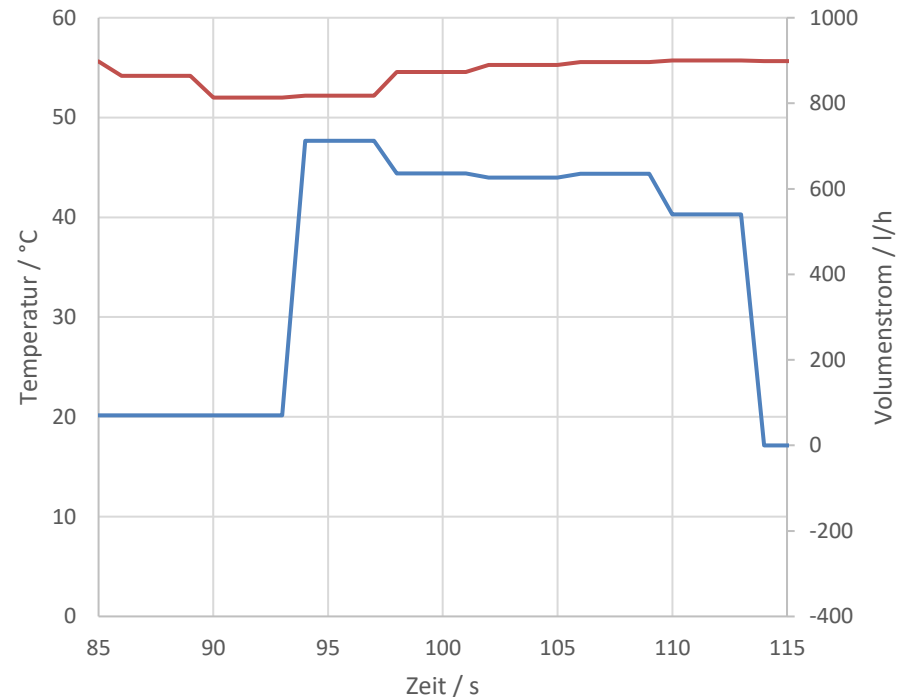
— T RL M-Bus — Volumenstrom M-Bus

Detail 2 M-Bus vs. Prüfstandsdaten

Daten Prüfstand



Daten Prüfling M-Bus



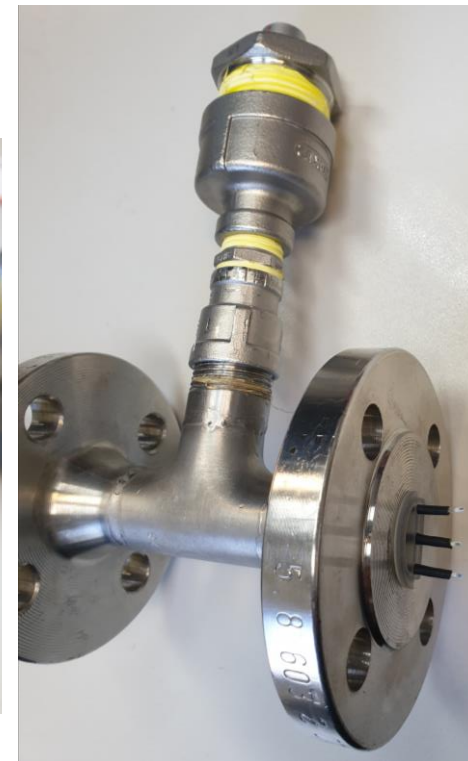
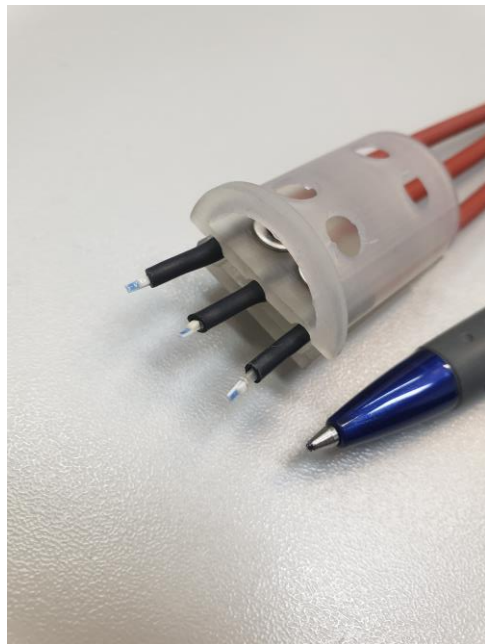
— Temperatur MUT Rohrmitte — Massenstrom Coriolis

— T RL M-Bus — Volumenstrom M-Bus

- „Standardmäßiger“ M-Bus ist nicht echtzeitfähig, daher zeitliche Zuordnung schwierig
- Unterschiedliche Messgeräte haben unterschiedliche „Bus-Abtastzeiten“, teilweise auch je nach Bauart (Netz-/Batteriebetrieb) und Konfiguration
- Direkte Erfassung des dynamischen Verhaltens der einzelnen Messgrößen über M-Bus im Betrieb schwierig
- Zähler sollen aber möglichst nicht im Prüfmodus betrieben werden, um reales Feldverhalten zu beurteilen
- Geplanter Ansatz: Vergleich der Werte des Volumen- und Energieregisters vor und nach dynamischen Vorgängen

Stand Integration Mini-Pt100

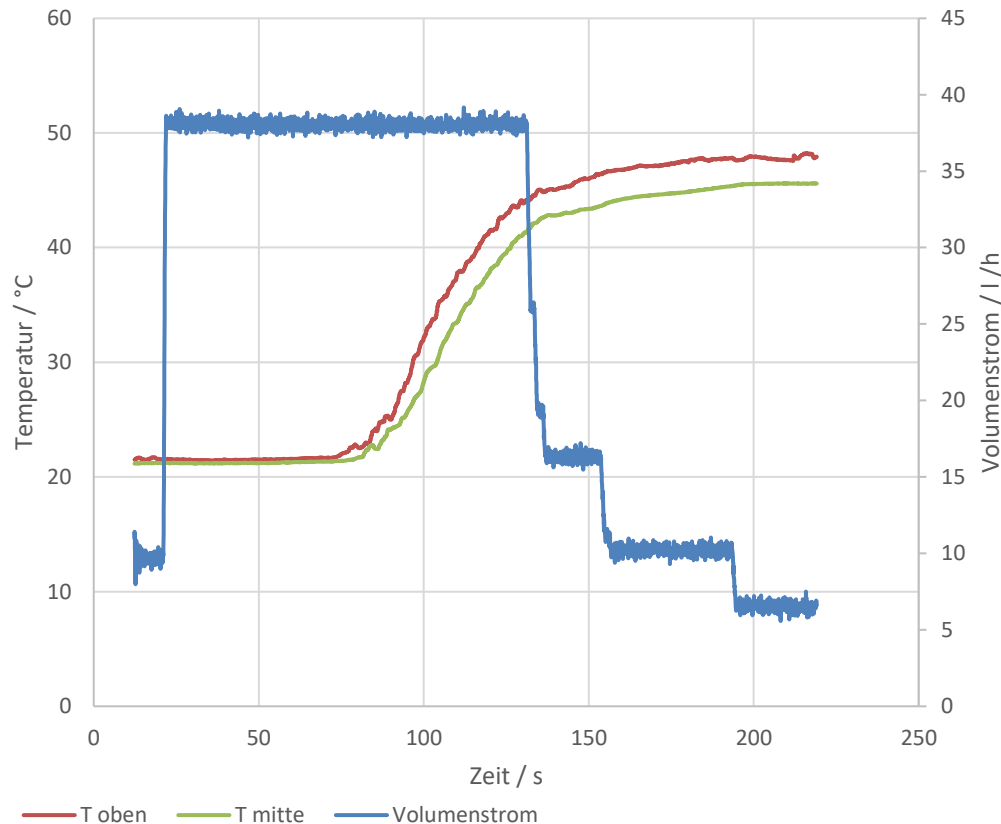
Sensoren zur Verfügung gestellt von JUMO



- Sehr kleine Sensoren für schnelles thermisches Ansprechverhalten sowie räumliche Temperaturauflösung
- Wasserdichte Integration stellte sich als knifflig heraus, aber mittlerweile gelöst
- Zunächst Tests mit den Sensoren in Rohrmitte und Oberseite
- Unterer Sensor kurz nach Montage „ausgestiegen“ → Defekte (PTB-)-Lötstelle machte Demontage erforderlich

Erste Tests Mini-Pt100

- Beispielhafte Untersuchung auf Temperaturschichtung bei niedrigen Reynolds-Zahlen ($Re=300 \dots 900$, laminare Strömung) durch schrittweise Reduktion des Volumenstroms
- Unisolierte Rohrleitung!
- Temperaturdifferenz zwischen oberem und mittlerem Sensor ca. 2 K



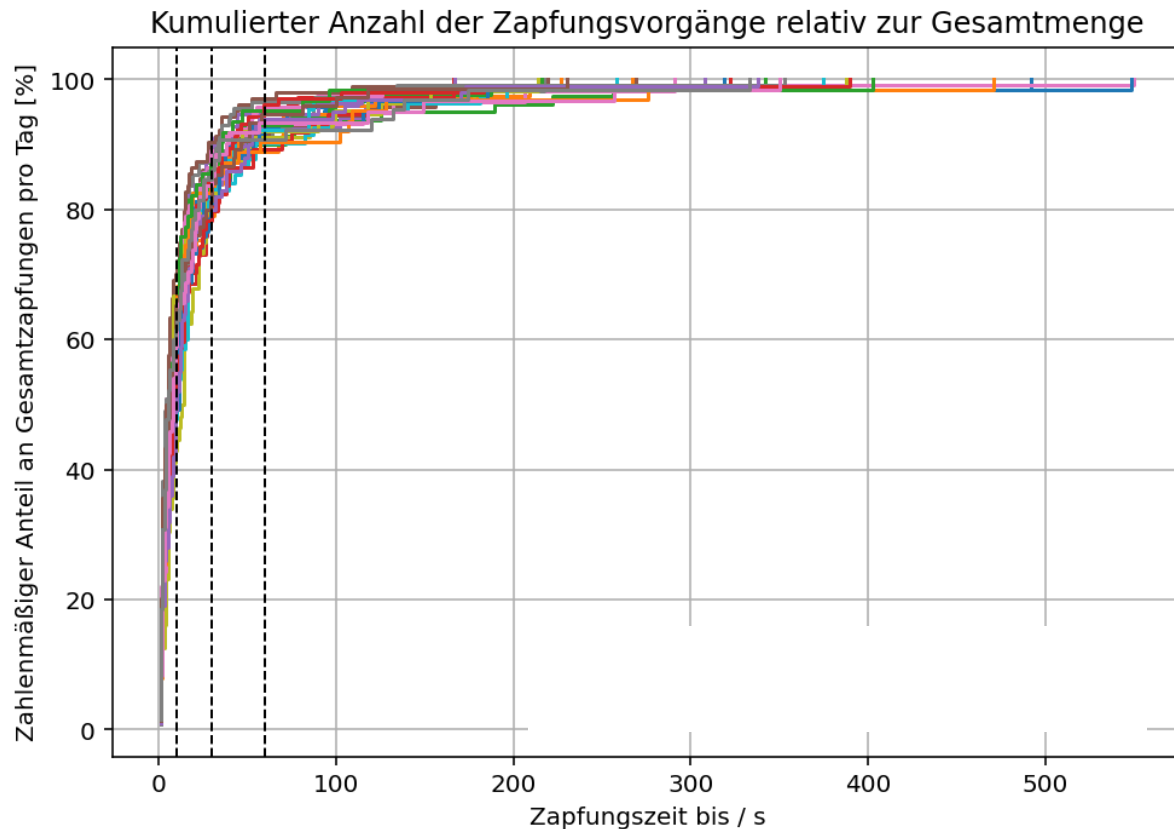
- Daten erhalten von Herrn Pärish, Gruppenleiter „Thermische Energiesysteme“ des Instituts für Solarenergieforschung Hameln (ISfH)
- Zeitlich hochaufgelöste Messdaten (Messraster: 1 s) von Frischwasserstation eines EFH im Raum Hannover
- Aufnahmezeitraum: Insgesamt zwei Monate in 2024
- Liefern Anhaltspunkte für Gradienten, Zapfhäufigkeit etc.

- Zapfungen im Tagesgang detektiert, ausgewertet nach Dauer und übertragener Energiemenge (aus Energieregister des Wärmezählers)
- Gradienten des Volumenstroms sowie der Temperaturen ausgewertet
- Berechnung der Wärmeenergie aus anderen Messwerten des Feldobjekts nicht sinnvoll möglich, da genaue Position, Zeitverhalten etc. der Temperaturmessstellen unbekannt

- Verteilung der Zapfungen
 - Großteil der Zapfungen an einem Tag sind kürzer als 30 s (ist erwartbar: Händewaschen z.B. erfolgt deutlich häufiger als Duschen oder Baden)
- Dynamik der Temperatur im Vor- und Rücklauf:
 - Gradient bei Temperaturanstieg liegt selten über 1 K/s, Maximalwerte knapp über 2 K/s
 - Deckt sich sehr gut mit hochabgetasteten Messwerten (0,1 s) von P. Holoch (Fa. Belimo)
 - Auch Messwerte von C. Bombis (Fa. Kamstrup) liegen mit Zeitraster 5 s in ähnlicher Größenordnung der Temperaturgradienten
- Dynamik des Volumenstroms
 - Erreicht bei fast jeder Zapfung den gleichen Maximalwert
 - Sehr schnelle Anstiegs- und Abfallzeiten (Größenordnung der Abtastzeit, 1-2 s)
 - Messwerte von P. Holoch zeigen etwas mehr Variabilität hinsichtlich der Spitzenwerte, aber Anstiegszeiten sind ähnlich

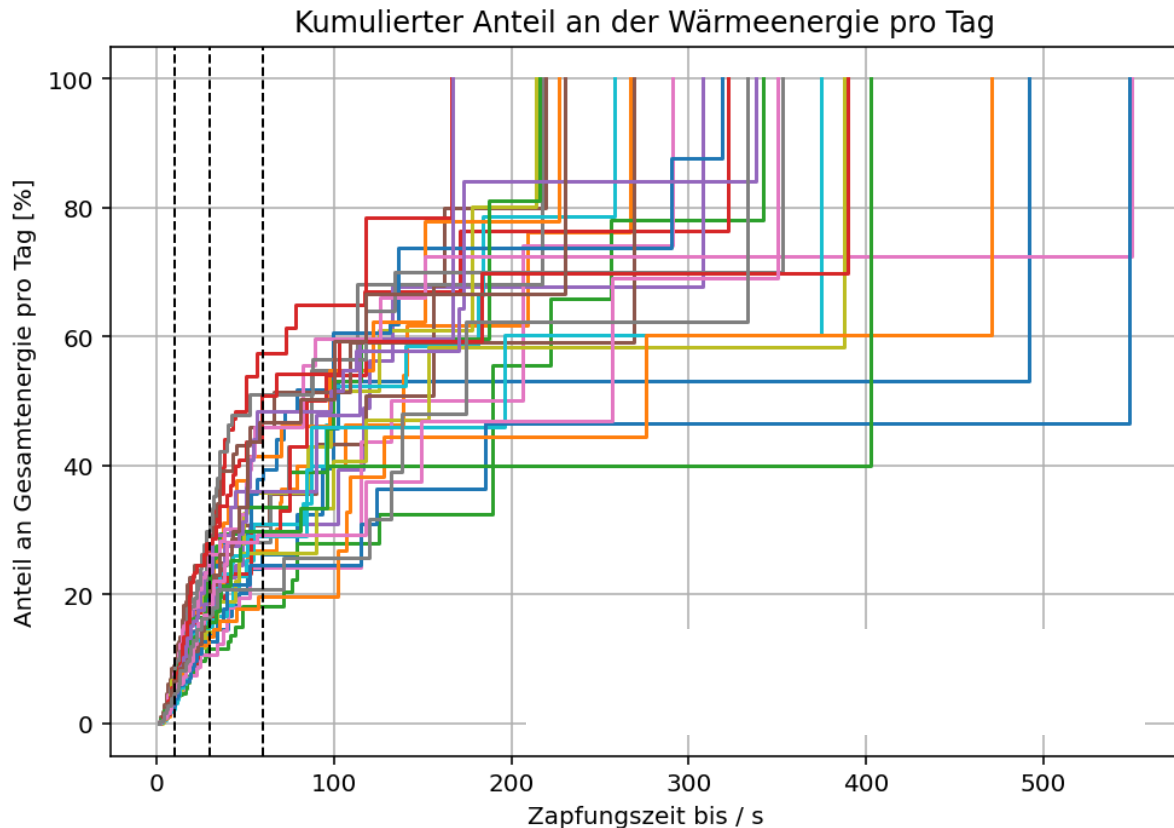
Felddaten – Häufigkeit kurzer Zapfungen

- Tageweise Auswertung der Messwerte eines gesamten Monats
- Jede Linie steht für einen Tag
- Zählen der Zapfungen und Berechnung des Anteils an Gesamtanzahl pro Tag
- Berechnung der Mittelwerte für den gesamten Monat
- Lies: „Zapfungen mit einer Länge bis x Sekunden haben einen Anteil von y % am Tageswert“



Felddaten – Energieanteil kurzer Zapfungen

- Tageweise Auswertung der Messwerte eines gesamten Monats
- Jede Linie steht für einen Tag
- Detektion der Zapfungen und Berechnung des Anteils an Gesamtenergie pro Tag
- Berechnung der Mittelwerte für den gesamten Monat
- Lies: „Zapfungen mit einer Länge bis x Sekunden haben einen Anteil von y % am Tageswert“



- Relevanz kurzer Zapfungen für Energieberechnung nachweisbar
- Grob: Ca. 80 % der täglichen Zapfungen sowie ca. 15...20 % der auf Trinkwassererwärmung entfallenden Wärmeenergie pro Tag entfallen auf kurze Zapfungen < 30 s
- Knapp 60 % der Zapfungen sowie ca. 5 % der täglichen Energiemenge resultieren aus Zapfungen < 10 s
- Einschränkung: Messwerte des im Feldobjekt installierten Wärmezählers, unbekanntes dynamisches Verhalten
- Berechnung der Wärmemenge aus anderen Messwerten des Datensatzes nicht sinnvoll, da Aufbau und Dynamik nicht genau genug bekannt
- Weitere Einschränkung: Nur ein spezifisches Wohnobjekt

- Zusammenarbeit mit Fa. JUMO zur Auswertung vorhandener Datensätze und ggf. darauf aufbauend Generierung synthetischer Zeitverläufe mittels Machine Learning



**Physikalisch-Technische Bundesanstalt
Braunschweig und Berlin**

Abbestr. 2-12

10587 Berlin

Markus Kühn

Telefon: 030 3481-7697

E-Mail: markus.kuehn@ptb.de

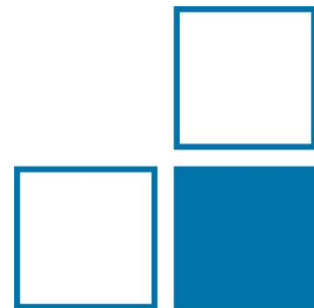
www.ptb.de



Fast response meters for thermal energy

EMATEM-Sommerschule at 18.09.2025

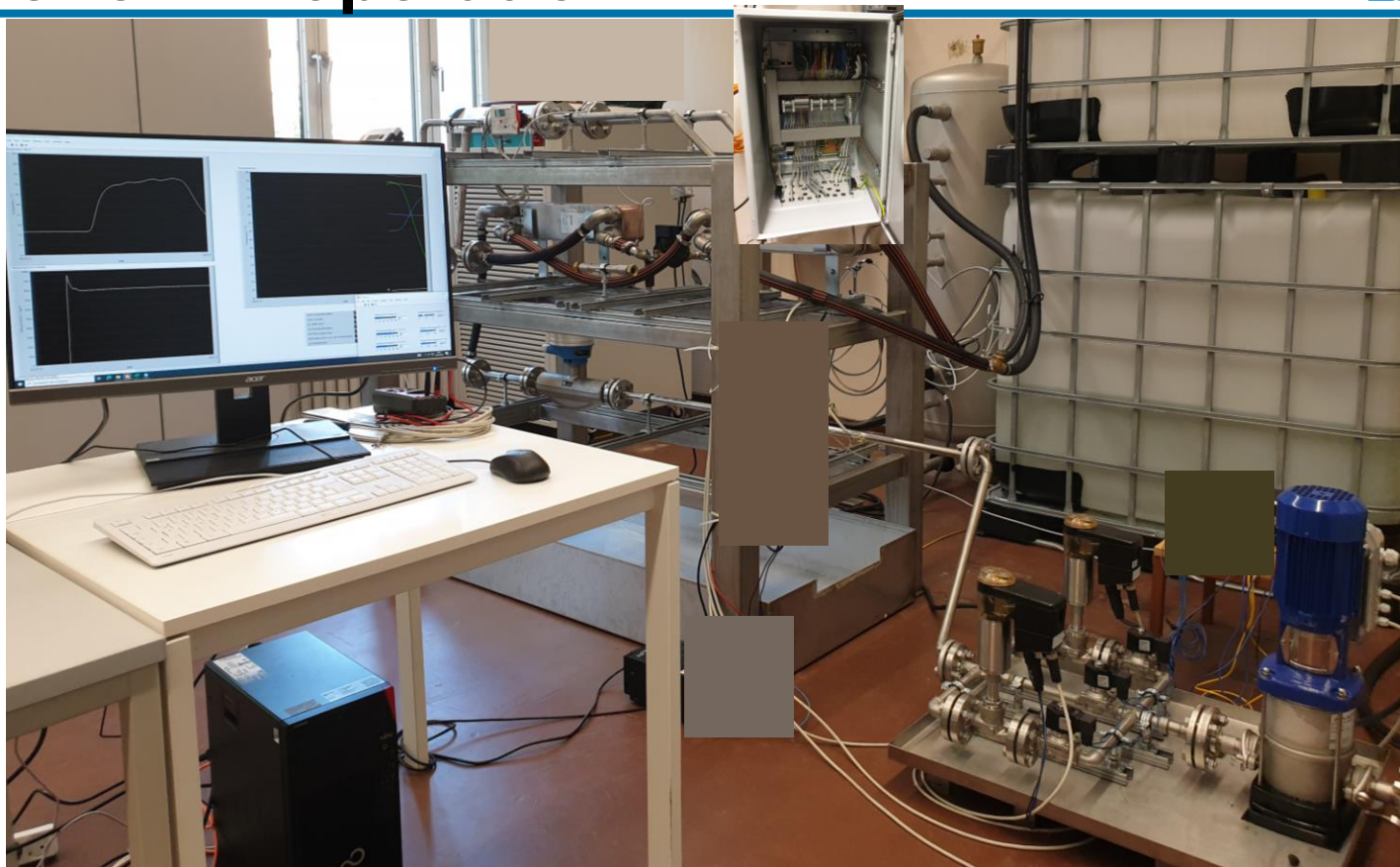
Markus Kühn, AG 7.52 Volumenstrom



- Fast response meters are necessary for
 - Hot water systems without storage tank
 - Combined hot water and heating systems without storage tank
 - district heating distribution station without storage tank
- All components of a thermal energy meter are affected by transients in temperature and flow
- Could lead to unfair billing
- Problem was identified as a work item in CEN TC 176 WG 2
- Until now, only the components of a thermal energy meter have been assessed regarding their dynamic behaviour, not the entire meter itself
- Thus, joint research project initiated with collaborators from both industry and associations

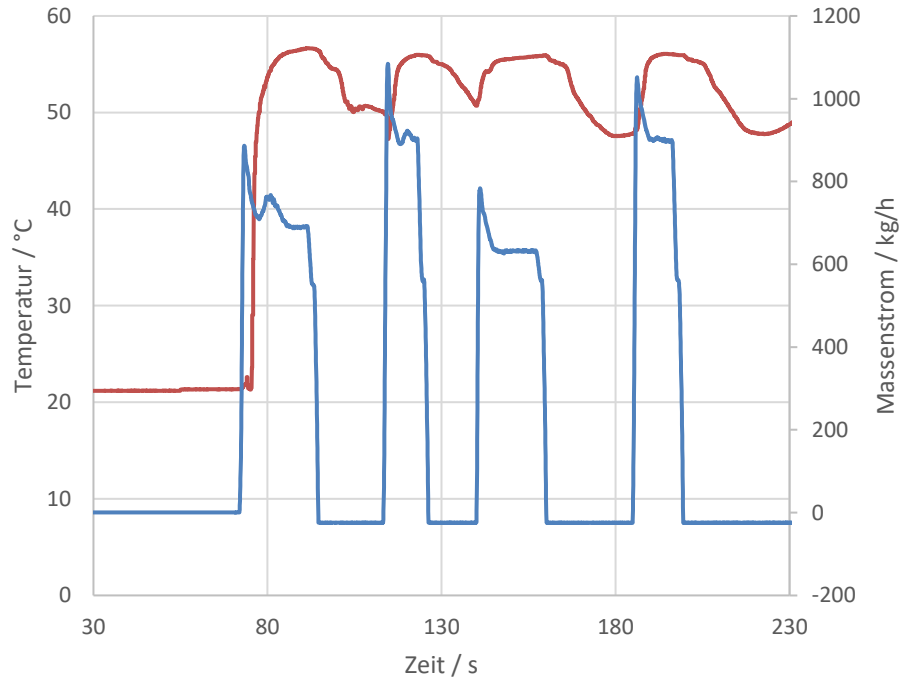
- Test bench in the last stages of commissioning
- Further optimization of thermal and hydraulic behaviour ongoing
- Acquisition and synchronisation of MUT data (M-Bus communication) implemented
- First test measurements for dynamic data acquisition
- Only after test measurements, the need for a non-return valve was seen and it has been installed in the meantime (pipes otherwise will empty themselves, visible as negative flow in the data)

Test bench in operation

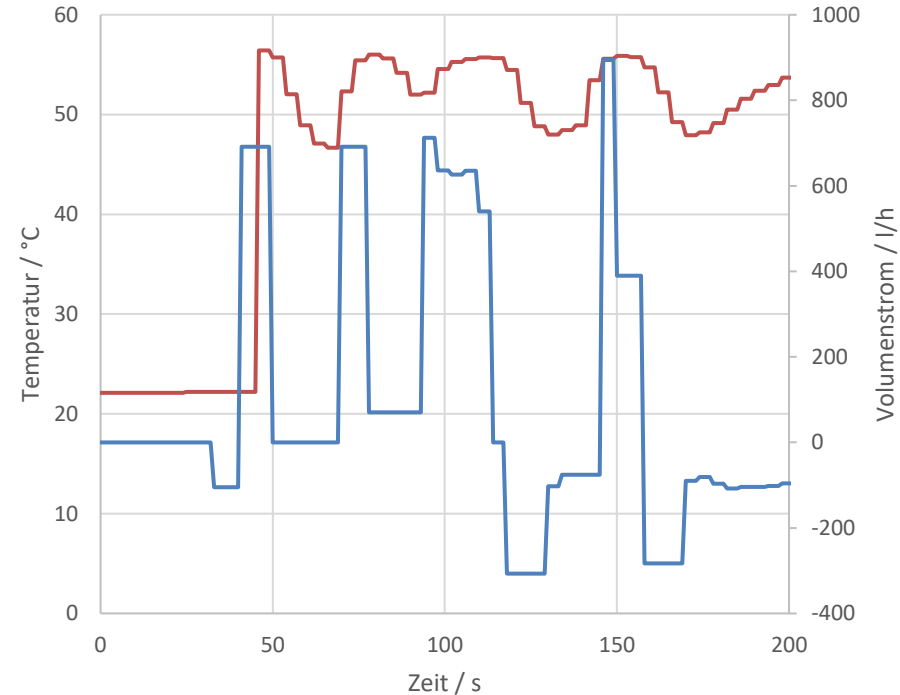


Comparison: M-Bus data vs. Test bench data

Daten Prüfstand



Daten Prüfling M-Bus

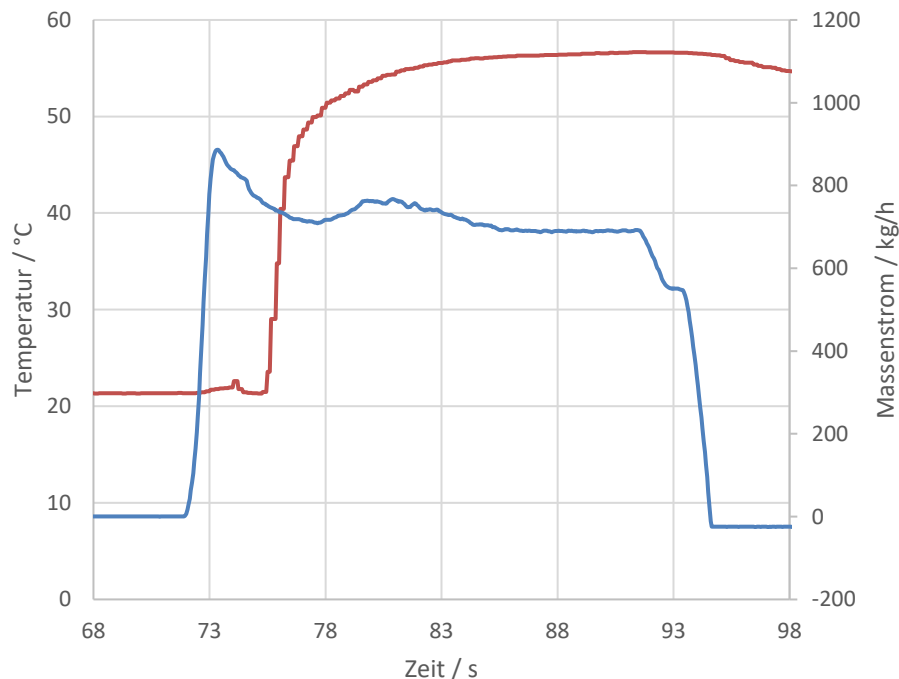


— Temperatur MUT Rohrmitte — Massenstrom Coriolis

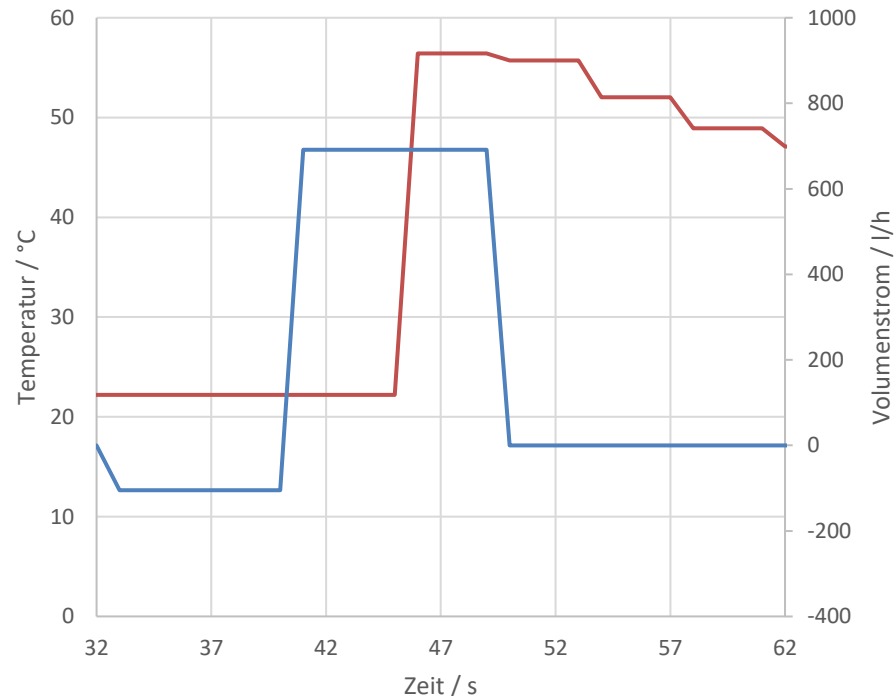
— T RL M-Bus — Volumenstrom M-Bus

Detail 1: M-Bus data vs. Test bench data

Daten Prüfstand



Daten Prüfling M-Bus

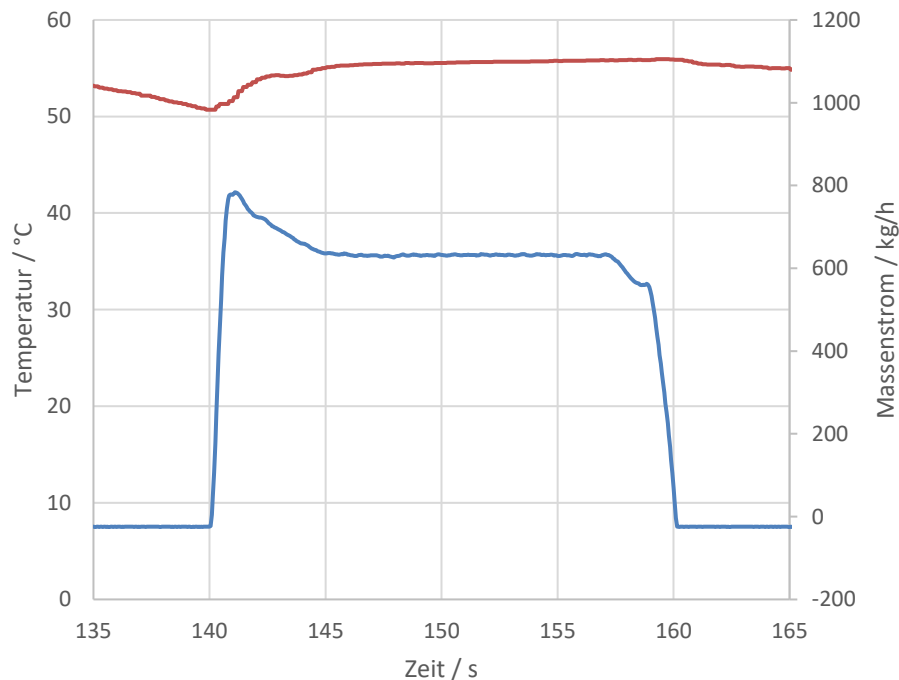


— Temperatur MUT Rohrmitte — Massenstrom Coriolis

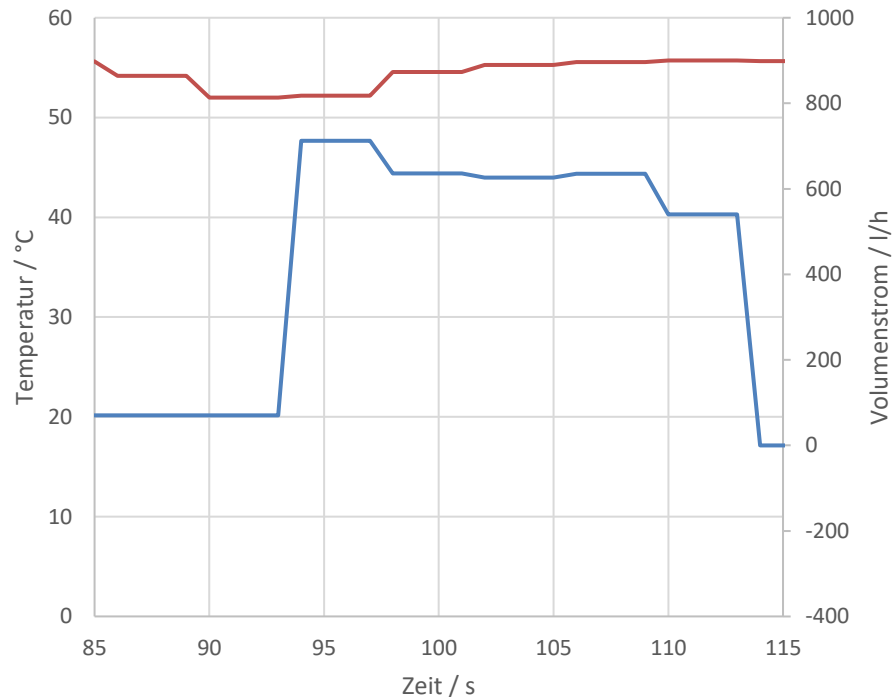
— T RL M-Bus — Volumenstrom M-Bus

Detail 2: M-Bus data vs. Test bench data

Daten Prüfstand



Daten Prüfling M-Bus



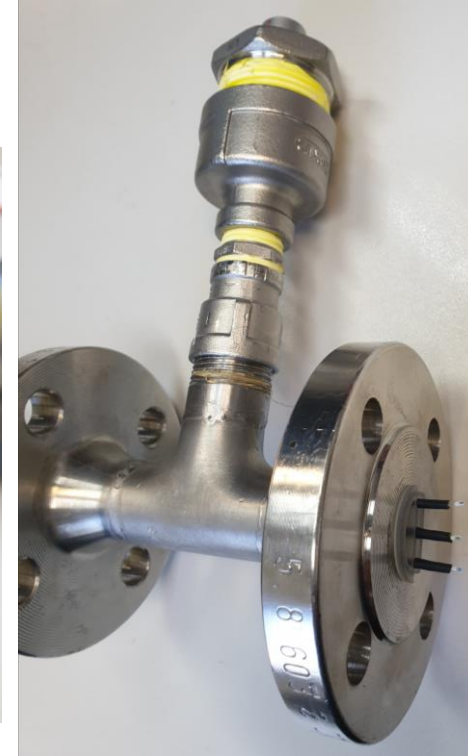
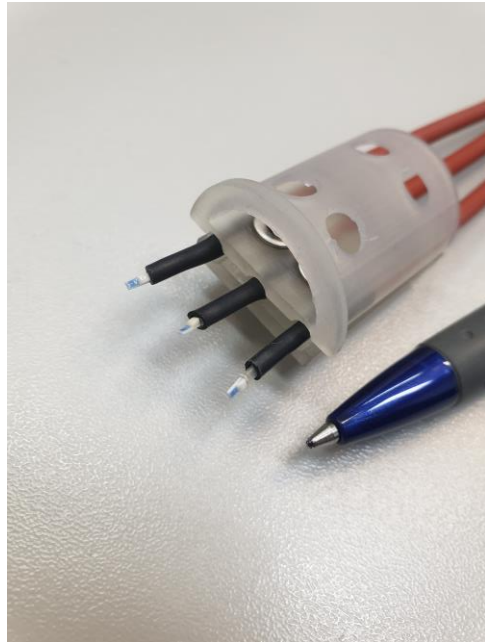
— Temperatur MUT Rohrmitte — Massenstrom Coriolis

— T RL M-Bus — Volumenstrom M-Bus

- By default, a „conventional“ M-Bus is not capable of real time operation, therefore timing synchronisation is difficult
- Additionally, different meters have different „bus acquisition rates“, also depending on specific build (e.g. main line power or battery operation) and internal software configuration
- Therefore, direct acquisition of the dynamic behaviour of a heat meter and its internal measured quantities proves difficult
- The meter should not be operated in test mode in order to facilitate „real world behaviour“
- Planned approach: Compare the values of the meter's energy and volume register before and after transient operation

Status Integration Miniature Pt100

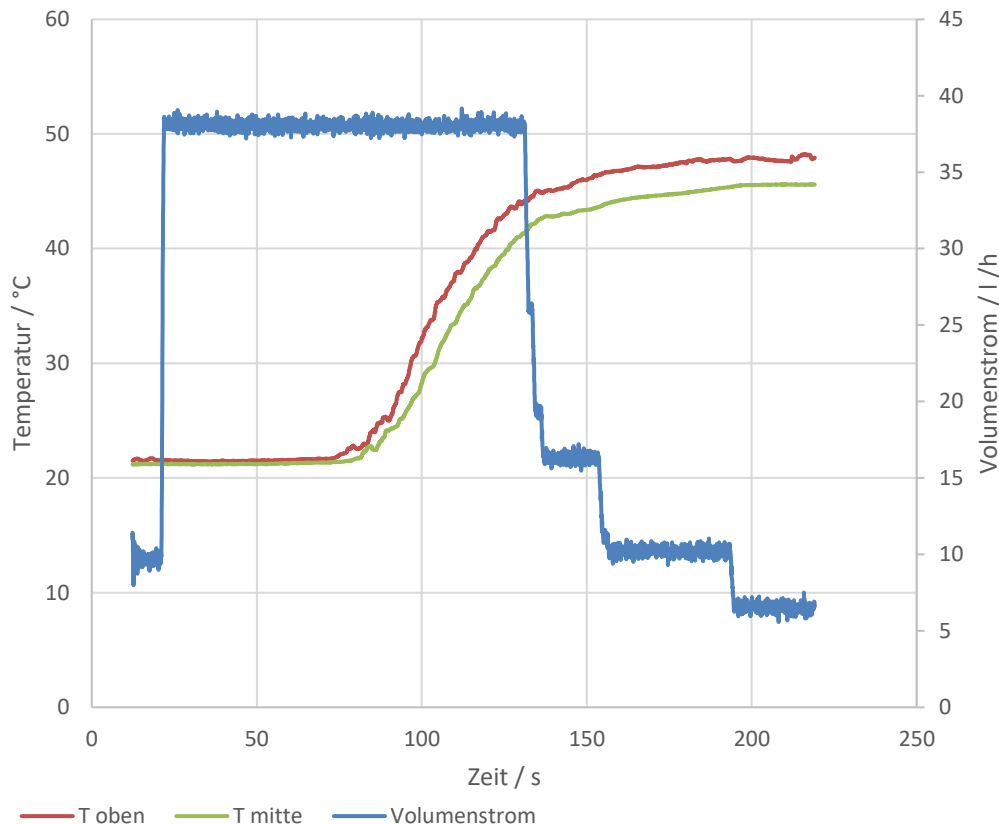
- Sensors provided by JUMO



- Small sensors for fast response to temperature changes as well as possibility for spation temperature resolution
- Installed in pipe just upstream of MUT
- Water-tight installation proved difficult, but was managed in the meantime
- First tests with the sensors in pipe center and upper part
- Lower sensor stopped working just after assembly, needed to be taken apart again, cause was a defective (PTB) solder

First tests with miniature Pt100

- Exemplary test for temperature stratification at low Reynolds numbers ($Re=300 \dots 900$, laminar flow) by reducing volumetric flow stepwise
- Pipes were not thermally insulated for this test!
- Temperature difference between sensor on top and in the middle ~ 2 K



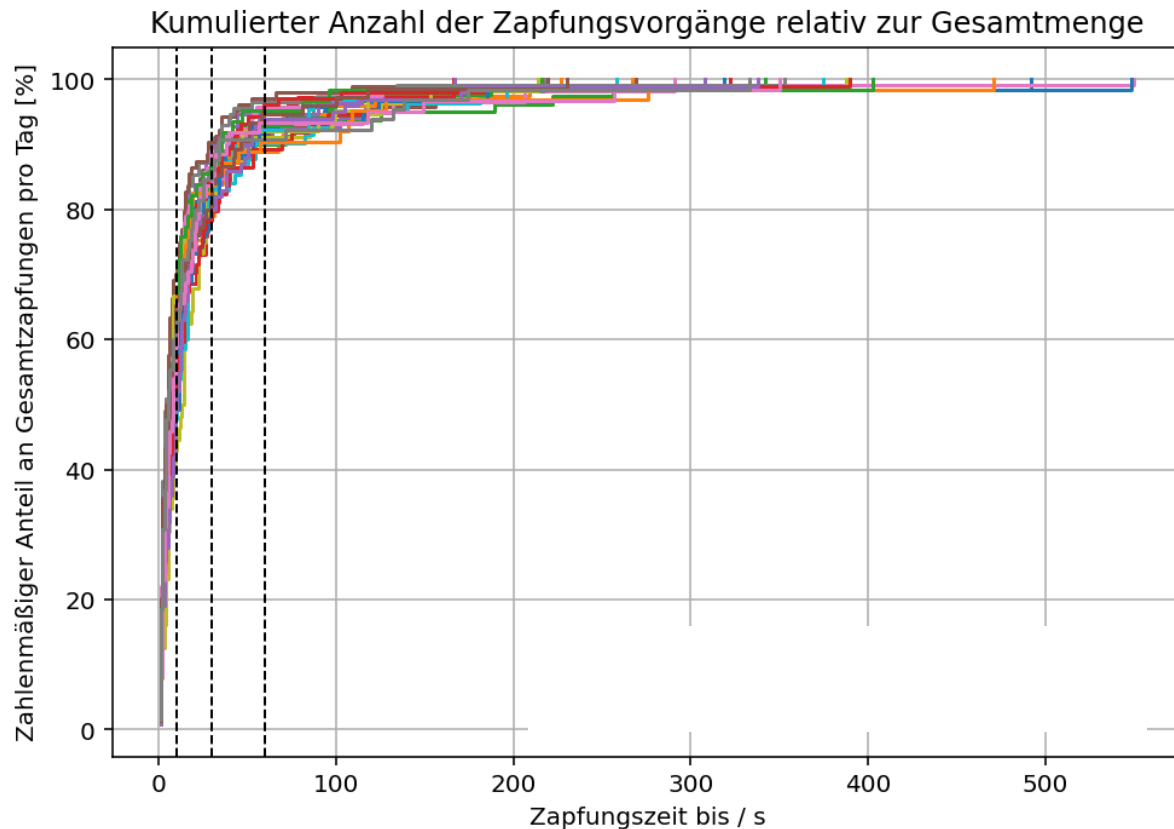
- Field data acquired from Mr. Pärish, group leader „thermal energy systems“ at the Institute for Solar Energy Research in Hameln (ISfH)
- field data of a heat interface unit from a single family home (region Hanover) with high temporal resolution (1 s)
- Acquisition period: Two months in 2024
- Provide good insights regarding gradients in flow and temperature as well as tapping behaviour

- Detect all tappings during the course of a day, evaluate in regard to duration and transferred heat energy (taken from heat register of the heat meter)
- Evaluated gradients of volumetric flow and temperatures
- Alternative calculation of the transferred heat energy (e.g. from different measured quantities in the data) proved not feasible due to limited knowledge of positions and temporal behaviour of the temperature sensors

- Distribution of the tapping
 - Majority of tappings during a day a shorter than 30 s (was expected: washing hands e.g. is done more often than bathing or showering)
- Dynamic behaviour of inlet and return temperatures:
 - Gradient of temperature rise rarely higher than 1 K/s, maximum values just above 2 K/s
 - Compares well with high temporal resolution data (0,1 s) from P. Holoch (Belimo)
 - Also temperature measurements from the data of C. Bombis (Kampstrup) with a temporal resolution of 5 s show similar temperature gradients
- Dynamic behaviour of the volumetric flow
 - Most of the tappings show the same maximum value
 - Very fast rise and fall times (same order of magnitued as acquisition time, 1-2 s)
 - Measurements of P. Holoch show more variability regarding maximum values, but rise and fall times are similar

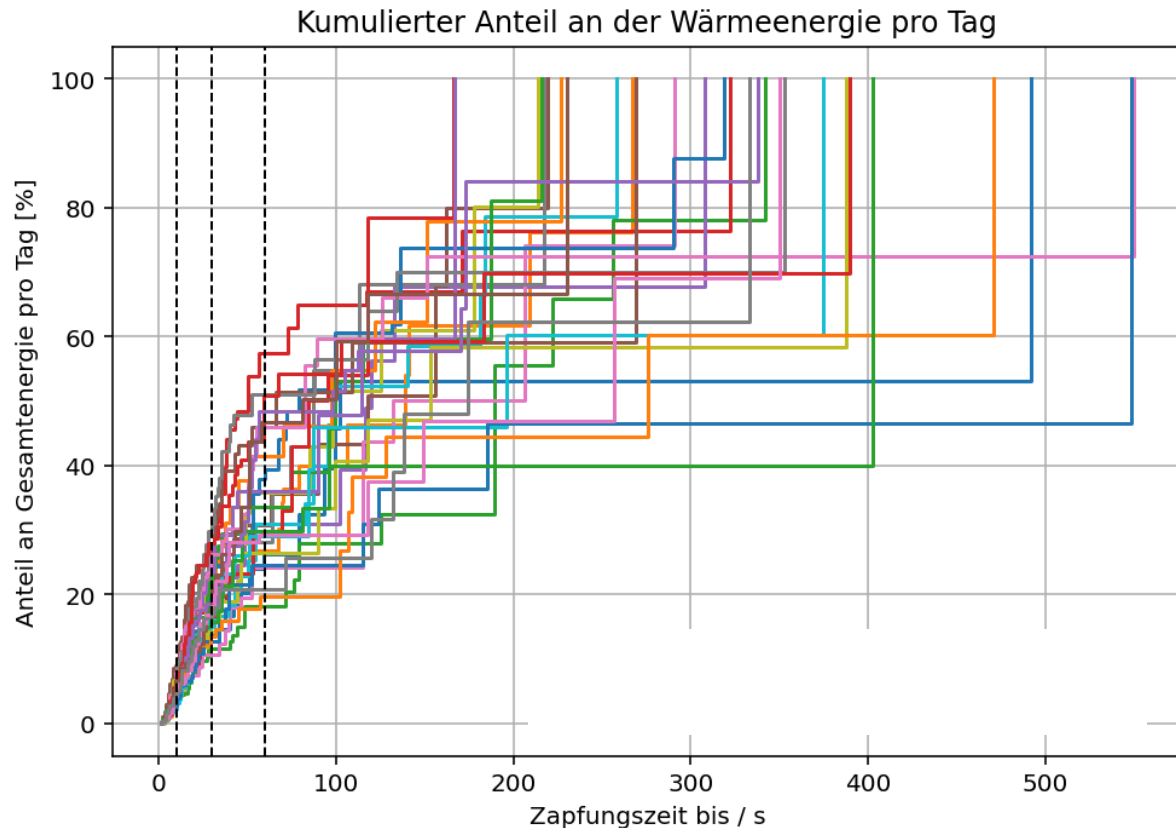
Field data – Frequency of short tapping

- Daywise evaluation of the measurements of a whole month
- Every line stands for one single day
- Count the tappings and compute the share relative to the total tappings per day
- Mean value and std. dev. Calculated for whole month
- Read diagram: „Tappings with a duration up to x seconds have a daily share of y %“



Field data – energy share of short tappings

- Daywise evaluation of the measurements of a whole month
- Every line stands for one single day
- Calculate the energy transferred in every single tapping and compute the share relative to the total transferred energy per day
- Mean value and std. dev. calculated for whole month
- Read diagram: „Tappings with a duration up to x seconds have a daily share of y %“



- Relevance of short tapping events can be proven
- Roughly: Approx. 80 % of the daily tappings as well as 15...20 % of the transferred heat energy for water heating are due to tappings shorter than 30 s
- Approx. 60 % of tappings as well as 5 % of transferred energy result from tappings shorter than 10 s
- Limitation: Based on the measured energy valued from the heat meter installed in the field situation with unknown dynamic behaviour
- Alternative energy calculation was not feasible for this case, as precise setup and dynamics are not well enough known
- Another limitation: All conclusion stem from the data of one single household

- Cooperation with JUMO to utilize machine learning for evaluating field data and possibly generate synthetic tapping profiles



**Physikalisch-Technische Bundesanstalt
Braunschweig und Berlin**

Abbestr. 2-12

10587 Berlin

Markus Kühn

Telefon: 030 3481-7697

E-Mail: markus.kuehn@ptb.de

www.ptb.de

