

# Überprüfung des Erfordernisses von Temperatur- kompensationen bei Gaszählern im Zusammenhang mit der Verifikation der Abrechnungstemperatur – „TC-Gasmessung“

## Kurzfassung

**Dr.-Ing. Frank Burmeister, Dipl.-Ing. Eren Tali, Dr. Johannes Schaffert**  
**Volko Kuschan, Dipl.-Ing. Sabine Feldpausch-Jägers**  
Gas- und Wärme-Institut Essen e. V. (GWI), Essen

**Herausgeber**

DVGW Deutscher Verein des Gas- und Wasserfaches e. V.

Technisch-wissenschaftlicher Verein

Josef-Wirmer-Straße 1-3

53123 Bonn

T +49 228 91885

F +49 228 9188990

[info@dvwg.de](mailto:info@dvwg.de)

[www.dvgw.de](http://www.dvgw.de)

**Überprüfung des Erfordernisses von Temperaturkompensationen bei Gaszählern im Zusammenhang mit der Verifikation der Abrechnungstemperatur – „TC-Gasmessung“**

**Kurzfassung**

Oktober 2024

DVGW-Förderkennzeichen G 202223







# 1 Einleitung und Zielsetzung

Vermeehrt sind Gaszähler in beheizten Räumen verbaut. In diesem Rahmen liegt die Vermutung nahe, dass durch den Wärmeübergang über das Gehäuse und die Rohrleitung die Temperatur des gemessenen Gases höher ist als die festgelegten 15°C Abrechnungstemperatur nach G 685 [1]. Hierdurch würde der Nutzer des Gases wirtschaftlich benachteiligt, da ihm mehr Energie in Rechnung gestellt würde als tatsächlich geliefert wurde. Die prozentuale Veränderung des Gasvolumens in Abhängigkeit der Gastemperatur ist in Abbildung 1.1 dargestellt.

Kern des vorliegenden Projekts ist die Fragestellung, wie sich die Umgebungstemperatur auf die Messtemperatur/Abrechnungstemperatur in Abhängigkeit des Gasvolumenstroms auswirkt. Um reale Betriebsbedingungen abzubilden, werden für die Versuche drei Verbrauchsszenarien für einen Winter-, Sommer- und Übergangstag einer mittleren Klimazone angesetzt. In diesem Rahmen werden die Messergebnisse von nicht-temperaturkompensierten und temperaturkompensierten Zählern (TC-Zähler) verglichen. Insbesondere wird die Messtoleranz der TC-Zähler im Vergleich zur Messabweichung durch die Umgebungstemperatur bzw. Messtemperatur ermittelt.

Das Ziel des Projekts ist die Beurteilung, ob durch den Wärmeübergang durch die verbauten Materialien die Messtemperatur des Gases tatsächlich relevant beeinflusst wird. Sollte dieses festgestellt werden, so soll im Projekt ein Vorschlag gefunden werden, wie und ab welchen Grenzen eine Messtemperatur kompensiert werden muss. Dieses kann durch Anforderungen an die Messtechnik oder durch Anpassung der festgelegten Temperatur geschehen.

Die Sicherstellung der individuell gerechten Abrechnung von Gaskunden steht dabei im Fokus.

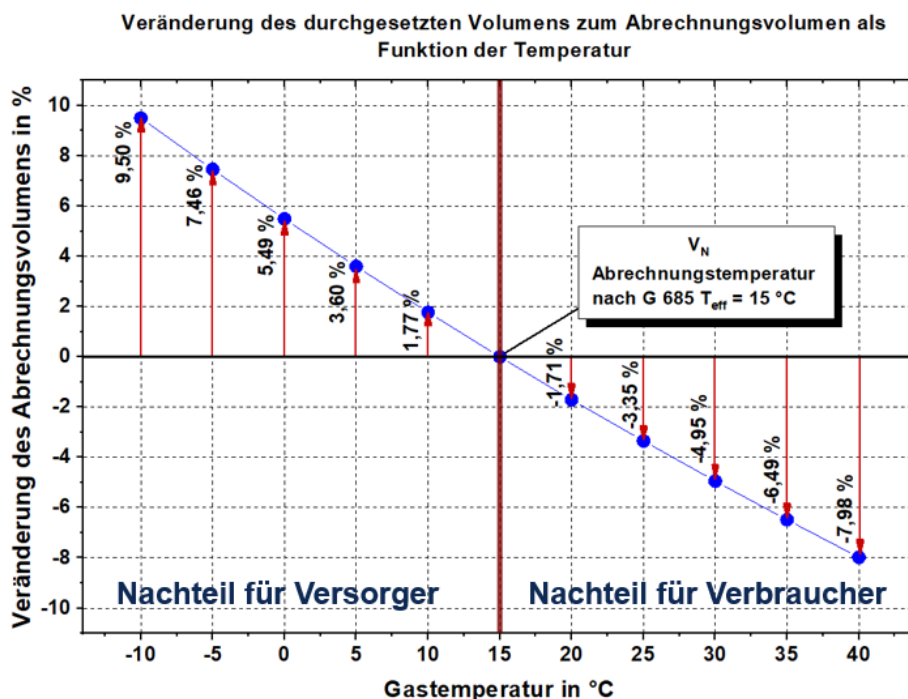


Abbildung 1.1: Veränderung des durchgesetzten Volumens zum Abrechnungsvolumen als Funktion der Gastemperatur

## 2 Zusammenfassung der Projektergebnisse

### Methode

Das Arbeitsprogramm bestand aus der Sichtung anderer Arbeiten im Zusammenhang mit Gaszählung, Tests an einem Versuchsstand des GWI und CFD-Simulationen (CFD: Computational-Fluid-Dynamics). Die Methodik berücksichtigt insbesondere die realistische Abbildung der Gaszählung im praktischen Betrieb bei Gas-Endanwendern, die durch typische Lastprofile und typische Gebäudewärmebedarfe zu unterschiedlichen Jahreszeiten charakterisiert werden. Für die experimentellen Untersuchungen wurden die Mess- und die Umgebungstemperatur, die Gastemperatur am Gebäudeeintritt, am Balgengaszählerein- und austritt sowie der Volumenstrom dargestellt. Ferner wurde die Leitungslänge zwischen Hausanschluss und Zählerplatz variiert, um zu prüfen, ab wann das Rohr der bessere Wärmeübertrager als der Zähler selbst ist. Für die Messungen wurden Balgengaszähler G 4 mit und ohne Temperaturkompensation verwendet und mit Methan getestet.

### Ergebnisse der Literaturrecherche

Die Wasserstoffeinspeisung ins Erdgas kann besonders bei volatilen Anteilen die im Mess- und Eichgesetz vorgeschriebene Messgenauigkeit der Zähler negativ beeinflussen. Daher wurde bereits auch in den vergangenen Jahren die Verträglichkeit von Gaszählern mit wasserstoffhaltigen Gasen in verschiedenen Forschungsprojekten untersucht.

- Im Projekt „Mögliche Beeinflussung von Bauteilen der Gasinstallation durch Wasserstoffanteile im Erdgas unter Berücksichtigung der TRGI“ [2] wurde die Verträglichkeit von Gaszählern mit wasserstoffhaltigen Atmosphären untersucht. In einem Dauerversuch wurden Balgen-, Ultraschall- und thermisch arbeitende Gaszähler für einen Monat einer 100 %-H<sub>2</sub>-Atmosphäre ausgesetzt. Unabhängig vom Messprinzip ändern sich die Zählercharakteristika nach 4-wöchiger Exposition nicht. Der Wechsel von Luft bzw. Stickstoff auf Wasserstoff bewirkt veränderte Zählraten speziell bei den thermischen und den Ultraschallgaszählern. Bei dem Vergleich der Zähler vor und nach der Exposition mit Stickstoff bzw. Luft konnten keine Veränderungen sowohl der Balgengaszähler als auch der thermischen und Ultraschallgaszähler festgestellt werden. Ein H<sub>2</sub>-Effekt auf die Zählwerke bzw. Messprinzipien durch die Exposition bei Raumtemperatur ist nicht erkennbar. Zündtests in Anlehnung an DIN EN 13611:2015, Abschnitt 6.5.3.4 ergaben bei keinem der Zähler eine Zündung.
- Im Forschungsprojekt „Wasserstoffwirkung auf die Gaszählung [...]“ wurde der Einfluss der Wasserstoffbeimischung zum Erdgas für Balgengaszähler untersucht. Es wurden vergleichende Messungen mit den Versuchsgasen Luft, Erdgas H und Erdgas H mit 40 Vol.-% H<sub>2</sub> durchgeführt. Es wurden unterschiedliche bauliche Merkmale von BGZ wie Baugröße, das Vorhandensein einer Temperaturkompensation und die Anzahl der Anschlussstutzen untersucht. Im Ergebnis wurde festgestellt, dass der Einfluss der Gaszusammensetzung auf die untersuchten, nach dem Verdrängungsprinzip basierenden Balgengaszähler vergleichsweise gering ist, mit Abweichungen von  $\leq 1\%$ . [3]
- Der Einfluss der Temperaturkompensation (TC) zeigte sich als signifikanter als der der Gaszusammensetzung.



- Das Forschungsprojekt „H<sub>2</sub>-Messrichtigkeit“ untersuchte das Verhalten von Haushalts-gaszählern im Verbund mit Haushaltsdruckregelgeräten bei Nutzung von H<sub>2</sub>-beaufschlagten Gasen [4]. Da Balgengaszähler in hohen Stückzahlen in den Haushalts-messstellen zur Abrechnung der bezogenen Energiemenge eingesetzt werden, wurde die Genauigkeit von BGZ beim Einsatz von Erdgas-Wasserstoffgemischen (bis zu 30 Vol.-% H<sub>2</sub>) sowie reinem Wasserstoff untersucht. Die Ergebnisse zeigen für die un-tersuchten Gaszähler-Baugrößen G 4 und G 6 eine Eignung für den Betrieb mit Was-serstoff und Wasserstoff-Methan-Gasgemischen.

## Übersicht der Experimente und Simulationen

Die in diesem Projekt durchgeführten Experimente und Simulationen mit den jeweils ange-wendeten Versuchsparametern sowie die Kapitelnummern der Ergebnisdarstellungen im Ab-schlussbericht sind in Tabelle 2.1 zusammengestellt.

**Tabelle 2.1: Zusammenstellung über die im Projekt TC-Gasmessung durchgeführten Experi-mente und Simulationen**

Strukturdiagramm Projekt TC Gasmessung - Übersicht der Experimente und Simulationen															gwi		
Gaszähler	Balgengaszähler G4												Drehkolbengaszähler G16				
Temperaturkompensation	ohne			mit und ohne			ohne						ohne				
Gas	Methan						Wasserstoff			Methan							
Rohrmaterial	Kupfer											Stahl					
Experiment / Simulation	Exp	Sim	Exp	Sim	Exp	Sim	Sim instat.	Sim instat.	Sim + Formel	Sim	Sim + Formel	Sim					
Leitungslänge	1m	1m	2m	2m	2m	2m	1m	2m	3m	1m	2m	3m	1m	2m	3m	1m	2m
Gasvolumenstrom	0,5 m <sup>3</sup> /h - 2,0 m <sup>3</sup> /h						1,67 m <sup>3</sup> /h - 6,67 m <sup>3</sup> /h			0,5 m <sup>3</sup> /h - 2,0 m <sup>3</sup> /h			0,5 m <sup>3</sup> /h - 250 m <sup>3</sup> /h				
Wärmebelastung	5 kW - 20 kW											5 kW, 50 kW, 250 kW					
Gastemp. Gebäudeeintritt	6 °C						4 °C - 6 °C			6 °C							
Umgebungstemperatur	15 °C - 25 °C						15 °C - 30 °C										
Berichtskapitel	5.1	5.1	5.2	5.2	5.3	5.4	6.4	6.5	6.6	7.1	7.1	7.2	8		9.1	9.2	

- Anhand von Lastprofilen wurden Veränderungen der Gasvolumenströme in Abhängig-keit der Temperatur in der Rohrleitung simuliert. Die Simulationen erfolgten für einen Winter- und Übergangstag für Einfamilienhäuser verschiedener Baualtersklassen.
- Bestimmung von Näherungsformeln für die Gastemperatur als Funktion von Umge-bungstemperatur und Leitungslänge sowie von Leitungslänge und Gasvolumenstrom.

## Ergebnisse der experimentellen Untersuchungen

Ein Versuchsstand des GWI wurde für die neue Messaufgabe angepasst. Die Rohrleitung aus Kupfer wurde mit den Messstellen der Temperaturen und Drücke sowie den Balgengaszählern der Baugröße G 4 in eine Klimakammer eingebaut. Somit konnten über Wärmetauscher und einem Laudabad die Umgebungstemperaturen der BGZ und auch die Gaseintrittstemperatur gezielt eingestellt und eingehalten werden. Als Messgas wurde Methan (G 20) verwendet. Reiner Wasserstoff als Fluid wurde simuliert (s.u.). Der Volumenstrom wurde über einen Gas-

Massendurchflussregler der Firma Alicat eingestellt. Hierbei handelt es sich um ein präzises Messgerät mit einer Messgenauigkeit von 0,6 %.

Zunächst wurde ein BGZ mit 1 m und 2 m Zuleitungslänge untersucht. Anschließend erfolgten Messungen mit zwei in Reihe geschalteten Balgengaszählern, einmal mit und einmal ohne Temperaturkompensation. Bei den Umgebungstemperaturen 15, 20, 25 °C wurden Gasnormvolumenströme zwischen 0,5 und 2,0 m<sup>3</sup>/h untersucht. Weiterhin wurden Untersuchungen mit getauschter Zähler-Reihenfolge sowie mit zwei neuen Balgengaszählern wiederholt.

Es lassen sich folgende Kernergebnisse der Laborversuche formulieren:

- Die Mess- und Simulationsergebnisse der 1 m langen Kupferrohrleitung bei Gasnormvolumenströmen von 0,5 bis 2,0 m<sup>3</sup>/h und jeweils 3 verschiedenen Umgebungstemperaturen (15, 20, 25 °C) zeigen Unterschiede in den Temperaturen am Gaszählereintritt und austritt von maximal etwa  $\pm 1$  K.
- Für die 2 m lange Kupferrohrleitung gilt: Je höher die Umgebungstemperatur ist, desto größer sind die Temperaturdifferenzen zwischen Messung und Simulation. Der Unterschied beträgt dabei zwischen -0,5 und 1,5 K.
- Je kürzer die Zuleitung zum BGZ ist, desto niedriger ist die Temperatur in der Leitung.
- Die Messabweichungen zwischen den Balgengaszählern mit und ohne Temperaturkompensation betragen zwischen  $\pm 0,5$  %, sie steigen mit zunehmendem Volumenstrom von -0,5 % in Richtung 0,5 % an. Je höher die Umgebungstemperatur, desto größer ist die Abweichung zwischen dem BGZ ohne und mit Temperaturkompensation.
- Die Messergebnisse zeigen, dass eine Temperaturkompensation erforderlich ist, wenn eine Umgebungstemperatur  $> 20$  °C auftritt. Dies ist bei Gebäuden der Fall, wo der Balgengaszähler im beheizten Umfeld installiert ist.

### Ergebnisse der CFD-Simulationen

- Der Vergleich zwischen den Mess- und Simulationsergebnissen ergibt eine gute Übereinstimmung.
- **Einfluss der Position des Gasdruckreglers:** Die Position des Gasdruckreglers wurde zu Beginn der Leitung und in zwei Fällen direkt vor dem BGZ simuliert. Bei den Umgebungstemperaturen von 15 und 20 °C wirkt sich der Einbauort des GDR nicht auf die Temperatur des Methans am BGZ-Austritt aus. Sind die Umgebungstemperaturen bei 25 bis 30 °C, liegen die Temperaturen am BGZ-Austritt bei dem direkt vor dem BGZ positionierten Gasdruckregler ca. 0,5 bis 1 K niedriger als bei dem am Gaseintritt eingebauten GDR. Dies gilt für 1 Meter Leitungslänge, ist die Leitung länger als 1 m, ist kein Einfluss der GDR-Position erkennbar.
- **Einfluss der Leitungslänge:** Ist der Gasdurchfluss gering, spielt die Länge der Rohrleitung bei der Temperatur in den verschiedenen langen Rohrleitungen keine große Rolle. Die Austrittstemperatur am Balgengaszähler beträgt auch bereits nach 2 m Länge annähernd Umgebungstemperatur. Bei einer Wärmebelastung von 20 kW wirkt sich die Leitungslänge auf die Gastemperatur aus, die Gastemperatur überschreitet bei einer

Leitungslänge von 2 m die Abrechnungstemperatur von 15 °C. Bis zu einer Leitungslänge von 1,5 m überschreitet die Gastemperatur bei der maximalen Wärmebelastung von 20 kW und den Umgebungstemperaturen unter 25 °C die Abrechnungstemperatur von 15 °C nicht.

- **Einfluss der Wärmebelastungen:** Bei den Wärmebelastungen 5, 10, 15 und 20 kW und einer Leitungslänge von 1, 2 und 3 m bei sonst gleichen Versuchsparametern wurden die Gastemperaturverläufe in der Rohrleitung und im BGZ simuliert. Je höher die Wärmebelastung und somit auch der Gasdurchfluss, desto niedriger ist die Gastemperatur am Austritt des Balgengaszählers. Die Temperatur am BGZ-Austritt sinkt bei einer Leitungslänge von 2 Metern mit jeder 5 kW Mehrbelastung um ungefähr jeweils 1 K. Bei Belastungen ab 15 kW und Umgebungstemperaturen unter 25 °C bleibt die Gastemperatur bis zu einer Leitungslänge von 1 m unter der Abrechnungstemperatur von 15 °C.
- **Einfluss der Gaseintrittstemperatur:** Simulationen mit der Verringerung der Gaseintrittstemperatur von 6 °C auf 4 °C und ansonsten gleichen Randbedingungen ergaben nur eine geringe Auswirkung auf die Gasaustrittstemperatur am Balgengaszähler. Bei einer Leitungslänge von 1 m und 5 kW Belastung liegt die Gastemperatur am Balgengaszählereintritt durch die niedrigere Eintrittstemperatur noch ca. 1 K niedriger, am BGZ-Austritt beträgt die Differenz noch ca. 0,5 K. Bei 20 kW Wärmebelastung ist am BGZ-Austritt kaum ein Unterschied bei den Gastemperaturen zu erkennen, die kühlere Gaseintrittstemperatur weist keinen Einfluss mehr auf. Ist die Kupferrohrleitung 2 Meter lang, wirkt sich die Eintrittstemperatur des Methans auf die BGZ-Austrittstemperatur bei 5 kW Wärmebelastung nicht aus, bei 20 kW Belastung zeigt sich ein geringer Unterschied von 0,5 K.
- **Simulationen unter Berücksichtigung von instationären Wärmebelastungen:** Es wurde der Einfluss des Wärmebedarfs eines Einfamilienhauses älterer und mittlerer Bauart bei einem bedeckten Winterwerktag, sonnigem Wintersonntag und einem bedeckten Übergangswerktag auf die mittlere Gastemperatur im Balgengaszähler simuliert. Die Veränderungen der Gasnormvolumenströme am BGZ ohne Temperaturkompensation zum BGZ mit TC aufgrund der Gastemperaturen für die Leitungslängen 1, 2 und 3 Meter sind in Tabelle 2.2 zusammengestellt. Je länger die Rohrleitung, desto größer die Veränderung der Gasvolumenströme am BGZ ohne Temperaturkompensation zum BGZ mit TC. Beispielsweise liegt der Gasnormvolumenstrom bei 2 m Leitungslänge, abhängig vom Typtag, zwischen 1 und 1,3 % über dem Normgasvolumenstrom des mit dem temperaturkompensierten BGZ gemessenen Normvolumenstroms. Auch steigt die mittlere Temperatur im Balgengaszähler mit zunehmender Leitungslänge an. Diese steigt außerdem auch mit geringer werdendem täglichen Wärmebedarf an, da der Gasvolumenstrom sinkt.

**Tabelle 2.2: Veränderungen der Gasnormvolumenströme am BGZ ohne TC zum BGZ mit TC und mittlere Temperatur im BGZ je Typtag**

Kupferrohrlänge		1 m		2 m		3 m	
Umgebungstemperatur 20 °C, Gaseintrittstemperatur 6 °C							
Typtag	Wärmebedarf	$\Delta V_{(Gas),N}$	$T_{M, BGZ}$	$\Delta V_{(Gas),N}$	$T_{M, BGZ}$	$\Delta V_{(Gas),N}$	$T_{M, BGZ}$
	kWh/d	[%]	[°C]	[%]	[°C]	[%]	[°C]
WWB	194,7	0,48	16,4	0,96	17,8	1,23	18,6
WSH	120,0	0,69	17,0	1,13	18,3	1,37	19,0
ÜWB	98,7	1,03	18,0	1,34	18,9	1,54	19,5

Die Abhängigkeit der mittleren Gastemperatur des Balgengaszählers von der Wärmebelastung für die Typ-Tagesprofile und einer Umgebungstemperatur von 20 °C für die 1 m lange Kupferrohrleitung bis zum Eintritt in den BGZ wurde simuliert. Bei allen Tagesprofilen liegt die mittlere Gastemperatur im Balgengaszähler höher als die effektive Temperatur von 15 °C, die Abrechnungstemperatur nach G 685.

Die Simulationen des instationären Betriebs des Heizgerätes während eines Duschvorgangs im Sommer bei einer Umgebungstemperatur von 25 °C ergab aufgrund der nur kurzen Betriebszeiten eine Gastemperatur in Höhe der Umgebungstemperatur.

Es wurden aus Jahresbedarfsprofilen nach VDI 4655 [5] für ein altes Einfamilienhaus sowie für ein EFH mittlerer Baualtersklasse die Differenzen bei den Gasnormvolumenströmen am BGZ ohne TC zum BGZ mit TC und die mittleren Temperaturen im BGZ simuliert. Über das ganze Jahr betrachtet ruft beispielsweise bei einem alten EFH mit einer 2 Meter langen Kupferrohrleitung bis zum BGZ die höhere Gastemperatur im Vergleich zur Abrechnungstemperatur (15 °C) eine Differenz eines jährlichen Wärmebedarfs von 380 kWh hervor, für ein EFH der mittleren Baualtersklasse beträgt die Differenz 285 kWh, siehe Tabelle 2.3.

**Tabelle 2.3: Jährliche Veränderungen der Gasnormvolumenströme am BGZ ohne TC zum BGZ mit TC, mittlere Temperatur im BGZ und Differenz der Wärmemenge verschiedener EFH-Typen**

Kupferrohrlänge		1 m		2 m		3 m					
Umgebungstemperatur 20 °C, Gaseintrittstemperatur 6 °C											
EFH Typ	Wärmebedarf	$\Delta V_{(Gas),N}$	$T_{M, BGZ}$	$\Delta Q$	$\Delta V_{(Gas),N}$	$T_{M, BGZ}$	$\Delta Q$	$\Delta V_{(Gas),N}$	$T_{M, BGZ}$	$\Delta Q$	
	kWh/a	[%]	[°C]	kWh/a	[%]	[°C]	kWh/a	[%]	[°C]	kWh/a	
Alt	Q Heizung	30.000	0,75	17,0	240	1,18	18,5	380	1,43	19,2	460
	Q TWW (3 P)	2190									
Mittel	Q Heizung	16.800	1,1	18,2	215	1,45	19,2	285			
	Q TWW (4 P)	2920									

### Formeln zur Berechnung von Gastemperaturen in der Rohrleitung

Ein Projektziel war die Entwicklung einer Berechnungsmöglichkeit der Gastemperatur in der Rohrleitung bei einem vorgegebenen Wärmebedarf und verschiedenen Umgebungstemperaturen. Aus den simulierten Gastemperaturverläufen für eine Wärmebelastung von 5 kW und 20 kW, einer Gaseintrittstemperatur von 6 °C und Umgebungstemperaturen von 15, 20, 25 und 30 °C konnten Formeln zur Temperaturberechnung für eine bis zu 3 Meter lange Kupferrohrleitung bei Durchströmung mit Methan entwickelt werden. Ein Vergleich der simulierten Gastemperaturverläufe mit denen mittels der Formeln berechneten Verläufe ergab eine sehr gute Übereinstimmung, sie sind annähernd deckungsgleich.

Die mit der Formel zur Berechnung der Gastemperatur in Abhängigkeit der Gasdurchflusses für verschiedene Positionen in der Rohrleitung berechneten Gastemperaturverläufe sind bis zu einer Rohrlänge von 2 m mit den simulierten Temperaturen fast deckungsgleich, im weiteren Verlauf, insbesondere ab dem Eintritt in den Balgengaszähler, driften die Temperaturen bis zu 2 K auseinander. Die mit der Formel berechneten Temperatur ist jeweils niedriger als die simulierte Temperatur.

Es wurden Formeln zur Berechnung der Gastemperaturen bei der Durchströmung von Methan und Wasserstoff entwickelt.

- **Simulationsergebnisse für Wasserstoff:** Die angegebenen Simulationsparameter sowie die Simulationsgeometrie wurden auch für die Simulationen mit Wasserstoff angewendet. Aufgrund des deutlich geringeren Heizwertes von  $H_2$  im Vergleich zu Methan sind bei dem Einsatz von Wasserstoff bei konstant gebliebener Energiemenge für die Gerätebelastung 5 kW 1,67 m<sup>3</sup>/h (Methan 0,5 m<sup>3</sup>/h) sowie für 20 kW 6,67 m<sup>3</sup>/h (Methan 2,0 m<sup>3</sup>/h) erforderlich. Diese erheblich größeren Normvolumenströme durchströmen die Rohrleitung zum BGZ mit einer viel höheren Geschwindigkeit, was sich auf die Temperatur des Fluids auswirkt. Bei der 5 kW Wärmebelastung und den Leitungslängen 2 und 3 m unterscheiden sich die mit Wasserstoff simulierten Gastemperaturen kaum von denen mit Methan simulierten Temperaturen. Hingegen bei der Wärmebelastung von 20 kW wirkt sich der große Volumenstrom des Wasserstoffs deutlich auf die Gastemperaturen aus, sowohl bei 1 m Leitungslänge als auch bis zu 3 Metern Rohrleitung bis zum Balgengaszähler. Je höher die Wärmebelastung und somit auch der Gasdurchfluss des Wasserstoffs, desto niedriger ist die Gastemperatur am Austritt des BGZ. Ab einer Belastung von 10 kW und einer Umgebungstemperatur von 25 °C bis zu einer Leitungslänge von 2 m bleibt die Gastemperatur unter der Abrechnungstemperatur von 15 °C. Bei dem Einsatz von Wasserstoff wird aufgrund höherer Volumenströme bei konstant gebliebener Leistung keine Temperaturkompensation notwendig sein.
- **Simulationsergebnisse mit Stahlrohrleitung:** Die angegebenen Simulationsparameter sowie die Simulationsgeometrie für Kupferrohrleitungen wurden ebenfalls für die Simulationen mit einer Stahlrohrleitung eingesetzt. Das Stahlrohr unterscheidet sich im Vergleich zum Kupferrohr etwas in den Innen- und Außen-Durchmessern sowie der Wandstärke. Die Durchmesser der gleichen Nennweite einer Stahlrohrleitung sind gegenüber der Kupferleitung etwas größer. Aufgrund des größeren Durchmessers und der niedrigeren Geschwindigkeiten im Stahlrohr findet bei dem Stahlrohr eine höhere Wärmeübertragung als beim Kupferrohr statt. Dadurch liegen die Temperaturen im Stahlrohr ca. 1 K höher als im Kupferrohr.
- **Simulationsergebnisse eines Drehkolbengaszählers:** Drehkolbengaszähler werden für kommerzielle und industrielle Anwendungen mit Erdgas eingesetzt. Das Verhalten der Gastemperatur in Abhängigkeit der Leitungslänge sowie der Umgebungstemperatur wurde mit einem DKGZ der Größe G 16 mit einem maximalen Volumenstrom von 25 m<sup>3</sup>/h simuliert. Für eine Belastung des Kessels von 5 kW und 250 kW sowie den Umgebungstemperaturen von 15, 20, 25 und 30 °C wurden die Gastemperaturen in der 1 und 2 Meter langen Stahlrohrleitung bis zum Drehkolbengaszählereintritt simuliert. Als Gaseintrittstemperatur wurde 6 °C angenommen, der Wärmeübergangskoeffizient mit 1,2 W/m<sup>2</sup>K eingesetzt und die Position des Gasdruckreglers zu Beginn der Leitung berücksichtigt. Mit Hilfe der simulierten Gastemperaturverläufe

konnten Formeln zur Berechnung der Gastemperatur in Abhängigkeit der Wärmebelastung entwickelt werden. Bei einer Leitungslänge von 1 m bleibt die Gastemperatur bei einer Belastung größer als 11 kW und bei 2 m größer als 20 kW unterhalb der Abrechnungstemperatur von 15 °C. Ein Wärmebelastungsprofil eines Kessels eines mittelständischen Gewerbebetriebs konnte für die Simulationen der Gastemperatur am Austritt des DKGZ sowie der gemittelten Gastemperatur im DKGZ für drei verschiedene Jahrestypstage (Winter, Übergang, Sommer) angewendet werden. Bei der 1 Meter langen Zuleitung bis zum DKGZ ergeben sich im Winter eine mittlere Gastemperatur von 13 °C und in der Übergangszeit 13,6 °C. Ist die Zuleitung 2 Meter lang, ergeben sich im Winter eine mittlere Gastemperatur von 15 °C und in der Übergangszeit 15,8 °C. Im Sommer liegt die Gastemperatur für beide Leitungslängen in der Höhe der Umgebungstemperatur. Bei einer Wärmebelastung von ca. 38 kW wird die Abrechnungstemperatur im Winter nicht und in der Übergangszeit nur gering überschritten.

### Kernergebnisse

- Ein Vergleich der Ergebnisse aus den Simulationen mit den Messungen zeigt eine gute Übereinstimmung. Die Unterschiede zwischen den Simulations- und Messwerten liegen im Bereich -1 bis 1 K.
- Die Gastemperatur in der Leitung steigt mit zunehmender Umgebungstemperatur an.
- Je länger die Rohrleitung bis zum Zähler, desto wärmer wird das Gas.
- Mit steigendem Gasvolumenstrom nimmt die Gastemperatur in der Leitung ab. Dabei ist zu beachten, dass es einen nicht-linearen Zusammenhang gibt: die Temperatur steigt umso stärker, je niedriger der Volumenstrom ist.
- Der wesentliche Einflussfaktor auf die Gastemperatur am Ort der Gasmessung ist die Raumtemperatur, nicht die Gastemperatur beim Eintritt in die Gebäudehülle.
- Aufgrund des größeren Durchmessers und der niedrigeren Geschwindigkeiten im Stahlrohr der Nennweite DN 20 ( $D_i = 21,3$  mm) findet eine höhere Wärmeübertragung als beim Kupferrohr ( $D_i = 20$  mm) statt. Dadurch liegen die Temperaturen im Stahlrohr ca. 1 K höher als im Kupferrohr.
- Bei der Messung zur Abrechnung von Wasserstoffverbräuchen häuslicher Endkunden wird aufgrund höherer Volumenströme unter der Annahme konstant gebliebener Belastung keine Temperaturkompensation notwendig sein.
- Die Simulationen für einen Winter- und Übergangstag für ein Einfamilienhaus ergaben eine mittlere Gastemperatur des Gaszählers von ca. 18 °C bei einer Umgebungstemperatur von 20 °C, die eine Abweichung von 1 bis 1,3 % zwischen BGZ ohne TC und mit TC verursacht.
- Ein Vergleich der simulierten Gastemperaturverläufe mit den anhand der im Rahmen dieses Projektes entwickelten Formeln berechneten Temperaturverläufe ergibt eine sehr gute Übereinstimmung. Die Formeln aus Kapitel 5.3 des Abschlussberichtes könnten bei häuslichen Endkundeninstallationen Anwendung finden.

### 3 Handlungsempfehlungen

Für die Installation der hier untersuchten Gaszähler vom Typ Balgengaszähler G4 und Drehkolbengaszähler G16 können folgende Handlungsempfehlungen gegeben werden:

- (1) Die Gaszuleitung zwischen Gebäudeeintritt und Balgengaszähler sollte so kurz wie möglich gehalten werden, um eine Benachteiligung der Endkunden bei der Gasabrechnung durch den Einfluss von Gas-Temperaturen über 15 °C möglichst weitgehend auszuschließen. Sollte die Länge der Zuleitung aus baulichen Gründen mehr als z.B. 2 m betragen, so ist der Einsatz einer temperaturkompensierten Gaszählung zu empfehlen.
- (2) Der Installationsort des Balgengaszählers sollte in einem nicht beheizten Bereich des Gebäudes liegen. Je höher die Umgebungstemperatur ist, desto mehr weicht die Gas-temperatur von der Abrechnungstemperatur von 15 °C ab und desto stärker entwickelt sich die Messabweichung zu Ungunsten des Endanwenders. Sollten Zuleitung und Gaszählung aus baulichen Gründen in beheizten Gebäudeteilen installiert werden, so ist der Einsatz einer temperaturkompensierten Gaszählung zu empfehlen. Diese Empfehlung trifft auch auf Gebäudeteile zu, die auch ohne vorhandene Raumbeheizung Durchschnittstemperaturen deutlich über 15 °C aufweisen.
- (3) Im Fall des Wechsels von Erdgasversorgung auf Wasserstoffversorgung wird bei der Volumenmessung unter der Annahme ansonsten unveränderter Randbedingungen in der Regel keine Temperaturkompensation des Balgengaszählers notwendig sein.
- (4) Auch im Fall von Drehkolbengaszählern wird im Regelfall keine Temperaturkompensation erforderlich sein, da diese Zähler typischerweise für die Messung größerer Volumenströme eingesetzt werden und daher weitaus weniger empfänglich für Umgebungstemperatureinflüsse sind. Dieselbe Schlussfolgerung trifft auf Balgengaszähler zu, die aufgrund wesentlicher höherer Volumenströme deutlich größer dimensioniert sind als der hier untersuchte Typ G4.

## 4 Literaturverzeichnis

- [1] DEUTSCHER VEREIN DES GAS- UND WASSERFACHES E.V. (DVGW): Technische Regel - Arbeitsblatt DVGW G 685 Gasabrechnung (08/2020).
- [2] SCHOLTEN, F., DÖRR, H., WERSCHY, M.: *Mögliche Beeinflussung von Bauteilen der Gasinstallation durch Wasserstoffanteile im Erdgas unter Berücksichtigung der TRGI - Abschlussbericht; DVGW-Förderkennzeichen G 201615*. Bonn : DVGW Deutscher Verein des Gas- und Wasserfaches e. V. Technisch-wissenschaftlicher Verein, 2018. — Blindzitat EBI Roadmap Gas 2050
- [3] GÖTZE, PITT: *Wasserstoffwirkung auf die Gaszählung - Untersuchung des Verhaltens und der Eichgültigkeit von häuslichen und gewerblichen Gaszählern unter hohen, volatilen Wasserstoffmengen im Erdgas* (Abschlussbericht). Freiberg : DBI - Gastechnologisches Institut gGmbH, n.a.
- [4] KRAMER, RAINER ; WEYHE, MATTHIAS ; BÖCKLER, HANS-BENJAMIN: *Untersuchung des Verhaltens von Haushaltsgaszählern im Verbund mit Hausdruckregelgeräten bei Nutzung von H<sub>2</sub>-beaufschlagten Gasen - Abschlussbericht; DVGW-Förderkennzeichen G 202010*. Bonn : DVGW Deutscher Verein des Gas- und Wasserfaches e. V., 2022
- [5] INGENIEURE, VDI: VEREIN DEUTSCHER: *VDI 4655 – Referenzlastprofile von Wohngebäuden für Strom, Heizung und Trinkwarmwasser sowie Referenzerzeugungsprofile für Fotovoltaikanlagen*, 2021