

**Autor: Philip Holoch, Senior Development Engineer für Sensoren der BELIMO Automation AG, Hinwil, Schweiz**

## **Herausforderungen beim Messen des Glykolgehalts meistern**

Glykol wird üblicherweise verwendet, um zu verhindern, dass in Heiz-, Kühl- und Klimaanlage eingesetzte Wärmeträgermedien gefrieren. Es findet in der Regel Anwendung in Systemen, deren Rohrleitungen äusseren Witterungseinflüssen ausgesetzt sind – Dachzentralen, Freikühlsysteme, Kühltürme –, sowie in ökologischen Energieanwendungen wie thermischen Solarkollektoren. Glykol kann auch in Fernkühlsystemen eingesetzt werden – zum Beispiel in Hochhäusern – und in Niedrigtemperaturnetzen, die eine Vielzahl von Kunden bedienen. Allen Systemen ist jedoch gemeinsam, dass die Zugabe von Glykol zu erheblichen Fehlern bei der Messung thermischer Energie führen kann, wenn das verwendete Messgerät ausschliesslich für Wasser vorgesehen ist. Inzwischen ist ein innovativer Durchflusssensor auf dem Markt, der Änderungen in der Zusammensetzung von flüssigen Gemischen automatisch erkennt und ausgleicht. Zudem liefert dieser präzise Messergebnisse für Volumenstrom und Wärmeenergie – sowohl bei Wasser- als auch bei Glykol-Anwendungen. Dieser Artikel stellt einige der technischen Aspekte und Konzepte dieses einzigartigen Produkts vor.

### **Vor- und Nachteile**

Moderne Wärmeträgermedien sind komplexe Gemische, die zu rund 60 bis 75% aus deionisiertem Wasser und zu 25 bis 40% aus Monoethylen- oder Propylenglykol bestehen. Üblicherweise werden Zusätze wie Stabilisatoren, Korrosionsinhibitoren, Sauerstofffänger und Antifouling-Mittel zugegeben. Im Vergleich zu reinem Wasser als Wärmeträgermedium besteht der grosse Vorteil von Wasser-Glykol-Gemischen darin, Systeme auch bei Minusgraden betreiben zu können. Allerdings bringt der Einsatz dieser Gemische auch eine Reihe von Problemen mit sich. Sie sind erheblich kostspieliger als Wasser und haben eine geringere Wärmekapazität, sodass der Durchfluss um 30% erhöht werden muss, um die gleiche Energiemenge zu transportieren. Bei niedrigen Temperaturen werden Wasser-Glykol-Gemische schnell viskos, daher werden etwa 50 bis 100% zusätzliche Pumpenenergie benötigt, um den bei Verwendung von Wasser erzielten Wärmeaustausch zu erreichen. Eine weitere Herausforderung besteht darin, dass Ethylenglykole giftig sind. Propylenglykole sind – wie viele Zusatzstoffe auch – nicht umweltfreundlich, daher müssen sie nach Ablauf der Nutzungsdauer fachmännisch entsorgt werden.

## Die richtige Mischung

Es gibt deutliche Unterschiede in den Zusammensetzungen der von einer Vielzahl von Anbietern vorgemischten Glykole. Jeder Hersteller bietet ein grosses Sortiment unterschiedlicher Rezepturen für bestimmte Anwendungen an. Die genaue Zusammensetzung der vorgemischten Glykole kann sich regelmässig ändern – zum Beispiel zwecks Kostenoptimierung oder weil sich die Gesetzgebung hinsichtlich der Inhaltsstoffe geändert hat. Oft informieren Hersteller ihre Kunden hierüber jedoch nicht. Während in Europa bevorzugt vorgemischte Glykole gekauft werden, können Wärmeträgermedien in Nordamerika auch vor Ort zusammengemischt werden. Erschwerend kommt hinzu, dass sich die Zusammensetzung des Gemisches – und damit seine physikalischen Eigenschaften – mit der Zeit auf unvorhersehbare Weise ändern kann:

- Durch Zersetzung kann das Gemisch flockig werden, besonders aufgrund von Überhitzung in Solaranwendungen;
- Zugabe von Wasser zum Ausgleichen von Druckverlusten im System, dadurch Verringerung der Glykolkonzentration (Frostschutz verringert oder gar ausgehebelt);
- Unterschiede in der Zusammenstellung von Zusatzstoffen aufgrund ungenauer Mischung vor Ort.

## Herausforderungen beim Messen des Glykolgehaltes

Jede Änderung an den Gemischen der Wärmeträgermedien, siehe Beispiele oben, nimmt Einfluss auf ihre Dichte, Wärmekapazität und Viskosität, wodurch wiederum die Messwerte von Wärmeenergie (Q, siehe folgende Gleichung) und Volumenstrom beeinflusst werden.

Eine Änderung der Viskosität beeinflusst das Strömungsprofil oder die Geschwindigkeitsverteilung innerhalb des Rohres. Bei einem für den Betrieb mit Wasser vorgesehenen Wärmezähler, der für Wasser-Glykol-Gemische eingesetzt wird, werden Änderungen der Eigenschaften von Wärmeträgermedien folglich einen Fehler bei der Wärmemessung von kumulativ bis zu 40% aufweisen. Ist die genaue Zusammensetzung des Wärmeträgermediums bekannt, kann dies jedoch kompensiert werden.

Die thermische Energie Q wird durch folgende Formel definiert:

$$Q = \int \dot{V} \cdot \rho \cdot c_p \cdot \Delta T \cdot dt$$

$\dot{V}$  = Volumenstrom

$\rho$  = Dichte

$c_p$  = Wärmekapazität

$\Delta T$  = Differenztemperatur (Vorlauf – Rücklauf)

## Zuverlässige Durchflussmessung

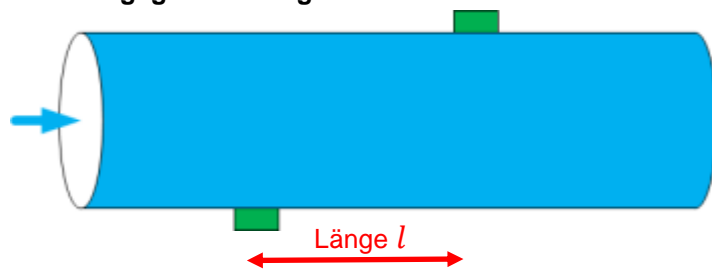
Obwohl dieses Problem seit Jahren weithin bekannt ist und verstanden wird, bestanden die einzigen Optionen bis vor kurzem darin, das Risiko von Messfehlern zu akzeptieren oder bei Systemen, in denen der Wärmeaustausch gemessen werden muss, auf den Einsatz von Glykol zu verzichten. In Europa ist sein Einsatz in Fernheiznetzen sogar stark eingeschränkt, da hier präzise Messungen zur genauen Kundenabrechnung unabdinglich sind. Oder man investiert in kostspielige Messtechnik, um Änderungen der Eigenschaften von Wärmeträgermedien manuell kompensieren zu können. Ein neu entwickelter Durchflusssensor (Belimo) bietet nun jedoch die automatische und kontinuierliche Messung und Kompensation des Glykolgehaltes und gewährleistet so die optimale Leistung eines HVAC-Systems. Mithilfe der Ultraschall-Laufzeittechnologie bietet dieser Sensor eine Methode für die Messung thermischer Energie.

Im Gegensatz zu elektromagnetischen Durchflusssensoren ist er unempfindlich gegen Magnetite, hat eine längere Lebensdauer als Flügelrad-Durchflussmesser und kann mit einer Vielzahl von Wärmeträgermedien mit unterschiedlichen Glykolkonzentrationen eingesetzt werden.

## Funktionsweise

Der neuartige Ultraschall-Durchflussmesser ermittelt die Strömungsgeschwindigkeit mit zwei versetzten Messumformern (Abbildung 1), indem die Schallgeschwindigkeit in den Wärmeträgermedien gemessen wird. Die Laufzeit in Flussrichtung wird gemessen, indem zuerst ein Ultraschallimpuls vom unteren zum oberen Messumformer gesendet wird. Danach wird in umgekehrter Richtung die Laufzeit gegen die Flussrichtung ermittelt. Basierend auf dem Durchfluss durch das Sensorrohr unterscheiden sich die Laufzeiten: In Flussrichtung wird der Durchfluss beschleunigt, gegen die Flussrichtung wird er jedoch gebremst. Mithilfe der Laufzeiten der Ultraschallimpulse kann die Strömungsgeschwindigkeit ( $v_{meas}$ ) ermittelt werden.

### Strömungsgeschwindigkeit



$v_{meas}$  = gemessene Strömungsgeschwindigkeit

$c$  = Konstante

$l$  = Länge

$tt$  = Laufzeit

$$v_{meas} = c \cdot \frac{l}{2} \cdot \left( \frac{1}{tt_{down}} - \frac{1}{tt_{up}} \right)$$

Abbildung 1: Messen des Volumenstroms mit Ultraschall.

Zusammen mit der Mediumstemperatur kann die kinematische Viskosität ( $\eta$ ) berechnet und der Volumenstrom ermittelt werden. Für den Volumenstrom wird die durchschnittliche Strömungsgeschwindigkeit über den gesamten Rohrdurchmesser benötigt – nicht nur an einem einzelnen Punkt. Dies wird durch unterschiedliche Strömungsprofile (Abbildung 2) beeinflusst. Bei der laminaren Strömung (grau) ist die Strömungsgeschwindigkeit in der Rohrmitte am höchsten und nimmt zur Rohrwand hin ab. Bei der turbulenten Strömung (blau) hingegen ist die Strömungsgeschwindigkeit über den gesamten Rohrdurchmesser hinweg nahezu identisch. Dieser Effekt wird im Betrieb üblicherweise durch Korrekturkurven kompensiert, mit deren Hilfe der Durchflusssensor kalibriert wird. Da das Strömungsprofil jedoch von der Viskosität des Mediums beeinflusst wird, kann Glykol im System zu erheblichen Messfehlern führen.

Volumenstrom

$$\dot{V} = \int v \cdot dA = A \cdot \bar{v}$$

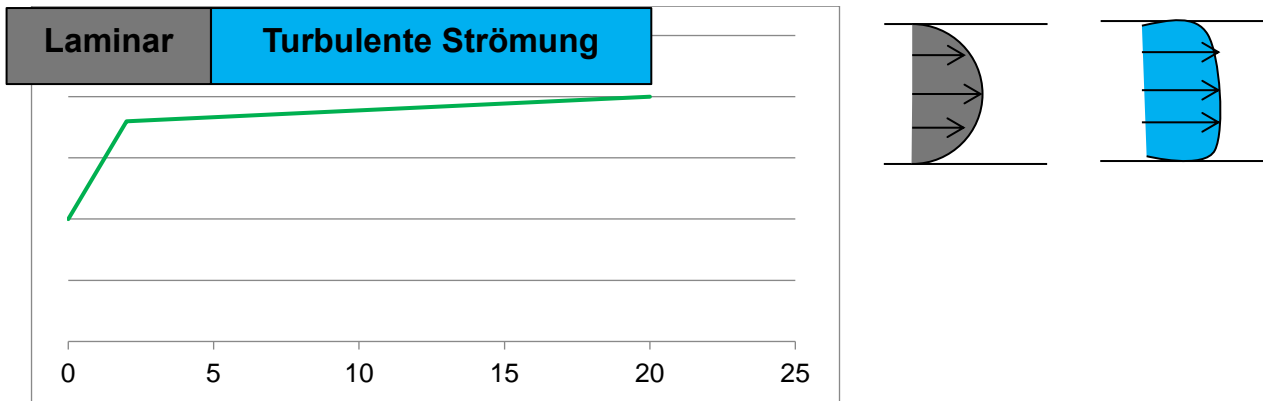


Abbildung 2: Berechnung der durchschnittlichen Strömungsgeschwindigkeit.

Alternativ kann die Reynolds-Zahl (Re) anstelle der Strömungsgeschwindigkeit herangezogen werden.

$$Re = \frac{v \cdot D}{\eta}$$

$v$  = Strömungsgeschwindigkeit

$D$  = Durchmesser

$\eta$  = kinematische Viskosität

Die praktische Relevanz dieses Verhältnisses liegt darin, dass die Verteilung der Strömungsgeschwindigkeit bei gleicher Reynolds-Zahl und Geometrie nahezu identisch ist. Somit ist der als Funktion der Reynolds-Zahl dargestellte Korrekturfaktor ( $k$ ) – der das Verhältnis des Volumenstroms zur durchschnittlichen Geschwindigkeit über den Rohrquerschnitt widerspiegelt – unabhängig von der Viskosität des Mediums, daher überlagern sich die Wasser- und Wasser-Glykol-Kalibrierungskurven. Daraus folgt, dass der Sensor mit Wasser kalibriert werden kann und dennoch in der Lage ist, andere Medien mit bekannter Viskosität präzise zu messen. Der Prozess ist in Abbildung 3 zusammengefasst.

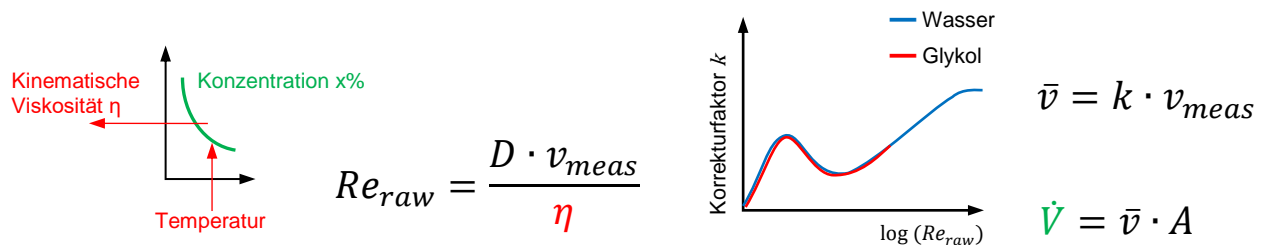


Abbildung 3: Zusammenfassung des Algorithmus zur automatischen Glykolkompensation.

Unter Verwendung der Reynolds-Zahl wurde ein Algorithmus zur automatischen Glykolkompensation entwickelt und patentiert, mit dessen Hilfe die korrekten Eigenschaften von Medien zur Berechnung von Durchfluss und Energie ausgewählt werden können. Er kann auf eine Vielzahl von Wärmeträgermedien angewandt werden und gewährleistet präzise und wiederholbare Messungen in allen HVAC-Anwendungen.

### Genauere Messergebnisse, keine Abweichungen

In den Abbildungen 4 und 5 werden die Vorteile der Glykolkompensation deutlich belegt. Ohne Kompensation (Abbildung 4) weisen Volumenstrommessungen Fehler von bis zu 30% auf. Die automatische Glykolkompensation (Abbildung 5) minimiert Abweichungen und reduziert Messfehler erheblich.

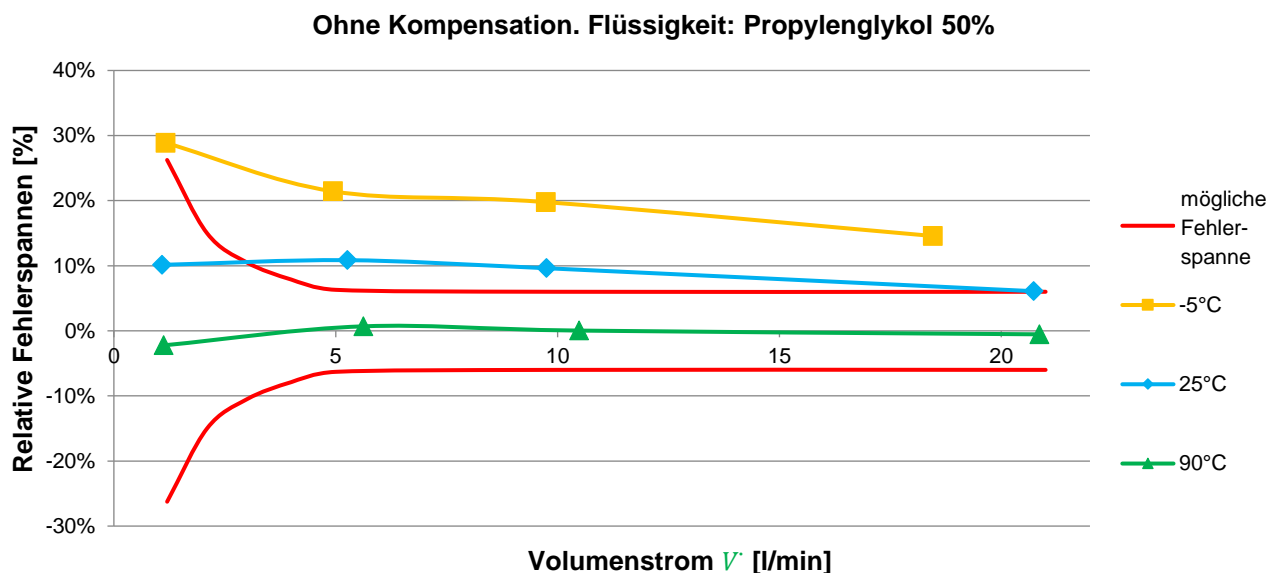


Abbildung 4: Einfluss von Glykol auf Volumenstrommessungen ohne Kompensation der Viskosität.

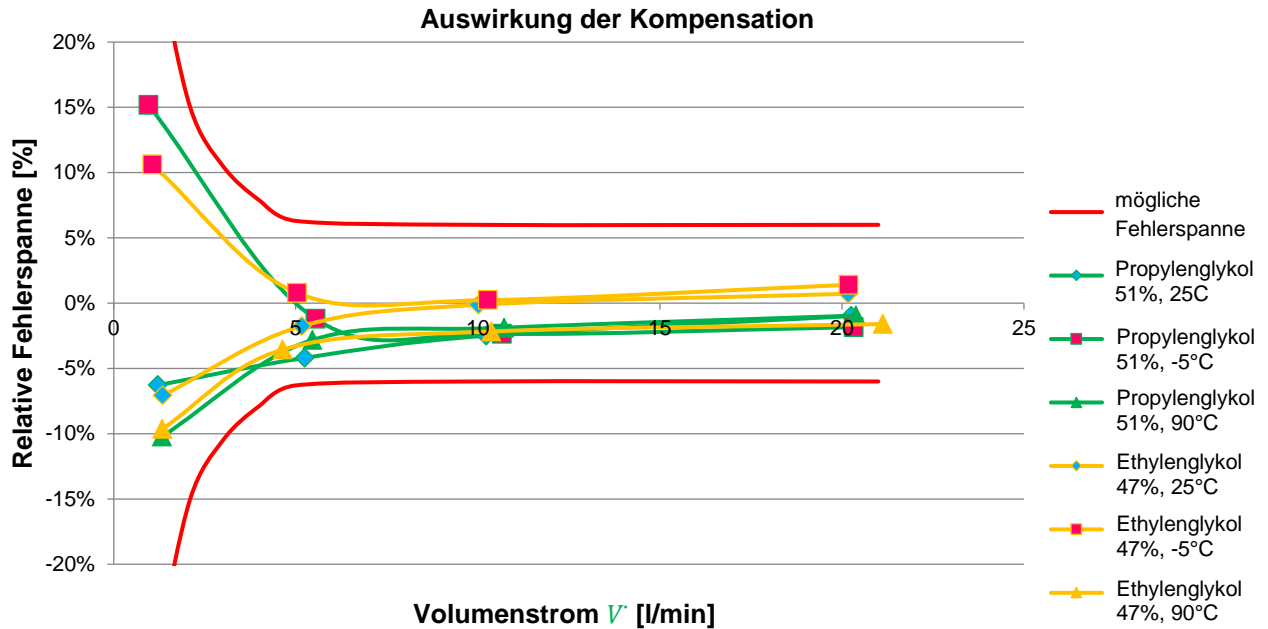


Abbildung 5: Auswirkung der Glykolkompensation auf Volumenstrommessungen.

#### Fazit

Die Entwicklung eines auf Ultraschall-Laufzeittechnologie basierenden Durchflusssensors, der die Glykolkonzentration automatisch misst und kompensiert, stellt bei der Messung thermischer Energie einen unschätzbaren Vorteil dar. Nur ein einzelner Durchflusssensor wird benötigt, um die sich stetig verändernde Viskosität und Wärmekapazität von Wärmeträgermedien zu kompensieren. Der Sensor besitzt keine beweglichen Teile und ist extrem robust. Er bedarf keiner Kalibrierung und stellt sicher, dass der gemessene Durchfluss korrekt ist. Dadurch eignet er sich perfekt für genaue und wiederholbare Durchflussmessungen und verbessert die Steuerung und den Wirkungsgrad von HVAC-Systemen.