

Untersuchungen zur Brennwertverfolgung in Gasverteilnetzen mit unvollständiger Messinfrastruktur

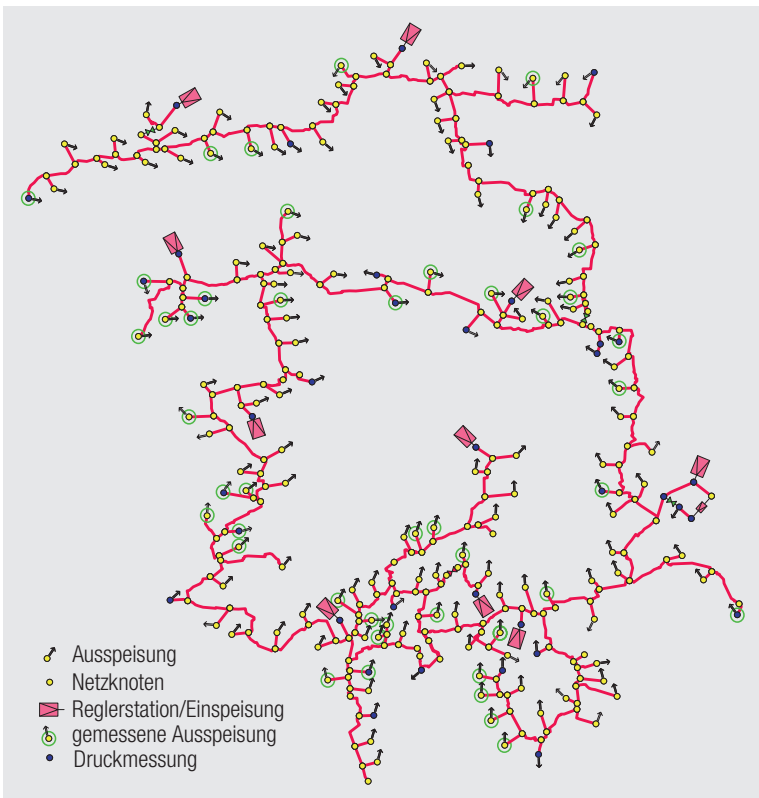
Im Rahmen eines DVGW-Forschungsvorhabens wird die Problematik der prozessbegleitenden **Gasnetzsimulation** speziell unter dem Gesichtspunkt der Belange regionaler Gasverteilungsnetze, die nicht vollständig gemessen sind, betrachtet. Ziel ist die Entwicklung und Validierung eines Gasbeschaffenheitsverfolgungssystems für **Abrechnungszwecke**.

von: Prof. Dr.-Ing. Hans Peter Beck, Dr.-Ing. Ernst-August Wehrmann & Abdelhamid Bentaleb (TU Clausthal)

Der Stand der Technik beim Einsatz von Gasbeschaffenheitsverfolgungssystemen für Abrechnungszwecke ist in den einschlägigen technischen Regeln nach dem Eichgesetz niedergelegt [1]. Danach müssen alle in das betrachtete Gasnetz eingespeisten und ausgespeisten Mengen und die Gasbeschaffenheit der eingespeisten Gase gemessen werden. Zur Sicherstellung der Richtigkeit ist weiterhin mindestens eine Referenzmessung (Druck) an einer ausgewählten Stelle des Netzes gefordert. Aus diesen Randbedingungen folgt, dass das Gasnetz vollständig

mit entsprechender Mengen- und Qualitätsmesstechnik ausgerüstet werden muss. Diese Messinfrastruktur ist allerdings in Gasverteilungsnetzen, die in der Regel stark vermascht sind und viele Ausspeisungen in nachgelagerte Ortsnetze haben, nicht immer vorhanden. Der Ausbau einer vollständigen Messinfrastruktur, um die herkömmliche Gasnetzsimulationssoftware einsetzen zu können (GANESI; SIMONE), ist sehr kostenintensiv und daher in der Praxis nicht umsetzbar. Ein vielversprechender Ansatz ist das hier angewandte Konzept der Knotenlastbeobachtung [2]. Dem Beobachtungsproblem liegt die Überlegung zugrunde, dass der aktuelle Gasnetzzustand (Drücke und Rohrflüsse) auf Basis der verfügbaren Messinformation und auf der Grundlage des Prozessmodells möglichst exakt bestimmt wird und damit eine genaue Gasbeschaffenheits- bzw. Brennwertverfolgung in Gasverteilnetzen möglich ist.

Abb. 1: Netztopologie des Untersuchungsnetzes der Avacon AG in der Region Gardelegen



Quelle: die Autoren

Untersuchungsnetz

Zur Validierung des Gasbeschaffenheitsverfolgungssystems mit dem Knotenlastbeobachter wird die Brennwertrekonstruktion in einem großen und komplexen 16-bar-Gasverteilnetz der Avacon AG in der Region Gardelegen erprobt. Die Netztopologie ist in **Abbildung 1** dargestellt. Das vermaschte Netz setzt sich aus 468 Rohrleitungen und 462 Knoten, mit 12 Einspeisungen und 213 Ausspeisungen (davon 40 gemessen), zusammen. Das Untersuchungsnetz besitzt folgende Eigenschaften:

- unvollständige Messinfrastruktur
- Maschen (äußerer und innerer Ring)

- heterogene Kundenstruktur (Ein- und Mehrfamilienhäuser, Industriekunden unterschiedlicher Art)
- dezentrale Biogaseinspeisung

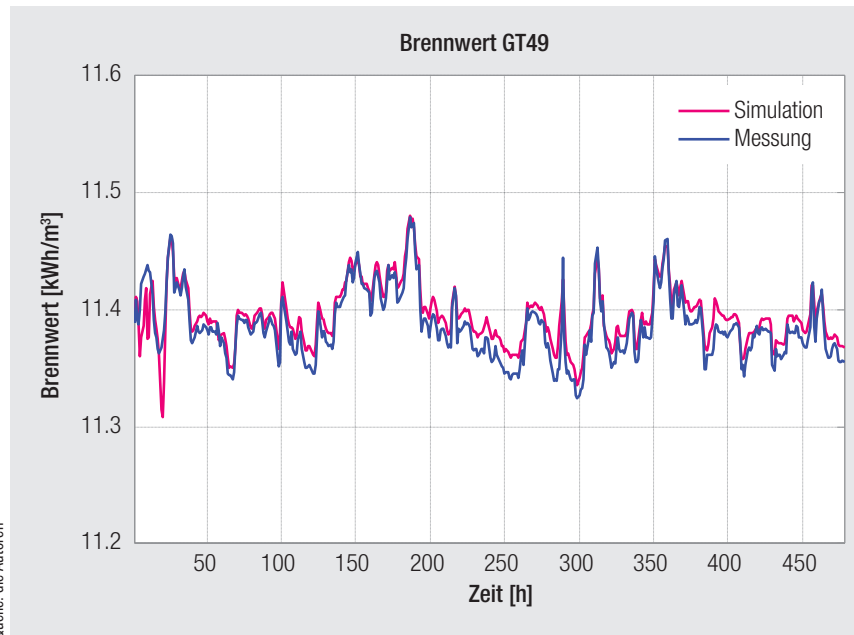
Mit den genannten Eigenschaften ist eine Übertragbarkeit der Validierung auf andere Netztopologien gewährleistet. Für die Validierung der Brennwertrekonstruktion werden die Messdaten eines festen Prozess-Gaschromatographen (PGC) bei einem Industriekunden ausgewertet und zusätzlich eine Referenzmessstelle mithilfe eines mobilen PGC verwendet.

Knotenlastbeobachter

Will man Gasqualitäten online verfolgen, ist eine möglichst exakte Schätzung des Fließzustandes im Netz unbedingt erforderlich. Hierfür wurden mehrere Untersuchungen zur Formulierung eines für die Wiedergabe der Dynamik regionaler Gasverteilnetze angemessenen Prozessmodells mit Knotenlastbeobachter durchgeführt. Verschiedene Entwurfsverfahren und Auslegungsmethoden des Beobachters wurden erprobt. Die Idee besteht darin, ausgehend von der Summe der gemessenen Ausspeisemengen und dem Netzvolumen eine Fehlmenge zu berechnen, die anschließend über einen optimalen und regelungstechnisch stabilen Korrekturalgorithmus auf die ungemessenen Ausspeisungen verteilt wird. Die Verteilung der berechneten Fehlmenge erfolgt dynamisch über das Verhältnis der Standardlastprofile. Durch die Verwendung der Standardlastprofile fließen Informationen über die Kundenstruktur und die täglichen bzw. jahreszeitlichen Abnahmeveränderungen in den Entwurf mit ein. In einem zweiten Iterationsschritt werden die Verteilungsfaktoren bei Berücksichtigung des aktuellen Netzzustands korrigiert. Das Vorzeichen der Druckdifferenz $p_{\text{mess}} - p_{\text{sim}}$ in einem festgelegten Druckgebiet bestimmt die Korrekturrichtung (wird weniger oder mehr ausgespeist) an jeder ungemessenen Ausspeisung, die diesem Druckgebiet zugeordnet ist. Bei der Bildung der Druckgebiete erfolgt die Zuordnung der Ausspeisungen zu der Druckmessstelle anhand des Abstands zwischen den Netzknoten.

Nach Identifizierung vorhandener Druckmessstellen (geeicht bzw. mit möglichst geringer Messunsicherheit) werden die ungemessenen Ausspeisungen mit dem kleinsten Abstand zur Druckmessstelle in einem Druckgebiet zusam-

Quelle: die Autoren



mengefasst. Je größer und komplexer (Verma-schungen, Abzweigungen) das Netz ist, desto größer ist die Anzahl der nötigen Druckmessstellen bzw. der zu bildenden Druckgebiete. Dies gilt besonders, wenn durch die Betriebsweise des Netzes große Druckschwankungen vorliegen. Im Untersuchungsnetz in Gardelegen sind 40 Druckmessungen vorhanden. Es wurden 25 Druckgebiete gebildet. Die Implementierung des Verfahrens erfolgte im PSI-Untersuchungssystem. Das Rekonstruktionsergebnis des Brennwertes im Vergleich zum Messwert an einer Referenzmessstelle GT49 (Industriekunde mit fest installiertem PGC) ist in **Abbildung 2** beispielhaft für April 2012 dargestellt. Der Verlauf des Brennwertes konnte gut nachgebildet werden. Die maximale relative mittlere Abweichung zum Messwert bei Betrachtung von Stundenwerten beträgt 0,326 Prozent.

Abb. 2: Zeitverlauf des Brennwertes (Rekonstruktion vs. Messung) an dem Ausspeiseknoten GT49

Abb. 3: Zeitverlauf der Einspeisebrennwerte für den Zeitraum 27.08.2013-16.09.2013

Quelle: die Autoren

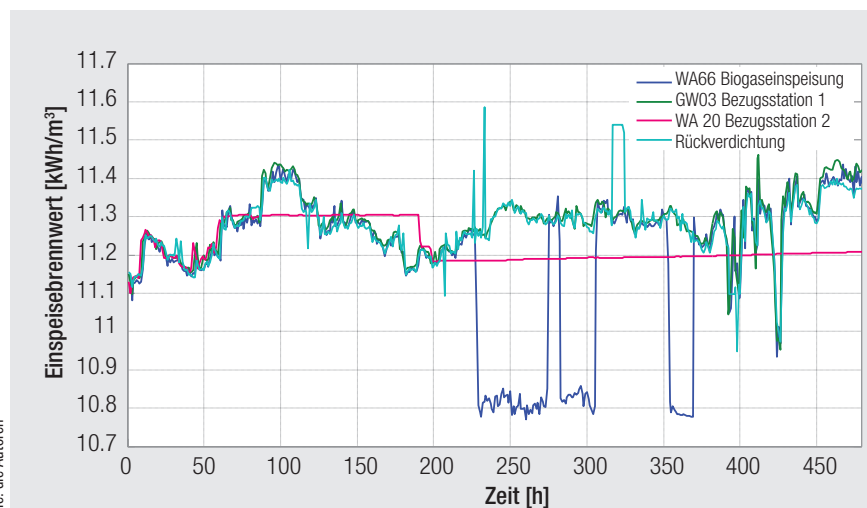


Tabelle 1: Mittlere absolute und relative Abweichung zwischen Simulation und Messung des Brennwertes an den Ausspeisungen GT49 und TN05

Knoten	GT49 (Industriekunde)	TN05 (mobiler PGC)
absolute Abweichung (kWh/m ³) (Stundenwerte)	0,045	0,109
relative Abweichung (%) (Stundenwerte)	0,4	0,96
absolute Abweichung (kWh/m ³) (Tagesmittelwerte)	0,037	0,097
relative Abweichung (%) (Tagesmittelwerte)	0,32	0,85

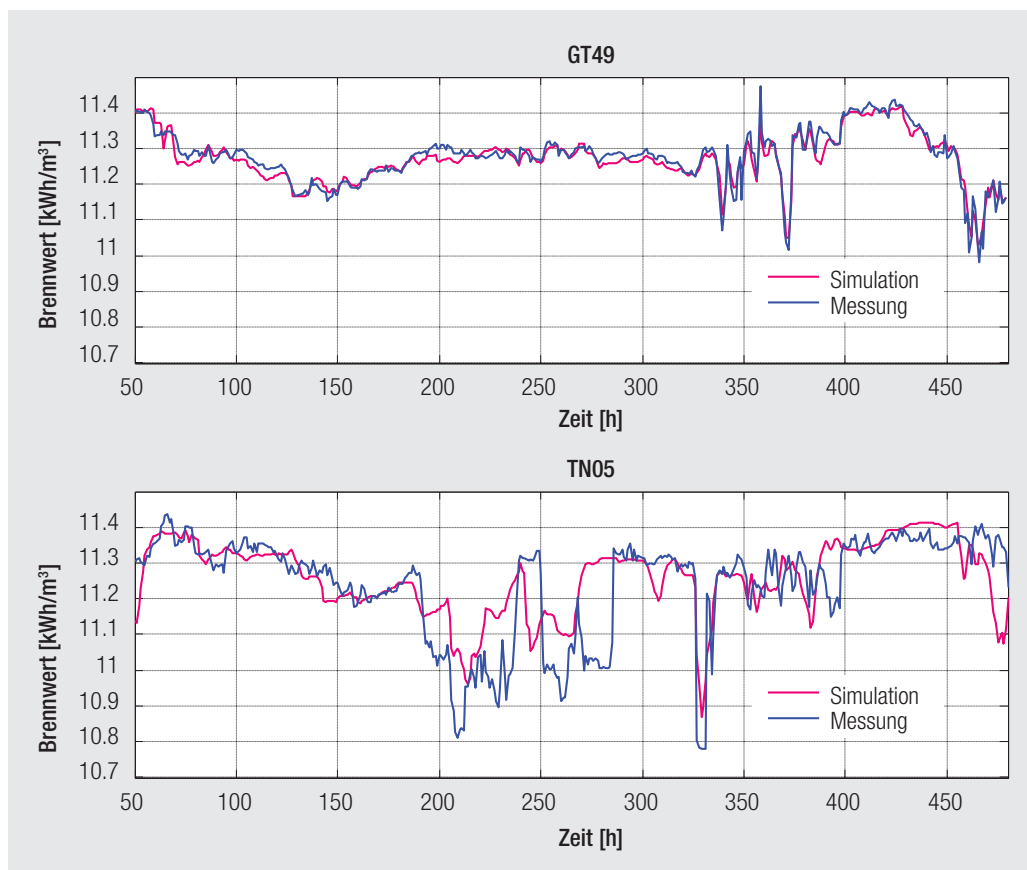
Quelle: die Autoren

Brennwertrekonstruktion in Gasverteilnetzen bei Biogaseinspeisung

Gemäß „GasNZV“ [3] ist der Netzbetreiber aufgefordert zu prüfen, ob eine Einspeisung von Biogas in die Gasnetze auch ohne Einsatz von LPG möglich ist. Für die Einhaltung des 2-Prozent-Kriteriums für Mehrseiteneinspeisung nach DVGW-Arbeitsblatt G 685 müssten die einspeisenden Biogasanlagen mit einer LPG-Konditionierungsanlage nachgerüstet werden. Diese Kosten und die laufenden Kosten für die Beschaffung können eingespart werden, wenn eine genaue Brennwertrekonstruktion zum Einsatz kommt.

Vor diesem Hintergrund wurde ein Feldversuch im Untersuchungsnetz in Gardelegen durchgeführt. Bei dem Versuch wird die Konditionierung einer Biogaseinspeisung auf einen Brennwert von 10,8 kWh/m³ für zwei unterschiedliche Zeiträume abgestellt. Durch das Abschalten der LPG-Konditionierung trifft an einigen Ausspeisungen Mischgas ein. Die Ermittlung des Brennwertes dieses Mischgases auf Basis einer Zustandsrekonstruktion mit dem Knotenlastbeobachter wird erprobt. An einer Ausspeisung mit mobilem PGC wird während des Feldversuchs künstlich eine Pendelzone erzeugt. **Abbildung 3** zeigt die Zeitverläufe der Brennwerte an den Einspeisepunkten im betrachteten Netz-

Abb. 4: Zeitverläufe der rekonstruierten und gemessenen Brennwerte an den Ausspeisungen GT49 und TN05



Quelle: die Autoren

gebiet für den Zeitraum 27. August 2013 bis 16. September 2013. Durch das Abstellen der LPG-Konditionierung beträgt die mittlere relative Abweichung zwischen dem Einspeisebrennwert der Biogasanlage und dem Einspeisebrennwert der Bezugsstationen für den betrachteten Zeitraum ca. 4,5 Prozent.

Abbildung 4 zeigt das Rekonstruktionsergebnis an zwei Ausspeisungen TN05 und GT49. Der Ausspeiseknoten GT49 (Industriekunde) ist von dem Mischgas nicht erreicht worden. Der Verlauf des Brennwertes konnte genau nachgebildet werden. Die Flanken (bzw. die Laufzeiten) wurden exakt getroffen. Die Ausspeisung TN05 (Referenzmessstelle mit einem mobilen PGC) wurde mit dem Mischgas mit einer Laufzeitverzögerung von 17 Stunden erreicht. Der Brennwert konnte insgesamt gut nachgebildet werden. Die Spitzen und die Täler konnten während der Abstellphase der LPG-Konditionierung allerdings nicht exakt getroffen werden. Die Auswertung der Simulationsgüte für den betrachteten Zeitraum ist in **Tabelle 1** dargestellt.

Die Forschungsergebnisse zeigen die Robustheit der Brennwertverfolgung mithilfe des Knotenlastbeobachters für das große und vermaschte Verteilnetz (mit unvollständiger Messinfrastruktur) in Gardelegen. Die relative Abweichung bei Betrachtung der Stundenwerte ist unter der Eichfehlergrenze von 1 Prozent. Bei Betrachtung der Tagesmittelwerte beträgt die relative Abweichung 0,85 Prozent am Ausspeiseknoten TN05. Bei dieser Auswertung wurde auch die Einschwingphase des Beobachters in die Rechnung einbezogen.

Ein wichtiger Aspekt für die Genauigkeit der Brennwertrekonstruktion in Gasverteilnetzen ist die Anzahl und die Lage der Messstellen. Im Rahmen des Forschungsvorhabens wurde ein Verfahren zur Identifizierung der Knotenabnahmen, die die Dynamik des Gasnetzes maßgeblich beeinflussen, entwickelt. Das Verfahren basiert auf

der Kombination einer empirischen Untersuchung (Jahresenergiemenge, Kundenstruktur und Nachbildbarkeit von Ausspeisemengen durch Standardlastprofile) und einer systemtheoretischen Analyse bei Verwendung von Strukturmaßen [4]. ■

Literatur:

- [1] PTB. Messgeräte für Gas-Brennwertmessgeräte, Ermittlung von Abrechnungsbrennwerten und weiteren Gasbeschaffheitsdaten mittels Zustandsrekonstruktion. PTB-Anforderungen 7.64, 1999.
- [2] C. Schröder. Prozessbegleitende Simulation von regionalen Gasverteilnetzen mit unvollständiger Messinfrastruktur durch Einsatz eines Knotenlastbeobachters. Dissertation TU Clausthal, 2009.
- [3] DVGW-Arbeitsblatt G 685 Gasabrechnung. Technische Regel, DVGW, Bonn, November 2008.
- [4] DVGW-Abschlussbericht MetroGas. Dezember 2014.

Die Autoren

Prof. Dr.-Ing. H. P. Beck leitet den Lehrstuhl „Energiesystemtechnik“ an der Technischen Universität Clausthal.

Dr.-Ing. E.-A. Wehrmann leitet die Arbeitsgruppe „Dezentrale Energiesysteme“ am Institut für Elektrische Energietechnik und Energiesysteme an der Technischen Universität Clausthal.

Dipl.-Ing. A. Bentaleb arbeitet als wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Elektrische Energietechnik und Energiesysteme an der Technischen Universität Clausthal.

Kontakt:

Abdelhamid Bentaleb
 Institut für Elektrische Energietechnik (IEE) Technische Universität Clausthal
 Leibnizstr. 28
 38678 Clausthal-Zellerfeld
 Tel.: 05323-72-2593
 E-Mail: abdelhamid.bentaleb@tu-clausthal.de
 Internet: www.iee.tu-clausthal.de

Elektroakustische Wasserlecksuche
AQUAPHON® A 200
 professionell – flexibel – intelligent

NEU



- schnelle und zuverlässige Benutzerführung durch Anwendungsfälle
- kabellose, komfortable Handhabung durch SDR
- schnelle und präzise Leckortung durch intelligente Filter
- integrierter Audioplayer zum direkten Vor-Ort-Vergleich von Leckgeräuschen
- Schutzklasse IP67

