

Projekt: Weiterentwicklung und metrologische Validierung von Messnetzen und Rekonstruktionssystemen für die Gasversorgung (MetroGas)

Problem: In diesem Projekt wird die Problematik der prozessbegleitenden Gasnetzsimulation speziell unter dem Gesichtspunkt der Belange regionaler Gasverteilungsnetze betrachtet.

Eine instationäre Gasnetzsimulation durch Zustandsbeobachtung für Gasnetze soll unter der Prämisse eines geringstmöglichen Messaufwandes erfolgen und gleichzeitig eine zuverlässige Abbildung des Strömungszustands liefern. Hierzu ist die Integration des am IEE entwickelten Knotenlastbeobachters (KLB) in das dynamische Modell erforderlich. Möglichkeiten und Grenzen des Ersatzes von Messungen durch Beobachtung sind aufzuzeigen.

Mit dem Ziel eine Handlungsanweisung für Rekonstruktionssysteme für Gasverteilnetze für Abrechnungszwecke zu entwerfen werden mehrere Untersuchungen zur Formulierung eines für die Wiedergabe der Dynamik regionaler Verteilnetze angemessenen Prozessmodells mit Zustandsbeobachter durchgeführt. Ein wichtiger Aspekt für die Genauigkeit der Rekonstruktion ist die Lage der Messstellen zur Stützung des KLB. Mit Hilfe von empirischen Untersuchungen und Analysen der Systemmatrizen (Strukturmaße) werden die für das dynamische Verhalten maßgeblichen Steuer- bzw. Messgrößen ermittelt.

Ziel: Entwicklung von Verfahren und Werkzeugen zur Bestimmung von Abrechnungsbrennwerten und anderen Gasbeschaffenheitskenngrößen in regionalen Gasverteilnetzen mit unvollständiger Messinfrastruktur. Die Entwicklung und grundsätzliche Validierung der Verfahren soll an verschiedenen Netztopologien erfolgen. Die Qualität bzw. Zuverlässigkeit der Brennwertverfolgung ist durch den Vergleich mit Referenzmessungen zu überprüfen. Die Validierung in Gasverteilnetzen mit dezentralen Einspeisungen insbesondere von Biogas würde langfristig einen Verzicht auf die kostenintensive Konditionierung in den Biogasanlagen ermöglichen.

Stand der Technik: Der Stand der Technik bei dem Einsatz von Gasbeschaffenheitsverfolgungssystemen für Abrechnungszwecke ist in den einschlägigen technischen Regeln nach dem Eichgesetz niedergelegt. 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 vorhanden. Ein Ausbau einer vollständigen Messinfrastruktur, um die herkömmliche Gasnetzsimulationssotware einsetzen zu können (GANESI; SIMONE) ist sehr kostenintensiv und daher in der Praxis nicht umsetzbar. Ein viel versprechender Ansatz ist das Konzept der Knotenlastbeobachtung. Dem Beobachtungsproblem liegt die Überlegung zu Grunde, dass man den aktuellen Gasnetzzustand (Drücke und Rohrflüsse) auf Basis der verfügbaren Messinformation und auf der Grundlage eines Prozessmodells möglichst exakt bestimmt und damit eine genaue Gasbeschaffenheits-

bzw. Brennwertrekonstruktion in Gasverteilnetzen ermöglicht.

Lösungsweg: Will man Gasqualitäten verfolgen, ist eine möglichst genaue Schätzung des Fließzustandes im Netz erforderlich. Hierfür wurden mehrere Untersuchungen zur Formulierung eines für die Wiedergabe der Dynamik regionaler Gasverteilnetze angemessenen Prozessmodells mit KLB 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 hier dynamisch über einen Ansatz mit Standardlastprofilen (SLP). Durch die Verwendung der SLP 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 zusammengefasst. Je größer und komplexer (Vermaschungen, 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.

Zur Optimierung der Messinfrastruktur wird eine systemtheoretische Analyse (mit Hilfe von Strukturmaßen) durchgeführt. Im Zusammenspiel mit empirischen Untersuchungen (Ausspeisemenge, Kundenstruktur und Nachbildbarkeit von Knotenabnahmen durch SLPs) können Anhaltspunkte für eine empfehlenswerte Messinfrastruktur formuliert werden. Bei der Auslegung der Messinfrastruktur soll auch eine Sensitivitätsanalyse berücksichtigt werden. Aus einem linearen Ersatzmodell werden Sensitivitätskoeffizienten ermittelt. Diese entsprechen dem Verhältnis zwischen der Änderung des Ergebnisses und Änderung der Eingangsgröße (Modellierung der Messfehler). Die Auswertung dieser Koeffizienten ermöglicht auch die Aussage über die Wichtigkeit einer Messstelle bzw. eines SLP für die Zustandsrekonstruktion.

Projektstand: Das oben erwähnte Rekonstruktionsverfahren wurde im PSI-Untersuchungssystem implementiert. Der interaktive Korrekturalgorithmus der ungemessenen Ausspeisemengen wurde über eine FORTRAN-Schnittstelle in dem Rechenkern der PSI-Software eingebettet.

Projekt: Weiterentwicklung und metrologische Validierung von Messnetzen und Rekonstruktionssystemen für die Gasversorgung (MetroGas)

Zur Validierung des Gasbeschafftheitsverfolgungssystems mit dem Knotenlastbeobachter, wird die Brennwertrekonstruktion in einem großen und komplexen 16 bar-Gasverteilnetz der Avacon 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

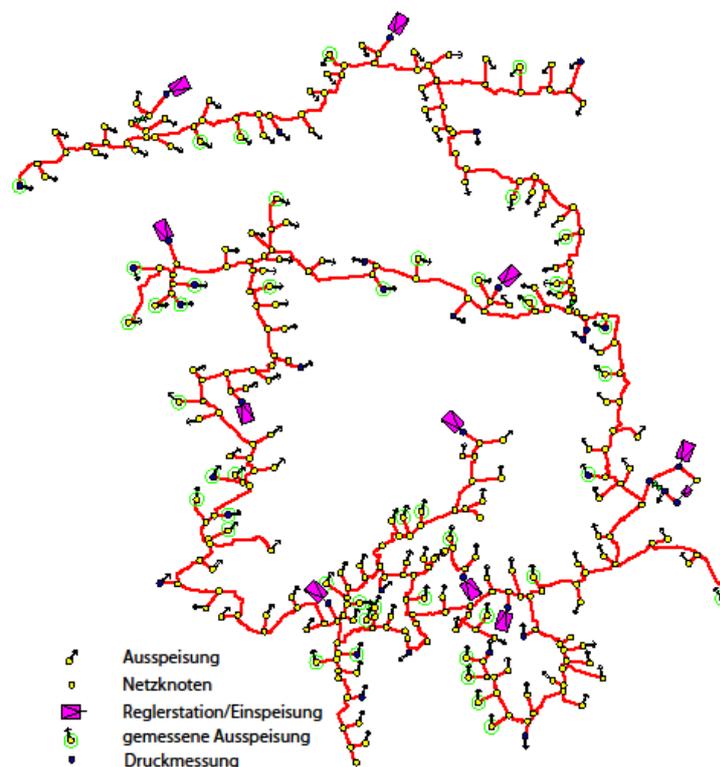


Abbildung 1: Netztopologie des Untersuchungsnetzes der Avacon in der Region Gardelegen

Mit den genannten Eigenschaften ist eine Übertragbarkeit der Validierung auf andere Netztopologien gewährleistet. Für die Validierung der Brennwertrekonstruktion werden die Messdaten

eines festinstallierten Prozess-Gaschromatographen (PGC) bei einem Industrie-kunden (Auspeisung GT49) ausgewertet und zusätzlich eine Referenzmessstelle mit Hilfe eines mobilen PGC (Auspeisung TN05) verwendet.

Gemäß der technischen Regel „G685“ zur Gasabrechnung, ist der Netzbetreiber aufgefordert zu prüfen, ob eine Einspeisung von Biogas in die Gasnetze auch ohne Einsatz von Flüssiggas (LPG) möglich ist. Für die Einhaltung des 2 %-Kriteriums 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 $10,8 \text{ kWh/m}^3$ für zwei unterschiedliche Zeiträume abgestellt. Durch das Abschalten der LPG-Konditionierung trifft an einigen Auspeisungen Mischgas ein. Die Ermittlung des Brennwertes dieses Mischgases auf Basis einer Zustandsrekonstruktion mit dem Knotenlastbeobachter wird erprobt. An der Auspeisung mit dem mobilen PGC, wird während des Feldversuchs künstlich eine Pendelzone erzeugt.

Abbildung 2 zeigt das Rekonstruktionsergebnis im Vergleich zu den Messungen an den zwei Auspeisungen TN05 und GT49.

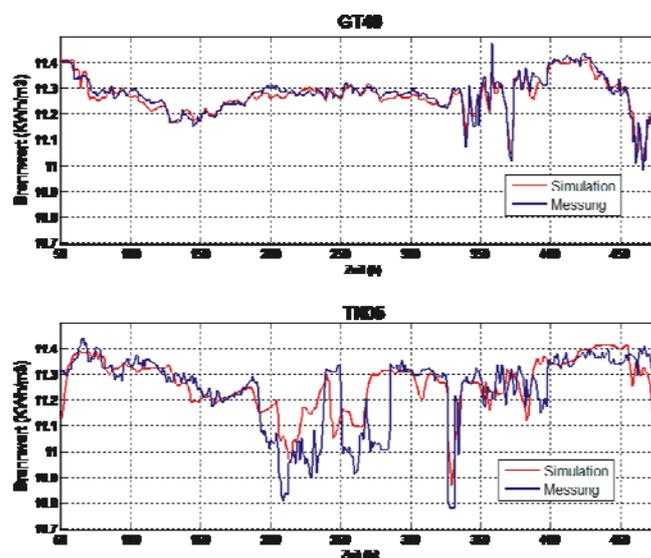


Abbildung 2: Zeitverläufe der rekonstruierten und gemessenen Brennwerte an den Auspeisungen GT 49 und TN 05

Projekt: Weiterentwicklung und metrologische Validierung von Messnetzen und Rekonstruktionssystemen für die Gasversorgung (MetroGas)

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 sehr gut 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.

Knoten	GT49 (Industriekunde)	TN05(mobiler PGC)
Absolute Abweichung (KWh/m3) (Stundenwerte)	0,045	0,109
Relative Abweichung (%) (Stundenwerte)	0,4	0,96
Absolute Abweichung (KWh/m3) (Tagesmittelwerte)	0,037	0,097
Relative Abweichung (%) (Tagesmittelwerte)	0,32	0,85

Tabelle1: Mittlere absolute und relative Abweichung zwischen Simulation und Messung des brennwertes an den Ausspeisungen GT 49 und TN 05

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

- Projektpartner:**
- Physikalisch-Technische Bundesanstalt (PTB): Kompetenz im gesetzlichen Messwesen und bei der Bestimmung von Messunsicherheiten
 - PSI AG: Unterstützung der Forschungsarbeiten u. A. durch geeignete Simulationsprodukte. Zusätzliche Beratung im Forschungsumfeld, insbesondere zur operationellen Anwendung der Simulations- und Rekonstruktionsverfahren

- Avacon AG, Erdgas Südwest GmbH und andere Netzbetreiber:
stellen Netz- und Messdaten für die Untersuchung zur Verfügung

Bearbeiter: Dipl.-Ing. Abdelhamid Bentaleb (Tel: 72-2593)
abdelhamid.bentaleb@tu-clausthal.de

Projektleiter: Dr.-Ing. E.-A. Wehrmann (Tel: 72-2595)
wehrmann@iee.tu-clausthal.de