

Hydraulische Eignung von Gasrohrnetzen für Wasserstoff und Bildung von Umstellzonen

Von Markus Grimm, Philipp Schmidt und Fabian Janotte

Mit dem Bundes-Klimaschutzgesetz (KSG) hat die Bundesregierung das Ziel einer Treibhausgasneutralität bis 2045 festgesetzt (vgl. § 3 Absatz 2 Satz 1 KSG). Um dieses Ziel zu erreichen, ist eine Transformation der deutschen Gasinfrastruktur notwendig. Erdgas als Energieträger muss schrittweise durch Wasserstoff ersetzt werden, da bei der Verbrennung von Wasserstoff keine schädlichen Treibhausgase entstehen. Die aktuellen geopolitischen Herausforderungen, allem voran der fehlende Gasbezug aus Russland, zeigen zusätzlich die Dringlichkeit dieses Transformationsprozesses an. Als standardisiertes Planungsinstrument für die Transformation dient der Gasnetzgebietstransformationsplan (GTP). Dieser wurde von der Initiative H2vorOrt entwickelt, ein Zusammenschluss von ca. 45 Gasversorgungsunternehmen, dem Deutschen Verein der Gas- und Wasserwirtschaft e.V. (DVGW) und dem Verband kommunaler Unternehmen e.V. (VKU).

Die grundsätzliche Eignung von Gasrohrnetzen und Versorgungsanlagen für das Medium Wasserstoff wurde in Studien und Forschungsprojekten bereits untersucht (vgl. Projekt Ready4H2, Bericht 2021). Im Ergebnis kann davon ausgegangen werden, dass sich sämtliche Rohrmaterialien – außer Gussleitungen – für den Transport von Erdgas-Wasserstoffgemischen und Wasserstoff eignen.

Das DVGW-Regelwerk berücksichtigt die aktuellen wissenschaftlichen Erkenntnisse und kann als Orientierungsmaßstab angesehen werden (vgl. DVGW-Arbeitsblatt G 220 „Power-to-Gas Energieanlagen: Planung, Fertigung, Errichtung, Prüfung, Inbetriebnahme und Betrieb“, DVGW-Merkblatt G 221 „Leitfaden zur Anwendung des DVGW-Regelwerks auf die leitungsgebundene Versorgung der Allgemeinheit mit wasserstoffhaltigen Gasen und Wasserstoff“ und DVGW-Merkblatt G 655 „Leitfaden H₂-Readiness Gasanwendung“).

Einer gesonderten Betrachtung bedarf jedoch die hydraulische Eignung von bestehenden Gasrohrnetzen (z. B. Strömungsgeschwindigkeiten und Kapazitäten von Gasdruckregel- und -messenanlagen [GDRMA]) sowie die schrittweise Umstellung von Erdgas auf Erdgas-Wasserstoffgemische oder Wasserstoff. Diese Aspekte werden im vorliegenden Fachbericht anhand eines Beispielnetzes erläutert.

Dabei werden zum einen für verschiedene Wasserstoff-Beimischungsgraden in einem bestehenden Gasrohrnetz unterschiedliche Grenzwertbetrachtungen der maximalen Strömungsgeschwindigkeit durchgeführt. Zum anderen werden Aussagen zur hydraulischen Eignung und Kapazität des Gasrohrnetzes getroffen. Anschließend wird untersucht, wie die Umstellung von Erdgas auf Erdgas-Wasserstoffgemische oder Wasserstoff in einem bestehenden Gasrohrnetz umgesetzt werden kann. Hierzu wird die Bildung sogenannter Umstellzonen erläutert. Über solche Sektionen kann die Gasversorgung auch bei einer möglichen Gasmangellage und einer daraus folgenden Lastpotenzialabschaltung zielgerichtet gesteuert werden.

Grundlagen

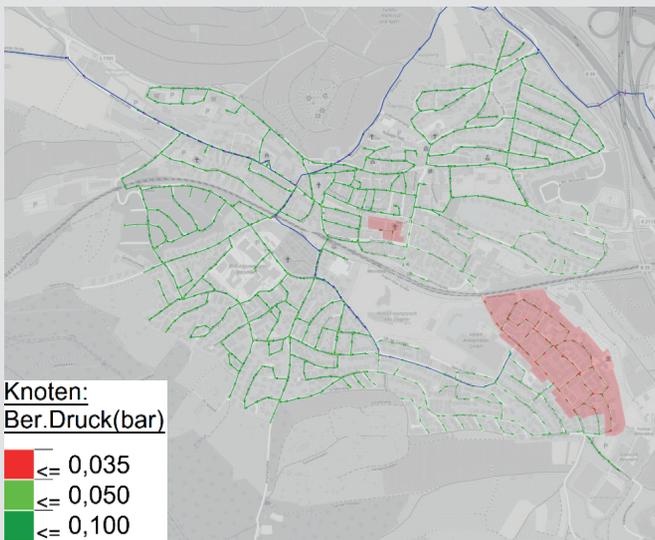
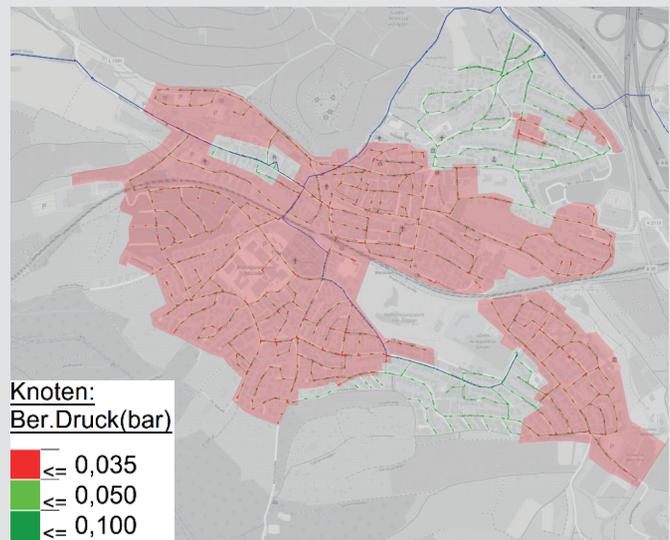
Klimaneutraler, grüner Wasserstoff ist optimal geeignet, fossile Energieträger wie Kohle, Erdöl oder Erdgas nach Maßgabe des KSG bis zum Jahr 2045 zu ersetzen. Wasserstoff kann über das bereits bestehende Erdgasnetz in Deutschland transportiert und in den zur Verfügung stehenden Untergrundgasspeichern zwischengespeichert werden (vgl. INES/DBI/DVGW Forschungsprojekt, 2022: „Transformation Untergrundspeicher – Wasserstoffverträglichkeit der Gasspeicherinfrastrukturen“ [G 201926]).

Das Gasrohrnetz ist das „Kernstück“ der Gasversorgung: Es verbindet die Gasquellen mit den Abnehmern. Auf der Grundlage geeigneter Rohrmaterialien und einer idealen Auslegung der Nennweiten kann das Gasversorgungsunternehmen seinen Kunden eine ausreichende Versorgungssicherheit garantieren. Ziel ist es, dass das Gas mit den geringsten Verlusten und Kosten beim Kunden ankommt. Die Gasversorgung beginnt nach der Gewinnung meist mit Hochdruck-Ferngasleitungen, die das Erdgas in regionale Hochdruck-Netze und deren Leitungen transportieren. Von dort wird das Gas von den Gasversorgungsunternehmen über Ortsnetze an die nachgelagerten Gaskunden weiterverteilt. GDRMA sorgen dafür, dass nach Übernahme des Gases durch das Gasversorgungsunternehmen das Brenngas in ausreichender Menge und mit ausreichendem Druck bei den Kunden ansteht. Die gängigsten Netzarten zur Versorgung von Kunden mit Standardlastprofilen (z. B. Wohngebäude) sind Mitteldruck- und geregelte Niederdrucknetze.

Aus hydraulischen Gesichtspunkten sind für Gasrohrnetze und GDRMA drei Parameter von besonderer Bedeutung:

- » Brennwert
- » Dichte
- » Joule-Thomson-Koeffizient (JTK)

Die Relevanz der o. g. Parameter wird nachfolgend erklärt.

**Bild 1:** Drücke im Niederdruck-Gasrohrnetz mit Erdgas (Beispiel)**Bild 2:** Drücke im Niederdruck-Gasrohrnetz mit Wasserstoff (Beispiel)

Abhängig vom Brennwert eines Brenngases oder eines Brenngasgemisches und den vorhandenen Energieanforderungen im Verteilnetz stellt sich der Volumenstrom ein. Wird eine vollständige Umstellung von Erdgas auf Wasserstoff angestrebt, so ist mit einem Anstieg der Volumenströme um ca. Faktor 3 zu rechnen. Unter der theoretischen Annahme, dass sich die Rohrleitungsdurchmesser nicht verändern, stellt sich auch eine Erhöhung der Strömungsgeschwindigkeiten um Faktor 3 ein.

Dies hat zur Folge, dass die Grenzwerte für Strömungsgeschwindigkeiten, z. B. 10 m/s für Niederdrucknetze (vgl. Cerbe, G. (2008): Grundlagen der Gastechnik, Kapitel 04 Rohrnetzrechnung, S. 138 (7. Aufl.). Carl Hanser Verlag GmbH & Co. KG), überschritten werden. Nachteilige Effekte können hierbei der Mitriss von Partikeln oder der Transport von Kondensat-Tröpfchen sowie steigende Schall-Emissionen sein. Bei GDRMA muss ebenfalls bedacht werden, dass auch bei den Reglern höhere Strömungsgeschwindigkeiten auftreten. Das kann zu mehr Entspannungsgeräuschen und Schwingungen an den Bauteilen führen. Zudem müssen die Einbaupositionen für einige Messabgriffe neu ermittelt werden.

Abhängig von der Dichte eines Brenngases oder eines Brenngasgemisches sind vor allem die Druckverluste im Netz. Die Volumenströme steigen bei der Umstellung von Erdgas auf Wasserstoff in einem Gasrohrnetz um bis zu Faktor 3 an. Die Druckverluste erhöhen sich dabei um 20 – 30 %, was in der geringeren Dichte von Wasserstoff im Vergleich zu Erdgas begründet ist.

Abhängig vom Joule-Thompson-Koeffizient (JTK) eines Brenngases oder eines Brenngasgemisches ist vor allem die Leistung der Gas-Vorwärmung. Mit steigendem Wasserstoffanteil im Brenngas sinkt die benötigte Wärmeleistung nach Expansion eines Brenngasgemisches. Dies ist auf den JTK zurückzuführen. Bei Verwendung von reinem Wasserstoff als Brenngas erfolgt aufgrund des negativen JTK bei Expansion eine Erwärmung des Wasserstoffs. Eine Gas-Vorwärmung wird somit nicht mehr benötigt.

Netzhydraulische Analyse

Mit Hilfe der Berechnungssoftware STANET® lässt sich ein wasserstofftaugliches Rechnetzmodell erstellen, das in der Lage ist, die Strömungsgeschwindigkeiten und Druckverhältnisse in Gasversorgungssystemen präzise zu simulieren. Voraussetzung dafür ist ein kalibriertes Rechnetzmodell als Ergebnis einer Rohrnetzanalyse. Zusätzlich kann mit STANET® für verschiedene Wasserstoff-Konzentrationen innerhalb von Erdgas-Wasserstoffgemischen eine sogenannte Qualitätsnachverfolgung durchgeführt werden. Damit lassen sich z. B. Mischbrennwerte innerhalb eines Gasversorgungssystems bei bestimmten Lastfällen bestimmen.

Im Zuge der netzhydraulischen Analyse wird das interne Mindestdruckkriterium der Gasversorgungsunternehmen in den Verteilnetzen überprüft. Je nach Druckstufe des Netzes kann dieses variieren. **Bild 1** zeigt ein beispielhaftes Niederdrucknetz, das mit Erdgas betrieben wird. In den rot markierten Bereichen liegen Unterschreitungen des internen Mindestdruckkriteriums von 0,035 bar im Spitzenlastfall vor. In **Bild 2** ist dasselbe Netz dargestellt, in diesem Fall betrieben mit reinem Wasserstoff als Brenngas. Bereiche, in denen der Druck unter 0,035 bar in den Versorgungsleitungen fällt, sind rot markiert.

Durch die Umstellung von Erdgas auf Wasserstoff stellen sich in dem Niederdrucknetz aufgrund der höheren Volumenströme auch höhere Strömungsgeschwindigkeiten ein. Gleichzeitig erhöhen sich die Druckverluste. In der Folge kann das gesetzte Mindestdruckkriterium im Großteil des Netzes nicht mehr erfüllt werden. In diesem Beispiel kann es bei der Umstellung von Erdgas auf Wasserstoff demnach zu Störungen in der Gasversorgung kommen.

Um Gasnetzbetreibern und Gasversorgungsunternehmen einen Überblick zu ermöglichen, in welchen Netzteilen überhöhte Strömungsgeschwindigkeiten auftreten, können Über-



Bild 3: Überhöhte Strömungsgeschwindigkeiten im Niederdruck-Gasrohrnetz bei der Verwendung von Wasserstoff als Brenngas (Beispiel)

sichtspläne erstellt werden. So lassen sich Problemzonen eingrenzen und Maßnahmen besser planen. Maßnahmen können z. B. der Austausch von Rohrleitungen oder die Erhöhung der Ausgangsdrücke an den GDRMA sein. Damit wird erreicht, dass die Gasversorgung der Kunden aufrechterhalten und die Strömungsgeschwindigkeiten unter dem zulässigen Grenzwert bleiben.

Bild 3 zeigt dasselbe beispielhafte Gasrohrnetz wie die Bilder 1 und 2. In Bild 3 sind die Überschreitungen der maximalen Strömungsgeschwindigkeiten in den Rohrleitungen rot dargestellt. Diese Darstellung hat den Vorteil, dass im Zuge einer Umstellung des Netzes auf Wasserstoff oder Erdgas-Wasserstoffgemische etwaige Ausbau- und Optimierungspotenziale ausgewiesen werden können. Optimierungspotenziale sind z. B. die Aufdimensionierung von Leitungsabschnitten und die Erhöhung der Ausgangsdrücke an den GDRMA.

In **Tabelle 1** ist die Auswertung des Niederdrucknetzes dargestellt. Es zeigt sich, dass bei der Verwendung von Wasserstoff als Brenngas 9 % des Gasrohrnetzes von überhöhten Geschwindigkeiten betroffen sind.

Für eine Netzoptimierung bedeutet das, dass 3.247 m Leitung aufdimensioniert werden müssen, damit die maximale Strömungsgeschwindigkeit unter 10 m/s bleibt. Bei Annahme von Kosten für die Leitung (inkl. Tiefbau) in Höhe von 500 €/lfd. m belaufen sich die Investitionskosten folglich auf 1.623.500 €.

Kapazitätsberechnung der Gasdruckregel- und -messanlagen

Im Zuge einer Umstellung von Erdgas auf Wasserstoff ist es erforderlich, in den Übernahmestationen der Gasversorgungsunternehmen die Anlagentechnik auf die geänderten Anforderungen auszulegen.

Durch die sich erhöhenden Volumenströme kann es an folgenden Bauteilen zu Engstellen bzw. Begrenzungen der maximal möglichen Volumenströme kommen:

- » Ein- und Ausgangsnennweite an der Anlage
- » Filter
- » Regelgerät
- » Nennweite der Sicherheitseinrichtungen
- » Vorwärmung und erforderliche Leistung der Vorwärmung (falls notwendig)
- » Gaszähler

Um frühzeitig Engstellen an den Anlagen zu erkennen und um zu gewährleisten, dass ausreichende Kapazitäten vorhanden sind, können Anlagen schon im Vorfeld einer Umstellung überprüft werden. Dies geschieht mithilfe einer Kapazitätsberechnung, aus der der entsprechende Handlungsbedarf abgeleitet werden kann. Sind Angaben wie Nennweiten der Bauteile, Druckstufe, Mindestdruck, KG-Wert des Reglers usw. bekannt, lassen sich die Leistungsflüsse in kWh/h und m³Vn/h bestimmen (vgl. DVGW-Forschungsprojekt, 2020: „Betriebsgrenzbetrachtung und Kapazitätsberechnung des Gesamtsystems von Gas-Druckregel- und Messanlagen“ [G 201605]).

Aus hydraulischer Sicht sind noch weitere Sachverhalte zu betrachten, um eine Umstellung des Gasrohrnetzes auf Wasserstoff realisieren zu können. Es sollten z. B. vor einer geplanten Umstellung Datenerhebungen stattfinden, ob die an das Verteilnetz angeschlossenen Verbraucher (z. B. BHKWs, Gasbrennwertthermen, Gaskessel, Gasturbinen, Gastankstellen,

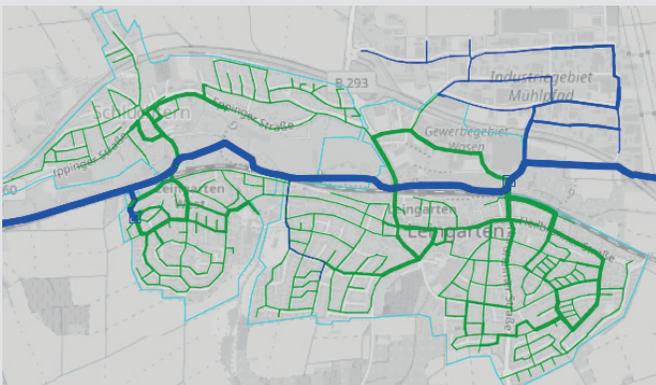


Bild 4: Niederdruck-Gasrohrnetz vor der Sektionierung (Beispiel)

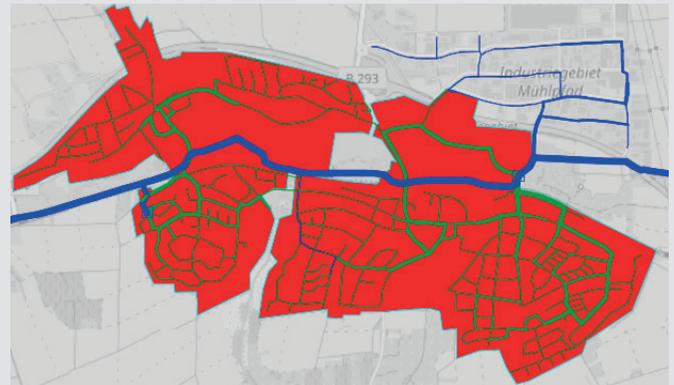


Bild 5: Niederdruck-Gasrohrnetz nach der Sektionierung (Beispiel)

Tabelle 1: Auswertung der Strömungsgeschwindigkeit im Niederdruck-Gasrohrnetz bei der Verwendung von Wasserstoff als Brenngas (Beispiel)

Netzart	Maximal zulässige Strömungsgeschwindigkeit	Gesamtnetzlänge	Netzlänge mit überhöhter Geschwindigkeit	
	in m/s		in m	in %
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
Niederdrucknetz	10	35.962	3.247	9,0

Gasspeicher) grundsätzlich überhaupt für eine Verwendung von Wasserstoff ausgelegt und dimensioniert sind.

Umstellung auf Wasserstoff mittels Sektionierung (Unterteilung in Umstellzonen)

Die Umstellung von Gasrohrnetzen von Erdgas auf Wasserstoff muss regional und schrittweise in den bestehenden Verteilnetzabschnitten erfolgen, um eine vollständige Umstellung technisch und logistisch umsetzbar zu machen.

Als Basis für eine solche Sektionierung dient der GTP mit den Erläuterungen zu Umstellzonen sowie eine mögliche Gas-mangellage und Lastpotenzialabschaltung. Eine Mischung von Erdgas und Wasserstoff innerhalb einer Sektion sollte möglichst vermieden werden, um einen einheitlichen Abrechnungsbrennwert im Gasrohrnetz zu halten. Wenn dies nicht möglich ist, müssen kalorische Messgeräte installiert werden. Alternativ können die Werte auch über ein Infrarot-Spektrometer im Gasrohrnetz oder an den Entnahmepunkten ermittelt werden.

Im folgenden Beispiel wird von einer konstanten Einspeisemenge des Erdgas-Wasserstoffgemisches im vorgelagerten Transportnetz ausgegangen. Von einer weiteren Einspeisung von Biomethan wird nicht ausgegangen.

Zu Beginn der geplanten Sektionierung wird eruiert, an welcher Stelle im Gasrohrnetz der Wasserstoff eingespeist werden soll, ob technisch sensible Kunden (z. B. Gas-Tankstellen, RLM-Kunden) vorhanden sind, wie groß die Sektionen werden sollen und ob mit erhöhter Redundanz in den Sektionen geplant werden soll. Dazu empfiehlt es sich, die Parameter der einspeisenden GDRMA (z. B. Kapazität, Schienenanzahl) sowie die Abnehmer mit dem Lastgangprofil des Netzes zu bewerten.

Im nächsten Schritt ist eine Überprüfung der Sektionen auf bereits vorhandene Absperrarmaturen erforderlich. Sollten sich für die geplanten Sektionen keine Schieber im Bestandsnetz befinden, was vor allem in Niederdrucknetzen oftmals der Fall ist, werden gemeinsam mit dem Gasversorgungsunternehmen mögliche Einbaustellen festgelegt. Alternativ dazu kann über eine Änderung der bestehenden Sektionierung entschieden werden. Im Anschluss erfolgt die sukzessive Umsetzung.

Anmerkung: Auf Basis der Sektionierung können zusätzlich für den Fall einer Abschaltung von Gasrohrnetzen Abschaltpotenziale ermittelt werden.

Nachfolgendes Beispiel veranschaulicht die Aufteilung eines Gasrohrnetzes in Sektionen. In **Bild 4** ist der Ausgangszustand dargestellt. Dieser zeigt ein Niederdrucknetz, das über eine Hochdruckleitung angeschlossen ist. Es sind ca. 2.000 Abnehmer angeschlossen. Das Gebiet wird über zwei GDRMA gespeist. In **Bild 5** ist das Netz nach der Sektionierung zu sehen. In jede Sektion speist im Planstand eine Station ein. Das lässt dem Gasversorgungsunternehmen Handlungsspielraum bei der Umstellung. So kann z. B. zunächst nur eine Sektion von Erdgas auf Wasserstoff umgestellt werden.

Abschließend lässt sich sagen, dass unter der Voraussetzung einer guten Datengrundlage, der Analyse des Verbraucherverhaltens der derzeitigen Infrastruktur und der Umsetzung technischer relevanter Maßnahmen eine logische Sektionierung mit technisch einfachen Mitteln bis 2032 – 2035 umsetzbar ist (vgl. GTP).

SCHLAGWÖRTER: Gasrohrnetze, Wasserstoff, hydraulische Eignung

AUTOREN



MARKUS GRIMM
 Projektleiter Team Netzmanagement
 RBS wave GmbH, Stuttgart
 Tel. +49 711 185 71 523
 M.Grimm@rbs-wave.de



PHILIPP SCHMIDT
 Projektingenieur Team Netzmanagement
 RBS wave GmbH, Stuttgart
 Tel. +49 711 185 71 556
 P.Schmidt@rbs-wave.de



FABIAN JANOTTE
 Teamleiter Netzmanagement
 RBS wave GmbH, Stuttgart
 Tel. +49 711 185 71 537
 F.Janotte@rbs-wave.de