

Untersuchung der Netzkapazität zur Deckung des zukünftigen Energiebedarfs bei steigender Wasserstoffbeimischung in Gasverteilnetzen

Tabea Anna Ender*, Moritz Laack
 Trainee Netztechnik / Planung Anlagen und Netz
 Gasnetz Hamburg GmbH
 Hamburg, Deutschland
 *tabeaanna.ender@gasnetz-hamburg.de

Kurzfassung – Um sowohl die nationalen als auch die europäischen und internationalen Klimaziele einhalten zu können, sind umfassende Treibhausgasemissionsreduktionen in der Energiewirtschaft notwendig. Dies ist im Gassektor durch eine vermehrte Nutzung von erneuerbar erzeugtem Wasserstoff möglich. Dabei ist zum einen der Aufbau einer parallelen Wasserstoff-Infrastruktur denkbar. Doch gerade im Hinblick auf den volkswirtschaftlichen Gesamtnutzen muss untersucht werden, inwieweit die bereits bestehende Erdgas-Infrastruktur weiterhin genutzt werden kann. Da Wasserstoff im Gegensatz zu Erdgas einen volumenbezogen geringeren Brennwert aufweist, erfordert eine fortschreitende Erdgassubstitution eine Erhöhung der Normvolumenströme im Gasnetz, um die gleiche Energiemenge transportieren zu können. Daraus resultiert eine steigende Strömungsgeschwindigkeit. Ein zu prüfender Aspekt stellt daher die Folge einer Wasserstoffbeimischung auf die Transportkapazität und damit die Netzhydraulik des Gasverteilnetzes dar. Eine systematische Darstellung von Geschwindigkeitsänderungen und Druckverlusten für verschiedene Wasserstoffanteil- und Bedarfsszenarien hat ergeben, dass eine erhöhte Beimischung von Wasserstoff in einigen Bereichen des Hamburger Gasverteilnetzes mit einer Überschreitung der vorgegebenen Strömungsgeschwindigkeit in Gasanlagen und mit partiell hohen Druckverlusten im Netz einhergeht. Identifizierte hydraulische Problembereiche lassen sich zum einen durch eine Druckerhöhung im Leitungssystem oder eine Ausweitung der Gasdruckregelanlagen mittels einer Steigerung der Anzahl oder der Kapazität der Anlagen reduzieren. Zum anderen ermöglicht im Einzelfall der Ersatz bestehender Leitungen durch größere Dimensionen oder die Errichtung zusätzlicher Leitungen eine gesteigerte Kapazität. Insgesamt lässt sich feststellen, dass das bestehende Hamburger Erdgasnetz zum weit überwiegenden Teil kapazitativ geeignet ist, um die Beimischung bis hin zu einer vollständigen Umstellung auf Wasserstoff zu ermöglichen.

Stichworte – Klimaschutz, Wasserstoff, Gasnetz, Beimischung, Kapazität

NOMENKLATUR

CH ₄	Methan
CO ₂	Kohlenstoffdioxid
H ₂	Wasserstoff
mbar(ü)	Millibar (Überdruck)
mm	Millimeter

PE Polyethylen
 Vol.-% Volumenprozent

I. EINLEITUNG

Basierend auf dem Pariser Klimaschutzabkommen von 2015 sieht der nationale Klimaschutzplan vor, dass die Energieversorgung bis zum Jahr 2050 nahezu vollständig dekarbonisiert wird. Um dies zu erreichen ist im Energiesektor bereits im Jahr 2030 eine Reduktion der Treibhausgasemissionen von 60 Prozent gegenüber dem Vergleichsjahr 1990 notwendig [1]. Eine Dekarbonisierung des Erdgas-Sektors kann über verschiedene Ansätze ermöglicht werden. Neben einer nachhaltigen Nutzung des Energieträgers Erdgas als Übergangslösung gibt es zahlreiche Forschungsvorhaben zur Synthese erneuerbarer Gase. Von der Wasserstoffbeimischung ins bestehende Erdgasnetz über die Erzeugung synthetischen Methans bis hin zur Schaffung reiner Wasserstoffnetze gibt es vielfältige Ansätze zur Realisierung der Pläne.

Ein möglicher Grund, warum „grünes“ Gas ein so hohes Interesse weckt, ist die hohe Speicherkapazität für diesen Energieträger in Deutschland. Die 47 in deutschem Boden befindlichen Erdgasspeicher haben, bezogen auf das Speichermedium Erdgas, eine Gesamtkapazität von mehr als 230 Terrawattstunden. Darüber hinaus weist auch das Gasverteilnetz selbst eine gewisse Speicherfähigkeit auf [2]. Im Unterschied zum Stromnetz ist somit eine Pufferung über die sogenannte Netzatmung möglich. Der jährliche Gasverbrauch beträgt derzeit ungefähr 601 Terrawattstunden, was etwa 24 % des gesamten deutschen Endenergiebedarfs entspricht [3]. Unter anderem aufgrund der großen Speicherpotenziale schreiben viele Wissenschaftler*innen dem Gasbereich eine Schlüsselrolle zur Realisierung der Energiewende zu [4], [5], [6].

Damit das Gasverteilnetz seine wichtige Rolle für die deutsche Energieversorgung weiterhin wahrnehmen kann [5], müssen zwei Bedingungen erfüllt sein:

1. (Material-)Verträglichkeit des Netzes und der angeschlossenen Anwendungsgeräte gegenüber einer angepassten Gaszusammensetzung und
2. ausreichende Transportkapazität zur Abdeckung des zukünftigen Energiebedarfs.

Der notwendige Arbeitsaufwand zur Bewertung der Aspekte Materialverträglichkeit und Transportkapazität kann sich lokal unterscheiden. Neben der Größe und des Alters des zu betrachtenden Leitungsnetzes spielen beispielsweise auch die verwendeten Komponenten eine Rolle.

Im Folgenden wird die Zukunftsfähigkeit von Gasverteilnetzen hinsichtlich ihrer Transportkapazität untersucht. Die Transportkapazität stellt den Energiestrom dar, der mit einer Leitung transportiert werden kann. Sie beschreibt demnach, wieviel Leistung in Form von chemisch gebundener Energie je Zeiteinheit bereitgestellt werden kann. Aufgrund des volumenbezogenen geringeren Brennwertes von Wasserstoff gegenüber Erdgas führt eine ansteigende Beimischung zu einer Erhöhung der Normvolumenströme und somit der Strömungsgeschwindigkeiten (bei gleichem Netzdruck), um die gleiche Energiemenge zu transportieren. Gleichzeitig ergeben sich aufgrund der gegenüber Erdgas veränderten Stoffeigenschaften des Mischgases veränderte Druckverluste. Daher müssen die Änderungen der Geschwindigkeiten und Druckverluste für verschiedene Wasserstoffanteil- und Bedarfsszenarien systematisch aufgezeigt und hinsichtlich möglicher Gegenmaßnahmen analysiert werden.

II. EMISSIONSREDUKTION DURCH WASSERSTOFFBEIMISCHUNG

Die Beimischung von „grünem“ Wasserstoff in das Erdgasnetz führt zu einer Verminderung der Treibhausgasemissionen. Je nach Beimischungsgrad und unter der vereinfachten Annahme, dass Erdgas nur aus Methan besteht, kann die Treibhausgaseinsparung überschlägig berechnet werden. Im Mischgas führt lediglich der Erdgas-Anteil zu Emissionen. Bei einer konstant bleibenden benötigten Wärme- bzw. Feuerleistung errechnet sich die CO₂-Einsparung Δ_{CO_2} aus der Formel (1). Dabei stellt x_{H_2} den volumenbezogenen Wasserstoffanteil, H_{s,CH_4} den Brennwert von Methan und $H_{s,mix}$ den Brennwert des Gemischs dar.

$$\Delta_{CO_2} = (1 - x_{H_2}) \cdot \frac{H_{s,CH_4}}{H_{s,mix}} \quad (1)$$

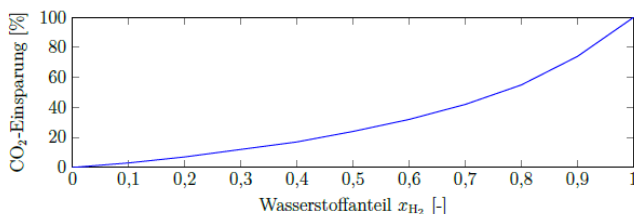


ABBILDUNG 1: CO₂-EINSPARUNG FÜR UNTERSCHIEDLICHE VOLUMENBEZOGENE WASSERSTOFFANTEILE.

ABBILDUNG 1 veranschaulicht die aus der Formel (1) ermittelte prozentuale Einsparung bei steigenden Wasserstoffanteilen. Es ist zu erkennen, dass es sich um keinen linearen Zusammenhang handelt. Ursächlich dafür ist die funktionale Abhängigkeit des Mischbrennwertes vom Wasserstoffanteil. Da dieser niedriger ist als bei reinem Erdgas (Methan), ist ein höherer Volumenstrom zur Erhaltung der Wärmeleistung notwendig. Daraus resultiert wiederum eine verringerte CO₂-Einsparung. Niedrigere Beimischungsanteile führen daher zu einer verhältnismäßig geringen Einsparung. Im Bereich der höheren Wasserstoffanteile

hingegen führen kleine Änderungen zu größeren CO₂-Emissionsreduktionen.

III. EINFLUSSFAKTOREN AUF DIE NETZKAPAZITÄT

Mit zunehmender Wasserstoffbeimischung steigt bei einem konstanten Netzdruck die Strömungsgeschwindigkeit an. Eine höhere Strömungsgeschwindigkeit führt zu höheren Druckverlusten, kann aber auch ursächlich für Schwingungsanregungen, Schallemissionen und verstärkten Fluidtransport von Feststoffpartikeln sein. Als empfohlene Maximalwerte nennt die VDI-Norm 3733 für Gase eine Geschwindigkeit von bis zu 40 m/s, wobei sich die empfohlene Grenzgeschwindigkeit bei enthaltenden Feststoffen auf 15...25 m/s reduziert.

A. Schwingungen, Schallemissionen, Feststoffpartikel

Schwingungen stellen vor allem bei Gasdruckregelanlagen und frei verlegten Brückenleitungen eine dynamische Belastung der Bauteile dar [7]. Als relevantes Schwingungsphänomen sind Schwingungen infolge von stationärer Rohrströmung zu nennen. Je nach Betriebszustand und dynamischem Lastfall variiert die Entstehung von Schwingungen. Neben Turbulenzen in durchströmten Rohrleitungen im Normalbetrieb können beispielsweise auch abnormale Betriebszustände wie das Abblasen über Sicherheitseinrichtungen zu Schwingungen führen [7]. Die Intensität der induzierten Schwingungen ist dabei unter anderem abhängig von der Strömungsgeschwindigkeit. Bei steigender Geschwindigkeit vergrößert sich auch die Schwingungsamplitude infolge der zunehmend turbulenten Strömung. Eine turbulente Strömung zeichnet sich durch wechselnde Geschwindigkeitskomponenten senkrecht zur Hauptströmungsrichtung aus [8]. Diese Fluidbewegungen senkrecht zur Rohrachse stellen eine dynamische Belastung der Bauteile dar und sie werden zu Schwingungen angeregt. Eine zusätzliche Schwingungsquelle sind eingebaute Formstücke wie Abzweige oder Reduzierungen. Die Formteile führen zu einer Umlenkung, Beschleunigung oder auch Verzögerung der Strömung und sind damit latente Schwingungserreger [9].

Hinsichtlich Schallemissionen ist das Regelgerät in Gasdruckregelanlagen als primäre Schallquelle einzuordnen. Zudem sind sie an freiverlegten Leitungen wie Brückenleitungen wahrzunehmen. Tendenziell werden bei steigenden Wasserstoffanteilen erhöhte Strömungsgeschwindigkeiten und damit zunehmende Schallemissionen erwartet. Der Grund hierfür liegt in einer rund 20 % höheren Strömungsenergie. Ein Anteil von etwa 1/1000 der Strömungsenergie wandelt sich in Schallenergie um [7]. Bei erdverlegten Leitungen ist in der Regel von einer ausreichenden Dämpfung sowohl der Schwingungen als auch des Schalls durch das umgebende Erdreich auszugehen.

Infolge von Verunreinigungen des Fördergases, Rückständen umgewidmeter Erdöltransportleitungen oder aus Stadtgaszeiten sowie bedingt durch Instandsetzungs- und Instandhaltungsmaßnahmen enthalten einzelne Leitungsabschnitte feste Partikel. Der Fluidtransport der Feststoffpartikel in Gastransportleitungen kann neben deutlichen Druckverlusten auch zu Bauteilversagen, Erosion an der Rohrleitung oder einer Reduzierung des verfügbaren Rohrleitungsquerschnitts führen. Weiterhin führen die Partikel zu einer zusätzlichen Geräuschquelle und haben daher Schallemissionen zur Folge.

Zusammenfassend bei einem Anstieg der Strömungsgeschwindigkeit aufgrund einer Wasserstoffbeimischung tendenziell mit stärkeren Schwingungen und Schallemissionen sowie einem ansteigenden Fluidtransport von Feststoffpartikeln zu rechnen.

B. Druckverlust

Der Druckverlust Δp_{v12} einer Leitung ermittelt sich gemäß Formel (2) unter der Voraussetzung einer konstanten Dichte ρ aus der Länge L und dem Innendurchmesser der Rohrleitung D , dem Druckverlust durch die Rohrreibung λ sowie den Verlusten durch Einzelwiderstände ζ_i , die aus Formteilen wie beispielsweise Bögen oder T-Stücken resultieren [10]. Zudem ergibt sich eine quadratische Abhängigkeit des Druckverlustes von der Strömungsgeschwindigkeit v .

$$\Delta p_{v12} = \frac{\rho \cdot v^2}{2} \cdot \left(\lambda \cdot \frac{L}{D} + \sum \zeta_i \right). \quad (2)$$

Für eine Überschlagsrechnung des Druckverlustes bei unterschiedlichen Rohreigenschaften sind die folgenden Ausführungen grundlegend. Dabei werden der Normvolumenstrom, die Strömungsart und die Oberflächenrauigkeit näher beschrieben.

Der Volumenstrom Q ermittelt sich aus den Durchflussmengen. Hierbei wird das Volumen V nach der Zeit t abgeleitet. Der Normvolumenstrom hingegen beschreibt einen Volumenstrom von Gas, der sich auf den sogenannten physikalischen Normzustand des Gases bezieht. Er berechnet sich nach der Formel (3):

$$Q_N = Q \cdot \frac{p \cdot T_N}{p_N \cdot T}. \quad (3)$$

T ist hierbei die tatsächliche Temperatur und T_N die Temperatur im Normzustand also 273,15 K (0 °C). Ebenso stellt p den tatsächlichen Druck und p_N den Druck im Normzustand von 1,01325 bar(ü) dar. Für die Ermittlung des Normvolumenstroms Q_N wird der Volumenstrom Q mit diesen Faktoren verrechnet.

Die Strömungsart unterscheidet sich in eine laminare und in eine turbulente Strömung. Eine laminare Strömung ist eine gleichmäßige Strömung, bei der keine gegenseitigen Störungen vorkommen. Turbulente Strömungen sind unregelmäßig und chaotisch und an einem ständig wechselnden Strömungsmuster erkennbar. Es kommt zu einer Ausbildung von Wirbeln. Als Maß zur rechnerischen Bestimmung der Strömungsart gilt allgemein die Reynoldszahl Re [8]:

$$Re = \frac{\rho \cdot v \cdot D}{\eta}. \quad (4)$$

Das Produkt aus der Dichte des Fluids ρ , der Strömungsgeschwindigkeit v und der charakteristischen Länge (hier der Durchmesser D) wird durch die dynamische Viskosität η geteilt. Ab einer Reynoldszahl von $Re = 2320$ gilt die Rohrströmung als turbulent [1] [10]. Im Gasverteilstrom kann allgemein von einer turbulenten Rohrströmung ausgegangen werden [7]. Begründet wird dies durch die im Netz vorherrschende Strömungsgeschwindigkeit und die verwendeten Durchmesser. Zudem führen beispielsweise Formteile oder Feststoffpartikel im Gas zu Wirbeln und damit zu einer turbulenten Strömung.

Die absolute Oberflächenrauheit k eines Rohres hat ebenfalls einen Einfluss auf den Druckverlust. Eine höhere Rauheit geht mit einem höheren Druckverlust einher. Ein Rohr gilt als hydraulisch rau oberhalb einer absoluten Oberflächenrauigkeit von $k = 0,07$ mm, darunter als hydraulisch glatt [11]. Zum besseren Verständnis der Oberflächenrauigkeit zeigt die TABELLE I einige Werte für Kunststoff- und Stahlleitungen [10], [11].

TABELLE I: BEISPIELHAFTE RAUIGKEITSBEIWERTE FÜR VERSCHIEDENE GASLEITUNGEN.

Rohrmaterial, Zustand	Absolute Rohrrauigkeit k in mm
PE-Gasleitungen, neu	0,02 ... 0,064
Stahlrohr, nahtlos, neu	0,02 ... 0,06
Stahlrohr, geschweißt, neu	0,04 ... 0,10
Stahlleitungen, alt	0,10 ... 0,14

Aufgrund der Komplexität von Gasverteilungsnetzen kommt bei der Berechnung der Rohrreibung oftmals eine integrale Rauigkeit zum Einsatz. Dieser Wert vereint alle für die Rohrreibung relevanten Anteile einer Rohrleitung wie Wandrauigkeit, Ablagerungen, Armaturen oder Verzweigungen [10]. Die entsprechenden Abteilungen der Gasverteilnetzbetreiber, welche mit der hydraulischen Netzberechnung betraut sind, greifen in der Praxis auf Erfahrungswerte bei der Festlegung der integralen Rauigkeit zurück. Diese Werte beruhen zumeist auf Vergleichsdruckmessungen [12].

Für eine Überschlagsrechnung lässt sich die Rohrreibung λ in Abhängigkeit der Strömungsart und der Rauheit durch die in TABELLE II aufgeführten Formeln bestimmen [10] [11]:

TABELLE II: FORMELN DER ROHRREIBUNG BEI UNTERSCHIEDLICHEN STRÖMUNGSARTEN UND RAUIGKEITEN.

Laminare Strömung	Turbulente Strömung (hydraulisch raues Rohr)	Turbulente Strömung (hydraulisch glattes Rohr)
$\lambda = \frac{64}{Re}$	$\sqrt{\lambda} = \frac{1}{-2 \cdot \log\left(\frac{k}{3,71 \cdot D}\right)}$	$\lambda = \frac{0,316}{Re^{0,25}}$

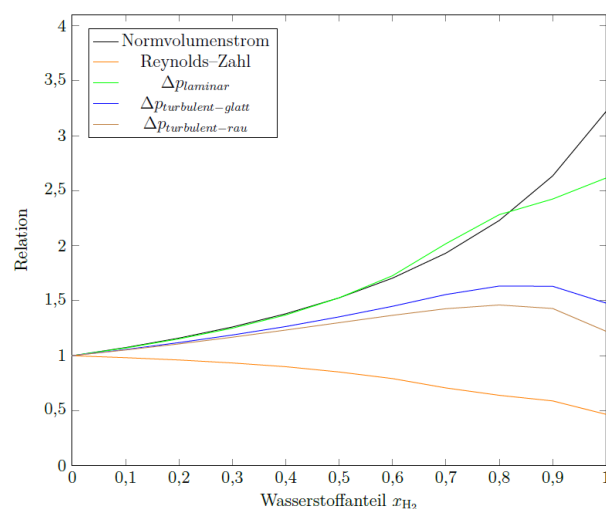


ABBILDUNG 2: ÜBERSCHLAGSRECHNUNG FÜR DEN DRUCKVERLUST.

ABBILDUNG 2 veranschaulicht die Ergebnisse einer Überschlagsrechnung für den Druckverlust bei einer Beimischung unterschiedlicher Wasserstoffanteile und für verschiedene Annahmen der Rohrreibungszahl. Der

Beimischungsgrad des Wasserstoffs variiert von 0 bis 100 Vol.-% bei einer Abstufung von 10 Vol.-%. Die Berechnung hinter der ABBILDUNG 2 ist unter der Annahme von Normbedingungen für Druck und Temperatur sowie unter der Voraussetzung einer identischen Energietransportkapazität durchgeführt worden. Letzteres führt aufgrund des veränderten Brennwertes zu einem ansteigenden Normvolumenstrom und einer Anhebung der Fließgeschwindigkeit des Gasgemisches.

Bei einer steigenden Wasserstoffbeimischung sinkt die Reynoldszahl. Begründet wird dies damit, dass die Dichte von Wasserstoff im Vergleich zu Methan nur etwa einen Anteil von 0,12 ausmacht. Die Geschwindigkeit bei einer vollständigen Substitution steigt etwa um den Faktor 3,22 an. Mit einer um rund 20 % sinkenden Viskosität ergibt sich eine um ca. 50 % verringerte Reynoldszahl.

Wie in ABBILDUNG 2 zu sehen ist, steigt bei einer laminaren Strömung der Druckverlust kontinuierlich mit dem Wasserstoffanteil an. Bei der Annahme einer turbulenten Strömung haben die Druckverlustkurven ein Maximum bei einem Wasserstoffanteil von ungefähr 80 Vol.-% und sinken dann bis 100 Vol.-% Wasserstoff wieder ab, verbleiben aber oberhalb des Referenzwertes von Eins. Bei einem Gemisch aus 60 Vol.-% Wasserstoff und 40 Vol.-% Erdgas entspricht der Druckverlust bei einer turbulenten Strömung in etwa dem Wert einer reinen Wasserstoffversorgung. Da im Bestandsnetz von einer turbulenten Strömung auszugehen ist, resultiert aus diesen Beobachtungen die Erkenntnis, dass es nicht ratsam ist die zukünftige Kapazität auf eine Beimischung von 80 Vol.-% auszulegen. Daraus würde eine Überdimensionierung folgen, die für eine reine Wasserstoffversorgung nicht benötigt werden würde. Stattdessen sollte ein Sprung in der Beimischung von 60 Vol.-% auf 100 Vol.-% Beimischung beziehungsweise Substitution erfolgen, damit die ausreichende Kapazität gewährleistet ist.

IV. EINFLUSS STEIGENDER WASSERSTOFFBEIMISCHUNG IM HAMBURGER GASNETZ

Im folgenden Abschnitt wird der Einfluss einer ansteigenden Erdgassubstitution durch Wasserstoff anhand des Hamburger Gasverteilnetzes beschrieben. Die Betrachtung, geht von unterschiedlichen Beimischungs- und Bedarfsszenarien aus.

Zum einen besteht die Annahme eines Bedarfsrückgangs. Hierbei würden beispielsweise Sanierungen der Gebäudehülle, der Einsatz moderner Brennwertthermen oder alternativer klimaneutraler Wärmekonzepte den Gasverbrauch senken. Im Verkehrssektor ist dabei mit einer weitgehenden Elektrifizierung zu rechnen, während die Industrie einen gleichbleibenden oder durch den Einsatz erneuerbarer Gase leicht gesunkenen Bedarf vorweist. Unter diesen Annahmen wären die Einflüsse einer Wasserstoffbeimischung auf die Durchflussmengen, Druckverluste, Strömungsgeschwindigkeiten und Gasdruckregelanlagen im Hamburger Gasverteilnetz als moderat einzuschätzen.

Ein anderer Ansatz betrachtet, dass der Energiebedarf bis zum Jahr 2030 gleichbleibend ist. Einsparungen aus Effizienzsteigerungen und der Mehrbedarf durch Substitutionsmaßnahmen in der Energieversorgung sowie der Wohnungszubau kompensieren einander. Hierbei ist bei einer steigenden Wasserstoffbeimischung ein Einfluss auf die

Durchflussmengen absehbar. Maßgebend dafür sind, wie bereits oben beschrieben, die zulässigen Strömungsgeschwindigkeiten. Damit bezogen auf die Durchflussmengen keine gravierenden Umbauten an den Gasübernahmestationen sowie an den Gasdruckregelanlagen notwendig sind, ist ein maximaler Wasserstoffanteil von 30 – 50 % möglich. Einen positiven Einfluss hat eine Beimischung dabei auf die notwendige Vorwärmung. Erdgas kühlt sich auf Grund des Joule-Thompson-Effekts bei einer Druckabsenkung ab, wohingegen Wasserstoff sich bei der Druckreduktion erwärmt [13]. Es ist jedoch individuell für jede Anlage zu prüfen, ob eine ausreichende Wärmeübertragung bei gleichbleibender Wärmeübertragungsfläche gewährleistet ist.

Weiterhin wirkt der Anstieg der Wasserstoffbeimischung auf die bereits beschriebenen Druckverluste ein. Bei höheren Beimischungen steigt der Druckverlust im Hamburger Hochdrucknetz um mehr als 20 % an und geht daher mit einer Schwächung der Netzkapazität einher. Dabei ergeben sich Probleme über mehrere Druckstufen hinweg, da teilweise die erforderlichen Vordrücke der Gasdruckregelanlagen nicht erreicht werden können. Im Hamburger Niederdrucknetz ergeben sich Druckverluste von ca. 10 %. Die hohe Vermaschung sowie die in großen Teilen des derzeitigen Bestandsnetzes geringen Volumenströme wirken dem ansteigenden Druckverlust entgegen.

Die höheren Strömungsgeschwindigkeiten könnten zudem die Folge haben, dass der Fluidtransport von Staub, Sand und Feststoffen ansteigt und es zu Schäden an den Rohrleitungen, Bauteilversagen oder erhöhten Druckverlusten kommen kann. Durch die vermehrte Verwendung von PE-Leitungen im Hamburger Verteilnetz ist jedoch weniger Metallstaub vorhanden und es werden höhere Geschwindigkeiten ermöglicht.

V. ÜBERSICHT DER HYDRAULISCHEN MAßNAHMEN

Um die zukünftig notwendige Energiemenge im Gasnetz transportieren zu können, werden nachfolgend hydraulische Maßnahmen vorgestellt. Diese können ergriffen werden, wenn die bisherige Kapazität beispielweise aufgrund des Anstiegs der Wasserstoffbeimischung nicht ausreichend ist.

A. Druckerhöhung

Durch eine Erhöhung des Leitungsinwenddrucks lässt sich im Allgemeinen die Transportkapazität einer Gasversorgungsleitung steigern. Bei gleichbleibender Strömungsgeschwindigkeit erhöht sich bei ansonsten konstanten Randbedingungen wie Leitungslänge, Dimension und Verlauf (Armaturen, Formteile, etc.) die transportable Energiemenge. Für eine Druckerhöhung im Niederdrucknetz muss beachtet werden, dass der deutschlandweit maximale Leitungsinwenddruck von 100 mbar(ü) nicht überschritten wird. Der derzeitige Solldruck im Hamburger Niederdrucknetz beträgt 60 mbar(ü). Mit einer Erhöhung auf 80 mbar(ü) ließe sich die Kapazität einer vorhandenen Gasversorgungsleitung um bis zu 32 % steigern. Ein Anstieg des Druckes ist jedoch durch die in Gasdruckregelanlagen befindlichen Sicherheitseinrichtungen limitiert. Diese benötigen ausreichende Druckdifferenzen, um ihre Funktionsfähigkeit zu erhalten. Unter Berücksichtigung der technischen Gegebenheiten ist lediglich eine Druckerhöhung auf 70 mbar(ü) realisierbar. Damit beschränkt sich die einhergehende Kapazitätserhöhung auf 17 %. Doch auch die Maßnahme der Druckerhöhung um 10 mbar(ü) hätte zur

Folge, dass die Einstellwerte aller Regel- und Sicherheitseinrichtungen aller Gasdruckregelanlagen des Niederdrucknetzes konfiguriert werden müssten. Weiterhin müssten in einigen Anlagen gewisse Bestandteile (zum Beispiel Sicherheitsausblasventile) ausgebaut werden, sofern dies sicherheitstechnisch zu verantworten ist. Im Bereich der Hausinstallationen sind bei einer Druckerhöhung auf 70 mbar(ü) keine gesonderten Maßnahmen notwendig. Aufgrund der Länge des Niederdrucknetzes erscheint eine schrittweise Druckerhöhung nach Bezirken sinnvoll, da nach deren Umsetzung eine Überprüfung des Leitungsnetzes ratsam ist. Die Rohrnetzüberprüfung ist witterungsabhängig, weil austretendes Gas erdverlegter Leitungen beispielsweise bei Frost nur bedingt an die Oberfläche treten kann. Daher wäre eine geplante Druckerhöhung im Zeitraum von April bis September empfehlenswert.

B. Ausbau der Gasdruckregelanlagen

Ein Ausbau der Gasdruckregelanlagen zielt im Wesentlichen auf eine Erhöhung der Durchflussmengen ab, um den Energiebedarf aus dem Gassektor zu decken. Dieses Ziel kann mit zwei Strategien erreicht werden. Einerseits kann die Gesamtzahl an Gasdruckregelanlagen erhöht werden. Andererseits ist eine Erhöhung der individuellen Kapazität einzelner Anlagen möglich. Die Leistungserweiterung ist dabei sowohl über einen Neubau der Gasdruckregelanlagen mit höherer Leistung als auch eine Ergänzung der vorhandenen Anlagentechnik durch beispielsweise zusätzliche Regelschienen möglich. Eine Erweiterung der existierenden Gasdruckregelanlagen mit zusätzlicher Anlagentechnik setzt den notwendigen Platz im Bestandsgebäude voraus. Weiterhin ist eine erneute Abnahme durch einen Sachverständigen notwendig. Die Option zur Erhöhung der Gesamtzahl an Gasdruckregelanlagen erfordert neben der Planung sowie dem tatsächlichen Bau der Anlagen zunächst die Verfügbarkeit eines geeigneten Grundstücks.

C. Leitungsbau

Als Ergänzung zum Ausbau der Gasdruckregelanlagen gibt es die Möglichkeit zur Anpassung des Leitungsnetzes. Durch Leitungsbau sind entweder der Ersatz bestehender Leitungen durch größere Dimensionen oder die Errichtung zusätzlicher Leitungen möglich. Die Ergebnisse der Berechnung zur Kapazitätserhöhung durch Dimensionsaufweitungen für das Niederdrucknetz sind in der TABELLE III dargestellt. Sie ist so aufgebaut, dass ausgehend von einer bestehenden Leitung der ersten Spalte in Bezug auf eine größere Dimension der folgenden Spalten die Kapazitätserweiterung abzulesen ist.

TABELLE III: KAPAZITÄTSERHÖHUNG DURCH DIMENSIONS-AUFWEITUNG.

		Neuer Leitungsdurchmesser in mm				
		32	63	110	160	225
Alter Leitungsdurchmesser in mm	25					
	32	164 %	635 %	1936 %	4096 %	8100 %
	40	X	388 %	1182 %	2500 %	4944 %
	50	X	248 %	756 %	1600 %	3164 %
	63	X	159 %	484 %	1024 %	2025 %
	90	X	X	305 %	645 %	1276 %
	110	X	X	149 %	316 %	625 %
	125	X	X	X	212 %	418 %
	160	X	X	X	164 %	324 %
	180	X	X	X	X	198 %
	225	X	X	X	X	156 %

VI. SCHLUSSBETRACHTUNG

Die grundlegenden Erkenntnisse der vorangegangenen Betrachtung ergeben zum einen, dass die Emissionsreduktion einer H₂-Beimischung einen nicht linearen Verlauf aufweist. Daher gehen geringere Wasserstoffanteile mit zunächst geringeren Treibhausgasemissionseinsparungen einher. Grund dafür ist der geringere volumenbezogene Brennwert von Wasserstoff im Vergleich zu Erdgas. Weiterhin ist zu beachten, dass es sich im Gasverteilnetz stets um eine turbulente Strömung handelt und der berechnete Druckverlust bei einem Wasserstoffanteil von 80 Vol.-% sein Maximum erreicht. Beimischungen von 60 Vol.-% sowie die vollständige Substitution des Erdgases zeigen den identischen Druckverlust auf. Im Hinblick auf die Transportkapazität ist deshalb ein schrittweiser Anstieg der Beimischung ab 60 Vol.-% nicht ratsam, sondern ein Sprung auf 100 % Wasserstoff geboten.

Der untersuchte Zusammenhang zwischen dem Wasserstoffanteil und den resultierenden Strömungsgeschwindigkeiten sowie Druckverlusten ist nützlich, um druckschwache Gebiete identifizieren zu können. Aus dieser Abschätzung ist eine effiziente Festlegung hydraulischer Netzbaumaßnahmen unter Beachtung strategischer Ansätze möglich. So lassen sich notwendige Investitionen auf die kommenden Jahre verteilen, um eine flächendeckende kapazitive Eignung für bis zu 100 % Wasserstoff zu realisieren. Des Weiteren hat die Untersuchung verschiedener Wasserstoffanteile gezeigt, dass Großteile des vorhandenen Netzes kapazitiv bereits für die betrachteten Szenarien geeignet sind. Der Netzdruck erfährt bei einem gleichbleibenden Gasbedarf größtenteils eine flächendeckende Reduzierung, was jedoch nur in ausgewählten Bereichen zu kritischen Situationen führt. Vor allem bei den Vordrücken der Gasdruckregelanlagen oder bei Bereichen mit einem geringeren Netzdruck als die minimalen Vorgabewerte, besteht Handlungsbedarf.

Hinsichtlich der steigenden Strömungsgeschwindigkeiten sind rechnerisch einige Kilometer an Versorgungsleitungen im kritischen Bereich. Hier ist jedoch zwischen dem Hochdrucknetz sowie niedrigeren Netzebenen zu unterscheiden. In einem sanierten Niederdruck- und Mitteldrucknetz wären gegebenenfalls höhere Geschwindigkeiten denkbar, da die Problematik etwaiger Metallstäube und damit verbundener Auswirkungen durch den flächendeckenden Einsatz von Kunststoffrohren reduziert wird.

Sofern der zukünftige Energiebedarf aus dem Gasverteilnetz stark rückläufig ist, bleiben die kapazitiven Auswirkungen in einem beherrschbaren Bereich. Die notwendigen Netzbaumaßnahmen verringern sich in diesem Fall auf ein Minimum.

Als Maßnahmen zur Erhöhung der Netzkapazität ist neben einer Aufweitung der Leitungsdimensionen auch die Errichtung zusätzlicher oder der Ausbau vorhandener Gasdruckregelanlagen möglich. Zudem wäre eine neue gutachterliche Abnahme denkbar, da sich die Vorgaben für den maximal zulässigen Volumenstrom bisher auf das Medium Erdgas beziehen und für Wasserstoff noch nicht geregelt sind. Im Niederdrucknetz ist zudem eine Druckerhöhung des Einspeisedrucks eine Option. Voraussetzung für die vorgestellte Druckerhöhung auf $p = 70$ mbar(ü) und die damit verbundene Druckstaffelung ist

allerdings der Rückbau vorhandener Sicherheitsausblasventile. Welche Maßnahme zum Einsatz kommt, ist unter Beachtung technischer und wirtschaftlicher Gesichtspunkte im Einzelfall zu entscheiden. Hierbei muss auch die strategische Netzplanung eine Rolle spielen.

Es besteht weiterhin Handlungsbedarf zur Prüfung der Materialverträglichkeit und der Funktionalität aller gastechnischen Bauteile einer Gasdruckregelanlage sowie der Leitungen. Hierbei sind gegebenenfalls die Erfahrungen aus Stadtgaszeiten ein erster Ansatz zur Beurteilung der Komponenten und eine mögliche Grundlage für weitere Untersuchungen in Forschungsvorhaben.

LITERATUR

- [1] Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit, „Klimaschutzplan 2050,“ 2016.
- [2] VNG AG, „Gasinfrastruktur 2019,“ [Online]. Available: <https://vng.de/de/erdgas-kann-mehr-wir-auch/gasinfrastruktur#Fakten>. [Zugriff am 11 09 2020].
- [3] D. Bothe, M. Janssen, S. van der Poel und et. al., „Der Wert der Gasinfrastruktur für die Energiewende in Deutschland. Eine modellbasierte Analyse,“ Frontier Economics, Berlin, 2017.
- [4] DVGW, „Gasforschung im DVGW,“ 2019. [Online]. Available: <https://www.dvgw.de/themen/forschung-und-innovation/>. [Zugriff am 11 09 2020].
- [5] K. Panos, Praxisbuch Energiewirtschaft: Energieumwandlung, -transport und -beschaffung, Übertragungsnetzausbau und Kernenergieausstieg, Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2017.
- [6] M. Zapf, Stromspeicher und Power-to-Gas im deutschen Energiesystem: Rahmenbedingungen, Bedarf und Einsatzmöglichkeiten, Wiesbaden: Springer Vieweg, 2017.
- [7] Verein Deutscher Ingenieure, „Geräusche bei Rohrleitungen: Noise at pipes,“ 1996.
- [8] L. Böswirth, S. Bschorer und T. Buck, Technische Strömungslehre. Lehr- und Übungsbuch, Wiesbaden: Springer Vieweg, 2014.
- [9] Verein Deutscher Ingenieure, „Schwingungen in Rohrleitungssystemen: Vibrations in piping systems,“ 2004.
- [10] G. Cerbe und B. Lendt, Grundlagen der Gastechnik. Gasbeschaffung - Gasverteilung - Gasverwendung, München: Hanser, 2017.
- [11] Verein Deutscher Ingenieure, VDI-Wärmeatlas: Mit 320 Tabellen, Berlin: Springer-Vieweg, 2013.
- [12] F. Fischer-Uhrig, TNBER003 "STANET Rohrnetzberechnung Rechenverfahren", 2007.
- [13] K. Stierstadt, Thermodynamik, Springer Verlag, 2010.