



Quelle: Thyssengas

Zumischung von Wasserstoff zum Erdgas

Der deutliche Ausbau von Windenergie erfordert neben einem zielgerichteten Ausbau der Stromnetze neue Möglichkeiten zur Speicherung von volatil verfügbarer Elektroenergie. Eine Möglichkeit dafür ist die Einspeisung von elektrolytisch erzeugtem Wasserstoff in das Erdgasnetz. Im Auftrag des BBpro Fördervereins Biokraftstoffe Brandenburg-Berlin hat die DBI Gas- und Umwelttechnik GmbH für das Kompetenznetzwerk Mineralölwirtschaft/Biokraftstoffe Brandenburg den Einfluss von Wasserstoff auf das bestehende Erdgasnetz untersucht und stellt mit diesem Artikel einen Auszug der Ergebnisse vor [1].

In Deutschland war im Jahr 2008 eine Windenergieleistung von ca. 24 GW installiert, welche einen Stromertrag von 40 TWh erwirtschaftet hat. Dies entspricht einem Anteil von 7,5 Prozent am Bruttostromverbrauch. Damit nimmt Deutschland im weltweiten Vergleich einen Spitzenplatz ein.

Im IEKP [2] der Bundesregierung wird für 2020 ein Anteil erneuerbarer Energien von 30 Prozent an der Stromerzeugung gefordert. Dieses Ziel soll vor allem durch den Ausbau von Offshore-Windparks erreicht werden. Eine vermehrte Einspeisung volatiler Energien (Windenergie, Fotovoltaik)

bedingt den Ausbau von Speichermöglichkeiten sowie ein angepasstes Lastmanagement. Primär steht zwar weiterhin die direkte Einspeisung und Nutzung von Strom aus erneuerbaren Quellen („grüner Strom“) im Vordergrund, dennoch gibt es bereits jetzt Konzepte, die verfügbare und teilweise auf Grund von begrenzten Kapazitäten des Stromnetzes nicht verwertbare Energie zu speichern und bei Bedarf bereitzustellen.

Eine Möglichkeit der Speicherung von elektrischer Energie aus erneuerbaren Quellen ist die Produktion von Wasserstoff mittels Elektrolyse. Der Wasserstoff kann entweder

gespeichert und zu windschwachen Zeiten in BHKWs verstromt oder als Zusatzgas in das Erdgasnetz eingespeist werden (Abb. 1). Alternativ kann Wasserstoff gemeinsam mit CO₂ zu Methan reformiert werden. Über das Erdgasnetz in Deutschland wurden im Jahr 2008 ca. 93 Mrd. m³ Erdgas transportiert, was einer Energiemenge von über 930 TWh entspricht. Dem gegenüber steht das Stromnetz mit 617 TWh übertragener Energie [3]. Bezogen auf den Betrachtungszeitraum von einem Jahr könnte der 2008 aus Windkraft erzeugte Stromertrag als Wasserstoff im Erdgasleitungsnetz eingespeist werden. Der resultierende Wasserstoffanteil im Erdgas würde sich, bezogen

auf das Jahresmittel, bei ca. 8 Vol.-Prozent einstellen. Dieser hypothetischen Betrachtung müssen tages- und stundengenaue Untersuchungen folgen, dennoch wird die außerordentliche Kapazität des Erdgasleitungsnetzes deutlich. Darüber hinaus würde durch eine Wasserstoffzumischung die Importabhängigkeit verringert werden und der nutzbare Anteil der volatil verfügbaren regenerativen Energie zunehmen. Eine Erhöhung der Wasserstoffzumischung hat außerdem eine Reduzierung der CO₂-Emissionen zur Folge, da bei der Verbrennung von H₂ im Gegensatz zu CH₄ kein CO₂ freigesetzt wird. Ein weiterer Vorteil dieser Art der Nutzung ist, dass Wasserstoff zusammen mit Erdgas dort genutzt wird, wo auch die anfallende Wärme sinnvoll verwendet werden kann.

In der ersten Phase dieses Projektes wurden die generellen Aspekte des Nutzens einer H₂-Injektion in das bestehende Erdgasnetz sowie die grundlegenden Möglichkeiten und Grenzen des Einspeise- und Entnahmemanagements dargestellt. Die zweite Phase fokussierte auf den Einfluss von Wasserstoff auf das bestehende Gasnetz mit seinen Rohrleitungen und Anlagen sowie den Gasverbrauchseinrichtungen. Weiterhin wurden die Effekte auf das Risiko für die Öffentlichkeit durch eine Wasserstoffinjektion gegenüber dem herkömmlichen Erdgasbetrieb dargestellt und die notwendigen Schritte zur Netzanbindung einer Injektionsleitung behandelt.

Als maximale Wasserstoffkonzentrationen im Erdgas wurden 5 Vol.-Prozent und 20 Vol.-Prozent angenommen. Einerseits wird so ein mittelfristig realisierbarer Wert betrachtet, welcher auch konform zum DVGW-Regelwerk ist, und andererseits ein Ausblick auf mögliche langfristige Entwicklungen gegeben.

Einfluss auf das Gasnetz

Wasserstoff unterscheidet sich gegenüber Erdgas in den verbrennungsrelevanten Kennwerten und in möglichen Effekten auf eingesetzte Materialien. Beeinflussungen des mechanischen Verhaltens oder der Zeitstandfestigkeit der in der Gaswirtschaft eingesetzten Kunststoffe für den Rohrleitungsbau konnten bisher nicht festgestellt werden. Bei Rohrleitungen aus PE und PVC kommt es gegenüber Erdgas jedoch zu einer erhöhten Permeationsrate auf Grund des erheblich geringeren Moleküldurchmessers von Wasserstoff im Vergleich zu Methan. Aus der Veränderung der Permeationsraten resultieren jedoch keine relevanten sicherheitstechnischen,

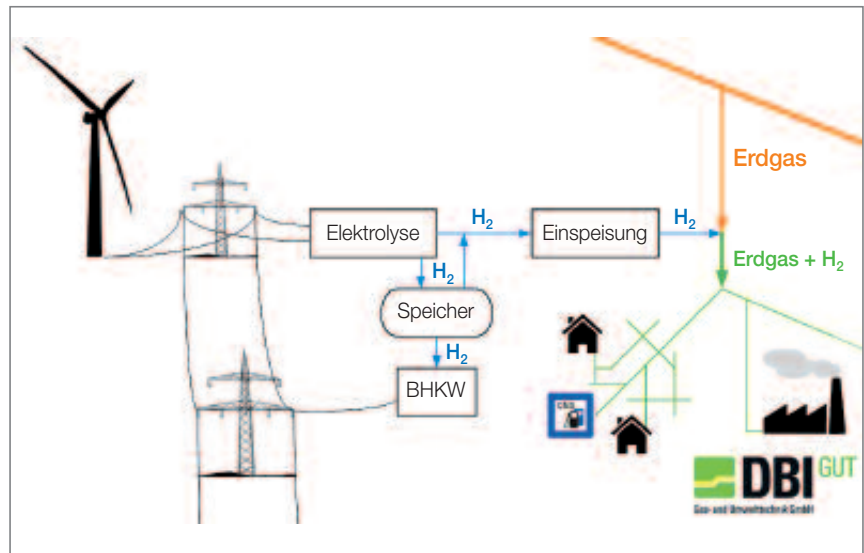


Abb. 1: Anlagenkonzept zur Wasserstoffherzeugung und Einspeisung

Quelle: DBI

ökologischen oder wirtschaftlichen Konsequenzen, da die Absolutwerte, insbesondere im Vergleich zu Leckagen, auf einem sehr geringen Niveau verbleiben.

Bei Stahlwerkstoffen geht die Permeationsrate annähernd gegen Null. Dies ist im Mechanismus der Permeation bei metallischen Werkstoffen begründet: Bevor es zur Absorption von Wasserstoff in das Material kommen kann, muss der molekulare Wasserstoff (H₂) in den atomaren Zustand (H) dissoziieren. Dies tritt nur unter bestimmten Bedingungen auf (z. B. bei nicht korrodierten Metalloberflächen in Folge von Rissbildung), sodass im Normalfall kein Wasserstoff in die Rohrwand gelangt. Wenn es jedoch zu Eintritt und Einlagerung von Wasserstoff kommt, kann, anders als bei Rohrleitungen aus PE, eine Versprödung des Materials, die so genannte wasserstoffinduzierte Korrosion, auftreten. Darüber hinaus kann das Wachstum bestehender Risse beschleunigt werden, so dass bei hohen Wasserstoffkonzentrationen (> 20 Vol.-Prozent) früher mit Schäden an Rohrleitungen gerechnet werden muss als bei ausschließlich erdgasführenden Leitungen. Diese unerwünschten Effekte treten vorwiegend bei un- oder niedriglegierten Stählen auf. Die Stähle nach DIN EN 10208-2, welche heutzutage in der Regel im Gasrohrleitungsbau eingesetzt werden, sind davon weniger betroffen, was auf Basis mehrerer Studien belegt wurde.

Materialien, deren langfristige Eignung für Wasserstoff nicht gesichert ist, sollten regelmäßig mit geeigneten Inspektionstechnologien (z. B. intelligenten Molchen) auf erhöhtes Risswachstum oder Korrosionsschäden geprüft werden. Diese Maß-

nahmen sind im Rahmen des Pipeline Integrity Managements zu koordinieren.

Einfluss auf die Gasmessung

Bei Gas-Druckregelanlagen kommen eine Vielzahl von Bauelementen und somit Materialien zum Einsatz, welche, insoweit sie mit Wasserstoff in Kontakt kommen, eine entsprechende Beständigkeit aufweisen müssen. Für viele Kunststoffe ist diese Eignung gegeben, metallische Werkstoffe sollten bestimmte Kriterien (z. B. hohe Zähigkeit) erfüllen.

Neben der materialtechnischen Eignung des Gasrohrnetzes und der Anlagen müssen auch die Einrichtungen zur Gasmengenmessung sowie zur Brennwertbestimmung für den Einsatz mit Wasserstoff vorbereitet sein. Auf Grundlage des jetzigen Erfahrungsstandes können für die eichfähige Gasmengenmessung von Wasserstoff und wasserstoffreichen Gasen Wirbelstromgaszähler empfohlen werden. Bei höheren Drücken ab ca. 13 bar können auch Drehkolben- oder Turbinenradgaszähler zum Einsatz kommen, da Wasserstoff und wasserstoffhaltige Gase dann die für dieses Messprinzip erforderlichen Eigenschaften (vergleichbar zu Erdgas und Luft) aufweisen.

Zur eichfähigen Brennwertbestimmung mittels Prozessgaschromatograph (PGC) ist für die Wasserstoffmessung der Einsatz von z. B. Argon als Trägergas (statt Helium) erforderlich. Da Erdgas jedoch in der Regel frei von Wasserstoff ist, gehören PGCs mit Argon als Trägergas nicht zur Standardausrüstung im Erdgasnetz, die Umrüstung der Trägergase stellt kein technisches Problem dar. Eine Wasserstoffinjektion in

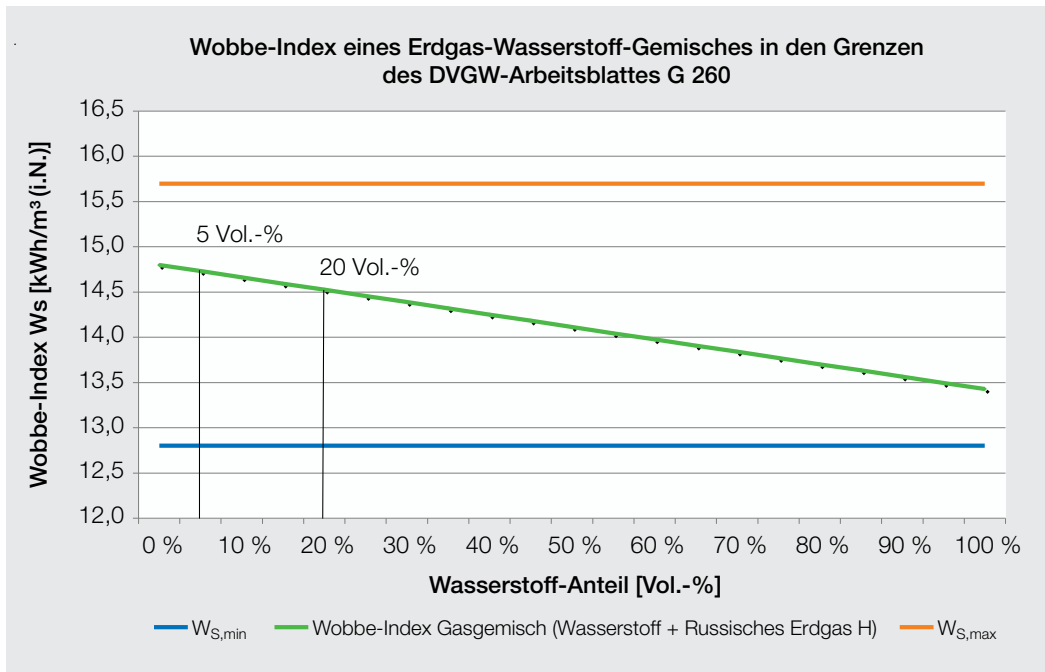


Abb. 2: Einordnung der Wasserstoffzumischung in das Gasbeschaffenheitskennfeld

das bestehende Erdgasnetz, auch in geringen Konzentrationen, erfordert demnach die Anpassung der vorhandenen Messtechnik (Mengenmessung, Brennwertbestimmung).

Einfluss auf die Gasanwendung

Die Zumischung von Wasserstoff führt, je nach Konzentration, zu einer signifikanten Änderung der Gaskennwerte. Der Brennwert von Wasserstoff beträgt etwa ein Drittel des Brennwertes von Erdgas, sodass bei einer Zumischung von 20 Vol.-Prozent Wasserstoff der Energieinhalt des Gasgemisches um etwa 15 Prozent abnimmt. Der Wobbe-Index hingegen, als Maß für die Wärmebelastung des Brenners, nimmt bei gleicher Zumischung nur um etwa 5 Prozent ab, da auf Grund der gegenüber Erdgas deutlich geringeren Dichte von Wasserstoff eine Teilkompensation erreicht wird (Abb. 2). Die Grenze für die Zumischung resultiert in diesem Zusammenhang aus dem DVGW-Regelwerk (G 260 Gasbeschaffenheit und G 685 Gasabrechnung). Im Folgenden wird für typische Systeme bzw. Bereiche eine Einschätzung der Wasserstoffverträglichkeit gegeben.

Moderne Brennwertgeräte für den häuslichen Gebrauch wurden im Rahmen des EU-Projekts NATURALHY [4] mit einem Erdgas-Wasserstoff-Gemisch mit bis zu 40 Vol.-Prozent H₂ über den Zeitraum von einem Jahr betrieben, ohne dass Störungen auftraten. In dieser Untersuchung wurden Abgaswerte, Effizienz und die interne Wärmebelastung der Geräte geprüft. Als einzige nachteilige Beeinflussung durch die Zumischung von Wasserstoff wurde eine gering-

fügige Leistungsreduktion der Geräte festgestellt, die auf den verringerten Heizwert des Gasgemisches zurückzuführen ist. Die Toleranz gegenüber Erdgas-Wasserstoffgemischen der untersuchten Haushaltgeräte lässt sich auf Grund der Vielfalt verschiedener Gasendgeräte nicht pauschal auf alle Typen übertragen. Bei einer Zumischung von Wasserstoff im unteren bis mittleren einstelligen Prozentbereich werden jedoch auch bei den derzeit noch in Verwendung befindlichen älteren Gasendgeräten keine Komplikationen erwartet.

Bei der Verwendung von Erdgas als Kraftstoff ist die zulässige Wasserstoffkonzentration zurzeit auf 2 Vol.-Prozent begrenzt [5]. Die Literaturlauswertung zeigt, dass die Zumischung von Wasserstoff zum Erdgas sich auf Grund der erweiterten Zündgrenzen und der erhöhten Flammgeschwindigkeit positiv auf die Verbrennung in Ottomotoren auswirkt. In Untersuchungen an der TU Graz konnte gezeigt werden, dass die Schadstoffemissionen von Erdgas-Wasserstoffgemischen gegenüber reinem Erdgas oder Benzin deutlich geringer ausfallen. Die Kraftstoffspeicherung im Fahrzeug kann in Analogie zu Erdgasfahrzeugen in Drucktanks erfolgen. Als Material können Stahl- oder auch Composite-Werkstoffe eingesetzt werden, wenn diese über eine metallische Sperrschicht (z. B. Aluminium) verfügen. Für einen extremen Schadensfall sind die Fahrzeugtanks mit Magnetsicherheitsventilen ausgestattet, welche für ein gezieltes Abblasen oder kontrolliertes Abbrennen sorgen.

Bei industriellen Anwendungen ist der Einfluss von Wasserstoff sehr von der Kon-

zentration im Erdgas abhängig. Bei GUD-Kraftwerke werden bei geringen Konzentrationen marginale Leistungseinbußen erwartet. Höhere Konzentrationen machen auf Grundlage der verfügbaren Informationen den Einsatz von angepassten Brennern in den Gasturbinen notwendig.

Bei der Stahlherstellung wird teilweise Erdgas oder Erdgasprodukte als Schutzgas eingesetzt, um eine Oxidation des Materials durch Sauerstoff zu verhindern bzw. thermochemische Wärmebehandlungen vorzunehmen. Eine Wasserstoffzumischung kann die für die Prozesse notwendigen Konzentrationen bestimmter Komponenten verschieben. Die konkreten Auswirkungen lassen sich erst nach genauer Analyse der Prozesse feststellen, Gleiches gilt für die Entwicklung von Maßnahmen zur Kompensation.

In der chemischen Industrie werden ca. 30 Prozent des bezogenen Erdgases stofflich genutzt. Auch hier ist die veränderte Gaszusammensetzung mit den Prozessen und Verbrauchern abzustimmen.

Die verfügbaren Informationen zu möglichen Einflüssen von Wasserstoffzumischungen auf Industrieprozesse werden für eine abschließende Bewertung als nicht ausreichend eingeschätzt. Weitergehende F&E-Aktivitäten sind zu dieser Thematik erforderlich.

Einfluss auf die Sicherheit

Auch bei der Zumischung von Wasserstoff (oder anderer Gase) zum Erdgas muss die Sicherheit für Mensch und Umwelt

gewährleistet sein. Das Verhalten eines Erdgas-Wasserstoff-Gemisches in geschlossenen Räumen, z. B. bei Leckagen in der Hausinstallation, ist sehr ähnlich dem von reinem Erdgas. Sowohl das Durchmischungsverhalten mit der Raumluft als auch die Eintrittswahrscheinlichkeit einer Explosion und deren Folgen sind im Bereich von Wasserstoffkonzentrationen bis zu ca. 20 Vol.-Prozent vergleichbar mit dem Verhalten von Erdgas.

Die Risikoveränderung für die Bevölkerung durch ungewollten Gasaustritt aus einer Rohrleitung ist abhängig von der Wasserstoffkonzentration in der und dem Abstand der Person zur Rohrleitung. Auf Grund des erweiterten Zündbereichs und der niedrigeren Zündenergie erhöht sich das Risiko mit steigender Wasserstoffkonzentration in unmittelbarer Nähe einer Rohrleitung. Im Gegensatz dazu sinkt das Risiko an weiter von einer Rohrleitung entfernten Punkten durch den geringeren Energiegehalt des Gasgemisches, da dieser im Falle einer Entzündung zu kürzeren Flammen führt. Diese beiden gegenläufigen Effekte resultieren in einem geringen Anstieg des Risikos in der Nähe einer Rohrleitung und gleichzeitig in einer Reduzierung der thermischen Reichweite eines Pipelinebrandes.

Generell ist anzumerken, dass die Häufigkeit von Undichtheiten an Rohrleitungen in den letzten Dekaden kontinuierlich gesenkt werden konnte und die Wahrscheinlichkeit der Entzündung von Leckagen außerordentlich gering ist. Das belegt nicht zuletzt die lange erfolgreiche Geschichte der Stadtgasversorgung in Deutschland bis 1990 mit einem Wasserstoffanteil von bis zu 50 Vol.-Prozent. Bei der Anwendung des DVGW-Regelwerks und der Auswahl geeigneter Werkstoffe ist bei niedrigen Wasserstoffkonzentrationen kein signifikant höheres Risiko gegenüber Erdgas zu erwarten.

Netzanbindung

Für die Netzanbindung eines Elektrolyseurs/Wasserstoffspeichers sind, ähnlich wie bei Biogasanlagen, eine Injektionsleitung und eine geeignete Einspeiseanlage notwendig. Ein Fokus bei der Planung einer Injektionsleitung ist die Wahl des geeigneten Werkstoffs. Nach der Einspeisung ins Erdgasnetz liegen lediglich geringe Konzentrationen von Wasserstoff im Erdgas vor. In der Injektionsleitung sowie der Einspeiseanlage hingegen wird reiner Wasserstoff transportiert. Geeignete Materialien sind, wie auch für das Gasnetz

und GDRM-Anlagen, z. B. PE sowie zähe und legierte Stähle nach DIN EN 10208-2. Die notwendigen Planungsschritte für die Netzanbindung einer Wasserstoffinjektionsleitung sind mit denen von Erdgasleitungen vergleichbar.

Der Aufbau einer Einspeise-Anlage für Wasserstoff kann sich an Anlagen zur Biogas-/Biomethan-Einspeisung orientieren. Es müssen für Wasserstoff geeignete Materialien und Messgeräte (z. B. für die Mengemessung) eingesetzt werden. Die Zumischung kann, je nach verfügbarem Wasserstoffvolumen und Anforderungen an Brennwert und sonstige Gaskennwerte, konditioniert (mit LPG) oder unkonditioniert erfolgen. Die Regelung der Zumischung sollte so erfolgen, dass eine konstante Wasserstoffkonzentration im Erdgas gewährleistet wird. Hierzu ist ein Zwischenspeicher erforderlich.

Für ein ausgewogenes Injektionsmanagement sind die Dimensionierung des Wasserstoffspeichers und des Elektrolyseurs unter Berücksichtigung des Windstromangebotes, des Gasbedarfes und der Kapazität des Elektroenergienetzes von essentieller Bedeutung. Mit einem abgestimmten Anlagenkonzept kann eine an den Lastgang des Gasbedarfs angepasste Einspeisung von Wasserstoff gewährleistet werden.

Fazit

Auf Grund seiner Kapazität ist das Erdgasnetz sehr gut für die Aufnahme von Wasserstoff aus regenerativer elektrischer Energie geeignet. Damit kann es als Speicher für Überschussenergie dienen. Auf diese Weise können zeitliche Differenzen in der Stromerzeugung aus Windkraft- oder Photovoltaikanlagen und dem Strombedarf ausgeglichen werden, was eine Optimierung des Lastmanagements der Stromnetze erlaubt.

Der Betrieb des bestehenden Erdgasnetzes mit einem Wasserstoff-Erdgas-Gemisch, vor allem in den hier betrachteten niedrigen Konzentrationen (5 Vol.-Prozent, und Zukunftsszenario 20 Vol.-Prozent), ist nach den bisherigen Erkenntnissen aus technischer und sicherheitstechnischer Sicht grundsätzlich möglich, wobei in Abhängigkeit vom tatsächlichen Wasserstoffanteil technische Modifikationen, insbesondere hinsichtlich abrechnungsrelevanter Messungen, notwendig werden können.

Es besteht allerdings Klärungsbedarf hinsichtlich des Einsatzes von Erdgas in Industrieprozessen, z. B. als Brennstoff in

Gasturbinen, Prozessgas oder Hilfsstoff sowie als Kraftstoff. In diesen Fällen kann Wasserstoff negative Auswirkungen haben, welche besondere Gegenmaßnahmen erfordern. Weiterhin sind erhöhte Aufwendungen, für den Einbau geeigneter Messtechnik und bei höheren Konzentrationen (>> 20 Vol.-Prozent) für Instandhaltung von Netz und Anlagen, zu erwarten.

Darüber hinaus wird empfohlen, innerhalb eines Pilotprojektes die Zumischung von Wasserstoff zum Erdgas zu testen, um über die bisher verfügbaren Erkenntnisse hinaus Erfahrungen mit der Einspeisung von Wasserstoff zu sammeln.

Am 10./11. November 2010 organisiert die DBI-Gastechnologisches Institut gGmbH Freiberg in Berlin das Fachforum „Energiespeicherung im Erdgasnetz und Wasserstoff“. Dort werden die Möglichkeiten, der Nutzen und die Grenzen der Wasserstoffnutzung als Energiespeicher für regenerativ erzeugten Strom vorgestellt und diskutiert.

Die Studie wurde mit Unterstützung des Kompetenznetzwerks Mineralölwirtschaft-Biokraftstoffe Brandenburg-Berlin erstellt.

Literatur:

- [1] Untersuchung der Zumischung von Wasserstoff zum Erdgas H im Rahmen der G 260, DBI Gas- und Umwelttechnik, 2010
- [2] IEKP – Integriertes Energie- und Klimaprogramm, Bundesregierung, 2007
- [3] BDEW – Gas und Strom 2008: Konjunkturrückgang dämpft Energieverbrauch, 06.03.2009
- [4] www.naturalhy.net
- [5] DIN 51624. Kraftstoffe für Kraftfahrzeuge – Erdgas – Anforderungen und Prüfverfahren. 2008.

Autoren:

M. Eng. Jens Hüttenrauch
DBI Gas- und Umwelttechnik GmbH
Theklaer Str. 42
04347 Leipzig
Tel.: 0341 24571-28
Fax: 0341 24571-37
E-Mail: jens.huettenrauch@dbi-gut.de
Internet: www.dbi-gut.de

Dipl.-Ing. (FH) Gert Müller-Syring
DBI Gas- und Umwelttechnik GmbH
Theklaer Str. 42
04347 Leipzig
Tel.: 0341 24571-29
Fax: 0341 24571-37
E-Mail: gert.mueller-syring@dbi-gut.de
Internet: www.dbi-gut.de