

REALLABOR

SICHERE WASSERSTOFFNETZE

Der Energieträger Wasserstoff soll einen festen Platz im deutschen Energiemix erhalten. Herzstück wird ein rund 9000 Kilometer langes Leitungsnetz sein. Bei der technischen Umsetzung fehlen bislang aber noch praktische Erfahrungswerte im Umgang mit Wasserstoff. Diese soll das neue „ModuH2Pipe@BAM“ liefern, das am 2. Juli eröffnet wurde. VERFAHRENSTECHNIK war bei der Eröffnung dabei und berichtet, was die Testanlage für Industrie, Forschung und Anlagenbetreiber leistet.

Im Südosten Berlins, in einem dicht bewaldeten Gebiet im Ortsteil Horstwalde von Baruth/Mark dehnt sich über rund zwölf Quadratkilometer das Testgelände Technische Sicherheit der Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung (BAM) aus. Schon kurz nach der Wende übernahm die Bundesanstalt das ehemalige Militärgelände. In Bunkern gesicherte Leitstände und aufwendige Sicherheitstechnik erlauben hier auch riskante praktische Versuche durchzuführen. Dazu gehören zum Beispiel Großversuche mit erheblichen Energiemengen oder mit brennbaren Gasen, Brand- und Explosionsuntersuchungen, Versuche mit großen Sicherheitsabständen oder die kontrollierte Untersuchung von Schadensfolgen. Ein Pluspunkt ist dabei die Kombination mit den Berliner BAM-Laboren.

Hier in Horstwalde eröffnete Prof. Dr.-Ing. Katharina Löwe, Abteilungsleiterin für Prozess- und Anlagensicherheit bei der BAM, zusammen mit Dr.-Ing. Kai Hilgenberg, Abteilungsleiter Komponentensicherheit, und Dr. Kai Holtappels als Leiter Sicherheit von Energieträgern, am 2. Juli 2026 das „ModuH2Pipe@BAM“ im Rahmen des Reallabors H_2-Netze. Rund 150 Besucher aus Forschung, Industrie, Politik und Medien waren angereist, um zwischen den Wäldern die neue Testanlage zu besichtigen.

Daniel Schilling *ist Redakteur der VERFAHRENSTECHNIK*



01 **Bis zu fünf Meter lang dürfen die geraden Prüfstücke sein, die in Modul 1 getestet werden. Im Hintergrund ist Modul 2 in einem Zelt untergebracht**

02 **Die Testanlage von Modul 1 ist in Form einer 8 aufgebaut. Im Container stehen Gebläse zur Erzeugung hoher Volumenströme**



WISSENSLÜCKEN SCHLIESSEN

Der Grund für das große Interesse vor Ort ist der laufende Aufbau eines Wasserstoff-Kernnetzes bis zum Jahr 2032. Es soll unter anderem die Seehäfen an Nord- und Ostsee mit den industriellen Zentren an Rhein, Ruhr und Main, in Schwaben, Oberbayern und Mitteldeutschland verbinden. Von geplanten 9040 Kilometern Leitung sollen rund 60 Prozent aus vorhandenen, umfunktionierten Erdgasleitungen bestehen; 40 Prozent werden neu gebaut.

Für die Auslegung dieser Leitungen und der zugehörigen Anlagen gab es bislang nur Rechenmodelle und Versuche im Labormaßstab. Praktische Erfahrungswerte im Originalmaßstab für den Umgang mit Wasserstoff im Normalbetrieb, aber auch in Grenzbereichen fehlten. Diese Lücke schließt das Reallabor.

Partner können Komponenten oder Rohrleitungssegmente im Realmaßstab untersuchen und dann Material- und Gasanalysen durch die BAM durchführen lassen. Die Anlage ist nicht nur Forschungsinfrastruktur, sondern explizit auch Dienstleistungs- und Entwicklungsplattform für externe Partner.

SCHWIERIGER WERKSTOFF WASSERSTOFF

Wasserstoff kann in bestimmte metallische Werkstoffe eindringen und abhängig von Gefüge, Beanspruchung, Temperatur, Druck und Wasserstoffkonzentration die Rissbildung oder ein sprödes Versagen begünstigen. Neben Stahl müssen als Materialien auch Kunststoffe, Elastomerdichtungen, Schmierstoffe und Verbundwerkstoffe betrachtet werden.

Hinzu kommen Fragen der Gasqualität: Stoffe, die aus einer zuvor mit Erdgas betriebenen Leitung freigesetzt werden, oder eingebrachte Verunreinigungen können die Qualität des Wasserstoffs beeinträchtigen. Das ist gerade bei empfindlichen nachgelagerten Anwendungen relevant. Damit ergeben sich praktische Fragestellungen, die sich nun in Versuchen beantworten lassen:

- Eignen sich ältere Rohrleitungsstähle für reinen Wasserstoff ?
- Wie reagieren Schweißnähte und Reparaturstellen?
- Bleiben Ventile, Armaturen und Dichtungen dauerhaft funktionsfähig?
- Wie wirken sich wiederholte Druckwechsel aus?
- Welche Leckraten treten auf?
- Wie lassen sich beginnende Risse zuverlässig erkennen?
- Verändert eine ehemalige Erdgasleitung die Reinheit des transportierten Wasserstoffs?
- Welche Prüf- und Wartungsintervalle sind erforderlich?



03 **Geschützt hinter einer Betonmauer liegt der Container für die Wasserstoffverdichtung**



04 **Der Bunker auf dem Testgelände beherbergt die Anlagensteuerung und hält auch deutlich stärkeren Belastungen stand, als bei Versuchen mit Wasserstoff auftreten**

- Wie hoch ist die erwartete Lebensdauer der Komponenten im Einsatz mit 100% Wasserstoff?
- Wie müssen bestehende Regelwerke für den Wasserstoffbetrieb angepasst werden?

Klassische Laborproben beantworten diese Fragen nur teilweise, und die Eigenschaften einer kleinen, sorgfältig präparierten Materialprobe lassen sich nicht direkt auf eine vollständige Rohrleitung mit Schweißnähten, Formstücken, Dichtungen, realer Strömung und betrieblicher Belastung übertragen. ModuH2Pipe soll deshalb die Lücke zwischen Werkstofflabor und tatsächlichem Netzbetrieb schließen.

INNOVATIONSPARTNERSCHAFT

Das Kompetenzzentrum H2Safety@BAM wird bereits seit 2020 kontinuierlich aufgebaut; das Projekt ModuH2Pipe@BAM startete bei der BAM intern zum 1. Januar 2022. Für den Aufbau stellte das damalige Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz 3,8 Millionen Euro Bundesmittel bereit.

Bemerkenswert ist das Beschaffungsverfahren, für das sich die BAM entschieden hatte. Die gestellte Aufgabe erforderte eine maßgeschneiderte Anlage. Zudem konnten sich technische Anforderungen während der Entwicklung verändern. Daher beschaffte die BAM die Anlage über eine Innovationspartnerschaft. Dieses Verfahren verbindet die Erforschung und Entwicklung einer neuen Lösung, die schrittweise technische Konkretisierung und die anschließende Beschaffung des entwickelten Produkts. Die BAM konnte auf diesem Weg gemeinsam mit dem Industriepartner eine bislang nicht verfügbare Prüfinfrastruktur entwickeln, anstatt eine vollständig spezifizierte Anlage einzukaufen.

Becker Technologies aus Hochheim am Main war dieser Partner in der Innovations- und Entwicklungsphase und dann auch der Generalunternehmer für Umsetzung, Bau und Inbetriebnahme der modularen Testplattform. Entsprechend war das Unternehmen von Anfang an maßgeblich in das Projekt eingebunden. Becker Technologies verfügt über jahrzehntelange Erfahrung in Entwicklung, Aufbau und Betrieb von Versuchs- und Forschungsanlagen. Die Aufgabenstellung der BAM passte daher sehr gut zu den bisherigen Erfahrungen und der Expertise und erlaubte, auf vorhandenes Know-how bei Konzeption, Konstruktion, Montage und Inbetriebnahme solcher Anlagen zurückzugreifen.

Allerdings sollte bei ModuH2Pipe keine Anlage aus vorhandenen Standardkomponenten nach einem bestehenden Konzept zusammengebaut werden. Die Anforderungen der BAM, vor allem die Kombination aus den realitätsnahen Betriebsbedingungen und den deutlich darüber hinausgehenden Prüfbedingungen, erforderten eine individuelle Auslegung und

» PARTNER KÖNNEN KOMPONENTEN ODER ROHRSEGMENTE IM REALMASSSTAB UNTERSUCHEN

entsprechende Anpassungen bei fast allen Bauteilen. Der Entwicklungsaufwand lag deshalb darin, bewährte Technologien zu einem für diese Aufgabenstellung geeigneten Gesamtsystem zusammenzuführen und an die speziellen Anforderungen der BAM beziehungsweise der Anlagenperformance anzupassen.

Der Startschuss zur Innovationspartnerschaft der Versuchsanlage fiel im Februar 2024. Das Projekt begann mit einer neunmonatigen Innovationsphase. In dieser Phase wurde in enger Zusammenarbeit mit der BAM die generelle Machbarkeit sowie das grundlegende Konzept der modularen Testplattform erarbeitet. Im Anschluss erfolgte die sogenannte Leistungsphase des Projekts, in der das Detail-Engineering, die Fertigung und der Aufbau der Anlage umgesetzt wurden.

Die Aufgabe umfasste damit nicht nur die Umsetzung einer in der Innovationsphase erarbeiteten und festgelegten technischen Lösung, sondern auch die Entwicklung und Realisierung der Anlage als Gesamtsystem. Das erforderte intensive, engmaschige Abstimmungen zwischen Becker Technologies und der BAM, denn bei einer Versuchsanlage dieser Größenordnung müssen die wissenschaftlichen und technischen Anforderungen sehr früh gemeinsam in eine konkrete Anlagenkonzeption übersetzt werden. Gerade diese enge Abstimmung war aus Sicht von Becker Technologies ein wesentlicher Faktor dafür, dass es gelang, die unterschiedlichen Anforderungen an maximal mögliche Versuchs- und Randbedingungen, Flexibilität, Sicherheit und Mess- und Regeltechnik innerhalb des gesetzten Budgetrahmens in einer funktionsfähigen Gesamtanlage zusammenzuführen.

PARTNER FÜR DIE ANLAGENSTEUERUNG

Für die Steuerungs- und Regelungstechnik wählte Becker Technologies einen spezialisierten Partner und trat dafür im

Februar 2025 an die Delphin Technology AG aus Bergisch Gladbach heran, die schon bei anderen Projekten erfolgreich mit Becker Technologies kooperiert hatte. So hatte das Delphin zum Beispiel die von Becker Technologies betriebene Versuchsanlage („THAI“) mit Soft- und Hardware ausgestattet.

Für eine Forschungsanlage wie ModuH2Pipe ist eine flexible und zuverlässige Erfassung der Betriebs- und Versuchsdaten besonders relevant, weil die Anlage in Zukunft täglich unter sehr unterschiedlichen und versuchsspezifischen Bedingungen betrieben werden soll. Diese Daten sind entscheidend, bilden sie doch die Grundlage für die wissenschaftliche Auswertung der Versuche.

Delphin Technology hat das Projekt eingehend bei den mess-, steuerungs- und softwaretechnischen Fragen begleitet. Die Aufgaben der Spezialisten aus Bergisch Gladbach umfassten im Einzelnen:

- Die Gerätekonfiguration mit der Umsetzung des definierten Ablaufplans in die Gerätesoftware.
- Die Simulationsumgebung, um die unterschiedlichen Softwarekomponenten prüfen zu können.
- Die PC-Anwendung mit ihrer Bedienoberfläche, Parametereingabe und Reportausgabe auf Basis des finalisierten Testszenarios.

AUFBAU IN ZWEI MODULEN

Die Testanlagen sind auf einer weitläufigen, mit Erdwällen gesicherten Lichtung installiert. Rechts befindet sich der massive Erdbunker, von dem aus alle Versuche gesteuert werden; linker Hand liegen die zwei Versuchsmodule Modul 1 „Kompatibilität und Qualität“ und Modul 2 „H_2-Sicherheit“. Betreut wird die Anlage vom Wasserstoff-Kompetenzzentrum H2Safety@BAM, das die Wasserstoffaktivitäten verschiedener BAM-Fachbereiche bündelt. Am Eröffnungstag stand die Anlage noch am Anfang ihres Regelbetriebs: In Modul 1 wurde der Betrieb aktuell mit Hilfe einer Simulationssoftware erprobt, um von Beginn an höchste Sicherheit zu gewährleisten. Parallel dazu schritt die Inbetriebnahme von Modul 2 planmäßig voran.

MODUL 1 – KOMPATIBILITÄT UND QUALITÄT

Die Anlage in Modul 1 besteht aus einer achtförmigen Rohrschleife. An der mittleren Achse sind Pumpen, Zuführungen und Sensoren untergebracht, die es erlauben, in den Rohren exakt definierte Versuchsbedingungen zu schaffen. An den zwei äußeren Achsen ermöglichen zwei jeweils exakt 5000 mm lange Aussparungen die flexible Integration von Prüfmustern in die Testumgebung. Auch der Einbau funktionaler Baugruppen ist möglich, ebenso wie die Instrumentierung mit Sensorik. Der Durchmesser eingebauter Rohre darf dabei bis zu 1400 mm betragen.

Die Anlagensteuerung kann im Betrieb Lastprofile mit den folgenden Parametern erzeugen:

- Volumenströme bis 1500 Nm^3/h
- Betriebsdrücke bis 85 bar
- Zyklische Lastwechsel zwischen 10 bar und 85 bar
- Zudem lassen sich bei Bedarf Verunreinigungen zuführen.

Modul 1 ermöglicht so den Betrieb vollständiger Komponenten unter definierten Bedingungen. Durch zyklische, medienseitige Belastungen lassen sich eine lange Einsatzzeit unter realen Betriebsbedingungen simulieren oder Betriebszustände nachbilden. Anschließend untersucht die BAM die Proben und Bauteile materialwissenschaftlich, etwa auf Risse, Gefügeveränderungen, Wasserstoffaufnahme oder auch auf Wasserstoff-Versprödung von Metallen.

Modul 1 kann aber auch genutzt werden, um die Wechselwirkung zwischen Gas und Infrastruktur zu untersuchen. Untersuchen lässt sich beispielsweise:

- Ob Rückstände aus früherem Erdgasbetrieb den Wasserstoff verunreinigen?
- Wie sich gezielt zugemischte Fremdstoffe auf Werkstoffe und Komponenten auswirken?
- Ob Leitungs-, Dichtungs- oder Beschichtungsmaterialien Stoffe an das Gas abgeben?
- Wie sich die Wasserstoffqualität während des Betriebs überwachen lässt?
- Welche analytischen Verfahren für eine kontinuierliche Qualitätskontrolle geeignet sind?

MODUL 2 – H2-SICHERHEIT: PRÜFUNGEN BIS ZUM VERSAGEN

Modul 2 ist für Versuche unter kritischen und zerstörenden Bedingungen vorgesehen. Rohrleitungssegmente, Ventile, Armaturen oder andere Komponenten können mit Wasserstoff unter sehr hohe Drücke gesetzt werden.

Die BAM nennt einen Prüfdruck von bis zu 900 bar und eine Dauerbetriebstemperatur bis 300 °C. Damit können Bauteile weit oberhalb ihrer normalen Betriebsbelastung beansprucht und gegebenenfalls gezielt bis zum Versagen geprüft werden. Anschließend lassen sich unter anderem untersuchen:

- Ort und Mechanismus des Versagens,
- Rissentstehung und Rissausbreitung,
- Freisetzung des Wasserstoffs,
- Druck- und Splitterwirkungen,
- Wirksamkeit von Sicherheitsabständen,
- Schutzwände und andere konstruktive Schutzmaßnahmen,
- Eignung von Überwachungs- und Notabschaltkonzepten.

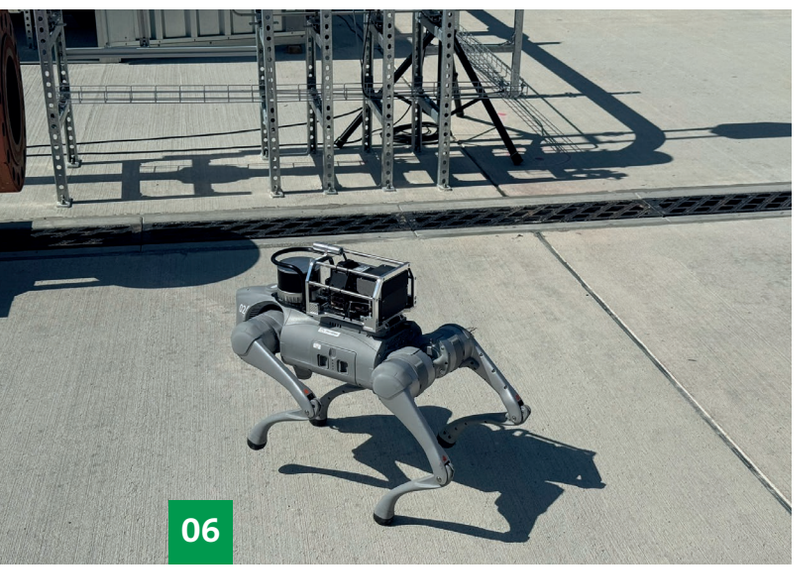
Derartige zerstörende Großversuche sind einer der Hauptgründe für den Standort auf dem weitläufigen, abgesicherten BAM-Testgelände in Brandenburg.



Die möglichen Betriebs- und Prüfbedingungen sind in dieser Form in Europa einzigartig und verschieben die Grenzen der untersuchbaren Parameter deutlich. ModuH2Pipe ermöglicht es, Rohrleitungen und Komponenten unter realitätsnahen Betriebsbedingungen zu untersuchen und zugleich gezielt außergewöhnliche Belastungssituationen abzubilden.

Dr.-Ing. Kevin Dieter,
Head of Experimental Program, Becker Technologies





05 Der Leitstand wurde von Delphin Technology ausgestattet und erlaubt die vollständige Kontrolle über alle Versuche.

06 Bei der Eröffnung führte die BAM auch andere Entwicklungsprojekte vor wie diesen Roboterhund zum Aufspüren von Gaslecks.

Seit der Eröffnung wird Modul 2 schrittweise angepasst. Wesentliche Funktionen stehen bereits zur Verfügung, die vollständige Betriebsbereitschaft folgt nach dem Einbau der verbleibenden Spezialkomponenten.

Gerade bei einer so individuell ausgelegten Forschungs- und Versuchsanlage muss der überwiegende Anteil der Komponenten sehr spezifischen Anforderungen genügen und speziell für die Anlage gefertigt und integriert werden.

Die letzten Arbeiten seitens Becker Technologies dienten daher vor allem dazu, diese Spezialkomponenten in der eigenen Werkstatt fertigzustellen und die Gesamtanlage weiter für den späteren Forschungs- und Prüfbetrieb zu optimieren und vorzubereiten. In Bezug auf den Betrieb der Anlage sind Becker Technologies und die BAM aktuell im engen Austausch und planen bereits die ersten Versuchskampagnen.

ABBILDBARE BETRIEBSBEDINGUNGEN

Die Anlage kann mit ihren beiden Modulen somit typische und atypische Belastungen eines Wasserstoffnetzes simulieren. Typische Testverfahren sind:

Druckwechsel: Rohrleitungen können dabei wiederholt Drücken zwischen 10 und 85 bar ausgesetzt werden. Dadurch wird beispielsweise das Hoch- und Herunterfahren eines Leitungssystems nachgebildet. Solche Druckwechsel sind wichtig, weil eine Pipeline nicht nur durch den maximalen Druck, sondern auch durch die Anzahl und Größe ihrer Lastwechsel beansprucht wird. Die Anlage kann diese Lastwechsel-Versuche vollautomatisiert und mit Zyklenzahlen von weit über 1000 Lastwechseln durchführen.

Hohe Durchflussmengen: Die Testplattform ist auch für die Untersuchung von Strömungseinflüssen konzipiert. Damit lassen sich Effekte erfassen, die in ruhenden Druckbehältern oder kleinen Laborzellen nicht sichtbar werden, etwa an Armaturen, Dichtstellen, Oberflächen und Übergängen.

Definierte Verunreinigungen: Dem Wasserstoff können gezielt Fremdstoffe zugemischt werden. Damit lässt sich prüfen, ob und wie Verunreinigungen Korrosion oder Alterung beschleunigen, Dichtungen beeinflussen, Messgeräte oder Sensoren stören, die Wasserstoffqualität verändern oder die Funktionsfähigkeit von Bauteilen beeinträchtigen.

Reiner Wasserstoff und Mischgase: Die Anlage ist sowohl für reinen Wasserstoff als auch für Wasserstoff-Erdgas-Gemische vorgesehen. Das ist relevant, weil sich die technischen Anforderungen einer schrittweisen Beimischung von denen einer vollständigen Umstellung auf reinen Wasserstoff unterscheiden.

SICHERE ANLAGENSTEUERUNG

Die Steuerung der gesamten Anlage des Testgeländes erfolgt über einen Leitstandrechner im geschützten Bunker des Versuchsplatzes. Neben der eigentlichen Steuerungstechnik geben Kameras und Sichtschlitze einen Überblick über das Testgelände.

Die Anlage baut auf bewährten Komponenten auf. Ihr Herzstück ist ProfiMessage D von Delphin Technology. Bei dieser Anwendung besteht es aus einem Master- und zwei Slave-Geräten. Dieser Aufbau bietet Platz für sechs Mess- und Steuermodule. Diese sind vollständig belegt mit drei AAST-Modulen und je einem ADVT-, IOIT- und DIOT-Modul.

Die AAST-Module kombinieren jeweils vier universelle Analogeingänge – etwa für Spannung, Strom, Pt100-Sensoren oder Thermoelemente – mit vier Analogausgängen sowie je zwei Digitalein- und -ausgängen; sie übernehmen damit Mess-, Stell- und Regelaufgaben direkt im Gerät.

Das ADVT-Modul stellt 15 weitere Analogeingänge bereit, das IOIT-Modul kann über seine 24 Digitaleingänge Schalt- und Statussignale erfassen. Das DIOT-Modul ergänzt elf Frequenz- und Zählereingänge sowie 16 Digitalausgänge zum Schalten von

» DIE ANLAGE IN MODUL 1 BESTEHT AUS EINER ACHTFÖRMIGEN ROHRSCHLEIFE

Aktoren. Insgesamt stehen damit gut 100 Ein- und Ausgänge zur Verfügung. Erfasst werden unter anderem Drücke, Temperaturen und Volumenströme, aber auch speziellere Messgrößen wie die H_2-Konzentration. Die Abtastraten sind an die jeweilige Messgröße angepasst und bewegen sich zwischen zirka 1 Hz und mehreren 100 Hz. Delphin lieferte das System als komplett aufgebauten Schaltschrank, in dem sämtliche Ein- und Ausgänge auf Klemmleisten geführt sind.

Ausgangspunkt der Steuerungssoftware ist ein Mengengerüst, in dem alle benötigten Ein- und Ausgänge erfasst werden. Die Steuerung selbst basiert auf erprobten Werkzeugen: Sie wurde direkt im Gerät umgesetzt und läuft dort autark. Für die PC-seitige Software nutzte Delphin die hauseigene Entwicklungsumgebung ProfiSignal Klicks.

Auch für Datensicherung und Auswertung kommt ProfiSignal Klicks zum Einsatz. In einer eigens eingerichteten Messdatenbank

speichert sie die Inhalte des Gerätespeichers automatisch in regelmäßigen Abständen ab. Auf dieser Grundlage lassen sich Reports erstellen, in denen die gemessenen Werte mit den Sollwerten verglichen werden. So lassen sich belastbare Aussagen über den Zustand und das Verhalten des Prüflings treffen.

Der projektspezifische Aufwand lag damit vor allem in der Konfiguration der Hardware, der Steuerungserstellung und der Anwendungserstellung mit ProfiSignal Klicks.

Damit die Anlage im Versuchsbetrieb sicher und effizient genutzt werden kann, soll Delphin eine Schulung für die Anwenderinnen und Anwender direkt am Standort Horstwalde durchführen. Für die langfristige Betreuung und Absicherung bietet Delphin zudem Wartungsvereinbarungen an.

UNTERSUCHUNGS- UND ENTWICKLUNGSFELDER

Nach einer Belastung in ModuH2Pipe können Bauteile in den BAM-Laboren weiter untersucht werden. Ziel ist es, Zusammenhänge zwischen Betriebsbedingungen, Wasserstoffaufnahme, Mikrostruktur und Rissverhalten zu erkennen.

Doch nicht nur der Grundwerkstoff einer Leitung ist entscheidend. Schweißnähte, Wärmeeinflusszonen und nachträglich reparierte Bereiche können andere Eigenschaften als das Rohr selbst besitzen. ModuH2Pipe soll deshalb auch dazu dienen, Fertigungs-, Schweiß- und Reparaturverfahren zu erproben und zu validieren.

An der Anlage will die BAM darüber hinaus in Zukunft auch zerstörungsfreie Prüfverfahren unter realen Betriebsbedingungen testen und weiterentwickeln. Dazu zählen grundsätzlich all jene Methoden, mit denen sich Materialfehler oder Veränderungen erkennen lassen, ohne das Bauteil für die Untersuchung zerstören zu müssen.

Als besonders relevante Fragestellungen identifizierte die BAM in einer Stakeholder-Befragung unter anderem Detektion von Leckagen, Online-Monitoring von Rissen, Berstprüfung von Rohrleitungssegmenten, Einfluss definierter Verunreinigungen und Beeinflussung der Wasserstoffreinheit durch bestehende Erdgasleitungen.

Die Messergebnisse sollen in digitale Diagnose- und Entscheidungswerkzeuge einfließen, um zum Beispiel die Restlebensdauer zu berechnen, die Inspektions- und Wartungszyklen zu optimieren oder den Reparaturbedarf zu bewerten.

Damit geht das Projekt über reine Einzelprüfungen hinaus: Langfristig sollen belastbare Bewertungsmethoden für Betreiber entstehen. Die gewonnenen Daten können dann im nächsten Schritt zur Weiterentwicklung von Normen, Zertifizierungsgrundlagen und Ähnlichem beitragen. Die BAM betrachtet diese Standardisierung als Voraussetzung dafür, Wasserstofftechnologien sicher in den Markt zu bringen.

» NACH EINER BELASTUNG IN MODUH2PIPE KÖNNEN BAUTEILE IN DEN BAM-LABOREN WEITER UNTERSUCHT WERDEN

FAZIT

Die Anlage trägt dazu bei, Unsicherheiten zu verringern, die andernfalls zu pauschalem Austausch nutzbarer Infrastruktur oder zu übervorsichtigen technischen Anforderungen führen könnten. Umgekehrt kann sie ungeeignete Materialien oder Komponenten erkennen, bevor diese in großem Umfang eingesetzt werden.

ModuH2Pipe ist so weniger ein einzelnes Forschungsprojekt zu einer eng abgegrenzten Frage als vielmehr eine dauerhaft nutzbare Großforschungs- und Prüfinfrastruktur. Ihr strategischer Wert liegt in vier Punkten:

1. **Realmaßstab**: vollständige Rohrsegmente und Komponenten statt ausschließlich kleiner Materialproben;
2. **realistische Betriebsführung**: Wasserstoffströmung, Druckwechsel, Mischgase und Verunreinigungen;
3. **gezielte Extremversuche**: Prüfungen bis 900 bar und bis zum Versagen;
4. **Transfer**: Überführung der Ergebnisse in Monitoring, Restlebensdauerbewertung, Wartung, Normen und technische Regeln.

Gerade die Möglichkeit, reale Betriebsbedingungen mit extremen Belastungsszenarien in einer Forschungsinfrastruktur zu verbinden, macht die Anlage in Europa einzigartig. Hinzu kommt die Option, zerstörungsfreie Prüf- und Überwachungsverfahren direkt unter realen Betriebsbedingungen zu erproben und weiterzuentwickeln. Diese Kombination aus Versuchsanlage und zugehöriger Messtechnik eröffnet einen sehr breiten Anwendungsbereich, vor allem für den Wasserstoffhochlauf. Damit kann ModuH2Pipe sowohl die sichere Umstellung bestehender Erdgasleitungen als auch die Entwicklung neuer Wasserstoffnetze beschleunigen.

Bilder: *Vereinigte Fachverlage/Daniel Schilling; BAM; Becker Technologies; Delphin Technology*

www.bam.de/moduh2pipe



» **Zwei Aspekte sind besonders hervorzuheben. Zum einen ermöglichte es die Simulationsumgebung, einzelne Softwarekomponenten vor dem Einsatz an der realen Anlage zu prüfen. Zum anderen ist es der modulare Systemaufbau: Die Lösung basiert vollständig auf Standardkomponenten von ProfiMessage D und ProfiSignal Klicks und lässt sich mit wenig Aufwand anpassen. Eine gute Voraussetzung für weitere Ausbaustufen des Reallabors.**

Simon Berls, Anwendungsentwickler, Delphin Technology