



ABSCHLUSSBERICHT

Einfluss von Wasserstoffanteilen im Erdgas auf Bauteile der DIN EN 746-2

Auftragnehmer (AN): DBI – Gastechnologisches Institut gGmbH Freiberg
Halsbrücker Straße 34
D-09599 Freiberg

Projektleitung: DBI – Gastechnologisches Institut gGmbH Freiberg
Fachgebiet: Gasanwendung - Thermoprozesstechnik
Halsbrücker Straße 34
D-09599 Freiberg

Projektbearbeitung: Dipl.-Ing. Philipp Pietsch
Dipl.-Ing. Marcus Wiersig
Dr.-Ing. Matthias Werschky

Freiberg, 13.12.2018

Dr. Matthias Werschky

Philipp Pietsch

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis	3
Tabellenverzeichnis	4
1. Einleitung	5
2. Technische Grundlagen der DIN EN 746-2	6
2.1 Einordnung der Wirksamkeit der DIN EN 746-2.....	6
2.2 Untersuchte Baugruppen.....	6
2.3 Funktionalität des Regel-Verbunds, Versuchsaufbau	15
3. Prüfprogramm	18
3.1 Prüfbedingungen	18
3.2 Dichtheitsprüfungen	18
3.3 Funktionsprüfungen.....	18
3.4 Alterungsversuche.....	18
4. Prüfungsergebnisse	20
4.1 Dichtheitsprüfungen	20
4.2 Funktionsprüfungen.....	20
4.3 Alterungsversuche.....	23
5. Zusammenfassung	24

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Funktionsaufbau eines Gas-Gleichdruckreglers und mögliche kritische Dichtungswerkstoffe (rot) (Quelle: Funktionshandbuch GIK Elster Thermal Solutions)	7
Abbildung 2: Funktionsaufbau eines Sicherheits-Absperrventils und mögliche kritische Dichtungswerkstoffe (rot) (Quelle: Funktionshandbuch JSAV Elster Thermal Solutions)	8
Abbildung 3: Funktionsaufbau eines Abblaseventils und mögliche kritische Dichtungswerkstoffe (rot) (Quelle: Funktionshandbuch VSBV Elster Thermal Solutions)	9
Abbildung 4: Funktionsaufbau eines Gas-Druckreglers und mögliche kritische Dichtungswerkstoffe (rot) (Quelle: Funktionshandbuch VGBF Elster Thermal Solutions)	10
Abbildung 5: Funktionsaufbau eines Gas-Magnetventils und mögliche kritische Dichtungswerkstoffe (rot) (Quelle: Funktionshandbuch VG Elster Thermal Solutions)	11
Abbildung 6: Funktionsaufbau eines Gasfilters und mögliche kritische Dichtungswerkstoffe (rot) – Filtermatte (Quelle: Funktionshandbuch GFK Elster Thermal Solutions)	12
Abbildung 7: Funktionsaufbau eines Gas-Druckwächters und mögliche kritische Dichtungswerkstoffe (rot) (Quelle: Funktionshandbuch DG Elster Thermal Solutions)	13
Abbildung 8: Gasfluss im Fluss-Diagramm mit Baugruppen im Versuchsaufbau (1bar(ü) bis Druckregler (rot), dahinter 85 mbar(ü))	16
Abbildung 9: Getestete Gas-Druckregelstrecke, Versuchsaufbau	17

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	Eingesetzte Materialien der Regelkomponenten	14
Tabelle 2:	Ergebnisse der Dichtheitsprüfung nach Inbetriebnahme	20
Tabelle 3:	Ergebnisse der Funktionsprüfung 1 (Versuchsbeginn)	21
Tabelle 4:	Ergebnisse der Funktionsprüfung 2 (nach einer Woche)	22
Tabelle 5:	Ergebnisse der Funktionsprüfung 3 (nach Abschluss der 3 monatigen Alterungsversuche)	22
Tabelle 6:	Ergebnisse der Alterungsversuche nach 3 Monaten	23

1. Einleitung

In Zeiten immer häufiger gestellter Einspeisebeglehen für regenerativen Wasserstoff als Zusatzgas ins bestehende Erdgasnetz wird es für viele Hersteller von Komponenten im Gasnetz immer wichtiger, ihre Produkte auch für kleine bis mittlere Mengen Wasserstoff tauglich zu machen. Besonders die weit verbreiteten Gas-Druck-Regelanlagen von industriellen Thermoprozessanlagen besitzen eine hohe Marktdurchdringung und können Alterungserscheinungen durch Wasserstoff unterworfen sein. Da auch die DVGW-Arbeitsblätter G 260 und 262 Wasserstoff als Zusatzgas bis zu Volumenanteilen von 9,9 % zulassen, befasst sich der hier vorliegende Bericht mit der Wasserstofftauglichkeit von sicherheitsrelevanten Bauteilen der DIN EN 746-2. Im Projekt steht die passive Sicherheit, insbesondere die Dichtheit und Funktionsfähigkeit von Bauteilen, die in der industriellen Gasinstallation von Thermoprozessanlagen eingesetzt werden im Vordergrund. Die Untersuchungen erfolgen mit 100 % Wasserstoff (H₂).

Hierfür wurden typische Bauteile verschiedenen Untersuchungen und Alterungsversuchen unterworfen. Ziel der Untersuchungen waren ein besserer Überblick über die Eignung von Verbindungen, sowie eine Sensibilisierung auf ggf. kritische Werkstoffe und Werkstoffkombinationen. Zusätzlich wurde eine umfangreiche Literaturanalyse bezüglich der Eignung diverser eingesetzter Materialien und Dichtungswerkstoffe durchgeführt.

Im Rahmen der Bearbeitung soll eine Empfehlung für ausgewählte und bedeutsame Bauteile der Gasinstallation bei Einspeisung eines erhöhten Wasserstoffanteils in das Erdgasnetz auf Basis der DIN EN 746-2 erarbeitet werden

2. Technische Grundlagen der DIN EN 746-2

2.1 Einordnung der Wirksamkeit der DIN EN 746-2

Die DIN EN 746-2 legt mit der DIN EN 746-1 die Sicherheitsanforderungen für Einzel- und Mehrbrenner Systeme fest, welche in industriellen Thermoprozessanlagen eingesetzt werden. Sie umfasst die Gefährdungen und Gefährdungspotenziale für Brenner und brennstoffführende Systeme und ihre Handhabung.

Die Norm umfasst:

- Brennstoff-Leitungssysteme in Strömungsrichtung beginnend mit dem Hauptabsperrentil
- Brenner, Brennersystem und Zündeinrichtung
- Sicherheitsbezogenes Steuerungssystem

Im vorliegenden Bericht werden nur die im ersten Stichpunkt zusammengefassten Brennstoff-Leitungssysteme betrachtet.

2.2 Untersuchte Baugruppen

Im Versuchsaufbau wurden insgesamt elf verschiedene, DIN EN 476-2 relevante Bauteile, im Dauerversuch auf ihre Wasserstoffeignung hin untersucht. Alle Bauteile stammen aus dem Standard-Programm für Gas-Druckregelstrecken für Thermoprozessanlagen von Honeywell-Kromschroder. Üblicherweise werden die untersuchten Baugruppen in der Versuchsreihenfolge vor Brenner geschaltet, um einen sicheren, ungestörten Betrieb zu gewährleisten. Folgende Bauteile wurden untersucht:

Gas-Gleichdruckregler:

Der Gas-Gleichdruckregler wird vom Druck der Luftleitung angesteuert (vgl. **Abbildung 1**). Der Ventilteller hebt vom Ventilsitz ab und das Gas strömt über den geöffneten Ventilsitz in den Ausgangsbereich des Reglers. Über die Rückmeldung gelangt der Ausgangsdruck in den Raum auf die Arbeitsmembrane. Der Ausgangsdruck wird im Verhältnis 1:1 zum Luftsteuerdruck geregelt. Die Vordruckausgleichsmembrane bietet eine hohe Regelgenauigkeit. Die Brennerleistung wird mit Hilfe des Luftstellgliedes verändert. Ofendruckschwankungen haben auf den Gas- und Luftdurchsatz die gleiche Wirkung, so dass das Gas-Luft-Gemisch nicht verändert wird. Die Feder dient zur Kompensation des Messwerkgewichtes. Im Kleinlastbereich kann das Gas-Luft-Gemisch durch Justieren der Feder eingestellt werden. Bei stufiger Regelung ist die Feder werksseitig so entspannt, dass die Kleinlastmenge nur noch durch den Bypass strömt. Die Einstellung bei Vollast erfolgt über Drosseln oder Hähne am Brenner. Der Nullabschluss verhindert ein Ansteigen des Ausgangsdruckes, wenn der Verbraucher abgeschaltet wird. Zum Messen des Eingangs-, Ausgangs- und Steuerdruckes im statischen Zustand sind Mess-Stutzen eingebaut.¹

¹ Funktionsbeschreibung GIK aus dem Funktionshandbuch Elster Thermal Solutions

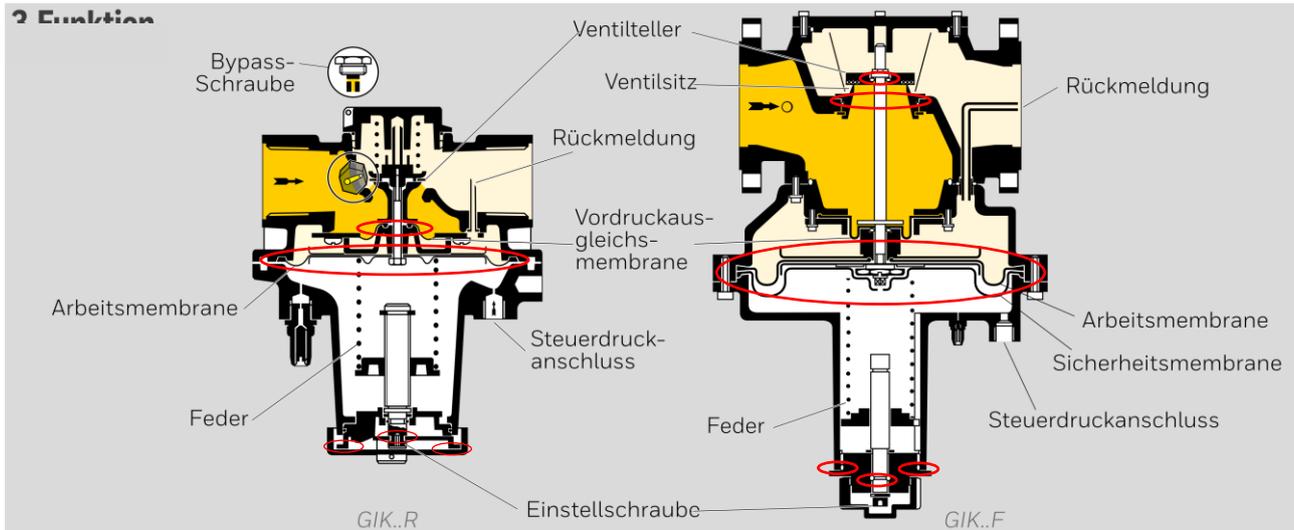


Abbildung 1: Funktionsaufbau eines Gas-Gleichdruckreglers und mögliche kritische Dichtungswerkstoffe (rot) (Quelle: Funktionshandbuch GIK Elster Thermal Solutions)

Sicherheitsabsperrventil:

Die **Abbildung 2** zeigt den Funktionsaufbau eines Sicherheits-Absperrventils (JSAV). Mit der äußeren Sollwertfeder im Messwerk wird der obere Ansprechdruck eingestellt. Mit der innenliegenden Feder im Messwerk lässt sich der untere Ansprechdruck verstellen. Das JSAV registriert über eine externe Impulsleitung den Druck hinter dem Gas-Druckregler. Sobald der eingestellte Ansprechdruck erreicht ist, schließt das JSAV. Der Ventilteller wird auf den Ventilsitz gedrückt und sperrt die Gaszufuhr sicher ab. In der transparenten Entriegelungskappe wird die Stellung des Ventiltellers angezeigt. Das JSAV wird von Hand entriegelt. Dazu muss der Druck in der Impulsleitung zwischen unterem und oberem Ansprechdruck liegen. Zuerst wird die Atmungsverschluss-Schraube abgeschraubt. Dann die Entriegelungskappe lösen. Durch leichtes Anziehen der Entriegelungskappe erfolgt über eine interne Bohrung im Ventilteller der Druckausgleich. Ist dieser abgeschlossen, lässt sich die Entriegelungskappe leicht anheben und der Ventilteller in die Offen-Stellung einrasten. Eine Abblaseleitung am Messwerk ist nicht erforderlich, da über die Bohrung in der Atmungsverschlusschraube max. 30 l/h entweichen können.²

² Funktionsbeschreibung JSAV aus dem Funktionshandbuch Elster Thermal Solutions

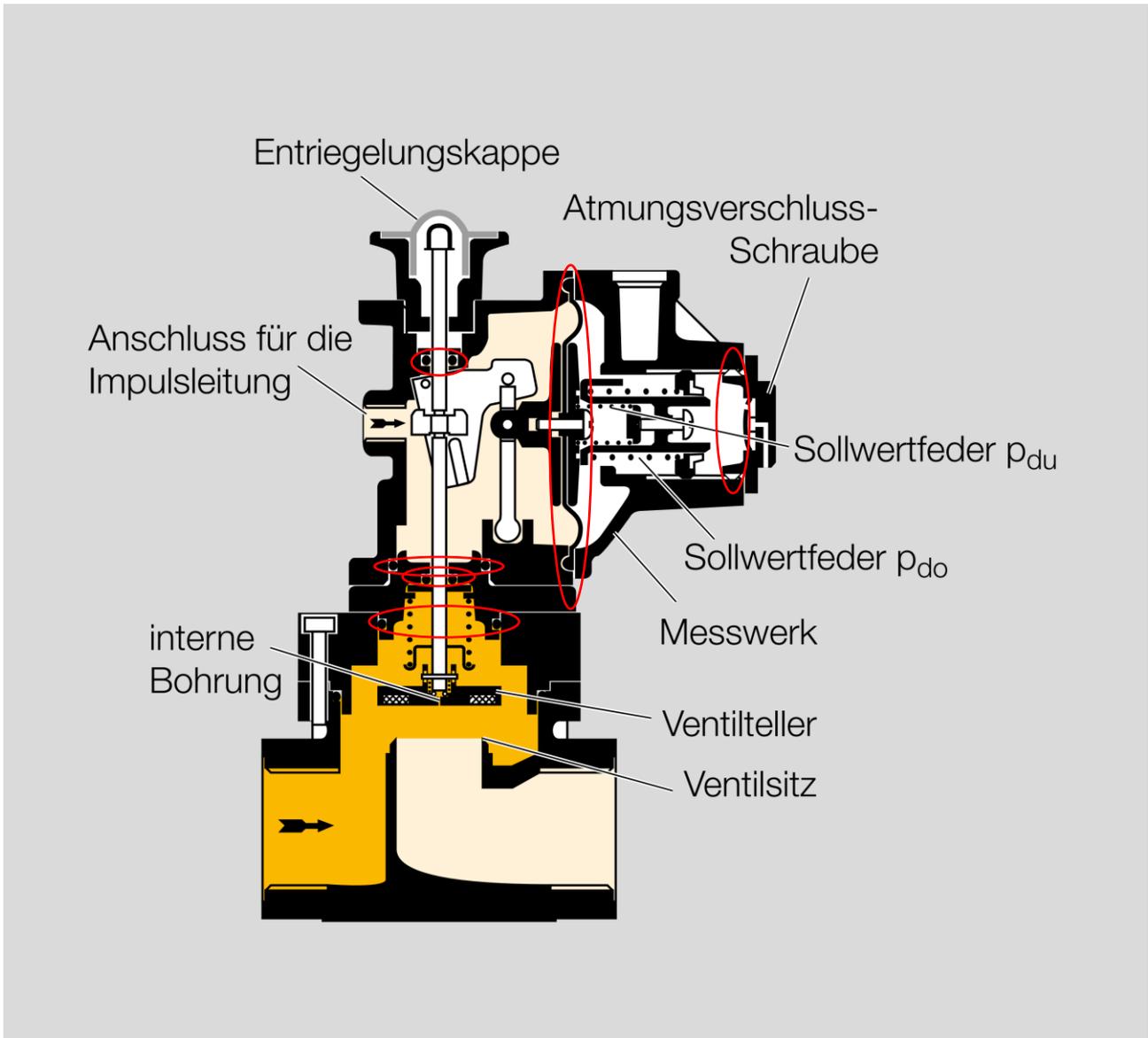


Abbildung 2: Funktionsaufbau eines Sicherheits-Absperrventils und mögliche kritische Dichtungswerkstoffe (rot) (Quelle: Funktionshandbuch JSAV Elster Thermal Solutions)

Abblaseventil:

Das Abblaseventil VSBV (**Abbildung 3**) ist drucklos über eine Feder geschlossen. Über den Eingangsbereich strömt das Gas in den Raum unter der Arbeitsmembrane. Erreicht der Eingangsdruck den über die Schließfeder eingestellten Druck, hebt die Membrane den Ventilteller vom Ventilsitz. Das Abblaseventil öffnet und das Gas kann zum Ausgang abströmen. Hat sich der Eingangsdruck durch das Abströmen des Gases wieder reduziert, schließt das Ventil.³

³ Funktionsbeschreibung VSBV aus dem Funktionshandbuch Elster Thermal Solutions

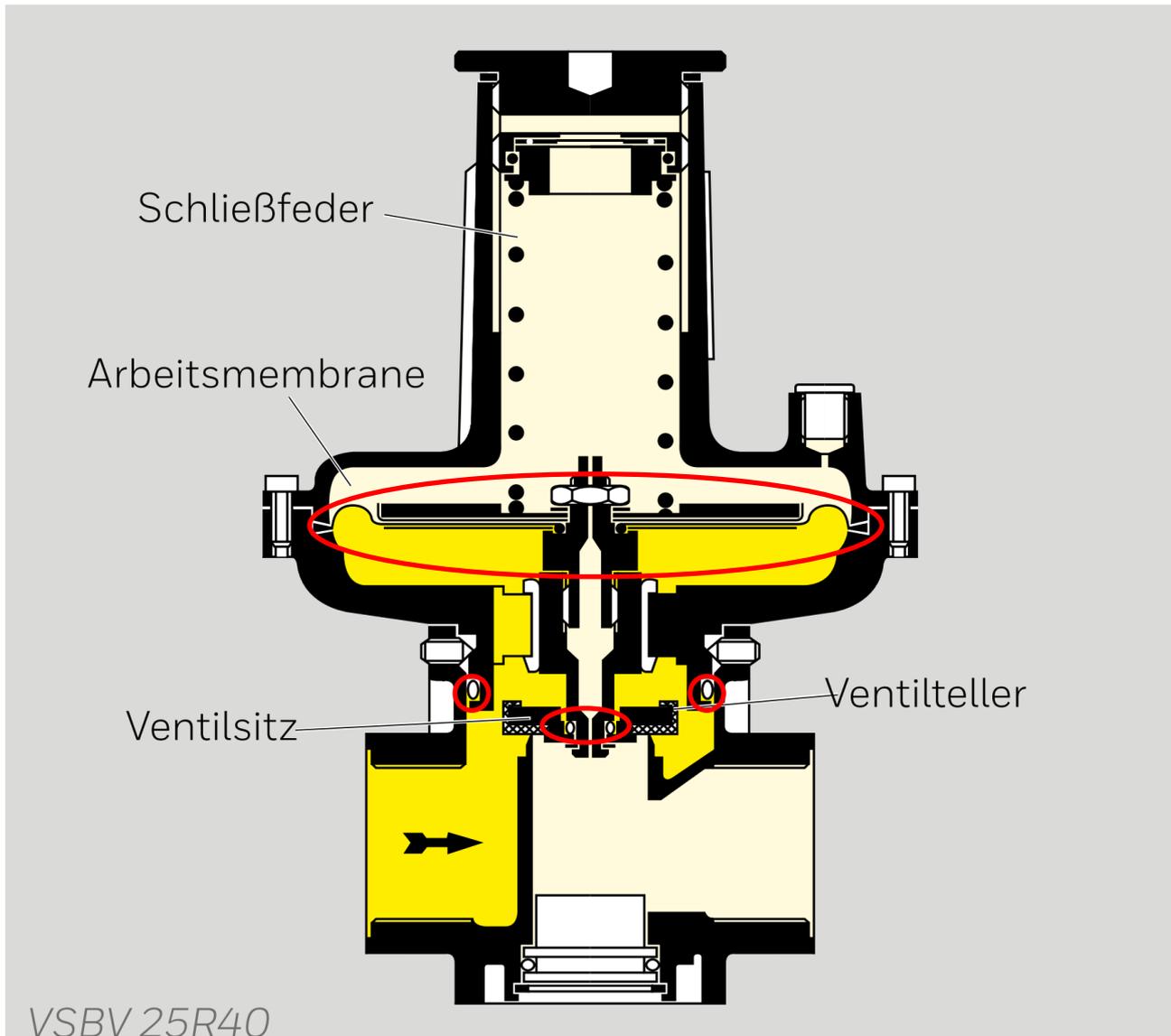


Abbildung 3: Funktionsaufbau eines Abblaseventils und mögliche kritische Dichtungswerkstoffe (rot) (Quelle: Funktionshandbuch VSBV Elster Thermal Solutions)

Gas-Druckregler:

Der Gas-Druckregler VGBF (**Abbildung 4**) ist drucklos offen. Die Gaszufuhr wird langsam geöffnet und das Gas strömt über den geöffneten Ventilsitz in den Ausgang des Druckreglers. Über die Rückmeldung gelangt der Ausgangsdruck in den Raum unter die Arbeitsmembrane. Sobald der Ausgangsdruck der eingestellten Federkraft entspricht, hebt sich die Arbeitsmembrane und der damit verbundene Ventilteller reduziert den Durchfluss. Sinkt der Ausgangsdruck, z. B. durch zugeschaltete Verbraucher, wird der Ventilteller weiter geöffnet und der Ausgangsdruck steigt wieder. Steigt der Ausgangsdruck, z. B. durch verringerten Verbrauch, wird der Ventilteller weiter geschlossen und der Ausgangsdruck sinkt wieder. So wird bei wechselndem Gasdurchsatz der Ausgangsdruck konstant gehalten. Wird der Verbrauch ganz gestoppt, schließt der Ventilteller den Durchfluss komplett ab (Nullabschluss). Eingangsschwankungen werden durch die

Vordruckausgleichsmembrane kompensiert. Für die Messung von Ein- und Ausgangsdruck können Mess-Stutzen eingebaut werden.⁴

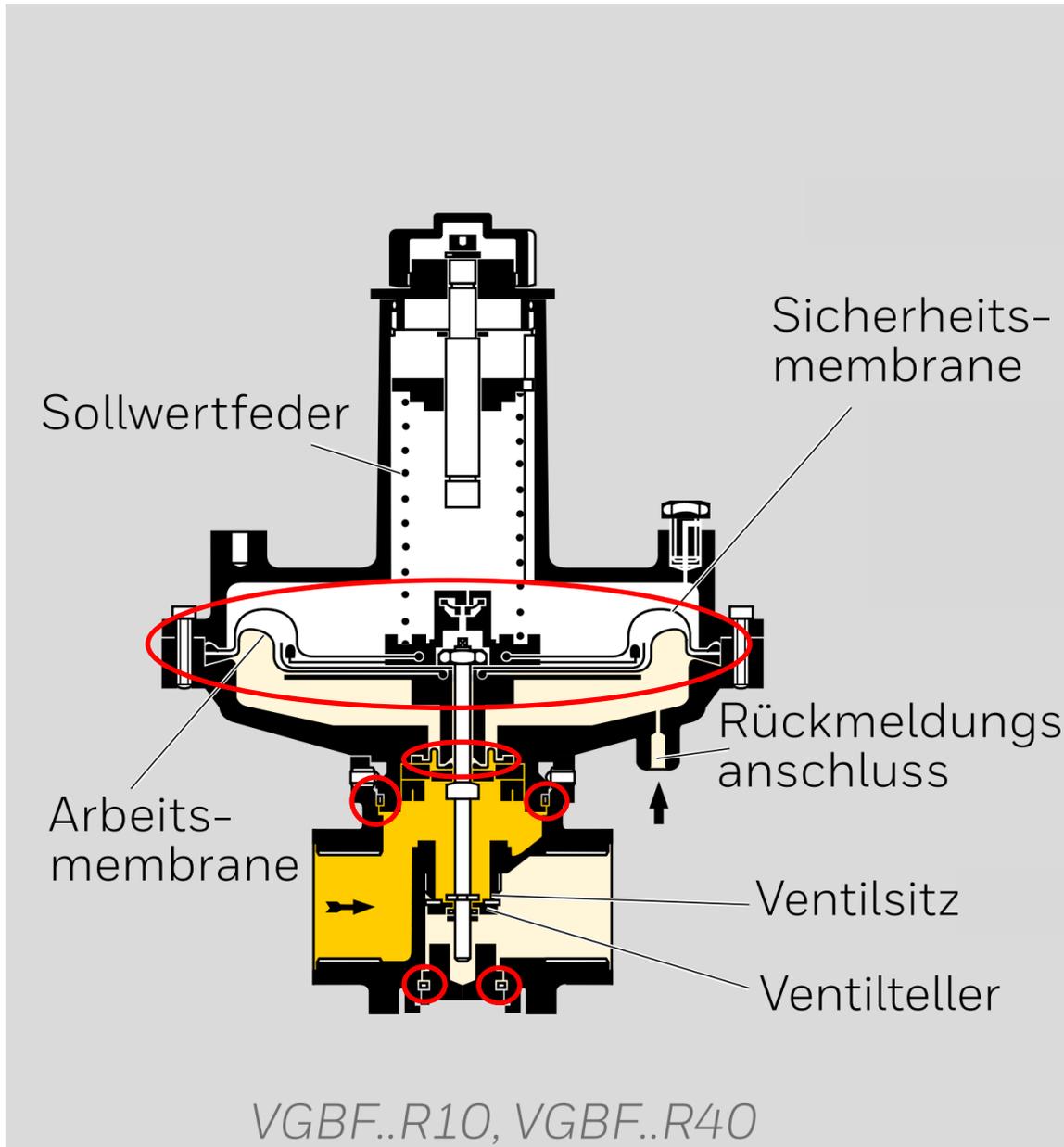


Abbildung 4: Funktionsaufbau eines Gas-Druckreglers und mögliche kritische Dichtungswerkstoffe (rot) (Quelle: Funktionshandbuch VGBF Elster Thermal Solutions)

Gas-Magnetventile:

Das Gas-Magnetventil VG (**Abbildung 5**) ist stromlos geschlossen. Die Funktionsweise ist wie folgt:

Öffnen: Die angelegte Wechselspannung wird gleichgerichtet und erzeugt in der Magnetspule ein kräftiges Magnetfeld. Das Magnetfeld zieht den Eisenkern an und hebt den Ventilteller gegen den

⁴ Funktionsbeschreibung VGBF aus dem Funktionshandbuch Elster Thermal Solutions

wirksamen Eingangsdruck und die Schließfederkraft vom Ventilsitz an. Das Gas-Magnetventil VG öffnet und die Gaszufuhr wird frei gegeben.

Schließen: Durch die Wegnahme der Spannung bricht das Magnetfeld zusammen und die Schließfeder drückt den Eisenkern mit Ventilteller innerhalb 1 s wieder auf den Ventilsitz. Das Gas-Magnetventil VG schließt und die Gaszufuhr wird unterbrochen. Das Sieb im Eingang des Gas-Magnetventils verhindert Ablagerungen von Schmutzpartikeln an dem Ventilsitz. Es entsteht nur ein geringer Druckverlust am Sieb. Der Volumenstrom kann über die Drossel im Gehäuseboden variabel eingestellt werden.⁵

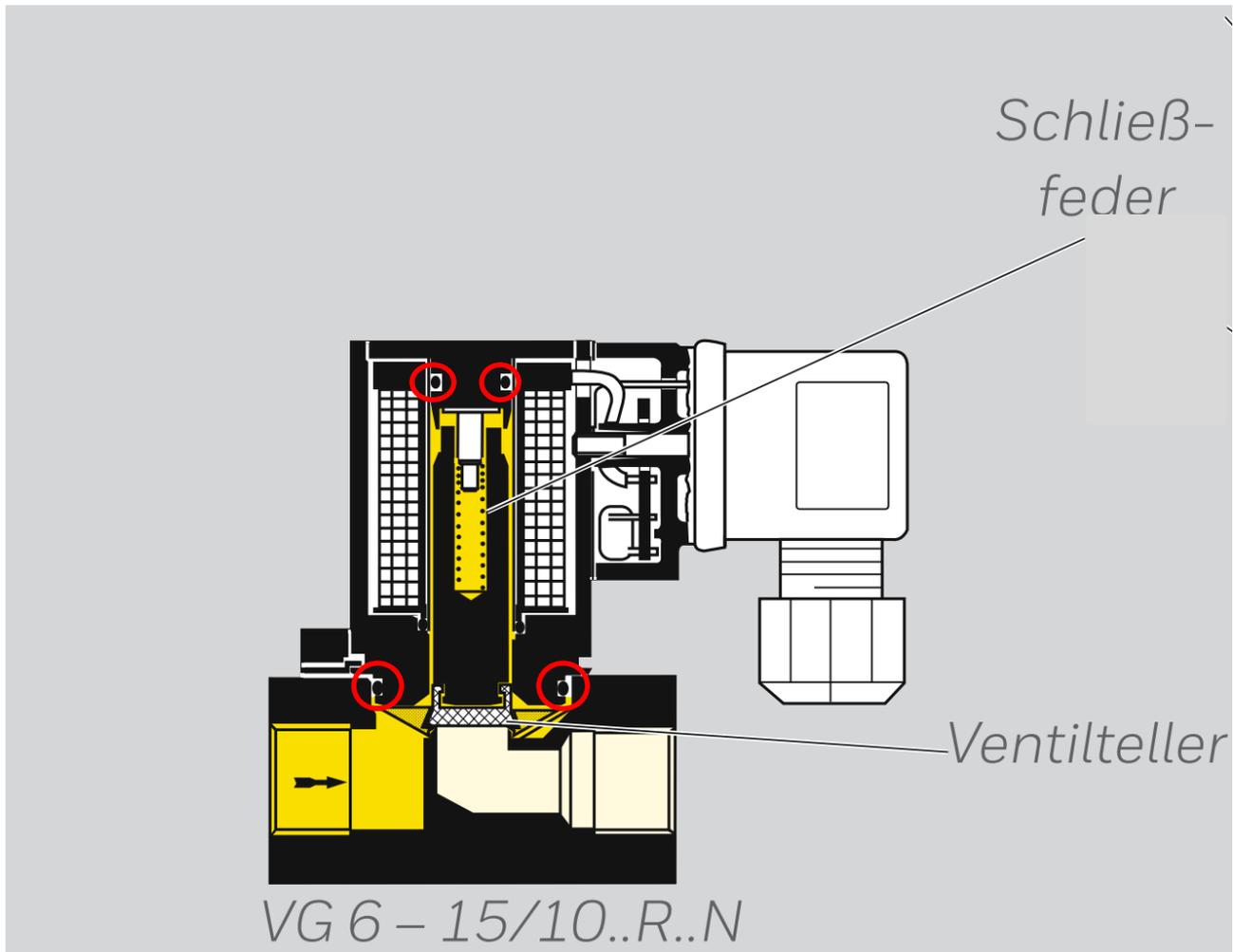


Abbildung 5: Funktionsaufbau eines Gas-Magnetventils und mögliche kritische Dichtungswerkstoffe (rot) (Quelle: Funktionshandbuch VG Elster Thermal Solutions)

Gasfilter:

Der Gasfilter GFK (**Abbildung 6**) dient zum Reinigen von Brenngasen und Luft. Bei sauberer Filtermatte 1, mit einem Standardabscheidegrad von 50 µm, darf das Druckgefälle über die Filtermatte 10 mbar (4 "WC) nicht überschreiten. Durch die aufgenommene Verschmutzung aus

⁵ Funktionsbeschreibung VG aus dem Funktionshandbuch Elster Thermal Solutions

dem Gas erhöht sich das Druckgefälle. Bei einem Druckgefälle ≥ 20 mbar (8 "WC) muss die Filtermatte getauscht werden, siehe Betriebsanleitung. Sonst besteht die Gefahr, dass der Staub durch die Matte gepresst wird.⁶

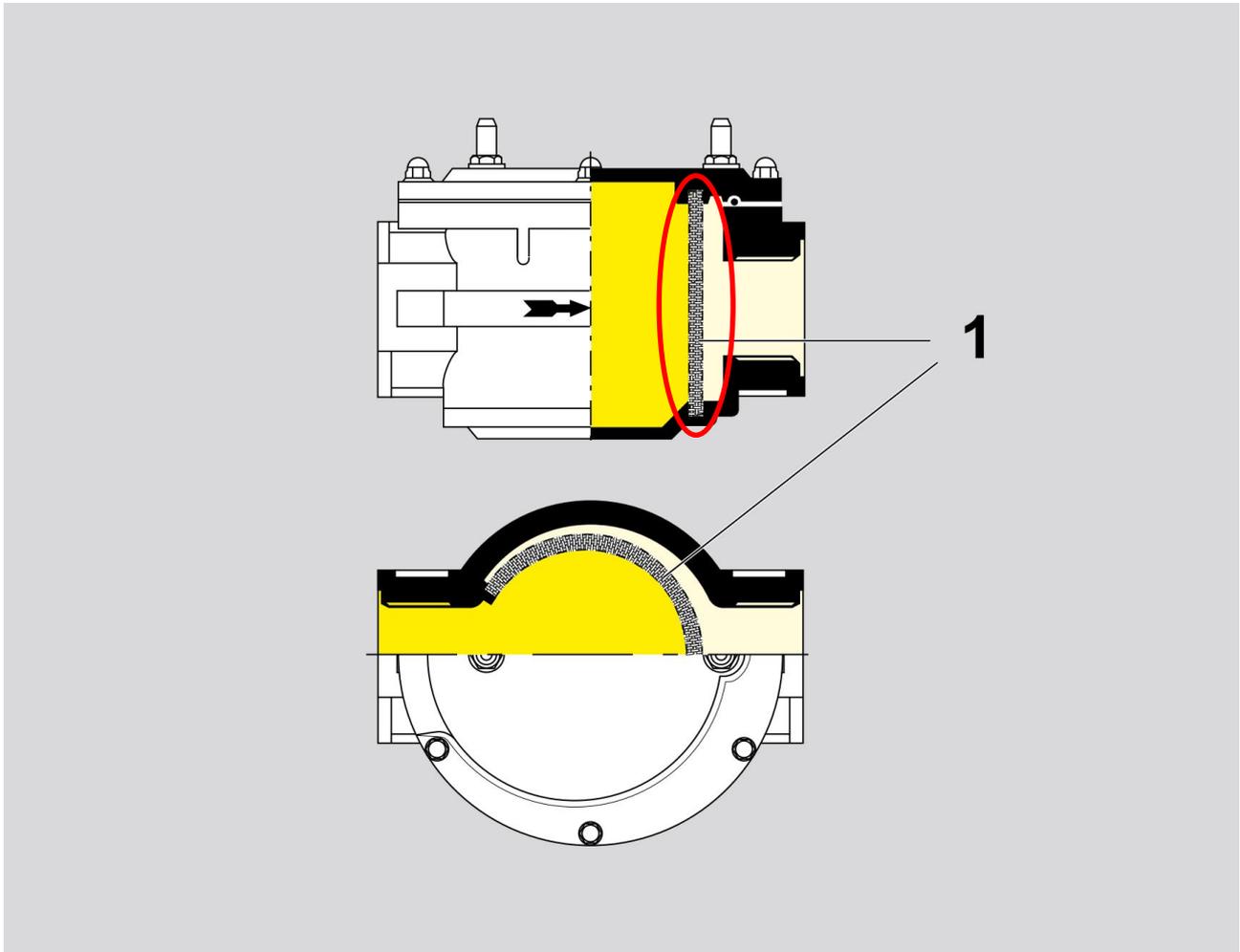


Abbildung 6: Funktionsaufbau eines Gasfilters und mögliche kritische Dichtungswerkstoffe (rot) – Filtermatte (Quelle: Funktionshandbuch GFK Elster Thermal Solutions)

Gas-Druckwächter:

Der Druckwächter (**Abbildung 7**) schaltet bei steigendem oder fallendem Druck. Ist der eingestellte Schaltpunkt erreicht, wird ein Mikroschalter im DG betätigt, der als Wechsler ausgeführt ist. Der Schaltdruck wird mit einem Handrad eingestellt. Druckwächter, die im geschalteten Zustand verriegeln, können nur über die Handrückstellung entriegelt werden (Druckwächter mit Handrückstellung entriegeln).

⁶ Funktionsbeschreibung GFK aus dem Funktionshandbuch Elster Thermal Solutions

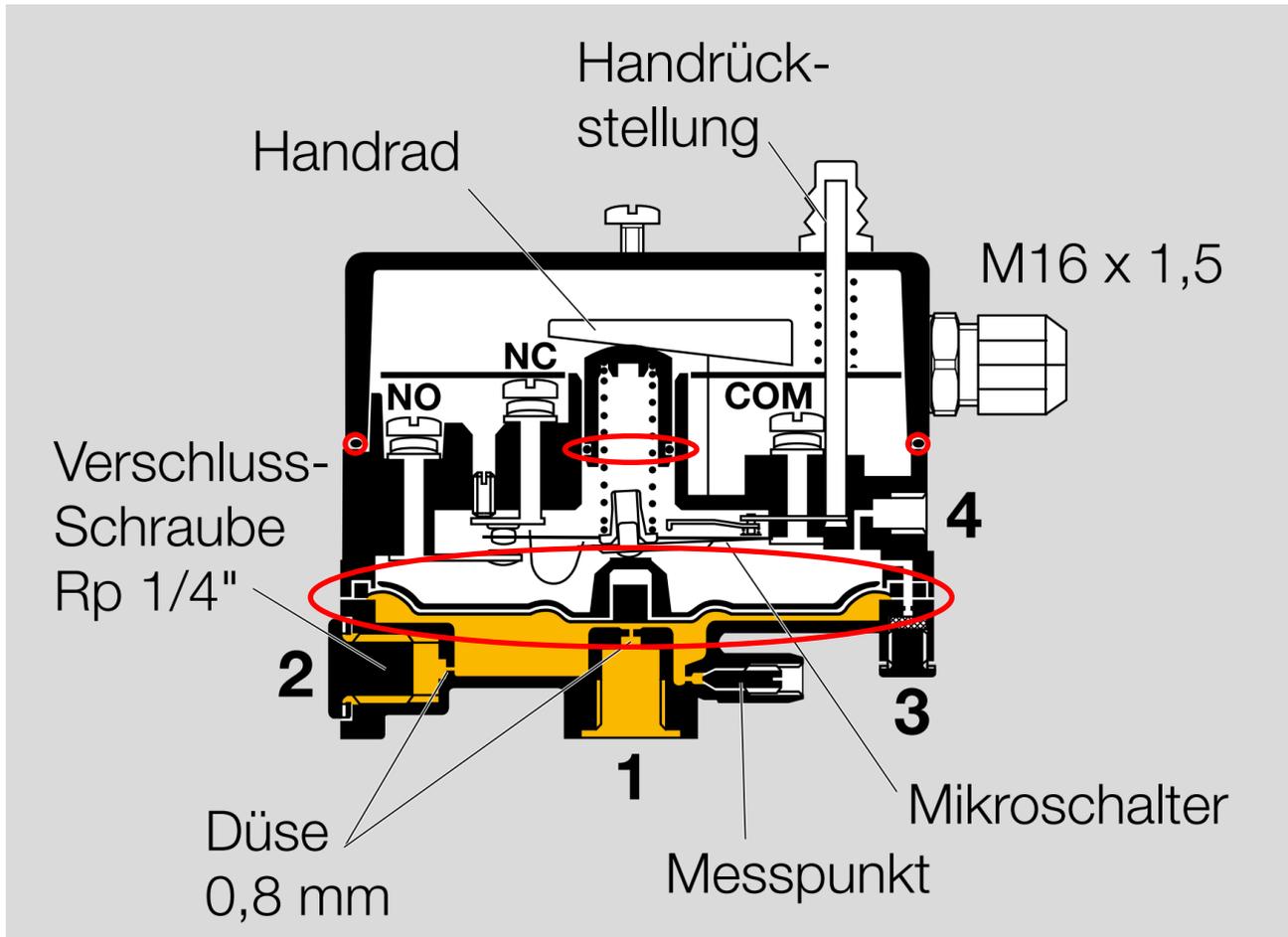


Abbildung 7: Funktionsaufbau eines Gas-Druckwächters und mögliche kritische Dichtungswerkstoffe (rot) (Quelle: Funktionshandbuch DG Elster Thermal Solutions)

Im Folgenden werden die eingesetzten Materialien der jeweiligen Komponente kurz zusammengefasst (**Tabelle 1**). In **Tabelle 1** wird zusätzlich zu den eingesetzten Werkstoffen das zu erwartende Resultat der Wasserstofftauglichkeit dargestellt. Auf Grund der durchgeführten umfangreichen Literaturrecherche im Projekt sowie Praxiserfahrung der letzten Jahre auf dem Fachgebiet ist diese vorausschauende und zugleich fokussierende Darstellungsweise in **Tabelle 1** möglich. Insbesondere typische Dichtungswerkstoffe und Metalle sind hinsichtlich ihrer Wasserstoffverträglichkeit gut erforscht.

Dementsprechend sind bei den meisten in den Reglern eingesetzten Werkstoffen keine Probleme bei 100 % Wasserstoff zu erwarten. Einzig Polypropylen und glasfaserverstärkte Kunststoffe zeigten in vorangegangenen Untersuchungen leichte Degradationserscheinungen. Dementsprechend wird in den durchgeführten experimentellen Untersuchungen besonderes Augenmerk auf die Baugruppen gelegt, wo diese Werkstoffe eingesetzt sind. Das betrifft:

- Gas-Gleichdruckregler (Ventil-Teller)
- Gasfilter: Filtermatte: Wirrfaser-Vlies, Polypropylen

Tabelle 1: Eingesetzte Materialien der Regelkomponenten⁷

Komponente	Kritische Materialien/ Komponenten	Wasserstofftauglichkeit
Gas-Gleichdruckregler	Gehäuse: AISi	100 %, erprobt ⁹
	Membranen: NBR ⁸	100 %, erprobt ¹⁰
	Ventilteller: Polypropylen	Leichte Degradation, Datenlage soll in vorliegenden Versuchen verbessert werden ¹¹
	Ventiltellerdichtung: NBR	100 %, erprobt
Sicherheitsabsperrentil	Gehäuse: AISi	100 %, erprobt
	Membrane: NBR	100 %, erprobt
	Ventilsitz: Aluminium	100 %, erprobt ¹²
	Ventilspindel: rostfreier Stahl	100 %, erprobt ¹³
	Ventilteller: Stahl mit aufvulkanisierter NBR- Dichtung	100 %, erprobt (Stahl und NBR getrennt voneinander)
Abblaseventil	Ventilgehäuse: Aluminium	100 %, erprobt
	Ventilsitz und -spindel: Aluminium	100 %, erprobt
	Membran: Perbunan (NBR)	100 %, erprobt
	Dichtungen: NBR	100 %, erprobt
Gas-Druckregler	Ventilgehäuse: Aluminium	100 %, erprobt
	Ventilsitz und -spindel: Aluminium	100 %, erprobt
	Membran: Perbunan (NBR)	100 %, erprobt 100 %, erprobt

⁷ Funktionshandbücher Elster Thermal Solutions⁸ NBR: Nitrile Butadiene Rubber, Copolymer aus Acrylnitril und 1,3-Butadien, zählt zu Synthesekautschuken⁹ ITEM, *Data sheet: Chemical resistance of Aluminium in contact with important agencies*, 2018¹⁰ F. Scholten, M. Wersch und H. Doerr, „Mögliche Beeinflussung von Bauteilen der Gasinstallation durch Wasserstoffanteile im Erdgas unter Berücksichtigung der TRGI,“ DVGW, Bonn, 2018.¹¹ DBI interne Versuche¹² ITEM, *Data sheet: Chemical resistance of Aluminium in contact with important agencies*, 2018¹³ F. Scholten, M. Wersch und H. Doerr, „Mögliche Beeinflussung von Bauteilen der Gasinstallation durch Wasserstoffanteile im Erdgas unter Berücksichtigung der TRGI,“ DVGW, Bonn, 2018

	Dichtungen: NBR	
Gas-Magnetventile	Ventilgehäuse: Aluminium	100 %, erprobt
	Ventilteller: NBR	100 %, erprobt
Gasfilter	Filtermatte: Wirrfaser-Vlies, Polypropylen	Leichte Degradation bekannt, mit Vorbehalten resistent auf 100 % Wasserstoff
	Gehäuse: AISi	100 %, erprobt
Gas-Druckwächter	Membrane: NBR	Ja, erprobt
	Gehäuse: Kunststoff PBT, glasfaserverstärkt und ausgasungsarm	Zu PBT liegen bisher keine bekannten Versuche vor, Glasfaser verstärkte Kunststoffe neigen zu leichter Degradation
	Gehäuseunterteil: AISi	Ja, erprobt

2.3 Funktionalität des Regel-Verbunds, Versuchsaufbau

In **Abbildung 8** ist schematisch die Verschaltung der einzelnen Regelkomponenten zu erkennen. In Gasflussrichtung (Pfeil) strömt das Gas in Reihenfolge durch folgende Komponenten:

- Absperrhahn (Kugelhahn)
- Gas-Filter
- Gasdruckregler
- Abblaseventil
- Sicherheitsabsperrventil
- Gasdruckwächter (Überwachung des minimalen und maximalen Drucks)
- Magnetventil 1
- Magnetventil 2
- Gas-Gleichdruckregler

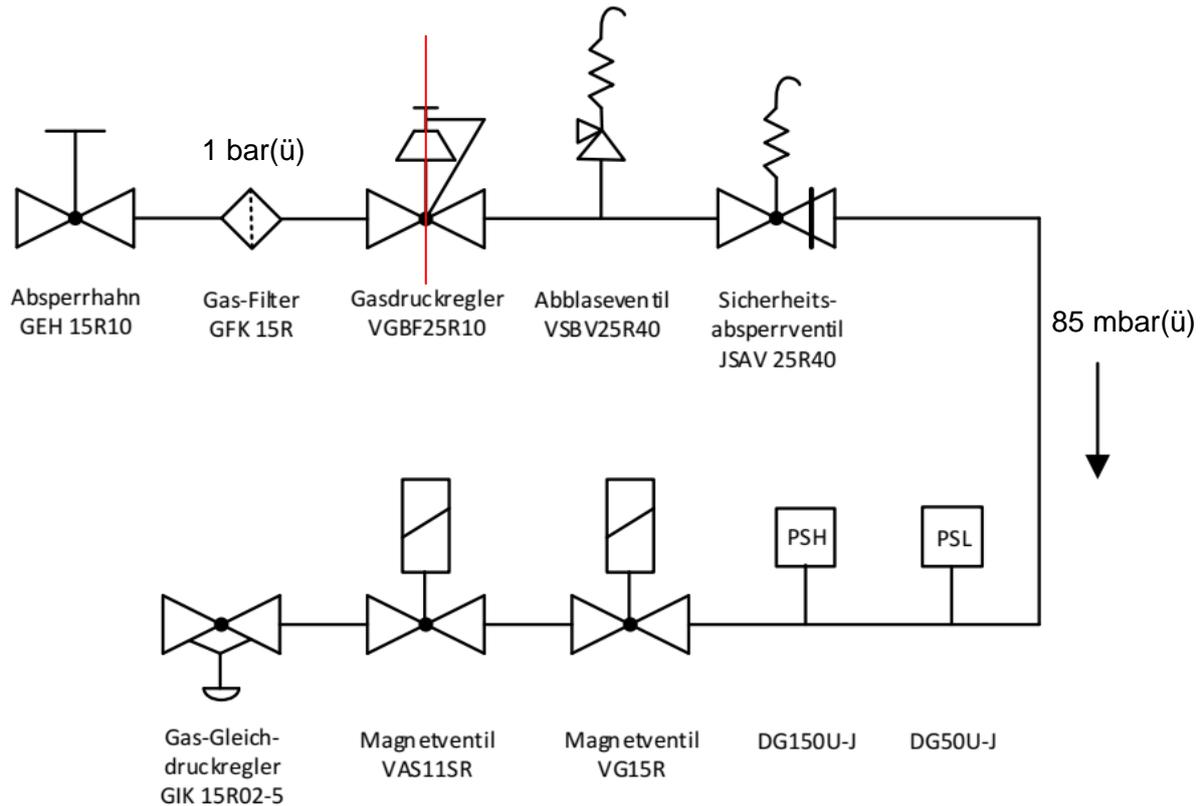


Abbildung 8: Gasfluss im Fluss-Diagramm mit Baugruppen im Versuchsaufbau (1bar(ü) bis Druckregler (rot), dahinter 85 mbar(ü))

Im Gasfluss erbringen die Baugruppen folgende Funktionalitäten:

Absperrhahn:

Sperrt und öffnet die Gasversorgung für die Regelstrecke. Er muss im Strömungssystem vor dem ersten Stellglied eingebaut und handbetätigt sein.

Gas-Filter:

Befreit das Brenngas von Verunreinigungen (Partikel).

Gasdruckregler:

Der Gasdruckregler sorgt für die Regelung von Druck und Menge des Gasdurchflusses. Bei Verbrauchsstopp schließt der Ventilteller vollständig.

Abblaseventil:

Das Abblaseventil dient zum Abbau kurzzeitig auftretender Druckstöße in Regelstrecken, um ein ungewolltes Ansprechen des Sicherheitsabsperrentiles zu verhindern. Ein zu hoher Druckanstieg bei auftretenden Leckagegasmengen infolge nicht dicht schließender Gasdruckregelgeräte wird abgebaut.

Sicherheitsabsperrentil:

Das Sicherheitsabsperrentil schützt die dahinter installierten Regelkomponenten vor Druckspitzen hinter dem Gasdruckregler, indem bei zu hohem Leitungsdruck das Ventil schließt.

Gasdruckwächter:

Der Gas-Druckwächter DG kontrolliert kleinste Druckdifferenzen und löst bei Erreichen eines eingestellten Schaltpunktes Ein-, Aus- oder Umschaltvorgänge aus. Hiermit werden maximaler und minimaler Leitungsdruck kontrolliert.

Gas-Magnetventile (Automatische Absperrventile):

Zwei in Reihe geschaltete automatische Absperrventile müssen nach DIN EN 476-2 regeln wenn:

- Minimaler oder maximaler Gasdurchfluss erreicht wird
- Minimaler oder maximaler Gasdruck erreicht wird
- Minimaler oder maximaler Luftdurchfluss erreicht wird
- Minimaler oder maximaler Luftdruck erreicht wird
- Ausfall von Stromversorgung oder Hilfsenergie (spannungslos geschlossen)
- Ausfall von Wärmeträgerfluid
- Maximale Prozesstemperatur
- Minimaler und maximaler Brennkammerdruck
- Flammenausfall
- Ausfall der Dichtheitsprüfung/ Ventilüberwachung
- Fehlerhaftes Brennstoff/Luft-Verhältnis

Sie werden z.B. von Prozesssteuerung, Druckwächtern oder auch Gasdruckwächtern angesteuert.

Gas-Gleichdruckregler:

Die Gas-Gleichdruckregler dienen zum konstant halten des Gas-Luft-Verhältnisses und der Gasdruckregelung vor Gasbrennern an Anlagen ohne vorgewärmte Verbrennungsluft.

Versuchsaufbau



Abbildung 9: Getestete Gas-Druckregelstrecke, Versuchsaufbau

In **Abbildung 9** ist die getestete Regelstrecke im Versuchsaufbau zu sehen.

3. Prüfprogramm

3.1 Prüfbedingungen

Der Versuchsaufbau wurde wie in 2.3 gezeigt montiert und pneumatisch und elektrisch nach Hersteller und DIN EN 476-2 Vorgabe verschalten. Als Eingangsgröße vor dem Absperrhahn wurde technisch reiner Wasserstoff mit 1 bar(ü) bereitgestellt. Die Regelstrecke ist auf einen Regeldruck von 85 mbar(ü) ausgelegt. Das Abblaseventil öffnet bei 100 mbar(ü), das Sicherheitsabsperrventil schließt bei 120 mbar(ü).

Um regelmäßige Funktion und Durchfluss zu gewährleisten, wurden die beiden dafür relevanten Magnetventile, welche nur unter Strom öffnen, mit einem Zeitschaltrelais versehen, welches mit regelmäßigen Steuerzeiten das Öffnen und Schließen (10 min geschlossen, 1s Offen) der Magnetventile gewährt. Gleichzeitig sorgt diese Steuerung neben einer regelmäßigen, funktionsgerechten Bedienung für einen geringen Wasserstoffverbrauch. Während der zehninütigen Schließzeit können Dichtungen und Membranen im Wasserstoff stehen, anschließend wird ein kurzer Gasstrom gewährleistet.

3.2 Dichtheitsprüfungen

Nach der Montage mit Klemmringverschraubungen aus Edelstahl¹⁴ und Teflon-Band¹⁵ wurde eine erste Dichtheitskontrolle aller Bauteile unter Wasserstoff vorgenommen. Zusätzlich wurde dies nach einer einwöchigen Spülzeit durchgeführt. Die Dichtheitskontrolle wurde mit einem wasserstoffsensiblen Gasspürgerät ausgeführt.

3.3 Funktionsprüfungen

Im Anschluss an die Dichtheitsprüfungen wurde der Prüfstand (**Abbildung 8, Abbildung 9**) in Betrieb genommen. In der Funktionsprüfung wurde während der Schaltzeiten geprüft, ob die gleichen Druckniveaus und Schaltzeiten eingehalten werden können, wie unter Erdgas. Zusätzlich wurden durch eine Erhöhung der Vordrücke die korrekte Funktion von Sicherheits-Absperrventil und Abblaseventil geprüft. Die Funktionsprüfung wurde nach einer einwöchigen Prüfzeit nochmals vorgenommen.

3.4 Alterungsversuche

Nach Abschluss der Funktionsprüfungen wurden sämtliche Baugruppen im Dauerversuch für 3 Monate mit technisch reinem Wasserstoff beaufschlagt. Ursprünglich geplant war für die Versuche 6 Monate Laufzeit, welche sich allerdings auf Grund der sehr hohen Lieferzeiten einzelner

¹⁴ In Vorprojekten erwiesen sich diese Verbinder im Dauerversuch als 100 % wasserstofftauglich

¹⁵ In Vorprojekten erwies sich Teflon-Band auch im Dauerversuch als 100 % wasserstofftauglich

Komponenten verkürzte. Während der Laufzeit der Alterungsversuche strömten weiterhin 100 Vol. % technisch reiner Wasserstoff nach dem erarbeiteten Schaltmuster:

10 Minuten geschlossen, eine Sekunde freies Durchströmen

durch die Bauteile des Prüfstandes. Danach wurden ein weiteres Mal korrekte Funktionen und Dichtheit der Baugruppen untersucht. Im Anschluss daran wurden zusätzlich die Baugruppen demontiert und Dichtungen, Ventilteller und Membranen auf Degradation untersucht.

4. Prüfungsergebnisse

4.1 Dichtheitsprüfungen

Wie in **Tabelle 2** dargestellt, waren alle verwendeten Baugruppen zu Beginn der Versuche dicht. Zur Leckage Kontrolle wurde ein wasserstoffsensibles Gasspürgerät verwendet, welches im Bereich 10 ppm empfindlich ist. Alle Gehäuse-Trennstellen, Dichtungspunkte, Einstellschrauben und Fittings wurden damit untersucht. Auch die wiederholende Prüfung nach einer Woche und 3 Monaten zeigten keine erhöhten Leckagen.

Tabelle 2: Ergebnisse der Dichtheitsprüfung nach Inbetriebnahme

Komponente	Dichtheitskontrolle 1 ^{16 17}	Dichtheitskontrolle 2 ¹⁸	Dichtheitskontrolle 3 ¹⁹
Gas-Gleichdruckregler	dicht	dicht	dicht
Sicherheitsabsperrentil	dicht	dicht	dicht
Abblaseventil	dicht	dicht	dicht
Gas-Druckregler	dicht	dicht	dicht
Gas-Magnetventile	dicht	dicht	dicht
Gasfilter	dicht	dicht	dicht
Gas-Druckwächter	dicht	dicht	dicht

Die Dichtheitsversuche wurden dementsprechend von allen Bauteilen erfolgreich bestanden, was sich auch mit den theoretischen Erwartungen an die Baugruppen deckt, da die verwendeten Materialien sich alle im Einzelversuch schon als 100 % wasserstoffbeständig erwiesen. Auch die kritischen Membranen aus Polypropylen zeigten bisher keine Anzeichen einer Undichtigkeit.

4.2 Funktionsprüfungen

In **Tabelle 3** sind die Ergebnisse der ersten Funktionsprüfung unter 100 % Wasserstoff zusammen gefasst. Von Werk ab wurden die Regelarmaturen auf feste Regel- und Druckwerte mit Erdgas eingestellt. Die Funktionsprüfung sollte nun nachweisen, dass diese Werte zum einen auch unter Wasserstoff erbracht werden und zum anderen die korrekte Funktion aller Baugruppen gegeben ist.

Der Gleichdruckregler wurde mit Erdgas auf einen Regelwert von 85 mbar eingestellt. Basierend auf seiner Funktionsweise, die ausschließlich druckgeregelt funktioniert, ist es nicht zu erwarten, dass

¹⁶ Wasserstoffsensibles Gas-Spürgeräte, Messgenauigkeit 10 ppm

¹⁷ Bei Versuchsstart

¹⁸ Nach einer Woche

¹⁹ Nach 3 Monaten

sich im Betrieb mit einem anderen Gas die Regelwerte ändern. Diese deckt sich auch mit der Messung aus der Funktionsprüfung. Hier wurden unter Wasserstoff die gleichen Messwerte ermittelt, wie mit Erdgas.

Um die Funktion des Abblaseventils zu testen, wurde im Anschluss der Regelwert des Druckreglers auf 110 mbar angehoben, um ein korrektes Abblasen des Ventils (auf 100 mbar eingestellt) sicher zu stellen. Auch hier deckten sich die Messwerte mit den eingestellten Werten und das Ventil blies korrekt ab.

Im Anschluss wurden der Regelwert des Gasdruckreglers und des Abblaseventils angehoben (Ändern der Vorspannung des Federtellers) um die korrekte Funktion des Sicherheits-Absperrventils zu testen. Auch hier konnte die sichere Funktion und ein Schließen bei 125 mbar (Einstellwert) sichergestellt werden.

Alle weiteren Komponenten dienen nur der Betriebssicherheit und stellen keine Regelglieder dar. Dementsprechend konnte hier nur auf korrekte Funktion geprüft werden. Diese war bei allen Bauteilen gegeben.

Nach den Funktionsprüfungen wurden alle Regelwerte wieder auf ihr ursprüngliches Niveau reduziert.

Tabelle 3: Ergebnisse der Funktionsprüfung 1 (Versuchsbeginn)

Komponente	Korrekte Funktion	Abweichung vom Schalt-/Regeldruck ²⁰
Gas-Gleichdruckregler	Wurde in den Versuchen nur durchströmt	-
Sicherheitsabsperrentil	ja	< 1%
Abblaseventil	ja	< 1%
Gas-Druckregler	ja	< 1%
Gas-Magnetventile	ja	-
Gasfilter	ja	-
Gas-Druckwächter	Elektrisch nicht eingebunden, nur durchströmt/beaufschlagt	-

Die zweite Funktionsprüfung nach einer einwöchigen Konditionierung zeigte die gleichen Resultate wie die vorangegangene Prüfung. Auch hier zeigten, wie in **Tabelle 4** zu sehen, alle Bauteile eine korrekte Funktion.

²⁰ Messabweichung des Messgeräts

Tabelle 4: Ergebnisse der Funktionsprüfung 2 (nach einer Woche)

Komponente	Korrekte Funktion	Abweichung vom Schalt-/Regeldruck
Gas-Gleichdruckregler	Wurde in den Versuchen nur durchströmt	-
Sicherheitsabsperrentil	ja	< 1%
Abblaseventil	ja	< 1%
Gas-Druckregler	ja	< 1%
Gas-Magnetventile	ja	-
Gasfilter	ja	-
Gas-Druckwächter	Elektrisch nicht eingebunden, nur durchströmt/beaufschlagt	-

Auch die Funktionsprüfungen nach Abschluss der 3-monatigen Alterungsversuche wurden nach dem gleichen Verfahren durchgeführt und zeigten eine korrekte Funktion aller Bauteile. Die Ergebnisse sind in **Tabelle 5** zu sehen.

Tabelle 5: Ergebnisse der Funktionsprüfung 3 (nach Abschluss der 3 monatigen Alterungsversuche)

Komponente	Korrekte Funktion	Abweichung vom Schalt-/Regeldruck
Gas-Gleichdruckregler	Wurde in den Versuchen nur durchströmt	-
Sicherheitsabsperrentil	ja	< 1%
Abblaseventil	ja	< 1%
Gas-Druckregler	ja	< 1%
Gas-Magnetventile	ja	-
Gasfilter	ja	-
Gas-Druckwächter	Elektrisch nicht eingebunden, nur durchströmt/beaufschlagt	-

Nach Abschluss aller Funktionsprüfungen lässt sich, wie zu erwarten war, eine korrekte Funktion aller Baugruppen auch über einen längeren Zeitraum hinweg mit 100 % Wasserstoff konstatieren. Alle eingestellten Druckniveaus konnten gehalten werden und auch die Funktion von Ventilen war nicht beeinträchtigt.

4.3 Alterungsversuche

Im Anschluss aller Dichtheits- und Funktionsprüfungen wurden die Baugruppen nach Anleitung demontiert, um die Dichtungswerkstoffe und Membranen optisch zu begutachten. Wie die korrekte Funktion und Dichtheit schon andeuteten, konnten an allen kritischen Komponenten keinerlei Erscheinungen von wasserstoffinduzierter Degradation beobachtet werden. **Tabelle 6** fasst diese Ergebnisse noch einmal zusammen.

Tabelle 6: Ergebnisse der Alterungsversuche nach 3 Monaten

Komponente	Alterungserscheinungen/ Degradation
Gas-Gleichdruckregler	nein
Sicherheitsabsperrentil	nein
Abblaseventil	nein
Gas-Druckregler	nein
Gas-Magnetventile	nein
Gasfilter	nein
Gas-Druckwächter	nein

Nach der optischen Begutachtung wurden alle Bauteile wieder Vorschriftsmäßig montiert und zur weiteren Untersuchung in den Prüfstand eingebaut.

5. Zusammenfassung

Ziel der hier getätigten Untersuchungen war es, eine gute Übersicht über die Wasserstoffeignung gebräuchlicher Gas-Druckregелеlemente zu bekommen. Die Prüflinge wurden hierfür einem Alterungs- und Prüfverfahren unter technisch reinem Wasserstoff unterzogen. Alle Bauteile bestanden auch nach dreimonatiger Alterung die Versuche ohne Leckagen.

Auch die hier getätigten Funktionsprüfungen konnten alle Bauteile ohne Einschränkung bestehen. Alle getesteten Druckniveaus konnten geregelt werden und alle Sicherheitskritischen Bauteile funktionierten wie vorgesehen.

Die Alterungsversuche zeigten keinerlei wasserstoffinduzierte Degradation an Dichtungswerkstoffen, Membranen oder Ventiltellern. Dementsprechend kann auch hier eine eingeschränkte Tauglichkeit ausgesprochen werden.

Da Gas-Druckregelstrecken in der industriellen Praxis allerdings über viele Jahre hinweg im Einsatz sind, werden die hier beschriebenen Versuche auch über die kommenden Monate hinweg weiter betrieben, um eine noch bessere Auflösung der Alterungsversuche zu gewährleisten. Die Beobachtung des Verhaltens über 3 Monate ist allerdings ein guter Indikator dafür, dass die Baugruppen auch weiterhin voll funktionsfähig bleiben.

Zusammenfassend leitet sich die Aussage ab, dass konventionelle Erdgas-Regelstrecken nach DIN EN 746-2 eine prinzipielle Eignung für den Betrieb mit 100 % Wasserstoff zeigen.