

Prüfung von CO₂-Kälteanlagen – Druckfestigkeit und Lecksuche

Thomas SCHNERR¹, René SEIDEL¹

¹ Institut für Luft- und Kältetechnik gGmbH, Dresden

Thomas.Schnerr@ilkdresden.de

Kurzfassung

Aufgrund der hohen Drucklage ist für eine sichere und regelkonforme Herstellung von Anlagen mit dem Kältemittel CO₂ (R744) vor Inverkehrbringen eine Festigkeitsprüfung notwendig. Bisher erfolgt diese meist getrennt von der Dichtheitsprüfung.

Es wird ein Prüfkonzept vorgestellt, mit dem eine Festigkeitsprüfung von CO₂-Anlagen auf pneumatischem Weg gefahrlos und automatisiert in Kombination mit der Dichtheitsprüfung durchgeführt werden kann. Unter Verwendung eines mehrstufigen Verdichtersystems können Prüfdrücke bis zu 130 bar realisiert werden und es ist eine Rückgewinnung des eingesetzten Prüfgases (z. B. Formiergas oder Helium) möglich. Der als Funktionsmuster aufgebaute Prüfstand (Prüflingsvolumen 10 l) ist skalierbar und für CO₂-Kälteanlagen und -Wärmepumpen sowie deren Komponenten anwendbar.

Nach der automatisierten Druckabfallprüfung, die während der Haltezeit der Festigkeitsprüfung erfolgt, kann vor der Prüfgasrückgewinnung ggf. eine manuelle Feinlecksuche erfolgen. Durch den Einsatz von Prüfgas ist hierbei das Erkennen kleinerer Leckagen besser als beim direkten Nachweis des Kältemittels CO₂ möglich.

Die direkte Lecksuche an CO₂-Anlagen wird dadurch erschwert, dass das nachzuweisende Gas (CO₂) in der Raum- und Ausatemluft in signifikanter, schwankender Konzentration vorhanden ist. Es werden verschiedene Möglichkeiten vorgestellt, um die Lecksuche mit CO₂ dennoch effektiv gestalten zu können.



Institut für Luft- und Kältetechnik gGmbH

Prüfung von CO₂-Kälteanlagen – Druckfestigkeit und Lecksuche

Thomas Schnerr, René Seidel, Michael Goldberg

www.ilkdresden.de

Gliederung

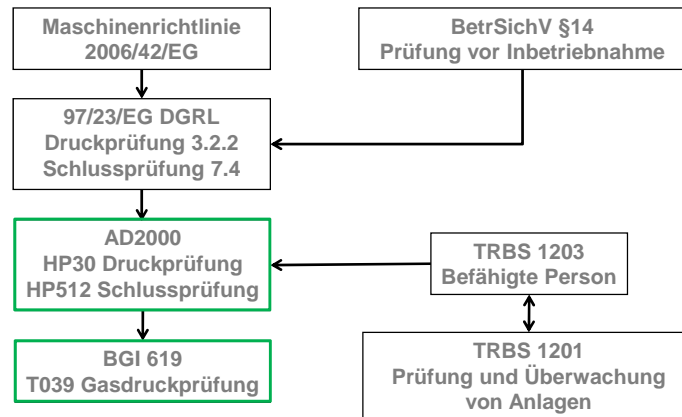
- **Notwendigkeit für Festigkeitsprüfung**
- **Vorgaben für Festigkeitsprüfung**
- **Notwendigkeit Dichtheitsprüfung**
- **Motivation und Konzept für Prüfanlage**
- **Realisierte Anlage**
- **Wirtschaftliche Betrachtung**
- **CO₂-Lecksuche (Verfahren, Geräte, Technologie)**
- **Zusammenfassung**

Notwendigkeit für Festigkeitsprüfung



Die Festigkeitsprüfung wird an druckführenden Bauteilen durchgeführt um den Nachweis einer ausreichenden Festigkeit der Materialien zu erbringen.

Regelungen u.a. in folgenden Richtlinien und Verordnungen.



Vorgaben für Festigkeitsprüfung



AD 2000 Merkblatt HP 30:

- Flüssigkeits-Druckprüfung mit 1,43 x PS -> **ungeeignet für Kälteanlagen**
- alternativ Gas-Druckprüfung mit 1,1 x PS möglich,
ggf. weitere zerstörungsfreie Prüfungen der Schweißstellen notwendig

Druckstufen bzw. Haltezeiten sind in BGI 619 / Merkblatt T 039 beschrieben

1. Stufe bei 0,5 bar / Sicht- und Geräuschkontrolle
2. Stufe bei 0,5 x PS / Sicht- und Geräuschkontrolle
3. Stufe bei 1,0 x PS / Sicht- und Geräuschkontrolle
4. Stufe bei 1,1 x PS / keine Person im Gefahrenbereich / 0,5 h Haltezeit
5. Stufe bei 1,0 x PS / Lecksuche / Dichtheitsprüfung

PS = max. zulässiger Betriebsdruck

Notwendigkeit für Lecksuche auch bei CO₂



Gründe für Lecksuche/Dichtheitsprüfung	F-Gase	CO ₂
Dichtheit ist ein wesentliches Qualitätsmerkmal!	✓	✓
Vermeidung gefährlicher Atmosphäre	(✓)	✓
Technische Gründe		
- Erhalten der optimalen Kältemittelfüllmenge	✓	✓
Ökonomische Gründe		
- Betriebskosten (Energieverbrauch, Lebensdauer)	✓	✓
- Kältemittelkosten	✓	(✓)
- Reparaturkosten / Folgekosten durch Ausfall der Kälteanlage bzw. des Kühlgutes	✓	✓
Ökologische Gründe		
- Verstärkung des Treibhauseffekts	✓	(✓)
Rechtliche Gründe	✓	(✓)

Motivation für kombinierte Festigkeits- und Dichtheitsprüfung



- hoher zeitlicher Prüfaufwand und Personalbedarf bei getrennten Prüfungen
 - hoher Prüfgasverbrauch durch zweimaliges Befüllen zur Festigkeits- und zur Dichtheitsprüfung
 - besonders hohes Einsparpotential bei hohen Drucklagen (CO₂)
 - umsetzbar mit und ohne Prüfgasrückgewinnung
- **Aufbau eines Funktionsmusters zur kombinierten Festigkeits- und Dichtheitsprüfung zum Nachweis dieser Vorteile**



- Kombination aus Festigkeitsprüfung und Dichtheitsprüfung
- Festigkeitsprüfdruck bis zu 143 bar (1,1 x PS)
- Prüflingsvolumen Funktionsmuster 10 l – skalierbar bis 800 l
- gefahrlose Prüfung durch weitgehend automatisierten Prüfablauf (programmierte Steuerung)
- Aufbringen Prüfgas durch Überströmen aus Speicherflasche(n) und Nutzung von Verdichtern



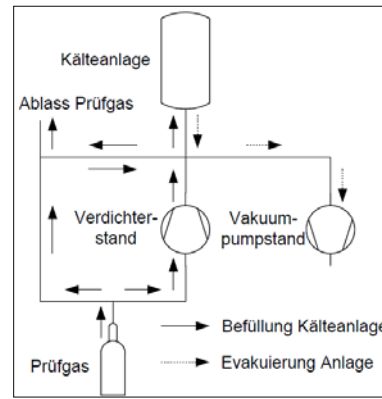
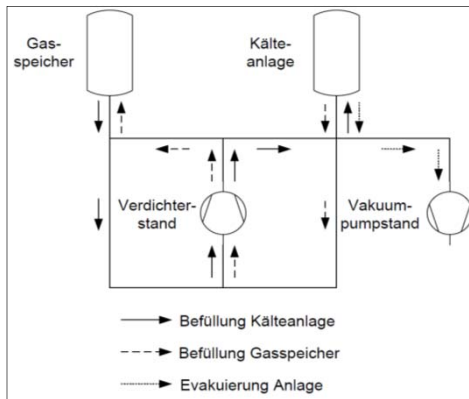
- Nutzung eines detektierbaren Prüfgases (Formiergas)
- Konzeption mit und ohne Prüfgasrückgewinnung
- Rückgewinnungsquote >90%
- Prüfung Feuchtegehalt während Rückgewinnung
- integrierte Druckabfallprüfung während Haltezeit
- manuelle Feinlecksuche bei 1,0 x PS (Formiergasnachweis)
- Protokollierung der Ergebnisse

Konzeptvarianten

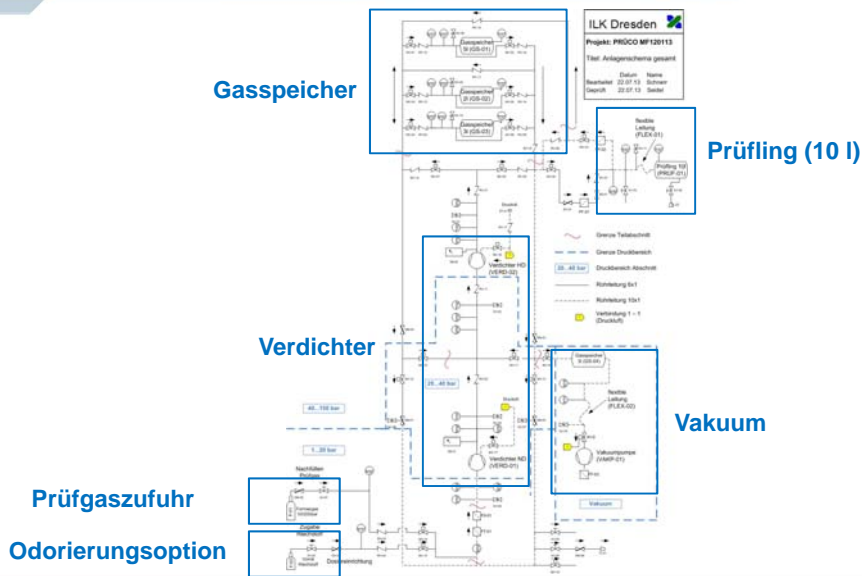


➤ mit Prüfgasrückgewinnung

➤ ohne Prüfgasrückgewinnung



Aufgebaute Prüfanlage mit Prüfgasrückgewinnung

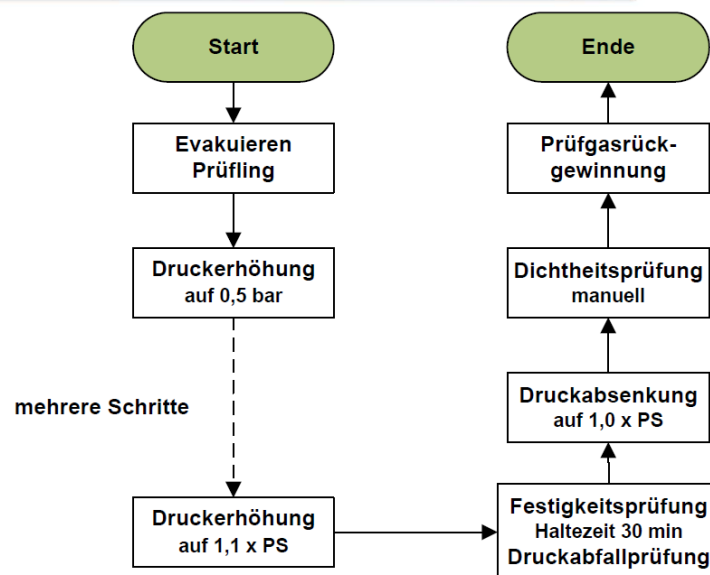


Aufgebaute Prüfanlage mit Prüfgasrückgewinnung



www.ilkdresden.de

Ablauf der kombinierten Festigkeits- und Dichtheitsprüfung



www.ilkdresden.de

Steuerung / Software (Eingabematrix)



Drucktoleranz für das Überströmen [%] → Hysterese

Vakuum Abschaltgrenze Prüfling [mbar]

Vorgeleert Druckspeicher 5L+3L+2L

Druckgrenze [bar]	Druck [bar]	Timer ta [x 0,1s]
150	<input type="text" value="0.0"/>	<input type="text" value="0"/>

Entlastung Prüfling bis ... Druck [bar]

Automatik

Main

Reset Parameter

Vorgabe Zyklus Prüfling

Druckgrenze [bar]		Druck [bar]	Timer ta [x 0,1s]
0,5	Dichtheitsprüfung	<input type="text" value="0.0"/>	<input type="text" value="0.0"/>
20	Befüllung aus F-01	<input type="text" value="0.0"/>	<input type="text" value="0.0"/>
60	50% Pb	<input type="text" value="0.0"/>	<input type="text" value="0.0"/>
72	60% Pb	<input type="text" value="0.0"/>	<input type="text" value="0.0"/>
84	70% Pb	<input type="text" value="0.0"/>	<input type="text" value="0.0"/>
96	80% Pb	<input type="text" value="0.0"/>	<input type="text" value="0.0"/>
108	90% Pb	<input type="text" value="0.0"/>	<input type="text" value="0.0"/>
120	100% Pb Betriebsdruck	<input type="text" value="0.0"/>	<input type="text" value="0.0"/>
132	110% Pb Prüfdruck	<input type="text" value="0.0"/>	<input type="text" value="0.0"/>

zulässige Druckdifferenz Druckabfallprüfung: bar

Steuerung / Software (Bedienoberfläche)



Für den Handbetrieb
Prüfstandfreigabe deaktivieren

Aktueller Zyklus


0

Zähler Zykluszeit

0 = done

Main



Datum:	15-09-28		Volumen des Prüflings:	9.98
Uhrzeit Prüfbeginn	11:40:23		Leckrate mbar l / s:	0.139
Uhrzeit Prüfbende	12:10:23		zulässige Druckdifferenz bar:	0.2
Prüfmedium	Formiergas			
zulässiger Betriebsdruck / bar	130.0	100%		
Sollwert Prüfdruck / bar	143.0	118%		
Prüfdruck Prüfbeginn / bar	143.1			
Prüfdruck Prüfbende / bar	143.0			
Druckabfall / bar	0.1			
Anlagenschema				

Festigkeitsprüfung durchgeführt



- Konzept erfolgreich umgesetzt (Funktionsmuster 10 I)
- automatisierte, sichere Druckfestigkeitsprüfung erreicht
- übertragbar auf größere Volumina
- Skalierung durch an Prüflingsvolumen angepasste, separat aufgestellte Speicherbehälter sowie angepasste Verdichter, Ventile, Rohrleitungen
- Rückgewinnungsquote mit 93 % (Ziel erfüllt); 98 % mit geringen Aufwand erreichbar
- Prüfgasbefüllung und -rückgewinnung je ca. 10 bis 50 min (abhängig von Prüflingsvolumen und Verdichter)
- Staffelung der Speicherbehältergrößen für zeitoptimierte Rückströmung
- Riechstoff eher nicht hilfreich (Kontamination)
- Visualisierung sollte vereinfacht werden

Wirtschaftliche Betrachtung



max. Betriebsdruck PS [bar]	Prüfdruck 1,1 x PS [bar]	Prüflingsvolumen [l]	Prüfungen pro Jahr	Rol [a]	Anzahl Flaschen*	
					mit RGW	nur Überströmen
130	143	800	50	4,4	29	600
		400	100	4	29	600
		20	500	4,2	7	230

- Amortisation (Rol) ist bei entsprechender Anzahl von Prüfungen innerhalb von etwa 4 Jahren möglich
Prüfanlage (insb. Speicherbehälter) jeweils an Prüflingsvolumen angepasst
- Prüfgasrückgewinnung (RGW) führt zu signifikanter Einsparung an Prüfgasflaschen (Kosten und Handlings-Aufwand)

* Formiergas 50 l, 200 bar

Wirtschaftliche Betrachtung



max. Betriebsdruck PS [bar]	Prüfdruck 1,1 x PS [bar]	Prüflingsvolumen [l]	Prüfungen pro Jahr	Rol [a]	Anzahl Flaschen*	
					mit RGW	nur Überströmen
130	143	400	100	4	29	600
130	143	400	50	5,5	20	460
60	66	400	50			

- Amortisationszeitraum (Rol) verlängert sich bei kleinerem Prüfdruck (weniger Prüfgas)

* Formiergas 50 l, 200 bar

Lecksuch- und Dichtheitsprüfverfahren (CO₂)



Verfahren	Typ	Art	lokal / integral	Eingriff in Kälteanlage	nachweisbare Leckagerate
Helium-Gasdetektoren (Schnüffeln)	Überdruck	fein	lokal	ja	0,01 g/a He (0,3 - 0,4 g/a KM)
Stationäre Lecksuchgeräte (Tischgeräte für Kältemittel)	Überdruck	fein	lokal	nein	0,5 g/a KM CO ₂ ?
Wasserstoff-Lecksuchgeräte (Tischgeräte für Formiergas)	Überdruck	fein	lokal	ja	0,5 g/a Formiergas (2 - 3 g/a KM)
Mobile Leckdetektoren	Überdruck	fein	lokal	nein	5 g/a KM CO ₂ ?
Blasentest unter Prüflüssigkeit	Überdruck	fein	lokal	nein	5 g/a KM
Hüllverfahren	Überdruck	fein	integral	nein	5 g/a KM
Seifenblasentest/ Lecksuchspray	Überdruck	grob	lokal	nein	0,5 kg/a KM
Fluoreszierende Additive + UV-Licht	Überdruck	grob	lokal	ja	>1 kg/a KM
Vakuumdruckanstiegsprüfung	Unterdruck	grob	integral	ja	>1 kg/a Luft (KM)
Druckabfallprüfung	Überdruck	grob	integral	ja	>5 kg/a Prüfgas (KM)
Parameterabgleich	indirekt	grob	integral	nein	>5 kg/a KM

www.ilkdresden.de

Lecksuche an Anlagen mit Kohlendioxid



Aufgrund des (natürlichen) CO₂-Gehaltes im Raum wird die **Lecksuche erschwert**

CO ₂ -Gehalt in Außenluft:	300...400 ppm
Raumluft:	1000...2000 ppm
Ausatemluft:	40000 ppm (4 %)

Ansprech-Schwelle mobiler Leckdetektoren für CO₂: **ca. 100 ppm**

Praktische Nachweisgrenze mobiler CO₂-Leckdetektoren: **50...100 g/a** (offener Raum)

Lösung:

- Einsatz **Tischgerät mit Kompensation inhomogener Raumluftkonzentration** (*Fertigung*)
- praktische Nachweisempfindlichkeit **10...20 g/a**
- Anwendung **Hüllverfahren** (*Feldeinsatz*) mit Leckdetektor, praktische Nachweisempfindlichkeit **5...10 g/a**



www.ilkdresden.de

Lecksuche an Anlagen mit Kohlendioxid



Hüllverfahren nach DIN EN 1779 (1999)

Verfahren:

- Prüfling (ggf. Anlagenabschnitt) wird mit Folienhülle dicht eingehüllt
- freies Volumen in der Hülle sollte möglichst klein sein
- austretendes Kältemittel führt zu einem Konzentrationsanstieg in der Hülle
- Konzentrationsbestimmung durch Einstechen des Leckdetektors in die Hülle



Nachweisgrenze:

5...10 g/a CO₂ (integral, abhängig vom Hüllvolumen und Akkumulationszeit)

Zusammenfassung



Kombinierte Festigkeits- und Dichtheitsprüfung

- gefahrlose, automatisierte, protokollierte Festigkeitsprüfung realisiert
- Prüfgasrückgewinnung integriert
- Funktionsnachweis erbracht
- Anlage inkl. Steuerung individuell anpassbar
- marktreifes Produkt verfügbar

CO₂-Lecksuche

- Beeinträchtigung durch CO₂-Gehalt in Raum- und Ausatemluft
- mobile Leckdetektoren eingeschränkt einsetzbar
- alternativ Hüllverfahren mit mobilen Leckdetektoren oder Einsatz von Tischgeräten



Finanzielle Unterstützung des Projekts
**„Entwicklung einer innovativen Technologie zur
Druckfestigkeitsprüfung von CO₂-Anlagen“**

durch das BMWi (Euronorm: MF120113)

Gefördert durch:

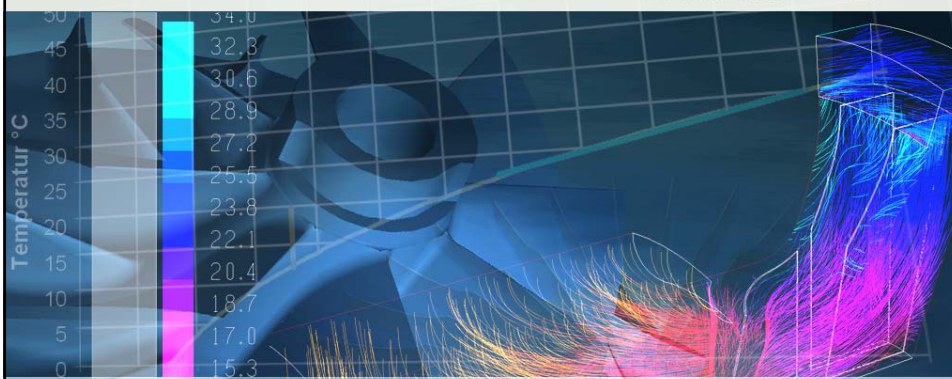


Bundesministerium
für Wirtschaft
und Technologie

aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

www.ilkdresden.de

ILK Dresden



Danke für Ihre Aufmerksamkeit!

Institut für Luft- und Kältetechnik
gemeinnützige Gesellschaft mbH
Bertolt-Brecht-Allee 20, 01309 Dresden
Hauptbereich Angewandte Werkstofftechnik

Dipl.-Ing. (BA) Thomas Schnerr

Tel.: +49 351 / 4081-769
Fax: +49 351 / 4081-755
E-Mail: thomas.schnerr@ilkdresden.de
www: www.ilkdresden.de

www.ilkdresden.de