

ONE VISION. ZERO EMISSIONS.



■ WHITE PAPER

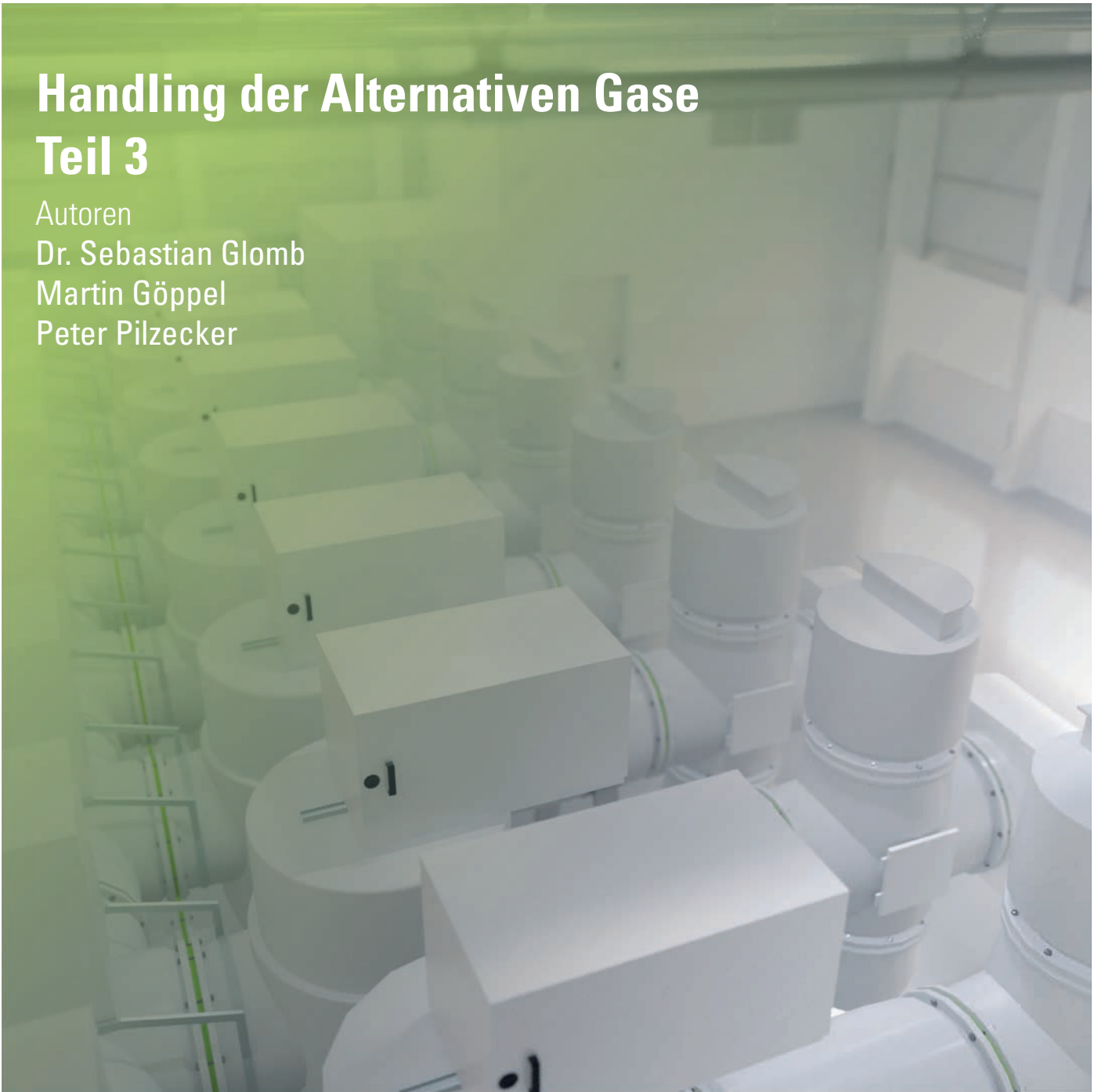
Handling der Alternativen Gase Teil 3

Autoren

Dr. Sebastian Glomb

Martin Göppel

Peter Pilzecker



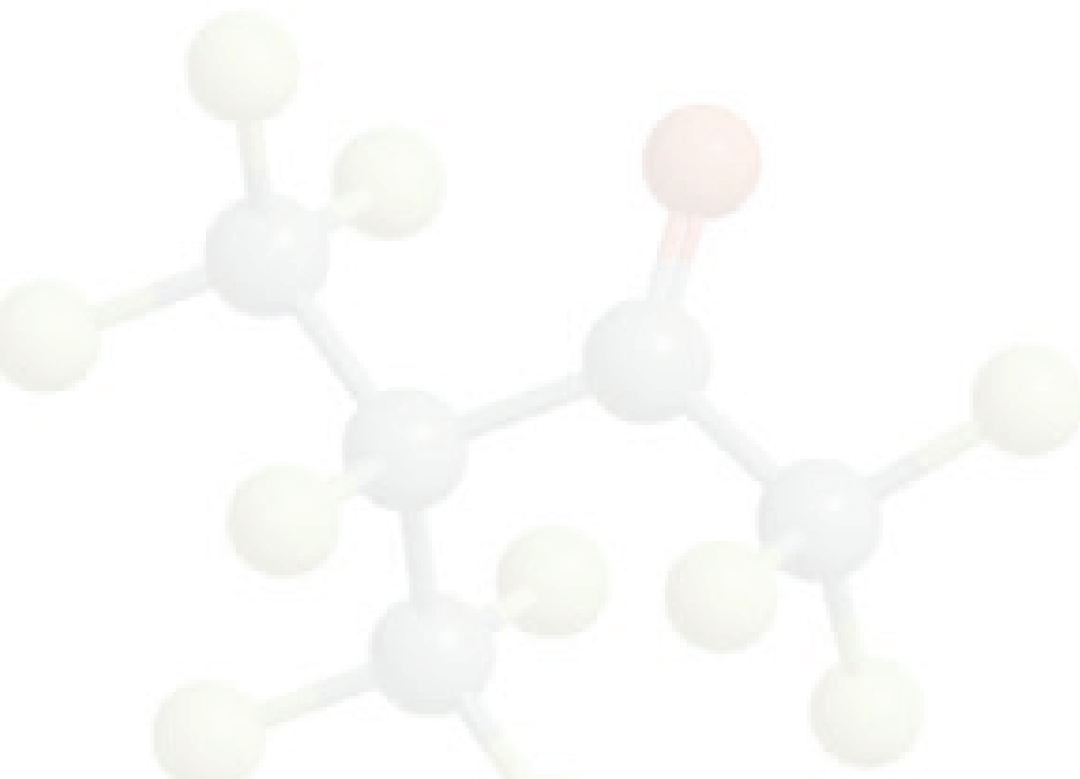
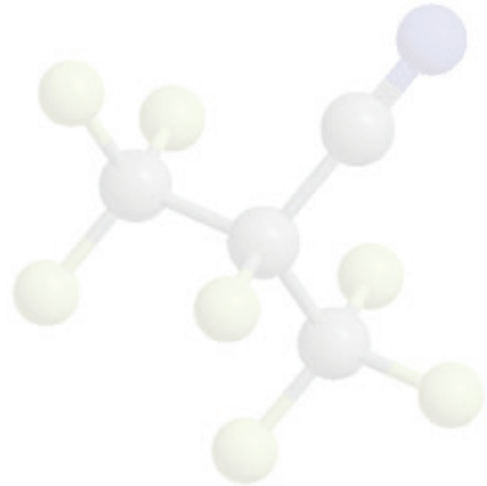
www.dilo.com



■ Inhaltsverzeichnis

1. Vorwort.....	2
2. Handling Alternativer Gase am Betriebsmittel.....	3-4
3. Leckagen und weitere Störungen im Betriebsablauf.....	5-7
4. Vertauschungssicherheit.....	7-8
5. Literaturverzeichnis.....	8

1



■ 1. Vorwort:

Im dritten Teil des Guides werden die Hauptunterschiede des Handlings Alternativer Gase zu SF_6 aufgezeigt. Im Fokus stehen hierbei die Entnahme von teilverflüssigten Mischungen aus Druckbehältern und die damit verbundene Befüllung der Betriebsmittel sowie das richtige Vorgehen bei Leckagen und Störungen im Betriebsablauf. Zusätzlich wird auf die technischen Möglichkeiten zum prozesssicheren Einsatz, in Bezug auf Vertauschungssicherheit der verwendeten Geräte untereinander, bei Verwendung der verschiedenen Gasmischungen eingegangen.

Im Gegensatz zu SF_6 , welches hauptsächlich als einzelne Komponente und nur in seltenen Fällen als Gasmisch gehandhabt wird, bestehen Alternative Gase für die Verwendung in gasisolierten Betriebsmitteln meistens aus zwei oder mehreren Einzelgaskomponenten, die zusammen das Isoliergasgemisch ergeben (Guide 1).

Die erstmalige Befüllung eines Gasraumes mit Alternativen Gasen kann auf verschiedenen Wegen erfolgen (Guide 2). Zur ordnungsgemäßen Verwendung im Betriebsmittel müssen die einzelnen Gase oder die Vorgemische nach der Überführung in den Gasraum als gleichmäßig-vermischt(=homogenes)Gemischvorliegen. Das Vorhandensein mehrerer, verschiedener Komponenten sowie unterschiedliche Anforderungen an die Zusammensetzung der Gemische für die verschiedenen Anwendungsfälle erhöht die Komplexität des Gashandlings Alternativer Gase im Vergleich zum bisherigen Arbeiten mit SF_6 (Abbildung 1).

2



Abbildung 1: Typische Servicegeräte für die Handhabung von SF_6 (links) und Alternativen Gasen (rechts).

■ 2. Handling Alternativer Gase am Betriebsmittel

Bestehende SF₆-Servicegeräte sind nicht für den Betrieb mit Alternativen Gasen ausgelegt und von einer Verwendung der SF₆-Servicegeräte mit Alternativen Gasen wird dringend abgeraten um eine Beschädigung der Geräte und unbeabsichtigte Undichtigkeiten beim Handling zu vermeiden. Aufgrund der unterschiedlichen physikalischen und chemischen Eigenschaften (höherer Druck, Permeabilität etc.) der einzelnen Bestandteile der Alternativen Gase und den unterschiedlichen Anforderungen an die Funktionalität des Servicegerätes kann eine Reaktion mit einzelnen Komponenten auftreten und eine Zerstörung der Geräte zu Folge haben. Mögliche, daraus entstehende Leckagen können die Gesundheit und die Sicherheit der Anwender gefährden.

Das Handling Alternativer Gase und die Funktionen der Servicegeräte orientieren sich an vielen Stellen an den jahrzehntelang gesammelten Erfahrungen durch das Gashandling mit SF₆. **3** Trotzdem gibt es, aufgrund der Diversität der Alternativen Gase, grundlegende Unterschiede, die im Folgenden näher erläutert werden:

Ein Hauptunterschied zum Gashandling mit SF₆ ist die Befüllung von Betriebsmitteln mit genau definierten, vorgemischten Gasgemischen aus dem teilverflüssigten

Zustand heraus (Guide 2). Die teilverflüssigte Speicherung wird hauptsächlich bei Mischungen mit C4-FN und C5-FK verwendet. Das Alternative Gas wird vorweg unter hohem Druck (> 5 MPa bei 20 °C) in Druckbehältern gespeichert um am Betriebsort mittels eines Servicegerätes homogenisiert und in die Betriebsmittel überführt zu werden. Dabei gibt es, abhängig vom Gemisch und der Anwendung, unterschiedliche Wege der Homogenisierung. Alle haben gemein, dass vor der Überführung das teilverflüssigte Gemisch im vorliegenden Druckbehälter erhitzt wird.

Das Erhitzen des Druckbehälters kann durch Wärmeübertragung mittels einer elektrischen Kontaktheizung oder durch induktives Erwärmen geschehen. Beim induktiven Erwärmen wird der Druckbehälter durch ein magnetisches Wechselfeld, ähnlich einer Mikrowelle, kontaktlos erwärmt. Durch die kontaktlose Übertragung ist die Wärmeübertragung und die gesamte Entnahme aus dem Druckbehälter um den Faktor 2–3 schneller (Abbildung 2) als mit einer Kontaktheizung. Die Steuerung der Heizung und die sicherheitsrelevanten Sensoren sind in die Funktionen des Servicegerätes integriert um eine fachgerechte Verwendung der Heizung sicherzustellen (Verhindern der Überhitzung des Druckbehälters etc.).

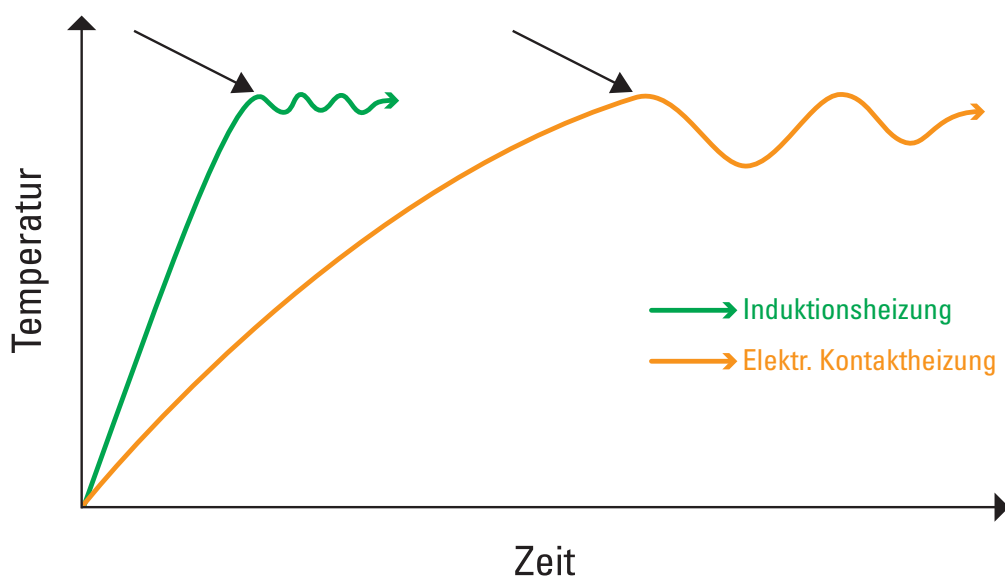


Abbildung 2: Vergleich der benötigten Zeit für das Erreichen der Zieltemperatur beim Erhitzen eines Druckbehälters mittels einer Induktions- (grün) und einer elektrischen Kontaktheizung (orange). Die Pfeile markieren den Zeitpunkt des Startens des Füllvorganges.

Eine Möglichkeit der Homogenisierung des verflüssigten Gemisches ist die komplette Entleerung des erwärmten Druckbehälters in einen, vom Volumen her größeren, Zwischenspeicher (ugs. Puffertank), in dem das Gasgemisch anschließend homogen-gasförmig vorliegt. Die Erwärmung des Druckbehälters dient bei diesem Verfahren zur Erhöhung der Entnahmegeschwindigkeit des vollständigen Gemisches. Der Zwischenspeicher ist üblicherweise

im Servicegerät integriert und vom Volumen so gewählt, dass die komplette Gasmenge des zu erwärmenden Druckbehälters in diesen eingefüllt werden kann (Abbildung 3). Liegt das Gasgemisch einmal gasförmig-homogenisiert im Zwischenspeicher vor, kann es anschließend jederzeit, auch ohne zusätzliches Heizen, für die Befüllung gasgefüllter Betriebsmittel unterschiedlicher Volumen und Drücke verwendet werden.



Abbildung 3: Darstellung der Funktionsweise eines Servicegerätes mit integriertem Zwischenspeicher zur Entnahme von teilverflüssigten Mischungen aus einem beheizten Druckbehälter.

Ein weiterer Weg der Homogenisierung ist die komplette Erwärmung des Druckbehälters und den gasführenden Leitungen des Servicegerätes, um das Trägergas des Gemisches in einen überkritischen Zustand zu überführen. In diesem Aggregatzustand ist das Lösungsvermögen des Trägergases signifikant erhöht, was zu einer vollständigen Durchmischung aller Komponenten im Druckbehälter führt. Anschließend erfolgt die Befüllung des Gasraumes direkt über die beheizten Leitungen aus dem Druckbehälter heraus. Als Trägergas bei diesem Verfahren wird Kohlenstoffdioxid (CO_2) verwendet, welches als Bestandteil der Mischung zuerst über seinen überkritischen Punkt bei 31 °C und 73 bara erwärmt werden muss. Der homogene Zustand ist anschließend nur bei erhöhten Temperaturen stabil. Die Temperatur muss während des gesamten Füllprozesses konstant

gehalten werden, wobei es immer wieder notwendig ist, den Druckbehälter wie auch die Anschlussleitungen, erneut zu erwärmen.¹ Dabei kann es vorkommen, dass der Füllprozess kurzzeitig unterbrochen werden muss, welches insbesondere beim Befüllen von kleinen Gasräumen zu Problemen führen kann.

Bei der Verwendung von Gasmischungen, bei denen die einzelnen Bestandteile unter gängigen Arbeitsbedingungen nicht verflüssigbar sind (wie beispielweise Synthetische Luft), erfolgt die Entnahme aus Druckbehältern mittels einer Gasnachfüllvorrichtung. Das Gemisch ist dabei den ganzen Prozess über in einem homogenen, gasförmigen Zustand und muss für die Entnahme nicht zusätzlich erwärmt werden.

■ 3. Leckagen und weitere Störungen im Betriebsablauf

Im laufenden Betrieb gasgefüllter Anlagen können verschiedene Störungen im Betriebsablauf in Form von Leckagen oder der Bildung von Zersetzungsprodukten nach Entladungen auftreten. Mögliche Störungen werden im Folgenden aufgelistet und ausführbare Lösungsvorschläge zur Behebung erläutert:

Gasisolierte Betriebsmittel, bei denen durch eine Leckage das Gasgemisch in gleichmäßiger Zusammensetzung entweicht und somit das Mischungsverhältnis im Gasraum unverändert bleibt, können nach Beheben der Leckage auf bereits erläuterten Wegen mit dem entsprechenden Alternativen Gasen wieder aufgefüllt werden (Guide 2). Ob die Qualität des Gasgemisches in den Betriebsmitteln nach der Leckage weiterhin den vorgegeben Anforderungen der Hersteller entspricht, sollte durch entsprechende Messgeräte überprüft werden (Guide 4).

5 Ein besonderes Augenmerk muss auf Leckagen in gasisolierten Betriebsmitteln mit C4-FN- und C5-FK-Mischungen gerichtet werden, da für die ordnungsgemäße Verwendung dieser Mischungen im Gasraum meistens ein genau definiertes Mischungsverhältnis vorgegeben ist. Das Gemisch selbst liegt homogenisiert vor aber abhängig von der Art der Leckage (Diffusion durch Dichtungsmaterial bis hin zu einer grundlegenden Undichtigkeit) kann eine ungleichmäßige Entweichung auftreten. Es können einzelne Komponenten des Gemisches schneller oder langsamer entweichen, so dass im Gasraum anschließend ein abweichendes Mischungsverhältnis vorliegt. Ebenso kann bei einer Leckage, bei der Feuchtigkeit und Luft in den Gasraum eindringen, der prozentuale Anteil an C4-FN und C5-FK reduziert werden, womit die volle Isolierfähigkeit des Gemisches nicht mehr garantiert werden kann. Ist es noch möglich die eingedrungene Feuchtigkeit, mit speziellen, für das verwendete Alternative Gas ausgelegten Filtersystemen, zu entfernen, können die mit der Luft eingedrungenen Sauerstoff und Stickstoff jedoch nicht beseitigt werden. Bei Abweichung der vom Hersteller vorgegebenen Konzentrationsgrenzen für die einzelnen Gaskomponenten sollte das Gasgemisch in den Betriebsmitteln nicht weiter verwendet werden und nach Rücksprache mit dem Hersteller ein vollständiger Austausch in Betracht gezogen werden.

Eingedrungene Feuchtigkeit, bei der Verwendung von Synthetischer Luft als Isoliergas, kann ebenfalls durch bestehende Filtersysteme für Alternative Gase entfernt werden. Da die Zusammensetzung der eingedrungenen Umgebungsluft ähnlich der Zusammensetzung der Synthetischen Luft ist, wird das Mischungsverhältnis in den Betriebsmitteln nicht entscheidend verändert. Ein Austausch des Gasgemisches wäre nicht erforderlich.

Im laufenden Betrieb einer gasisolierten Anlage mit Alternativen Gasen können Störungen im Betriebsablauf auftreten, bei denen, analog zu SF₆-gefüllten Anlagen, es zu Entladungen und damit zu einer Zersetzung des Gases kommen kann. Bei der Verwendung von Synthetischer Luft als Isoliergas können als Hauptzersetzungsprodukte nach Entladungen Stickoxide (NO_x) in geringen Konzentrationen auftreten, welche durch Filtersysteme entfernt werden können und anschließend keinen weiteren Einfluss auf das vorliegende Mischungsverhältnis oder die Isolationseigenschaften haben.²

Bei Gasmischungen mit C4-FN oder C5-FK sind die Zersetzungsprodukte vielfältiger und sowohl stark abhängig von der Art und Stärke der Entladung wie auch der vorhandenen Feuchtigkeit im Gasraum. C4-FN und C5-FK sind nach der Zersetzung durch Lichtbogenentladungen weitestgehend nicht rekombinierbar, während SF₆ sich wieder selbständig rekombinieren kann (wieder zu SF₆ zusammenfügt). Sind sie erst einmal zersetzt worden, sind sie anschließend im Gasraum nicht mehr in ihrer ursprünglichen chemischen Struktur vorhanden (Abbildung 4). Der Anteil an C4-FN/C5-FK in der Gasmischung ist erniedrigt und ab einer bestimmten Unterschreitung der Konzentration ist mit einer Änderung der Isolationseigenschaft zu rechnen.

Als Indikator für das Auftreten von Entladungen und das Vorhandensein von Zersetzungsprodukten in Mischungen mit C4-FN und C5-FK kann Kohlenstoffmonoxid (CO) betrachtet werden. CO ist ein farb- und geruchsloses Gas, welches unter anderem bei der unvollständigen Verbrennung von kohlenstoffhaltigen Stoffen entstehen kann. CO ist als toxisches Gas eingestuft und weist einen MAK-Wert von 30 µl/l auf.

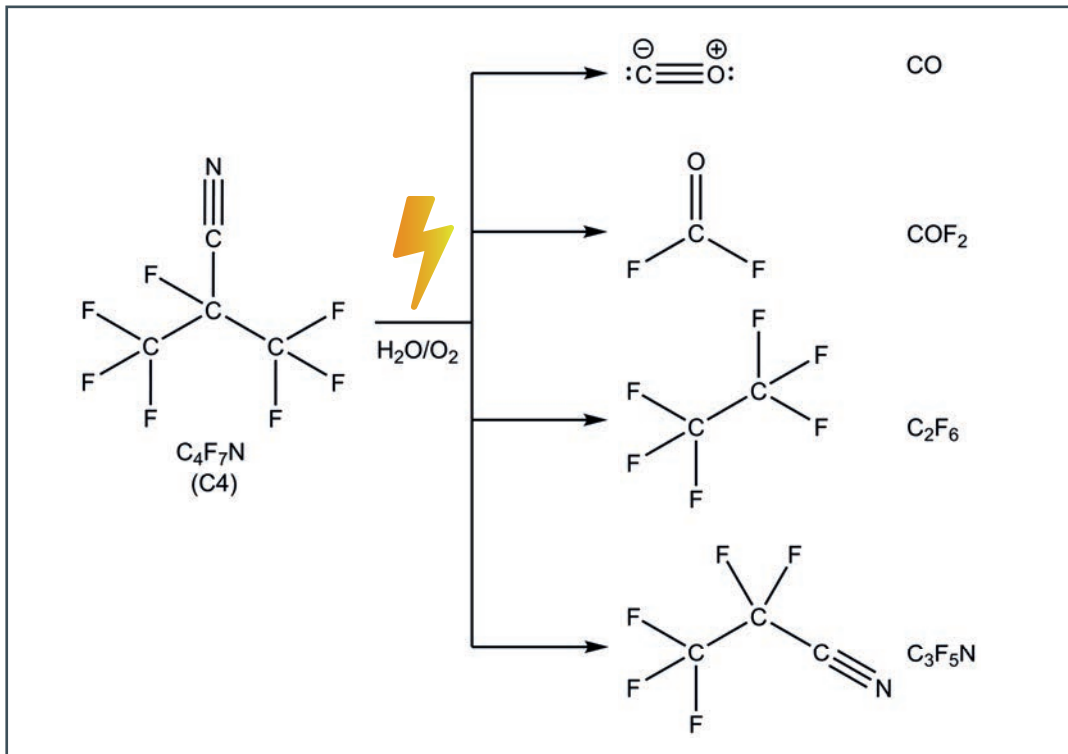


Abbildung 4: Schematische Darstellung über ausgewählte Zersetzungsprodukte von C4-FN in Anwesenheit von Feuchtigkeit und Sauerstoff bei einer Entladung.

Der Fokus in bestehenden Filtereinheiten für Alternative Gase liegt auf der Entfernung von ätzenden und toxischen Zersetzungsprodukten, welche die Gesundheit der Mitarbeiter und die Funktionsfähigkeit der Servicegeräte direkt beeinflussen können. Eine genaue Analyse über die entstehenden Zersetzungsprodukte in Abhängigkeit von Art und Stärke der Entladung kann in speziell ausgerüsteten Laboratorien gaschromatographisch durchgeführt werden. Eine weitergehende Auflistung an dieser Stelle wird aufgrund der vielfältig verwendeten Mischungsverhältnisse und unterschiedlichen Gase nicht gegeben.

Aufgrund des engen Konzentrationsbereiches für die Funktionsfähigkeit von Mischungen mit Alternativen Gasen in Betriebsmitteln ist die regelmäßige Kontrolle des Mischungsverhältnisses und dem Anteil an Feuchte und Zersetzungsprodukten somit noch relevanter als bei der Verwendung von SF_6 , um eventuelle Verunreinigungen und aufgetretene Entladungen rechtzeitig zu erkennen und zu beheben.

Das Absaugen Alternativer Gase mit unzureichender Gasqualität aus dem gasgefüllten Betriebsmittel kann mit einem Servicegerät, welches auch zum Befüllen verwendet wird, oder mit einem für das Mischgas entsprechendem Absauggerät (Abbildung 5) durchgeführt werden. Beide Geräte sind so konzipiert, dass das verschmutzte Gas unter hohem Druck, bis hin zur Teilverflüssigung, in externen Druckbehältern gespeichert werden kann. Das abgesaugte Gas kann anschließend extern aufbereitet oder entsorgt werden. Im Gegensatz zu SF₆, welches bis zu einem gewissen Reinheitsgrad durch Trocknung und Entfernung der Zersetzungsprodukte direkt vor Ort gereinigt und anschließend als „Gebrauchtes SF₆“ wieder verwendet werden kann,³ existieren für Alternative Gase noch keine einheitlichen Regeln und Normen für Grenzwerte der Wiederverwendung.



Abbildung 5: Mischgas-Absauggerät für Alternative Gase.

7

■ 4. Vertauschungssicherheit

In der Praxis findet die Handhabung von SF₆ und Alternativen Gasen momentan noch häufig parallel statt. Um eine Vertauschungssicherheit der Geräte und das Füllen eines falschen Gases oder Gasgemisches zu vermeiden, werden unterschiedliche Gewindegrößen an den Kupplungen verwendet. Während im SF₆-Bereich Kupplungen mit den Größen M26x1,5, M45x2 und M76x2 an Servicegeräten und Schläuchen in Benutzung sind, werden für Mischungen mit C4-FN und C5-FK Kupplungen der Größe M28x1,5, M48x2, M78x2 respektive M24x1,5, M43x2 und M74x2 verwendet (Tabelle 1). Die Verbindungen sind untereinander und zu SF₆ nicht kompatibel. Damit soll sichergestellt werden, dass die unterschiedlichen Gasmischungen nicht versehentlich mit in Komponenten verbleibenden Restgas in Kontakt kommen und eine ungewollte Vermischung/Verunreinigung die Folge ist.

Tabelle 1: Übersicht über die verwendeten Kupplungen der Größe DN8, DN20 und DN40 für SF₆ und Alternative Gase.

Größe	SF ₆	C4-FN	C5-FK
DN8	M26x1,5	M28x1,5	M24x1,5
DN20	M45x2	M48x2	M43x2
DN40	M76x2	M78x2	M74x2

In dem Zusammenhang wird auch empfohlen, bei der Verwendung von Alternativen Gasen nicht ohne gründliche Reinigung die gleichen Druckgefäße für die verschiedenen Alternative Gase sowie für SF₆ zu verwenden, da trotz des standardmäßigen Absaugens unter 1 mbar immer ein geringer Rest an Gas in den Druckgefäßen und -verbindungen verbleibt und somit eine Verunreinigung mit anderen Gasgemischen bzw. mit SF₆ nicht vermieden werden kann.

Für das Gashandling Alternativer Gase sind heutzutage schon speziell ausgelegte Servicegeräte im Einsatz. Diese finden Verwendung bei der Befüllung von gasisolierten Betriebsmitteln, dem Absaugen und der Reinigung vor Ort nach Leckagen und Entladungen. Ein Hauptunterschied in der Handhabung im Vergleich zu SF₆ ist die Befüllung von Gasräumen aus teilverflüssigten Gasgemischen. Technische Lösungen zur Verhinderung von versehentlichen Verunreinigungen durch das Benutzen des falschen Equipments sind heutzutage schon die Verwendung unterschiedlicher Gewindegrößen für die verschiedenen Alternativen Gase sowie SF₆.

Der abschließende, vierte Teil des Guides wird sich schwerpunktmäßig auf das Messen der Gasqualität und die unterschiedlichen Messparameter beziehen sowie die nachhaltige Aufbereitung und Wiederverwendung von Alternativen Gasen erläutern.

■ 5. Literaturverzeichnis

- (1) Cigré WG B3.45 „Application of non SF₆ gases or gas mixtures in medium voltage and high voltage GIS“.
- (2) Bernhard Lutz, Alternative Lösung Clean Air; DILO SF₆-Anwendenderkonferenz; Berlin, 2019.
- (3) Spezifikationen für die Wiederverwendung von Schwefelhexafluorid (SF₆) und seinen Mischungen in elektrischen Betriebsmitteln, 2020 (DIN EN IEC 60480 VDE 0373-2).




ONE VISION. ZERO EMISSIONS.



SF ₆ -GAS	ALTERNATIVE GASE	ANLAGEN FÜR INDUSTRIEGASE	HOCHDRUCK-PRODUKTE
DILO CERTIFIED GAS	PRODUKT-SERVICE	SCHULUNG & ZERTIFIZIERUNG	

 QUALITY. MADE IN GERMANY.

DILO
Armaturen und Anlagen GmbH
Frundsbergstrasse 36
D-87727 Babenhausen

 +49 (0) 83 33 3 02-302
 +49 (0) 83 33 3 02-302
 info@dilo-gmbh.com

www.dilo.com
   