



# PRÜFBERICHT

über die Prüfung eines nichtmetallischen Materials  
auf Reaktionsfähigkeit mit Sauerstoff

12200 Berlin  
T: +49 30 8104-0  
F: +49 30 8104-7 2222

<b>Aktenzeichen</b>	15019178 II
<b>Ausfertigung</b>	1. Ausfertigung von 2 Ausfertigungen
<b>Auftraggeber</b>	SGL Carbon GmbH Werner-von-Siemens-Straße 20 86405 Meitingen
<b>Auftrag vom</b>	23. März 2015
<b>Zeichen</b>	Best.-Nr.: 112-10-45827456
<b>Eingegangen am</b>	1. April 2015
<b>Prüfgegenstand / Untersuchungsmaterial</b>	Sigraflex® APX, unbekannte Charge; BAM Auftrags-Nr.: 2.1/52 578
<b>Eingegangen am</b>	2. April 2015
<b>Prüfzeitraum</b>	16. April bis 4. Dezember 2015
<b>Prüfort</b>	BAM - Arbeitsgebiet „Sicherer Umgang mit Sauerstoff“, Haus 41, Raum 079 und Raum 120
<b>Prüfung gemäß</b>	DIN EN 1797:2002-02 und ISO 21010:2014 „Cryogenic Vessels - Gas/Material Compatibility“ Anhang vom Merkblatt M034-1 (BGI 617-1) "Liste der nichtmetallischen Materialien", Berufsgenossenschaft Rohstoffe und chemische Industrie, Stand: März 2014; TRGS 407 Technische Regeln für Gefahrstoffe „Tätigkeiten mit Gasen - Gefährdungsbeurteilung“ Kapitel 3 „Informationsermittlung und Gefährdungsbeurteilung“ und Kapitel 4 „Schutzmaßnahmen bei Tätigkeiten mit Gasen“, Stand: Juni 2013
<b>Maximale Einsatzbedingungen aus sicherheitstechnischer Sicht</b>	Siehe Kapitel 4 „Zusammenfassung und Beurteilung“

Dieser Prüfbericht besteht aus Seite 1 bis 8 und den Anhängen 1 bis 5.

Dieser Prüfbericht darf nur in vollem Wortlaut und ohne Zusätze veröffentlicht werden. Für veränderte Wiedergabe und für Auszüge ist vorher die widerrufliche, schriftliche Einwilligung der BAM einzuholen. Der Inhalt des Prüfberichts bezieht sich ausschließlich auf die untersuchten Gegenstände/Materialien.

2015-05 / 2015-09-17

## 1 Unterlagen und Prüfmuster

Die Firma hat folgende Unterlagen und Prüfmuster eingereicht:

- 1 Prüfauftrag  
„Prüfung und sicherheitstechnische Beurteilung des nichtmetallischen Materials Sigraflex® APX, unbekannte Charge, für den Einsatz als Dichtungsmaterial in Armaturen und Flanschverbindungen für gasförmigen Sauerstoff bei Temperaturen bis 300 °C und bei Drücken bis 160 bar sowie für den Einsatz in flüssigem Sauerstoff“
- 1 Sicherheitsdatenblatt  
(5 Seiten, Version 1.0.1, Erstelldatum: 25. Juli 2014)
- 20 Ronden Sigraflex® APX, unbekannte Charge, Graphitbasis  
Außen-Ø: 140 mm; Dicke: 0.5 mm  
Farbe: Grau

## 2 Prüfverfahren

Für die sicherheitstechnische Beurteilung des nichtmetallischen Materials Sigraflex® APX, unbekannte Charge, für den Einsatz als Dichtungsmaterial in gasförmigem Sauerstoff, bei Temperaturen bis 300 °C und bei Drücken bis 160 bar wurden Druckstoßprüfungen bei 60 °C, 250 °C und 300 °C, eine Zündtemperaturbestimmung, eine Untersuchung des Alterungsverhaltens und eine Flanschprüfung durchgeführt.

Die sicherheitstechnische Eignung des Materials, für die Verwendung in flüssigem Sauerstoff, wurde durch Prüfung auf Reaktionsfähigkeit mit flüssigem Sauerstoff bei mechanischer Einwirkung untersucht.

### 3 Prüfergebnisse

#### 3.1 Verhalten bei Sauerstoffdruckstößen

Das Prüfverfahren ist in Anlage 1 beschrieben.

Ergebnisse:

Proben- temperatur $t_a$ [°C]	Sauerstoff- anfangsdruck $p_a$ [bar]	Sauerstoff- enddruck $p_e$ [bar]	Verhalten beim Druckstoß
60	1	150	keine Reaktion *
60	1	180	keine Reaktion *
60	1	250	keine Reaktion *
60	1	300	Entzündung beim 1. Druckstoß
60	1	290	Entzündung beim 4. Druckstoß
60	1	280	keine Reaktion *
60	1	280	keine Reaktion *
250	1	280	keine Reaktion *
250	1	280	keine Reaktion *
300	1	280	keine Reaktion *
300	1	280	keine Reaktion *

\* bei fünf Druckstößen

Bei zwei Versuchsreihen mit je fünf Versuchen und einem Sauerstoffanfangsdruck  $p_a = 1$  bar wurde keine Entzündung der Probe bei Sauerstoffenddrücken von 280 bar und bei Temperaturen von 60 °C, 250 °C und 300 °C festgestellt.

### 3.2 Zündtemperatur

Auf Grund des angegebenen maximalen Betriebsdrucks, wurde die Bestimmung der Zündtemperatur, bei einem Sauerstoffenddruck von etwa 160 bar durchgeführt. Das Prüfverfahren ist im Anhang 2 beschrieben.

Ergebnis:

Versuch Nr.	Sauerstoffanfangsdruck $p_a$ [bar]	Sauerstoffenddruck $p_e$ [bar]	Zündtemperatur [°C]
1	62	165	> 500
2	62	165	> 500
3	62	165	> 500
4	62	165	> 500
5	62	164	> 500

Bei fünf Versuchen mit einem Sauerstoffanfangsdruck  $p_a = 62$  bar wurde bis 500 °C keine Entzündung der Probe festgestellt. Der zugehörige Sauerstoffenddruck  $p_e$  beträgt etwa 165 bar. Die Bestimmung der Zündtemperatur in Sauerstoff kann nur bis 500 °C durchgeführt werden, da dies die maximale Betriebstemperatur der Prüfanlage ist.

### 3.3 Verhalten bei künstlicher Alterung

Das Verhalten bei künstlicher Alterung wird beim maximalen Betriebsdruck sowie bei erhöhter Temperatur, in der Regel 25 °C oberhalb der vorgesehenen Betriebstemperatur, untersucht. In diesem Fall wurde die Prüfung daher bei 325 °C und 160 bar durchgeführt. Das Prüfverfahren ist im Anhang 3 beschrieben.

Ergebnis:

Zeit [h]	Temperatur [°C]	Sauerstoffdruck [bar]	Massenänderung [%]
100	325	160	-1,2

Nach der Alterung des Probenmaterials bei 325 °C und 160 bar Sauerstoffdruck war die Probe augenscheinlich unverändert. Die Probenmasse nahm um 1,2 % ab.

### 3.3.1 Zündtemperatur nach Alterung

Die Bestimmung der Zündtemperatur des gealterten Materials, wurde bei gleichen Prüfbedingungen wie in Kapitel 3.2 durchgeführt. Das Prüfverfahren ist im Anhang 2 beschrieben.

Ergebnis:

Versuch Nr.	Sauerstoffanfangsdruck $p_a$ [bar]	Sauerstoffenddruck $p_e$ [bar]	Zündtemperatur [°C]
1	62	166	> 500
2	62	164	> 500
3	62	166	> 500
4	62	165	> 500
5	62	161	> 500

Bei fünf Versuchen mit einem Sauerstoffanfangsdruck  $p_a = 62$  bar wurde bis 500 °C keine Entzündung der gealterten Probe festgestellt. Der zugehörige Sauerstoffenddruck  $p_e$  beträgt etwa 164 bar. Dies zeigt, dass die gealterte Probe, wie die nicht gealterte Probe, bis 500 °C keine Entzündung aufweist. Die Bestimmung der Zündtemperatur in Sauerstoff kann nur bis 500 °C durchgeführt werden, da dies die maximale Betriebstemperatur der Prüfanlage ist.

### 3.4 Flanschprüfung

Auf Grund der angegebenen maximalen Betriebsbedingungen wurde die Flanschprüfung bei einem Sauerstoffenddruck von 160 bar und bei einer Temperatur von 300 °C durchgeführt. Das Prüfverfahren ist im Anhang 4 beschrieben.

Ergebnis:

Versuch Nr.	Sauerstoffdruck [bar]	Temperatur [°C]	Bemerkungen
1	160	300	Dichtung brennt nur innerhalb der lichten Weite des Flansches, die Verbindung bleibt gasdicht
2	160	300	Verhalten wie bei Versuch Nr. 1
3	160	300	Verhalten wie bei Versuch Nr. 1
4	160	300	Verhalten wie bei Versuch Nr. 1
5	160	300	Verhalten wie bei Versuch Nr. 1

Bei fünf Versuchen mit einem Sauerstoffdruck von 160 bar und einer Temperatur von 300 °C verbrennen nur die ins Rohrinne hineinragenden Teile des Flanschdichtungsmaterials innerhalb der lichten Weite des Flansches. Der Brand wird weder auf den Stahl übertragen, noch brennt die Dichtung zwischen den Flanschen. Die Flanschverbindung bleibt gasdicht.

### 3.5 Reaktionsfähigkeit mit flüssigem Sauerstoff bei Schlagbeanspruchung

Falls bei einer Fallhöhe von 0,17 m (Schlagenergie 125 Nm) oder weniger Reaktionen mit dem flüssigen Sauerstoff beobachtet werden, gilt ein nichtmetallisches Material grundsätzlich als ungeeignet für den Einsatz in flüssigem Sauerstoff. Das Prüfverfahren ist im Anhang 5 beschrieben.

Ergebnis:

Versuch Nr.	Fallhöhe [m]	Schlagenergie [Nm]	Reaktionen
1	1,00	750	keine
2	1,00	750	keine
3	1,00	750	keine
4	1,00	750	heftig
5	0,83	625	keine
6	0,83	625	keine
7	0,83	625	keine
8	0,83	625	heftig
9	0,67	500	keine
10	0,67	500	keine
11	0,67	500	keine
12	0,67	500	keine
13	0,67	500	keine
14	0,67	500	keine
15	0,67	500	keine
16	0,67	500	keine
17	0,67	500	keine
18	0,67	500	keine

Bei 0,67 m Fallhöhe des Hammers (Schlagenergie 500 Nm) konnten bei zehn Einzelversuchen weder Explosionen, noch sonstige Reaktionen des nichtmetallischen Materials mit dem flüssigen Sauerstoff beobachtet werden.

## 4 Zusammenfassung und Beurteilung

Bei fünf Versuchen mit einem Sauerstoffanfangsdruck  $p_a = 62$  bar wurde bis 500 °C keine Entzündung von Sigraflex® APX, unbekannte Charge, festgestellt. Der zugehörige Sauerstoffenddruck  $p_e$  beträgt 165 bar. Die Bestimmung der Zündtemperatur in Sauerstoff kann nur bis 500 °C durchgeführt werden, da dies die maximale Betriebstemperatur der Prüfanlage ist.

Bei einer Temperatur von 325 °C und einem Sauerstoffdruck von 160 bar erwies sich das Material als ausreichend alterungsbeständig. Die Probenmasse nahm um 1,2 % ab.

Bei fünf Versuchen mit einem Sauerstoffanfangedruck  $p_a = 62$  bar wurde bis 500 °C keine Entzündung des gealterten Materials festgestellt. Der zugehörige Sauerstoffenddruck  $p_e$  beträgt 164 bar. Dies zeigt, dass die gealterte Probe, wie auch die nicht gealterte Probe, bis 500 °C keine Entzündung aufweist.

Grundsätzlich wird bei der sicherheitstechnischen Beurteilung nichtmetallischer Materialien für den Einsatz in Sauerstoff eine Sicherheitsspanne von 100 °C zwischen der maximalen Betriebstemperatur und der Zündtemperatur berücksichtigt. Da die maximale Betriebstemperatur 300 °C beträgt, erfüllt das nichtmetallische Material Sigraflex® APX, unbekannte Charge, dieses Kriterium.

Gemäß der DIN EN 1797:2002-02 „Kryo-Behälter - Verträglichkeit von Gas/Werkstoffen“ und der ISO 21010:2014 „Cryogenic Vessels - Gas/Material Compatibility“ ist das Kriterium für eine eindeutige Reaktion des Probenmaterials mit Sauerstoff, bei Einwirkung eines Druckstoßes ein Temperaturanstieg von mindestens 20 °C.

Unter Berücksichtigung dieses Kriteriums und der Prüfergebnisse bestehen in sicherheitstechnischer Hinsicht keine Bedenken gegen eine Verwendung von Sigraflex® APX, unbekannte Charge, als Dichtungsmaterial in gasförmigem Sauerstoff bei folgenden Betriebsbedingungen:

maximale Temperatur [°C]	maximaler Sauerstoffdruck [bar]
60	280
> 60 bis 300	160

Zusätzlich und unter Berücksichtigung der Ergebnisse der Flanschprüfung, bestehen in sicherheitstechnischer Hinsicht keine Bedenken gegen eine Verwendung von Sigraflex® APX, unbekannte Charge, als Flanschdichtungsmaterial zum Abdichten von Flanschverbindungen aus Kupfer, Kupferlegierungen oder Stahl für gasförmigen Sauerstoff bei folgenden Betriebsbedingungen:

maximale Temperatur [°C]	maximaler Sauerstoffdruck [bar]
300	160

Dies gilt für Flansche mit glatter Dichtleiste und auch für Flansche mit Vor- und Rücksprung oder mit Nut und Feder.

Entsprechend der Prüfergebnisse und dem BAM-Standard „Prüfung auf Reaktionsfähigkeit mit flüssigem Sauerstoff bei Schlagbeanspruchung“, beschrieben im Anhang 5, bestehen in sicherheitstechnischer Hinsicht auch keine Bedenken gegen eine Verwendung von Sigraflex® APX, unbekannte Charge, in flüssigem Sauerstoff. Da ein auf den flüssigen Sauerstoff ausgeübter Druck keine wesentliche Konzentrationsänderung bewirkt, also auch keinen merklichen Einfluss auf die Reaktionsfähigkeit des Materials hat, ist eine Begrenzung auf einen bestimmten Druckbereich nicht erforderlich.

## 5 Hinweise

Der Inhalt des Prüfberichtes bezieht sich ausschließlich auf die untersuchte Charge des nichtmetallischen Materials Sigraflex® APX.

Falls bei einem in den Handel gebrachten Produkt der Hinweis auf eine BAM-Prüfung erfolgt, muss ersichtlich sein, dass nur die Probe einer Charge auf Eignung für den Einsatz in Sauerstoff durch die BAM geprüft und sicherheitstechnisch beurteilt worden ist. Der Hinweis darf keine Vermutungswirkung erzeugen, dass es sich hierbei um eine Zertifizierung handelt, die zum Beispiel eine regelmäßige Überwachung der Produktion beinhaltet.

Es muss eindeutig erkennbar sein, dass das Produkt für den genannten Verwendungszweck nur in gasförmigem und flüssigem Sauerstoff einsetzbar ist. Maximal zulässiger Sauerstoffdruck, maximale Betriebstemperatur, sowie eventuell andere Einschränkungen beim Gebrauch, müssen deutlich angegeben sein.

### **Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung (BAM)**

12200 Berlin

7. Januar 2016

Fachbereich 2.1 „Gase, Gasanlagen“

Im Auftrag



---

Dr. Thomas Kasch

Verteiler:	1. Ausfertigung:	SGL Carbon GmbH
	2. Ausfertigung:	BAM - Fachbereich 2.1 „Gase, Gasanlagen“