



# PRÜFBERICHT

Antragsteller: Firma  
DENSO-CHEMIE GmbH  
5090 Leverkusen 1

Betrifft: FERMADUR-C-Kompressionsdichtung

Datum: 08.02.1988

Auftrag: III.3 - 59 802

Textseiten: 8

Beilagen: 3



7000 STUTTGART 80 (VAHINGEN)  
Pfaifenwaldring 4  
Fernsprecher (07 11) 2094 -1 685/3361

Firma  
DENSO-CHEMIE GmbH  
Postfach 150 120  
5090 Leverkusen 1

08. Februar 1988

Unser Zeichen: III.3 - 59 802/H/K1

Betrifft : FERMADUR-C-Kompressionsdichtung  
hier : Untersuchungen zum Gebrauchsverhalten  
durch Medieneinflüsse bei Einhaltung der  
Beanspruchungsbedingungen nach den  
BFR 9051-FvF, Teil OSS des BMVtg

#### 1. Allgemeines

Die technischen Material- und Anwendungsbeschreibungen weisen die FERMADUR-C-Kompressionsdichtung als einen Dichtstrang aus Polychloropren-Kautschuk (CR) zelliger Struktur mit kreisförmigem Querschnitt aus. Stoff- und anwendungsspezifisch handelt es sich um ein Material nach den Anforderungen gemäß DIN 4060 - T 01 (Dichtringe aus Elastomeren für Rohrverbindungen), von denen aus die Grundlage für eine Verwendung derartiger Materialien in Verkehrsflächen aus Beton gegeben ist. Im vorliegenden Falle war antragsgemäß über diesen grundsätzlichen Anforderungsrahmen hinaus das FERMADUR-C-Dichtungsmaterial den speziellen Beanspruchungskriterien der "Vorläufigen baufachlichen Richtlinien für Flugzeugverkehrsflächen der Bundeswehr", Teil "Oberflächenschutzschichten" des Bundesministeriums für Verteidigung - gekürzt mit

- BFR 9051 - FvF, Teil OSS des BMVtg -

bezeichnet, zu unterziehen. Darüberhinaus sind auch Prüfungen mit Beanspruchungen vorgenommen worden, denen Verkehrsflächen allgemein unterliegen können.

Nach mehreren telefonischen und brieflichen Kontakten im März 1987 fanden Besprechungen zur Durchführung der beantragten

Untersuchungen am 13.04., 27.07. und 17.12.1987 statt. Probestück des Originalmaterials FERMADUR-C und Lagerungsmedien übergaben Sie uns am 27.07.1987, fertige Prüflinge aus FERMADUR-Material zur Bestimmung der Reißfestigkeit und Reißdehnung gingen uns am 27.11.1987 zu. Der vorliegende Bericht befaßt sich mit der Dokumentierung der angewendeten Prüfverfahren und -konditionierungen, der Zusammenstellung der Prüfergebnisse und einer Auswertung derselben.

## 2. Untersuchungsprogramm

Die Funktionsfähigkeit einer Kompressionsdichtung als Fugenverschluß und Fugendichtung von Verkehrsflächen aus Beton steht und fällt mit der dauerhaften Erhaltung der durch die Komprimierung des Wirkungsquerschnittes der Dichtung erreichten Anpressung an die Fugenflanken und deren möglichst gleichmäßiger Verteilung. Für Elastomere zelliger Struktur, wie das hier vorliegende Material FERMADUR-C, sind zur Bestimmung des Kompressionsverhaltens in DIN 4060 - T 01 Prüfverfahren festgelegt, aus denen u.a. folgende für die hier vorgenommenen Untersuchungen herangezogen worden sind:

- 2.1. Bestimmung der Rückstellkraft  $F_R$  bei 40 % Verformung (DIN 4060 - T 01, Ziffer 4.3.2.2, ohne relaxation),
- 2.2. Bestimmung des Druck-Verformungsrestes DV (DIN 4060 - T 01, Ziffer 4.6.3),
- 2.3. Bestimmung der Reißfestigkeit und der Reißdehnung (DIN 4060 - T 01, Ziffer 4.6.2).

Die über diese Prüfverfahren bestimmbaren Kompressionseigenschaften des Dichtmaterials wurden hinsichtlich ihrer Beeinflußbarkeit durch schädigende äußere Einflüsse (ungünstige Umgebungstemperaturen, Lagerstoffe wie Treibstoff Hydraulikflüssigkeiten, Enteisungsmittel) und entsprechende Belastungszeiten wie folgt erfaßt:

- 2.4. Lagerungen bei 40 % Verformung (DIN 4060 - T 01, 4.3.2)  
- Nenndurchmesser  $b_0 = 12 \text{ mm} \cdot / \cdot 7,2 \text{ mm} = b_e$  Endmaß -

- 2.4.1. 14 Tage bei 23°C
- 2.4.2. 24 Stunden bei 23°C in Enteisungsmittel "Kilfrost", kopfgetaucht
- 2.4.3. 24 Stunden bei 23°C in Enteisungsmittel "UREA", 10%ige wässrige Lösung, kopfgetaucht
- 2.4.4. 1 Stunde bei 49°C in Treibstoff ("Reference-Fuel-B" nach ASTM - D 471, Tab. 2 - Isooctan/Toluol = 70/30), kopfgetaucht
- 2.4.5. 1 Stunde bei 49°C in Hydraulikflüssigkeit "Skydrol 500 B - 4", kopfgetaucht
- 2.4.6. 15 Minuten bei 100°C-Wärmebestrahlung (Simulation von Triebwerksstrahlhitze)
- 2.4.7. 24 Stunden bei 70°C Wärmelagerung.

Nach den genannten Konditionierungen sind die Prüflinge den Prüfungen nach Pkt. 2.1 (Rückstellkraft  $F_R$ ) und Pkt. 2.2 (Druck-Verformungsrest DV) unterzogen worden.

#### 2.5. Lagerungen ohne Vorverformung (ebene Prüflinge)

Sämtliche Lagerungen nach Pkt. 2.4.2 bis 2.4.6, allerdings bei Volleintauchung in den flüssigen Medien, sind zusätzlich an ebenen Prüflingen für die Untersuchungen nach Pkt. 2.3 (Reißfestigkeit und Reißdehnung) durchgeführt worden.

Die Ergebnisse aller Untersuchungen an den konditionierten Prüflingen nach Pkt. 2.4 und Pkt. 2.5 sind mit denen an ungelagerten bei der Prüfung nach den Pkten 2.1, 2.2 und 2.3 verglichen worden.

Den Lagerungsbeanspruchungen nach Pkt. 2.4.2 und 2.4.3 (Enteisungsmittel), Pkt. 2.4.4 (Treibstoff) und Pkt. 2.4.6 (Triebwerksstrahlhitze) liegen die zeitlichen Belastungsgrößen der "Vorläufigen baufachlichen Richtlinien für Flugzeugverkehrsflächen der Bundeswehr", Teil "Oberflächenschutzschichten" (BFR 9051 - FVF, Teil OSS - BMVtg zu Grunde, die wie folgt einzuhalten sind:

- 2.5.1. für Enteisungsmittel: 24 Stunden  
2.5.2. für Treibstoffe : 1 Stunde  
2.5.3. für Triebwerkstrahlhitze 100°C: 0,25 Stunden (15 Minuten)

In Absprache mit dem BMVtg haben Sie vereinbart, daß diese festgelegten zeitlichen Belastungsgrößen für die vorliegenden Untersuchungen als verbindlich gültig bleiben, auch wenn die Endfassung der baufachlichen Richtlinien zwischenzeitlich anderslautende Angaben ausweisen würde...

### 3. Untersuchungsergebnisse

Die Ergebnisse der vorgenommenen Untersuchungen sind tabellarisch in den Beilagen 1 bis 3 wie folgt zusammengestellt:

#### 3.1. Beilage 1

Bestimmung der Rückstellkraft  $F_R$  ohne und mit Konditionierung der Prüflinge nach Pkt. 2.4.1 bis 2.4.7.

#### 3.2. Beilage 2

Bestimmung des Druck-Verformungsrestes DV mit Normkonditionierung nach Pkt. 2.4.7 und Konditionierungen nach Pkt. 2.4.1 bis 2.4.6.

#### 3.3. Beilage 3

Bestimmung der Reißfestigkeit  $\sigma_R$  und der Reißdehnung  $\epsilon_R$  ohne und mit Konditionierungen nach Pkt. 2.5.

### 4. Auswertung der Untersuchungsergebnisse

#### 4.1. Rückstellkraft $F_R$ (siehe Beilage 1)

Unter den angesetzten Prüfrandbedingungen ist an dem FERMADUR-C-Dichtstrangmaterial mit dem vorliegenden Nenn-durchmesser von 12 mm bei 40 % Verformung, bezogen auf dieses Nennmaß, eine Rückstellkraft  $F_{R0} = 1318$  N im Mittel an dem genormten Längenabschnitt von 250 mm gemessen worden. Nach Konditionierung unter den 7 verschiedenen angesetzten Medieneinflüssen hat sich ergeben, daß die Rückstellkraft maximal bis zu 25 % gemindert werden kann. Dieser Maximalverlust an Rückstellvermögen stellte sich

unter Wärmelagerungseinfluß ein (24 Stunden, 70°C). Ein ähnlich hoher Rückgang an Rückstellkraft von ca. 20 % kann unter der Treibstofflagerung (Test-Fuel "B" nach ASTM über 1 Stunde bei 49°C) zustande. Praktisch ohne Einfluß auf das Rückstellvermögen blieb die Lagerung im Enteisungsmittel "Kilfrost", die Beanspruchung auf Triebwerkstrahl und die Lagerung in dem Hydrauliköl SKYDROL. Eine rund 10-prozentige Minderung der Rückstellkraft trat nach der Lagerung in dem Enteisungsmittel UREA (10-prozentige wässrige Lösung) und unter Relaxationsbeanspruchung über 14 Tage ein.

#### 4.2. Druck-Verformungsrest DV (siehe Beilage 2)

Die festgestellten Prüfwerte für die verbleibende Zusammenrückung unter den angesetzten verschiedenen Konditionierungen weisen aus, daß die Normkonditionierung nach DIN 4060 T 01 (24 Stunden/70°C) gegenüber den anderen Beanspruchungen an dem FERMADUR-C-Dichtstrangmaterial die höchste bleibende Verformung erzeugt. Keine bleibende Verformung trat ein bei der Lagerung in dem Enteisungsmittel "Kilfrost" und praktisch keine unter Triebwerkstrahlbeanspruchung, sowie nach Lagerung in dem Hydrauliköl "SKYDROL".

Unter Relaxationseinfluß über 14 Tage ergab sich ein Druckverformungsrest von rund 13 %. Die Lagerung in Enteisungsmittel UREA hinterließ einen Verformungsrest von knapp 8 %. Die Treibstofflagerung erzeugte offenbar eine leichte Anquellung des Materials, indem die Ausgangsmeßdicke um knapp 5 % zunahm.

#### 4.3. Reißfestigkeit $\sigma_R$ und Reißdehnung $\epsilon_R$ (Beilage 3)

Diese Untersuchung ist, wie bereits in Pkt. 2.5 und in Beilage 3 ausgewiesen, an ebenen 2,65 mm dicken Prüflingen vorgenommen worden. An diesen Prüflingen sind die Lagerungen in den flüssigen Medien, wie in Pkt. 2.5 ausgeführt, ohne jegliche Vorspannung und vollständig eingetaucht durchgeführt worden.

Die gefundenen Prüfergebnisse zeigen, daß die Konditionierungen in den Enteisungsmitteln "Kilfrost" und "UREA" und die Triebwerkstrahlbeanspruchung ohne Einfluß auf das Zugfestigkeits- und Dehnungsverhalten sind. Die Lagerung in Treibstoff (Test-Fuel "B") und in dem Hydrauliköl SKYDROL schlugen mit Verlusten im Zugfestigkeits- und Dehnverhalten zwischen 30 und 40 % zu Buche.

Im Vergleich zu den Prüfergebnissen bei Druckbeanspruchung (Rückstellkraft und Rückstellvermögen) fällt auf, daß das Enteisungsmittel "UREA" ohne Lagerungswirkung bleibt, hingegen die Lagerung in dem Hydrauliköl SKYDROL deutlich hervortritt.

Vergleichbar ist die Wirkung der Testtreibstofflagerung.

Die Prüfung unter Wärmelagerungseinfluß war nicht Gegenstand des Prüfumfanges.

#### 5. Beurteilungen

Die im Rahmen der vorliegenden Untersuchungen ermittelten Prüfergebnisse weisen aus, daß das Dichtstrangmaterial FERMADUR-C mit zelliger Struktur eine reichliche Rückstellkraft besitzt und unter normgemäßer Wärmebelastung eine vorschriftsmäßige Rückverformung nach DIN 4060 - T 01 vorweist. Seine Reißfestigkeit erfüllt die Anforderung nach DIN 4060 - T 01, seine Dehnbarkeit liegt mit rund 250 % unter der Anforderung dieser Norm ( $\geq 350$  %), was jedoch im Rahmen dieser Untersuchungen nicht von Bedeutung ist.

Unter den Beanspruchungen der "Vorläufigen baufachlichen Richtlinien für Flugzeugverkehrsflächen der Bundeswehr", die gemäß Ihrer Absprache mit dem Bundesministerium für Verteidigung für diese Untersuchung auch nach der Endfassung der Richtlinie gültig bleiben (vgl. Pkt. 2.6.1 bis 2.6.3), hat das Prüfmaterial FERMADUR-C unterschiedlich reagiert. Die Lagerungsbeanspruchungen in Enteisungsmitteln sind von geringem bzw. ohne Einfluß auf sein Kompressions- und Zugfestigkeitsverhalten, insbesondere wenn man berücksichtigt,

daß das Enteisungsmittel UREA vergleichsweise hochkonzentriert angesetzt war. In gleicher Weise blieb die simulierte Triebwerkstrahlbelastung ohne Wirkung. Meßbare Einbußen an Rückstellkraft, Druckverformungsrest (Aufquellung), Zugfestigkeit und Dehnbarkeit traten unter der Beanspruchung mit Treibstoff ein (hier: Test-Fuel "B" nach ASTM, 1 Stunde bei 49°C). Diese sind jedoch vom hohen Niveau der Rückstellkraft und der Reißfestigkeit aus gesehen hinsichtlich des Gebrauchsverhaltens für eine Fugenkompressionsdichtung nicht von ausschlaggebender Bedeutung.

Über die zeitlichen und stofflichen Beanspruchungen nach den baufachlichen Richtlinien der Bundeswehr hinaus sind die Beanspruchungen auf Relaxation über 14 Tage, Wärmelagerung bei 70°C/24 Stunden und Hydrauliköl (SKYDROL = 49°C/1 Stunde) in Ergänzung dazu mit folgenden Ergebnissen beschreibbar:

- Die Relaxationsbeanspruchung über 14 Tage ergab eine so geringe Abnahme, daß von einem hohen Dauerkompressionsverhalten des FERMADUR-C Dichtstranges ausgegangen werden kann.
- Die Wirkung von Hydrauliköl hängt offensichtlich entscheidend von der Zugänglichkeit zum Material ab. Im komprimierten Zustand, in dem nur eine Kopfbenetzung stattfinden kann, entstehen keine Eigenschaftsbeeinflussungen auf das Material. Findet jedoch Volltauchung statt, wie an den ebenen Prüflingen für die Reißfestigkeitsuntersuchungen so sind Eigenschaftsveränderungen möglich.
- Die in den Meßwerten deutlichste Beanspruchung war nach der Wärmelagerung feststellbar. Die zur Bestimmung des Druck-Verformungsrestes DV in DIN 4060 - T 01 vorgeschriebene Konditionierung ergab einen Verlust an Rückstellkraft von 25 % und einen Druck-Verformungsrest DV = 20,3 %. Beide Ergebnisse bestätigen jedoch die Funktionsfähigkeit des elastomeren, zelligen Dichtstrangmaterials FERMADUR-C zumindest nach den Anforderungen in DIN 4060 - T 01; indem der Druck-Verformungsrest mit 20 % (prüf-

toleranzbereinigt) normgerecht ist und der Rückgang der Rückstellkraft unter Wärmebeanspruchung deutlich unter den zulässigen nach Relaxation bleibt.

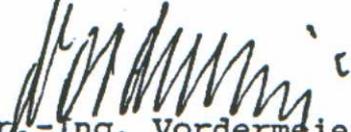
Der Bearbeiter



(Dipl.-Ing. Huth)



Der Abteilungsleiter



(Dr.-Ing. Vordermeier)

Tabelle 1 Bestimmung der Rückstellkraft  $F_R$  [N]

- vgl. Pkt. 2.1 -
- Prüflinge Längenabschnitt  $b_o = 250$  mm  
 Nenndurchmesser  $b_o = 12$  mm  
 Zusammengepreßt  $b_E = 7,2$  mm  
 $\hat{=} 40$  % auf  $b_o$
- $F_R$  gemessen 15 Minuten nach der Verformung,  
 Einleitung der Druckkraft innerhalb 30 Sekunde
- jeweils 4 Prüflinge
- Konditionierungen nach Pkt. 2.4.1 bis 2.4.7

	Rückstellkraft $F_R$	
	[N]	Veränderung bez. auf $F_{Ro}$ (%)
1. Lieferbeschaffenheit, $F_{Ro}$	1318	-
2. Beschaffenheit nach 14 Tagen bei 23°C-vgl. Pkt. 2.4.1 -	1211	91,9
3. Beschaffenheit nach 24 Stden. b. 23°C in "Kilfrosth" - vgl. Pkt. 2.4.2 -	1299	98,6
4. Beschaffenheit nach 24 Stden. b. 23°C in "UREA" - vgl. Pkt. 2.4.3 -	1193	90,5
5. Beschaffenheit nach 1 Stde. b. 49°C in "Fuel B" - vgl. Pkt. 2.4.4 -	1066	80,9
6. Beschaffenheit nach 1 Stde. b. 49°C in "SKYDROL" - vgl. Pkt. 2.4.5 -	1355	102,8
7. Beschaffenheit nach 15 Min. b. 100°C (Triebwerkstrahl) - vgl. Pkt. 2.4.6 -	1290	97,9
8. Beschaffenheit nach 24 Stden. b. 70°C (Wärmelagerung) - vgl. Pkt. 2.4.7 -	992	75,3

