

Gutachten Nr. 2935a/08/08

vom 10.11.2008



Sachverständiger für Korrosionsschutz

Prüfung der GFK-Umhüllung
“Kebudur-GFK-System”
für Dauerbetriebs-
temperatur 80°C
Abschlußbericht

Auftraggeber: Kebulin-Gesellschaft Kettler GmbH & Co. KG
Ostring 9
45701 Herten

Auftrag: Schreiben 06.06.08

Dieser Gutachten enthält:

1 Deckblatt
22 Seiten Text, davon
19 Tabellen

1 Einleitung

Die Firma Kebulin-Gesellschaft Kettler GmbH & Co. KG beauftragte mich mit der Prüfung einer glasfaserverstärkten Kunststoff (GFK) - Umhüllung **“Kebudur-GFK-System”** zur Umhüllung von Stahlrohren, Stahlformteilen und Schweißnahtverbindungen für eine Dauerbetriebstemperatur von 80°C

Die Prüfungen wurden gemäß der der ISO/DIS 21809-3 (Entwurf Dezember 2007) durchgeführt. Ergänzend wurde die Prüfung der Biegebarkeit in Anlehnung an die DIN EN 10290 und des Scherwiderstandes auf PE-Werksumhüllung nach dem DVGW Arbeitsblatt GW 340 aufgenommen.

Das “Kebudur-GFK-System” besteht aus:

- gewickelte Lagen Polyestervlies und Roving-Geweben und Vinyl-esterharz als Bindemittel

Für die Prüfung wurden mir folgende Prüfkörper zur Verfügung gestellt:

- GFK umhüllte Stahlrohre DN 100, DN 150
- GFK / PE umhüllte Stahlrohre DN 100
- GFK / PP umhüllte Stahlrohre DN 100
- GFK Platten (50 • 50) mm
- GFK umhüllte Flachstahlproben (300 • 50 • 5,6) mm

2 Prüfung

In den Tabellen 1 und 4 sind die Prüfbedingungen und Anforderungen in Kurzfassung angegeben und die Prüfergebnisse in der Spalte “Ist-Werte” gegenübergestellt. Die zugehörigen Einzelwerte finden sich in den Tabellen 5 bis 19.

3 Ergebnis

Die geprüfte GFK-Umhüllung "Kebudur-GFK-System" entspricht im Wesentlichen den Anforderungen der ISO/DIS 21809-3. Außerdem entspricht die Scherfestigkeit der Anforderung des DVGW Arbeitsblatt GW 340.

Abweichungen finden sich bei der Prüfung der Haftfestigkeit auf Stahl und auf PE- und PP-Werksumhüllungen. Die ermittelten Werte liegen dabei zum Teil deutlich unterhalb der gestellten Anforderungen.

Da das Niveau der Haftwerte durch die Heißwasserlagerung nicht wesentlich verändert, kann dies als Indiz für eine dauerhafte Umhüllung betrachtet werden.

Korrosionstechnik Heim



Dipl. Ing. Th. Heim



4 Normative Verweise

DIN EN 10290	Stahlrohre und -formstücke für On- und Offshore-verlegte Rohrleitungen - Umhüllungen (Außenbeschichtungen) mit Polyurethan und polyurethan-modifizierten Materialien
DIN EN ISO 868	Kunststoffe und Hartgummi - Bestimmung der Eindruckhärte mit einem Durometer (Shore-Härte)
DIN EN ISO 4624	Anstrichstoffe Abreißversuch zur Beurteilung der Haftfestigkeit (ISO 4624: 2002) Deutsche Fassung EN ISO 4624: 2003
pr ISO/DIS 21809-3	Erdöl- und Erdgasindustrie -Umhüllungen für erd- und wasserverlegte Rohrleitungen in Transportsystemen - Teil 3: Umhüllungen für Schweißverbindungen
DVGW Arbeitsblatt 340	FZM-Ummantelung zum mechanischen Schutz von Stahlrohren und -formstücken mit Polyolefinumhüllungen

Tabelle 1

"Kebudur-GFK-System"				
Prüfungen	Prüfmethode	Prüfbedingung	Anforderungen	Ist-Wert
Trockenschichtdicke	ISO 21809-3 Anhang A	zerstörungsfreie Prüfung, je Teil 12 Messungen	≥ 3,7 mm	(6,5 ± 0,3)mm
				(6,4 ± 0,2)mm
Porenprüfung	ISO 21809-3 Anhang B	5kV / µm; max 25kV	porenfrei	porenfrei
				(23 ± 2)°C
Schlagbeständigkeit	ISO 21809-3 Anhang G	Kugeldurchmesser: 25 mm; Fallhöhe: 1m Mindestabstand zwischen den Auftreffpunkten: 50 mm; Schläge: jeweils 10; Porenprüfung ISO 21809-3, Anhang B	≥ 5 J • mm Schichtdicke	10 J/mm
				(-5 ± 3)°C
Eindruckwiderstand	ISO 21809-3 Anhang H	Stempeldurchmesser: 1,8 mm; Stempelfläche: 2,5 mm ² Masse: 2,5 kg Belastungsdauer: 24h	≤ 10% der Ausgangsschichtdicke	(1,3 ± 0,2)% Tabelle 6
				(80 ± 2)°C
Biegebarkeit	DIN EN 10290 Annex K	Prüfkörper: (50 • 300 • 6)mm; v: 25 mm/ min; Durchmesser des Prüfstempels: 194 mm u. 294 mm; Porenprüfung ISO 21809-3, Anhang B	ø: 294 mm	ohne Fehlstellen
				(23 ± 2)°C
				(0 ± 2)°C

♦ tatsächliche Dicke = 5,6 mm

Tabelle 2

"Kebudur-GFK-System"				
Prüfungen	Prüfmethode	Prüfbedingung	Anforderungen	Ist-Wert
Kathodische Unterwanderung	ISO 21809-3 Anhang F	3% NaCl; Ø= 6mm; U _H : -1,26V Unterwanderungstiefe: 12Messungen	Mittelwert ≤ 8 mm	(2,6 ± 0,2)mm Tabelle 7
			2d; (60 ± 2) °C	(11,1 ± 0,9)mm Tabelle 7
Härte: Shore "D"	DIN EN ISO 868	Messung ohne Stativ; Abstand von Kanten ≥ 9mm; Abstand der Meßpunkte: ≥ 4mm; Aufsetzen ohne Stoß	Herstellerangabe: ≥ 60 ohne Stativ	76 ± 2 Tabelle 8
Haftfestigkeit auf dem Stahl	ISO 4624		10,0 MPa	(5,9 ± 1,2) MPa Tabelle 9
			(23 ± 2) °C	(≤ 1,3 ± 0,3) MPa Tabelle 10
Haftfestigkeit auf der Werksumhüllung	ISO 4624	Prüfdauer ≤ 90 sec; Prüfstempeldurchmesser: 20mm	PE	(2,3 ± 0,9) MPa Tabelle 11
			≥ 3,5 MPa	PP

Tabelle 3

"Kebudur-GFK-System"				
Prüfungen	Prüfmethode	Prüfbedingung	Anforderungen	Ist-Wert
Haftfestigkeit zum Stahl nach 28 d, Heißwasserlagerung bei $T_{max} = 80^{\circ}C$	ISO 21809-3 Anhang I + ISO 4624	Prüfdauer: 7d, 14d, 21d und 28d; Prüflösung: Trinkwasser; Schnittkanten sind außerhalb der Lösung bzw. abgedeckt; nach Auslagerung: Haftungsprüfung; Prüfdauer ≤ 90 sec; Prüfstempeldurchmesser: 20mm	$\geq 7,0$ MPa	7d: $(4,5 \pm 1,5)$ MPa 14d: $(5,2 \pm 1,5)$ MPa 21d: $(6,5 \pm 1,1)$ MPa 28d: $(6,0 \pm 1,3)$ MPa Tabelle 12
			$\geq 2,0$ MPa	PE Tabellen 13 und 14 7d: $(1,6 \pm 0,8)$ MPa 14d: $(1,6 \pm 0,8)$ MPa 21d: $(1,2 \pm 0,1)$ MPa 28d: $(1,1 \pm 0,3)$ MPa 7d: $(1,1 \pm 0,2)$ MPa 14d: $(1,1 \pm 0,2)$ MPa 21d: $(1,1 \pm 0,2)$ MPa 28d: $(1,3 \pm 0,3)$ MPa Tabellen 15 und 16
Spezifischer elektrischer Umhüllungs-widerstand	ISO 21809-3 Anhang K	c_{NaCl} : 0,1 mol/L; Prüfspannung ≥ 50 V; Probenfläche $\geq 0,03$ m ² jede Woche messen	$10^{+6} \Omega$ m ² $\alpha = 0,8$	$(5,0 \pm 1,3) 10^{+8} \Omega m^2$ $\alpha = 0,8$ Tabelle 17
			$10^{+6} \Omega$ m ²	$(7,9 \pm 7,5) 10^{+8} \Omega m^2$ Tabelle 18

* zur Information

Tabelle 4

"Kebudur-GFK-System"				
Prüfungen	Prüfmethode	Prüfbedingung	Anforderungen	Ist-Wert
Scherwiderstand	GW 340 Abschnitt 6.5.4	<p>Probenvorbereitung: ein 3-lagen PE beschichtetes Stahlrohr wurde mit einer GFK-Ummantelung (Dicke 3,5mm bis 4,0 mm) und einer Länge von 50 mm) versehen (23 ± 2) °C (60 ± 10) r.F. Prüfpresse: 5000 kN gemäß DIN EN 12390-4 Prüfgeschwindigkeit: (80 ± 10) N/s</p>	50 N/cm ²	(142 ± 11) N/cm ² Tabelle 19

Tabelle 5

Trockenschichtdicke											
Nr.	Trockenschichtdicke in μm										
1	6,1	6,9	6,3	6,5	6,7	6,9	6,5	6,8	6,8	6,5	5,6
	7,0	6,6	6,1	6,4	6,3	6,3	6,2	6,6	6,3	6,5	6,5
	6,7	6,2									
arithmetischer Mittelwert und Standardabweichung											
$6,5 \pm 0,3$											
2	6,7	6,4	6,6	6,7	6,7	6,4	6,5	6,3	6,5	6,3	6,4
	5,9	5,9	6,4	6,6	6,2	6,2	6,2	6,4	6,5	6,8	6,5
	6,3	6,7									
arithmetischer Mittelwert und Standardabweichung											
$6,4 \pm 0,2$											
3	6,8	6,6	6,8	6,4	6,9	6,3	6,9	6,4	6,8	6,5	6,7
	6,5	6,8	6,3	6,4	6,8	6,6	6,8	6,5	7,2	6,3	7,2
	6,5	7,3	6,6	7,2	6,9	6,9	6,7	6,8	6,8	6,8	X
arithmetischer Mittelwert und Standardabweichung											
$6,7 \pm 0,3$											
4	6,9	6,7	7,1	6,1	6,4	6,3	6,7	6,5	6,5	7,0	6,9
	6,8	6,6	6,9	6,3	6,6	6,5	6,7	6,5	6,9	6,2	6,5
	6,4	6,7	6,3	5,9	6,8	6,5	6,8	6,6	7,0	6,2	X
arithmetischer Mittelwert und Standardabweichung											
$6,6 \pm 0,3$											
5	6,5	7,1	7,0	7,0	6,9	7,1	6,6	6,7	6,5	7,0	6,7
	6,3	6,8	6,6	6,5	6,6	6,2	6,4	6,4	6,4	6,4	6,1
	6,3	6,5	6,5	5,8	6,7	6,9	6,3	6,6	7,0	6,8	6,9
arithmetischer Mittelwert und Standardabweichung											
$6,6 \pm 0,3$											
6	5,7	6,5	6,1	6,5	6,3	6,3	6,3	6,4	6,2	6,3	6,4
	6,4	6,4	6,1	6,3	6,2	6,7	6,3	6,6	6,4	6,5	6,3
	6,4	6,5	6,7	6,6	6,6	6,4	6,1	6,6	6,5	6,5	X
arithmetischer Mittelwert und Standardabweichung											
$6,4 \pm 0,2$											

Tabelle 6

Eindruckwiderstand			
Nr.	Temperatur in °C	Ausgangsschichtdicke	
		Einzelwerte	arithmetischer Mittelwert und Standardabweichung in mm
		in %	
1	$(80 \pm 2)^\circ$	1,0	$1,3 \pm 0,2$
2		1,2	
3		1,3	
4		1,5	
5		1,0	
6		1,7	
7		1,3	

Tabelle 7

Kathodische Unterwanderung								
Prüfbedingungen	Nr.	Unterwanderungstiefe in mm						
		Einzelwerte				arithmetischer Mittelwert und Standardabweichung		Maximal
2d, (60 ± 2)°C	1	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0 ± 0,0	2,6 ± 0,2	3,0
		3,0	3,0	3,0	3,0			
		3,0	3,0	3,0	3,0			
	2	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5 ± 0,0		
		2,5	2,5	2,5	2,5			
		2,5	2,5	2,5	2,5			
	3	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5 ± 0,0		
		2,5	2,5	2,5	2,5			
		2,5	2,5	2,5	2,5			
	4	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5 ± 0,0		
		2,5	2,5	2,5	2,5			
		2,5	2,5	2,5	2,5			
28d, (80 ± 2)°C	1	10,0	11,0	11,0	13,0	12,2 ± 1,0	11,1 ± 0,9	13,0
		13,0	13,0	13,0	13,0			
		13,0	12,0	12,0	12,0			
	2	12,0	11,0	9,0	10,0	10,8 ± 1,0		
		12,0	12,0	12,0	10,0			
		10,0	10,0	11,0	11,0			
	3	9,0	9,0	10,0	10,0	9,8 ± 0,4		
		10,0	10,0	10,0	10,0			
		10,0	10,0	10,0	10,0			
	4	12,0	12,0	13,0	12,0	11,4 ± 1,7		
		13,0	13,0	10,0	8,0			
		8,0	12,0	12,0	12,0			

Tabelle 8

Shore Härte "D"		
Nr.	Soll: ≥ 60	arithmetischer Mittelwert und Standardabweichung
	Einzelwert	
1	78	76 ± 2
2	72	
3	73	
4	78	
5	76	
6	78	
7	79	
8	78	
9	76	
10	73	

Tabelle 9

Haftfestigkeit auf Stahl				
Nr.	Kraft	arithmetischer Mittelwert und Standardabweichung	Trennung	
	in MPa bzw. in (N / mm ²)		adhäsiv	kohäsiv
1	6,7	5,9 ± 1,2	-	100 % GFK
2	6,4		80 % GFK / Stahlrohr	20 % GFK
3	6,9		100 % GFK / Stahlrohr	-
4	5,5		100 % GFK / Stahlrohr	-
5	4,7		90 % GFK / Stahlrohr	10 % GFK
6	6,9		40 % GFK / Stahlrohr	60 % GFK
7	3,0		-	100 % GFK
8	7,1		100 % GFK / Stahlrohr	-
9	5,2		100 % GFK / Stahlrohr	-
10	6,4		100 % GFK / Stahlrohr	-

Tabelle 10

Haftfestigkeit auf der Werksumhüllung				
Nr.	Kraft	arithmetischer Mittelwert und Standardabweichung	Trennung	
			in MPa bzw. in (N / mm ²)	adhäsiv
Werksumhüllung: PE; (Auslagerung: 0h)				
1	2,0	$\leq 1,3 \pm 0,8$	100 % GFK / PE	-
2	3,3		90 % Stempel / GFK	10 % GFK
3	2,1		-	100 % GFK
4	<0,8		100 % Stempel / GFK	-
5	<0,8		100 % Stempel / GFK	-
6	<0,8		100 % GFK / PE	-
7	<0,8		100 % GFK / PE	-
8	1,3		100 % GFK / PE	-
9	<0,7		100 % GFK / PE	-
10	0,8		100 % GFK / PE	-
Werksumhüllung: PP; (Auslagerung: 0h)				
1	2,0	$2,3 \pm 0,9$	100 % Stempel / GFK	-
2	1,7		100 % Stempel / GFK	-
3	3,1		100 % Stempel / GFK	-
4	2,5		100 % Stempel / GFK	-
5	2,1		100 % Stempel / GFK	-
6	2,3		100 % Stempel / GFK	-
7	3,9		90 % Stempel / GFK	10 % GFK
8	0,5		100 % GFK / PP	-
9	2,6		100 % GFK / PP	-
10	1,8		100 % GFK / PP	-

Tabelle 11

Haftfestigkeit auf Stahl nach Heißwasserlagerung				
Nr.	Kraft	arithmetischer Mittelwert und Standardabweichung	Trennung	
	in MPa bzw. in (N / mm ²)		adhäsiv	kohäsiv
Auslagerungszeit: 7d				
1	5,0	$4,5 \pm 1,5$	100 % GFK / Stahlrohr	-
2	6,2		100 % GFK / Stahlrohr	-
3	3,3		100 % GFK / Stahlrohr	-
4	3,4		100 % GFK / Stahlrohr	-
5	5,1		100 % Stempel / GFK	-
6	5,2		100 % Stempel / GFK	-
7	1,1		-	100 % GFK
8	4,5		-	100 % GFK
9	5,0		100 % Stempel / GFK	-
10	6,6		100 % Stempel / GFK	-
Auslagerungszeit: 14d				
1	4,4	$5,2 \pm 1,5$	95 % GFK / Stahlrohr	5 % GFK
2	7,3		95 % GFK / Stahlrohr	5 % GFK
3	4,2		95 % GFK / Stahlrohr	5 % GFK
4	6,4		80 % GFK / Stahlrohr	20 % GFK
5	6,4		100 % GFK / Stahlrohr	-
6	2,6		80 % GFK / Stahlrohr	20 % GFK
7	5,6		80 % GFK / Stahlrohr	20 % GFK
8	5,2		95 % GFK / Stahlrohr	5 % GFK
9	6,5		70 % GFK / Stahlrohr	30 % GFK
10	2,9		-	100 % GFK

Tabelle 12

Haftfestigkeit auf Stahl nach Heißwasserlagerung				
Nr.	Kraft	arithmetischer Mittelwert und Standardabweichung	Trennung	
	in MPa bzw. in (N / mm ²)		adhäsiv	kohäsiv
Auslagerungszeit: 21d				
1	5,2	$6,5 \pm 1,1$	90 % GFK / Stahlrohr	10 % GFK
2	6,4		100 % GFK / Stahlrohr	-
3	7,3		95 % GFK / Stahlrohr	5 % GFK
4	6,4		90 % GFK / Stahlrohr	10 % GFK
5	7,7		70 % GFK / Stahlrohr	30 % GFK
6	6,2		70 % GFK / Stahlrohr	30 % GFK
7	8,2		70 % GFK / Stahlrohr	30 % GFK
8	7,3		-	100 % GFK
9	4,4		100 % GFK / Stahlrohr	-
10	5,5		100 % GFK / Stahlrohr	-
Auslagerungszeit: 28d				
1	6,6	$6,0 \pm 1,3$	70 % GFK / Stahlrohr	30 % GFK
2	3,7		95 % GFK / Stahlrohr	5 % GFK
3	4,7		98 % GFK / Stahlrohr	2 % GFK
4	5,4		98 % GFK / Stahlrohr	2 % GFK
5	7,7		98 % GFK / Stahlrohr	2 % GFK
6	4,9		90 % GFK / Stahlrohr	10 % GFK
7	5,6		-	100 % GFK
8	7,0		70 % GFK / Stahlrohr	30 % GFK
9	8,1		70 % GFK / Stahlrohr	30 % GFK
10	6,4		70 % GFK / Stahlrohr	30% GFK

Tabelle 13

Haftfestigkeit auf der Werksumhüllung				
Nr.	Kraft	arithmetischer Mittelwert und Standardabweichung	Trennung	
	in MPa bzw. in (N / mm ²)		adhäsiv	kohäsiv
Werksumhüllung: PE; (Auslagerung: 7d)				
1	1,3	1,6 ± 0,8	100 % GFK / PE	-
2	1,2		100 % GFK / PE	-
3	1,1		100 % GFK / PE	-
4	4,1		100 % GFK / PE	-
5	1,4		100 % GFK / PE	-
6	1,5		100 % GFK / PE	-
7	1,6		100 % GFK / PE	-
8	1,3		100 % GFK / PE	-
9	1,3		100 % GFK / PE	-
10	1,6		100 % GFK / PE	-
Werksumhüllung: PE; (Auslagerung: 14d)				
1	1,1	1,2 ± 0,1	100 % GFK / PE	-
2	1,1		100 % GFK / PE	-
3	1,0		100 % GFK / PE	-
4	1,3		100 % GFK / PE	-
5	1,3		100 % GFK / PE	-
6	1,2		100 % GFK / PE	-
7	1,0		100 % GFK / PE	-
8	1,2		100 % GFK / PE	-
9	1,1		100 % GFK / PE	-
10	1,2		100 % GFK / PE	-

Tabelle 14

Haftfestigkeit auf der Werksumhüllung				
Nr.	Kraft	arithmetischer Mittelwert und Standardabweichung	Trennung	
	in MPa bzw. in (N / mm²)		adhäsiv	kohäsiv
Werksumhüllung: PE; (Auslagerung: 21d)				
1	0,7	$1,2 \pm 0,3$	100 % GFK / PE	-
2	1,2		100 % GFK / PE	-
3	1,2		100 % GFK / PE	-
4	1,6		100 % GFK / PE	-
5	1,5		100 % GFK / PE	-
6	1,1		100 % GFK / PE	-
7	1,2		100 % GFK / PE	-
8	1,4		100 % GFK / PE	-
9	0,7		100 % GFK / PE	-
10	1,2		100 % GFK / PE	-
Werksumhüllung: PE; (Auslagerung: 28d)				
1	0,8	$1,1 \pm 0,3$	100 % GFK / PE	-
2	0,9		100 % GFK / PE	-
3	1,0		100 % GFK / PE	-
4	1,1		100 % GFK / PE	-
5	0,8		100 % GFK / PE	-
6	1,3		100 % GFK / PE	-
7	1,0		100 % GFK / PE	-
8	1,7		100 % GFK / PE	-
9	1,3		100 % GFK / PE	-
10	1,2		100 % GFK / PE	-

Tabelle 15

Haftfestigkeit auf der Werksumhüllung				
Nr.	Kraft	arithmetischer Mittelwert und Standardabweichung	Trennung	
	in MPa bzw. in (N / mm ²)		adhäsiv	kohäsiv
Werksumhüllung: PP; (Auslagerung: 7d)				
1	0,8	1,1 ± 0,2	100 % GFK / PP	-
2	1,3		100 % GFK / PP	-
3	1,0		100 % GFK / PP	-
4	1,4		100 % GFK / PP	-
5	1,2		100 % GFK / PP	-
6	1,1		100 % GFK / PP	-
7	1,4		100 % GFK / PP	-
8	1,4		100 % GFK / PP	-
9	1,1		100 % GFK / PP	-
10	0,8		100 % GFK / PP	-
Werksumhüllung: PP; (Auslagerung: 14d)				
1	0,7	1,2 ± 0,2	100 % GFK / PP	-
2	1,3		100 % GFK / PP	-
3	1,3		100 % GFK / PP	-
4	1,0		100 % GFK / PP	-
5	1,1		100 % GFK / PP	-
6	1,0		100 % GFK / PP	-
7	1,2		100 % GFK / PP	-
8	1,5		100 % GFK / PP	-
9	0,9		100 % GFK / PP	-
10	1,2		100 % GFK / PP	-

Tabelle 16

Haftfestigkeit auf der Werksumhüllung				
Nr.	Kraft	arithmetischer Mittelwert und Standardabweichung	Trennung	
	in MPa bzw. in (N / mm ²)		adhäsiv	kohäsiv
Werksumhüllung: PP; (Auslagerung: 21d)				
1	1,0	1,1 ± 0,2	100 % GFK / PP	-
2	1,2		100 % GFK / PP	-
3	1,2		100 % GFK / PP	-
4	1,2		100 % GFK / PP	-
5	0,8		100 % GFK / PP	-
6	1,5		100 % GFK / PP	-
7	1,2		100 % GFK / PP	-
8	1,3		100 % GFK / PP	-
9	0,9		100 % GFK / PP	-
10	0,8		100 % GFK / PP	-
Werksumhüllung: PP; (Auslagerung: 28d)				
1	0,9	1,3 ± 0,3	100 % GFK / PP	-
2	1,7		100 % GFK / PP	-
3	1,4		100 % GFK / PP	-
4	1,6		100 % GFK / PP	-
5	1,2		100 % GFK / PP	-
6	1,5		100 % GFK / PP	-
7	1,2		100 % GFK / PP	-
8	1,7		100 % GFK / PP	-
9	1,2		100 % GFK / PP	-
10	1,0		100 % GFK / PP	-

Tabelle 17

Spezifischer elek.Umhüllungswiderstand					
Nr.	spezifischer elektrischer Umhüllungswiderstand in $\Omega \text{ m}^2$ bei $(23 \pm 2)^\circ\text{C}$			arithmetischer Mittelwert und Standardabweichung nach 100 d	$\alpha = \frac{R_{s100}}{R_{s70}} > 0,8$
	Einzelwerte				
	Versuchsdauer in d				
	3	7	14		
	21	28	35		
	42	49	56		
1	55,0 10^{+8}	36,7 10^{+8}	19,1 10^{+8}	$(5,0 \pm 1,3) 10^{+8}$	1,3
	12,3 10^{+8}	9,4 10^{+8}	7,9 10^{+8}		
	6,6 10^{+8}	9,0 10^{+8}	9,0 10^{+8}		
	6,3 10^{+8}	5,2 10^{+8}	6,0 10^{+8}		
	9,2 10^{+8}	4,9 10^{+8}	6,8 10^{+8}		
2	7,3 10^{+8}	6,1 10^{+8}	4,2 10^{+8}		1,2
	3,1 10^{+8}	2,2 10^{+8}	2,2 10^{+8}		
	2,1 10^{+8}	2,3 10^{+8}	2,8 10^{+8}		
	2,6 10^{+8}	3,3 10^{+8}	3,8 10^{+8}		
	5,4 10^{+8}	4,9 10^{+8}	4,1 10^{+8}		
3	17,6 10^{+8}	13,3 10^{+8}	5,2 10^{+8}		1,3
	4,1 10^{+8}	3,9 10^{+8}	3,2 10^{+8}		
	2,8 10^{+8}	3,3 10^{+8}	3,2 10^{+8}		
	2,7 10^{+8}	3,1 10^{+8}	3,5 10^{+8}		
	4,9 10^{+8}	4,9 10^{+8}	4,0 10^{+8}		

Tabelle 18

Spezifischer elektrischer Umhüllungswiderstand			
spezifischer elektrischer Umhüllungswiderstand in $\Omega \text{ m}^2$ bei $(80 \pm 2)^\circ\text{C}$			
Nr.	Einzelwerte		arithmetischer Mittelwert und Standard- abweichung nach 30 d
	Versuchsdauer in d		
	3	7	
	14	21	
	30	-	
1	$>19,6 \cdot 10^{+9}$	$>19,6 \cdot 10^{+9}$	$(7,9 \pm 7,5) \cdot 10^{+8}$
	$11,5 \cdot 10^{+9}$	$7,5 \cdot 10^{+9}$	
	$1,8 \cdot 10^{+9}$	-	
2	$7,0 \cdot 10^{+9}$	$6,5 \cdot 10^{+9}$	
	$6,1 \cdot 10^{+9}$	$1,7 \cdot 10^{+9}$	
	$0,56 \cdot 10^{+9}$	-	
3	$3,3 \cdot 10^{+6}$	$1,4 \cdot 10^{+6}$	
	$0,53 \cdot 10^{+6}$	$0,68 \cdot 10^{+6}$	
	$0,68 \cdot 10^{+6}$	-	

Tabelle 19

DVGW Arbeitsblatt GW 340			
Scherwiderstand			
Nr.	Temperatur in °C	Scherwiderstand in N / cm²	
		Einzelwerte	arithmetischer Mittelwert und Standardabweichung
1	(23 ± 2)°	130	142 ± 11
2		156	
3		139	