

Gutachten Nr.: 47074/01-I-F

Auftraggeber: Sensor DKS GmbH i.G.
Leipziger Straße 27
09648 Mittweida

Auftrag: Prüfung der Beständigkeit erdgebundener Komponenten für das Dichtungskontrollsystem (DKS) „SENSOR DDS®“ nach den Empfehlungen des AKDKS „Anforderungen an Dichtungskontrollsysteme in Oberflächenabdichtungen von Deponien“

Schreiben vom: 2001-12-10 **Zeichen:** sch

Probeneingang: 2001-11-08 **Probenentnahme:** -
2002-01-25
2003-05-12

Prüfzeitraum: 2001-12-11 bis 2003-07-07

Das Gutachten umfasst 14 Seiten.

Würzburg, 2007-10-23
Gl/De/mo

i. V. 
Dr. Anton Zahn



i. V. 
Dipl.-Ing. Udo Dengel

Die ungekürzte oder auszugsweise Wiedergabe, Vervielfältigung und Übersetzung dieses Berichtes zu Werbezwecken bedarf der schriftlichen Genehmigung der SKZ - TeConA GmbH. Die Ergebnisse beziehen sich auf die geprüften Produkte. Die Akkreditierungen gelten nur für die in den Urkunden aufgeführten Normen und Verfahren, die im Internet unter www.skz.de eingesehen werden können.

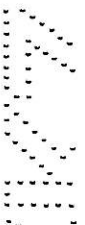
1 Auftrag

Der Rechtsvorgänger vom Auftraggeber beauftragte die SKZ - TeConA GmbH durch Schreiben vom 10. Dezember 2001 mit der Prüfung der Beständigkeit erdgebundener Komponenten für das Dichtungskontrollsystem (DKS) „SENSOR DDS[®]“ nach den Empfehlungen des AKDKS „Anforderungen an Oberflächenabdichtungen in Oberflächenabdichtungen von Deponien“.

2 Versuchsmaterial

Der SKZ - TeConA GmbH lag nachfolgendes Probenmaterial zur Prüfung vor:

- ca. 20 lfm eines schwarzen, fünfadrigen Kabels, \varnothing 2,5 mm, Kennzeichnung „SENSOR DDS“, Charge P 516512 A, Probeneingang 2001-11-08, nachfolgend „PE-Kabel“ genannt
- ca. 20 lfm eines Kabels mit naturfarbener Ummantelung, \varnothing 1,6 mm, ohne Kennzeichnung, Charge P 516605 A, Probeneingang 2001-11-08, nachfolgend „PTFE-Kabel“ genannt
- 6 schwarze, stabförmige Sensoren (Bild 1), \varnothing 8 mm, Länge ca. 150 mm, mit einseitiger Bohrung (\varnothing 3,2 mm, Länge der Bohrung ca. 30 mm), in welche ein ca. 20 cm langes, dreiadriges PE-Kabel eingesteckt und eingepresst wurde, ohne Kennzeichnung, Charge P 530400 A, Probeneingang 2001-11-08, nachfolgend „PE-Sensoren mit eingepresstem PE-Kabel“ genannt
- 20 schwarze, stabförmige Sensoren, \varnothing 8 mm, Länge ca. 150 mm, mit einseitiger Bohrung (\varnothing 3,2 mm, Länge der Bohrung ca. 30 mm), in welche ein ca. 20 cm langes, dreiadriges PE-Kabel eingesteckt und eingepresst wurde, ohne Kennzeichnung, Charge P 530400 A, Probeneingang 2002-01-25, nachfolgend „PE-Sensoren mit eingepresstem PE-Kabel“ genannt



- 5 schwarze, stabförmige Sensoren (Bild 2), \varnothing 8 mm, Länge ca. 150 mm, mit einseitiger Bohrung (\varnothing 3,2 mm, Länge der Bohrung ca. 30 mm), in welche ein ca. 20 cm langes, fünfadriges PE-Kabel eingesteckt und eingeschweißt wurde, ohne Kennzeichnung, Charge P 530400 A, Probeneingang 2003-05-12, nachfolgend „PE-Sensoren mit eingeschweißtem PE-Kabel“ genannt
- ca. 1.750 g Formmasse PE-HD „FINATHENE 3802 BB8“, schwarz, Charge P 516075 A und P 516512 A, Probeneingang 2001-11-08 (für die Herstellung der PE-Kabel)
- ca. 1.000 g Formmasse PTFE „TEFLON 106-N“, naturfarben, Charge P 516605 A, Probeneingang 2001-11-08 (für die Herstellung der Teflon-Kabel)
- ca. 1.800 g Formmasse PE-HD „FINATHENE ESD 201 B“, schwarz, Charge P 530400 A, Probeneingang 2001-11-08 (für die Herstellung der PE-Sensoren)

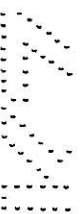
Nach Angaben des Auftraggebers werden die Kabel und Sensoren als erdgebundene Komponenten für das Dichtungskontrollsystem „SENSOR DDS[®]“ eingesetzt.

Auf die Auswahl des Probenmaterials hatte die SKZ - TeConA GmbH keinen Einfluss.

3 Versuchsdurchführung

Unsere Berichte beruhen in der Regel auf akkreditierten Normen. Die Liste aller akkreditierten Normen kann im Internet unter www.skz.de eingesehen werden.

Falls nicht anders vermerkt, wurden die Prüfungen im Normalklima 23/50-2 nach DIN 50014 : 1985-07 nach vorheriger mindestens 48-stündiger Lagerung an jeweils fünf Probenkörpern durchgeführt.



Die Prüfungen wurden nach Anhang 1 „Werkstoffliche Anforderungen an erdgebundene Kabel, kabelartige Sensoren und Edelstahlelektroden“ der Empfehlungen des AKDKS „Anforderungen an DKS in Oberflächenabdichtungen von Deponien“ - 1. Auflage November 2000 - (herausgegeben durch das Labor IV.32, Deponietechnik, der Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung) durchgeführt.

Die gelieferten Systemkomponenten entsprechen der Kategorie a) für Kabel/Zuleitungen/kabelartige Sensoren, welche als dauerhaft unzugängliche Komponenten eines Dichtungskontrollsystems eingesetzt werden, und wurden dementsprechend gemäß Nr. 2 und 3 des Anhanges 1 der AKDKS-Empfehlungen geprüft.

Für die Prüfungen wurden aus den Formmassen mit einer Laborpresse der Fa. Schwabenthan vom Typ „Polystat 200 T“ jeweils 3 Platten in den Abmessungen von 120 mm x 120 mm hergestellt. Die Bedingungen für die Herstellung der 2 mm dicken Pressplatten sind in Tabelle 1 zusammengefasst.

Zusätzlich wurde an den Verbindungen der PE-Kabel mit den Sensoren vor und nach der Wärmealterung (42d/100 °C) der Durchgangswiderstand sowie die Kraft bei 6 % Dehnung und der zugehörige elektrische Widerstand im Zugversuch bestimmt.

Die Höchstzugkraft ohne elektrisches Versagen sowie die Kraft und Dehnung bei elektrischem Versagen (Abriss) (bei eingequetschtem PE-Kabel) bzw. beim Einriss des Kabelmantels (bei eingeschweißtem PE-Kabel) wurde im Anlieferzustand ermittelt.

Sämtliche Lagerungen von Kabeln erfolgten jeweils mit deren metallischen Adern.

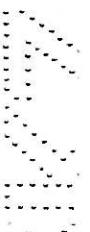


Tabelle 1: Bedingungen für die Herstellung der Prüfplatten

Eigenschaft	Einheit	PE-Kabel	PTFE-Kabel	PE-Sensor
Handelsware Typenbezeichnung	-	FINATHENE 3802 BB8	TEFLON 106-N	FINATHENE ESD 201 B
Herstellung in Anlehnung an	-	DIN EN 60811-4-1 : 1996- 03 Abschnitt 8	ASTM D 2116 : 1997	DIN EN 60811-4-1 : 1996-03 Abschnitt 8
Einwaage	g	27,5	62,5	27,2
Aufheizzeit	min	5	3	5
Aufheizdruck (Ma- schine)	bar	2	10	2
Presszeit	min	2	2	2
Pressdruck (Maschine)	bar	213	400	213
Presstemperatur	°C	170	300	170
mittlere Abkühlrate	K/min	2,1	3,6	2,1

4 Versuchsergebnisse

Die Ergebnisse sind in den Tabellen 2 bis 6 zusammengefasst.



Tabelle 2: Versuchsergebnisse fünfadriges PE-Kabel

Eigenschaft	Prüfung nach	Einheit	Anforderung nach Anh. 1 der AKDKS-Empfehlungen	Ergebnis	
				\bar{x}	s
Handelsware Typenbezeichnung	-	-	-	FINATHENE 3802 BB8	
Dichte	DIN EN 60811-1-3 : 1996-03 Abschnitt 8	g/cm ³	> 0,940 ²⁾	0,943	0,003
Schmelze-Massefließrate MFR (190/5) der Formmasse	DIN EN 60811-4-1 : 1996-03 Abschnitt 10	g/(10 min)	≤ 1,0	0,86	⁴⁾
Schmelze-Massefließrate MFR (190/5) des Formstoffs		g/(10 min)	≤ 1,0	0,82	⁴⁾
Zugfestigkeit σ_M	DIN EN 60811-1-1 : 1996-03 Abschnitt 9	MPa	≥ 18 ²⁾	22,3 20,8 ¹⁾	3,4
Dehnung bei Zugfestigkeit ϵ_M		%	≥ 300 ²⁾	639 683 ¹⁾ 516 516 ^{1) 3) 5)}	211 ^{3) 5)}
Alterung in Luft Dehnung bei Zugfestigkeit ϵ_M	DIN EN 60811-1-2 : 1996-03 Abschnitt 8; HD 620 S1 168 d/100 °C	%	keine Veränderung gegenüber Anlieferzustand	494 486 ^{1) 3) 5)}	24 ⁵⁾
Spannungsrisssbeständigkeit Kerbversuch an Prüfplatten	DIN EN 60811-4-1 : 1996-03 Abschnitt 8, Verfahren B; HD 620 S1, 10 %ige Tensidlö- sung (Arkopal N 150) 1000 h/50 °C	-	keine Beschädigung	keine Beschädigung ⁶⁾	
Spannungsrisssbeständigkeit Biegetest an Kabelproben	DIN VDE 0819-104 Anhang C, Verfahren A, 1 %ige Tensidlösung (Arkopal N 150) 72 h/50 °C	-	keine Beschädigung	keine Beschädigung ⁵⁾	
Rußgehalt	DIN EN 60811-4-1 : 1996-03 Abschnitt 11; 600 °C	%	2,5 ± 0,5 ²⁾	2,4	0,1 ⁵⁾
Homogenität der Rußverteilung	DIN VDE 0819-104 Anhang B Verfahren B	-	Einstufung Agglomerate ≤ 4,0 Mikrofotografie ≤ C.2	⁷⁾ 2,5 B.2	
Warmlagerungsverhalten von Kabelstücken	DIN EN 60811-4-2 : 2000-08 42 d/100 °C	-	keine Beschädigung	keine Beschädigung ⁵⁾	
Visuelle Inspektion nach Wickeltest		min	≥ 2	6,5	⁵⁾
Oxidations-Induktions-Zeit nach Warmlagerung		7 d/60 °C	-	keine Beschädigung	keine Beschädigung ⁵⁾
Fortsetzung der Warmlagerung		-	keine Beschädigung	keine Beschädigung ⁵⁾	
Visuelle Inspektion nach Wickeltest		-	keine Beschädigung	keine Beschädigung ⁵⁾	

\bar{x} = arithmetischer Mittelwert, s = Standardabweichung

¹⁾ Median

²⁾ Anforderungen gelten für PE-HD

³⁾ ermittelt an Schlauchproben (Isolierhüllen)

⁴⁾ ermittelt aus 4 Einzelwerten

⁵⁾ ermittelt aus 3 Einzelwerten

⁶⁾ ermittelt aus 10 Einzelwerten

⁷⁾ ermittelt aus 6 Einzelwerten



Tabelle 3: Versuchsergebnisse PTFE-Kabel

Eigenschaft	Prüfung nach	Einheit	Anforderung nach Anh. 1 der AKDKS-Empfehlungen	Ergebnis	
				\bar{x}	s
Handelsware Typenbezeichnung	-	-	-	TEFLON 106-N	
Dichte	DIN EN 60811-1-3 : 1996-03 Abschnitt 8	g/cm ³	-	2,13	0,06
Schmelze-Massefließrate MFR (350/5) der Formmasse	DIN EN 60811-4-1 : 1996-03 Abschnitt 10	g/(10 min)	-	3,9	³⁾
Schmelze-Massefließrate MFR (350/5) des Formstoffs		g/(10 min)	-	4,1	³⁾
Zugfestigkeit σ_M	DIN EN 60811-1-1 : 1996-03 Abschnitt 9	MPa	≥ 18 ²⁾	26,9 26,4 ¹⁾	1,0
Dehnung bei Zugfestigkeit ε_M		%	≥ 300 ²⁾	365 366 ¹⁾	7
Alterung in Luft Dehnung bei Zugfestigkeit ε_M	DIN EN 60811-1-2 : 1996-03 Abschnitt 8; HD 620 S1 168 d/100 °C	%	keine Veränderung gegenüber Anlieferzustand	402 403 ¹⁾	4
Spannungsrisssbeständigkeit Kerbversuch an Prüfplatten	DIN EN 60811-4-1 : 1996-03 Abschnitt 8, Verfahren B; HD 620 S1 10 %ige Tensidlösung (Arkopal N 150) 1000 h/50 °C	-	keine Beschädigung	keine Beschädigung ⁵⁾	
Spannungsrisssbeständigkeit Biegetest an Kabelproben	DIN VDE 0819-104 Anhang C, Verfahren A 1 %ige Tensidlösung (Arkopal N 150) 72 h/50 °C	-	keine Beschädigung	keine Beschädigung ⁴⁾	
Rußgehalt	DIN EN 60811-4-1 : 1996-03 Abschnitt 11; 600 °C	%	$2,5 \pm 0,5$ ²⁾	keine Rußbeimengung	
Homogenität der Rußverteilung	DIN VDE 0819-104 Anhang B Verfahren B	-	Einstufung Agglomerate $\leq 4,0$ Mikrofotografie $\leq C.2$	keine Rußbeimengung	
Warmlagerungsverhalten von Kabelstücken	DIN EN 60811-4-2 : 2000-08 42 d/100 °C	-	keine Beschädigung	keine Beschädigung ⁴⁾	
Visuelle Inspektion nach Wickeltest		°C	-	keine Veränderung ⁴⁾	
TG-Untersuchung nach Warmlagerung		-	-	keine Veränderung ⁴⁾	
Fortsetzung der Warmlagerung	7 d/60 °C	-	keine Beschädigung	keine Beschädigung ⁴⁾	
Visuelle Inspektion nach Wickeltest		-	keine Beschädigung	keine Beschädigung ⁴⁾	

\bar{x} = arithmetischer Mittelwert, s = Standardabweichung

¹⁾ Median

²⁾ Anforderungen gelten für PE-HD

³⁾ ermittelt aus 4 Einzelwerten

⁴⁾ ermittelt aus 3 Einzelwerten

⁵⁾ ermittelt aus 10 Einzelwerten



Tabelle 4: Versuchsergebnisse PE-Sensor

Eigenschaft	Prüfung nach	Einheit	Anforderung nach Anh. 1 der AKDKS-Empfehlungen	Ergebnis	
				\bar{x}	s
Handelsware Typenbezeichnung	-	-	-	FINATHENE ESD 201 B	
Dichte	DIN EN 60811-1-3 : 1996-03 Abschnitt 8	g/cm ³	> 0,940 ²⁾	4) 0,986	0,004
Schmelze-Massefließrate MFR (190/5) der Formmasse	DIN EN 60811-4-1 : 1996-03 Abschnitt 10	g/(10 min)	≤ 1,0	0,16 ⁴⁾	
Schmelze-Massefließrate MFR (190/5) des Formstoffs		g/(10 min)	≤ 1,0	0,17 ⁴⁾	
Zugfestigkeit σ_M	DIN EN 60811-1-1 : 1996-03 Abschnitt 9	MPa	≥ 18 ²⁾	27,7 ¹⁾⁴⁾ 0,7 ⁴⁾ 27,6 ¹⁾⁴⁾	
Dehnung bei Zugfestigkeit ϵ_M		%	≥ 300 ²⁾	692 ¹⁾⁴⁾ 15 ⁴⁾ 694 ¹⁾⁴⁾	
Alterung in Luft Dehnung bei Zugfestigkeit ϵ_M	DIN EN 60811-1-2 : 1996-03 Abschnitt 8; HD 620 S1 168 d/100 °C	%	keine Veränderung gegenüber Anlieferzustand	761 ¹⁾³⁾ 10 ³⁾ 763 ¹⁾³⁾	
Spannungsrisssbeständigkeit Kerbversuch an Prüfplatten	DIN EN 60811-4-1 : 1996-03 Abschnitt 8, Verfahren B; HD 620 S1 10 %ige Tensidlösung (Arkopal N 150) 1000 h/50 °C	-	keine Beschädigung	keine Beschädigung ⁵⁾	
Spannungsrisssbeständigkeit Biegetest an Kabelproben	DIN VDE 0819-104 Anhang C, Verfahren A 1 %ige Tensidlösung (Arkopal N 150) 72 h/50 °C	-	keine Beschädigung	keine Beschädigung ⁴⁾	
Rußgehalt	DIN EN 60811-4-1 : 1996-03 Abschnitt 11; 600 °C	%	2,5 ± 0,5 ²⁾	10,2 0,0 ⁴⁾	
Homogenität der Rußverteilung	DIN VDE 0819-104 Anhang B Verfahren B	-	Einstufung Agglomerate ≤ 4,0 Mikrofotografie ≤ C.2	2,7 ⁶⁾ B.2 ⁶⁾	
Wamlagerungsverhalten von Kabelstücken	DIN EN 60811-4-2 : 2000-08 42 d/100 °C	-	keine Beschädigung	keine Beschädigung ⁴⁾	
Visuelle Inspektion nach Wickeltest		min	≥ 2	42,1 ⁴⁾	
Oxidations-Induktions-Zeit nach Wamlagerung		7 d/60 °C	-	keine Beschädigung	keine Beschädigung ⁴⁾
Fortsetzung der Wamlagerung					
Visuelle Inspektion nach Wickeltest			keine Beschädigung	keine Beschädigung ⁴⁾	

\bar{x} = arithmetischer Mittelwert, s = Standardabweichung

¹⁾ Median

²⁾ Anforderungen gelten für PE-HD

³⁾ ermittelt aus 4 Einzelwerten

⁴⁾ ermittelt aus 3 Einzelwerten

⁵⁾ ermittelt aus 10 Einzelwerten

⁶⁾ ermittelt aus 6 Einzelwerten



Tabelle 5: Versuchsergebnisse der elektrischen Messungen und Zugversuche an den PE-Sensoren mit eingepresstem PE-Kabel vor und nach der Wärmealterung

Beanspruchung	Eigenschaft	Einheit	Ergebnis	
			PE-Sensor mit eingequetschtem PE-Kabel	
			\bar{x}	s
Anlieferungszustand	Durchgangswiderstand vor Beanspruchung	MΩ	6,0; 0,5; 6,0; 0,1 ¹⁾	
	Kraft bei 6 % Dehnung	N	72,4	4,9 ²⁾
	Durchgangswiderstand nach Beanspruchung	MΩ	1,2; 0,3; 1,2; 1,1 ¹⁾	
	Höchstzugkraft (ohne elektrisches Versagen)	N	82,3 ¹⁾	
	Kraft bei elektrischem Versagen	N	62,9 ¹⁾	
	Dehnung bei elektrischem Versagen	%	12 ¹⁾	
Wärmealterung 42 d/100 °C	Durchgangswiderstand vor Beanspruchung	MΩ	ca. 2,0; 0,1; 1,0; 0,2	
	Kraft bei 6 % Dehnung	N	82,2	7,2 ²⁾
	Durchgangswiderstand nach Beanspruchung	MΩ	ca. 0,4; 0,1; 1,4; 0,2	

\bar{x} = arithmetischer Mittelwert, s = Standardabweichung

¹⁾ Einzelwerte

²⁾ ermittelt aus 4 Einzelwerten

Parameter für den Zugversuch: Einspannlänge: 100 mm, v = 1 mm/min, Wegmessung über Traverse



Tabelle 6: Versuchsergebnisse der elektrischen Messungen und Zugversuche an den PE-Sensoren mit eingeschweißtem PE-Kabel vor und nach der Wärmealterung

Beanspruchung	Eigenschaft	Einheit	Ergebnis	
			PE-Sensor mit eingeschweißtem PE-Kabel	
			\bar{x}	s
Anlieferungszustand	Durchgangswiderstand vor Beanspruchung	MΩ	1,9; 0,9; 4,0 ³⁾	
	Kraft bei 6 % Dehnung	N	109	26 ¹⁾
	Durchgangswiderstand nach Beanspruchung	MΩ	7,6; 0,5; 3,2 ³⁾	
	Höchstzugkraft (ohne elektrisches Versagen)	N	228	35 ¹⁾²⁾
	Kraft beim Einriss des PE- Kabelmantels	N	198	45 ¹⁾²⁾
	Dehnung beim Einriss des PE- Kabelmantels	%	27	5 ¹⁾²⁾

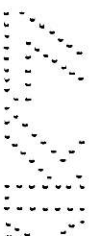
\bar{x} = arithmetischer Mittelwert, s = Standardabweichung

¹⁾ ermittelt aus drei Einzelwerten

²⁾ Kraft-Dehnungsdiagramm beispielhaft in Bild 3 dargestellt

³⁾ Einzelwerte

Parameter für den Zugversuch: Einspannlänge: 100 mm, v = 1 mm/min, Wegmessung über Traverse

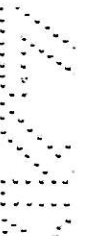


5 Zusammenfassung

Die Anforderungen des Anhanges 1 „Werkstoffliche Anforderungen an erdgebundene Kabel, kabelartige Sensoren und Edelstahlelektroden“ der Empfehlungen des AKDKS „Anforderungen an DKS in Oberflächenabdichtungen von Deponien“ - 1. Auflage November 2000 - (herausgegeben durch das Labor IV.32, Deponietechnik, der Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung) werden von den drei untersuchten, erdgebundenen Komponenten des Dichtungskontrollsystems (DKS) „SENSOR DDS[®]“ erfüllt.

6 Gutachtliche Stellungnahme

Aufgrund der vorliegenden Ergebnisse wird bestätigt, dass die untersuchten Kabel und Elektroden des Dichtungskontrollsystems (DKS) „SENSOR DDS[®]“ als erdgebundene Komponenten eines Dichtungskontrollsystems in der Oberflächenabdichtung von Deponien geeignet sind.



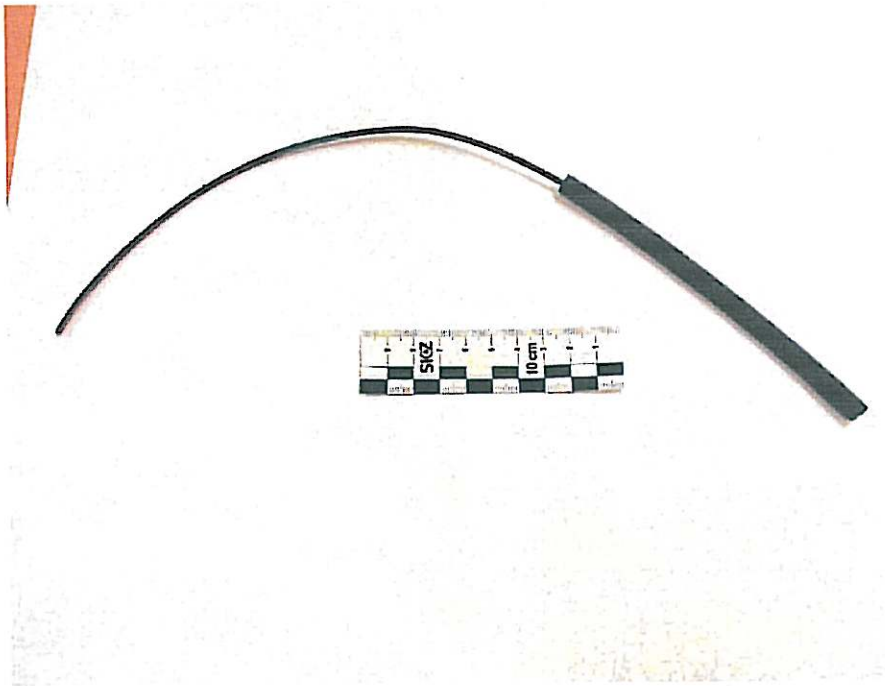


Bild 1: PE-Sensor mit eingepresstem PE-Kabel



Bild 2: PE-Sensor mit eingeschweißtem PE-Kabel

12

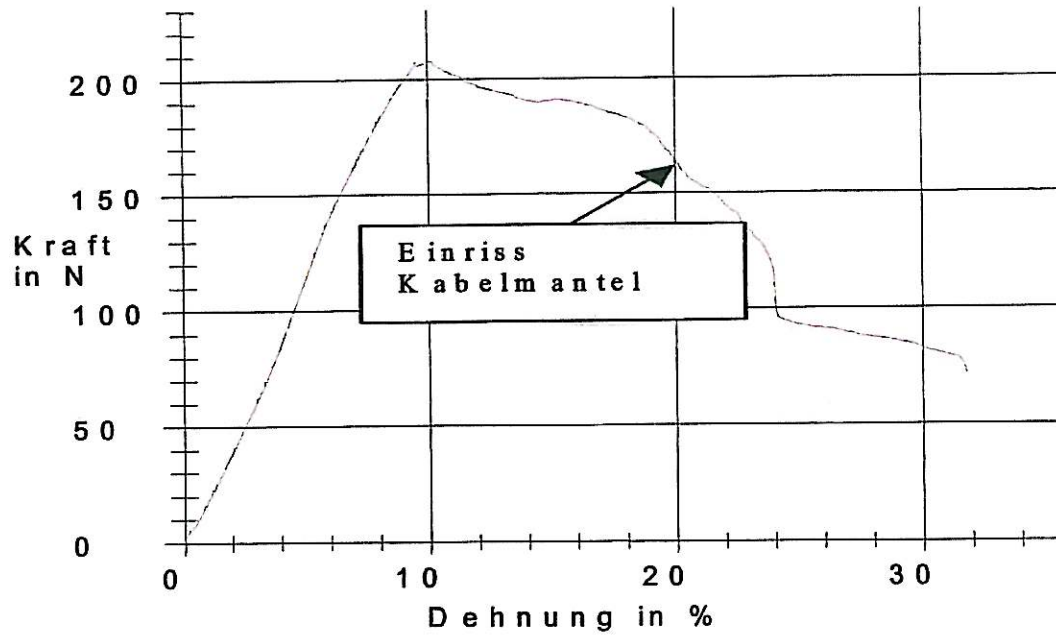


Bild 3: Kraft-Dehnungsdiagramm (beispielhaft) vom Zugversuch an den PE-Sensoren mit eingeschweißtem PE-Kabel (Anlieferungszustand)

13

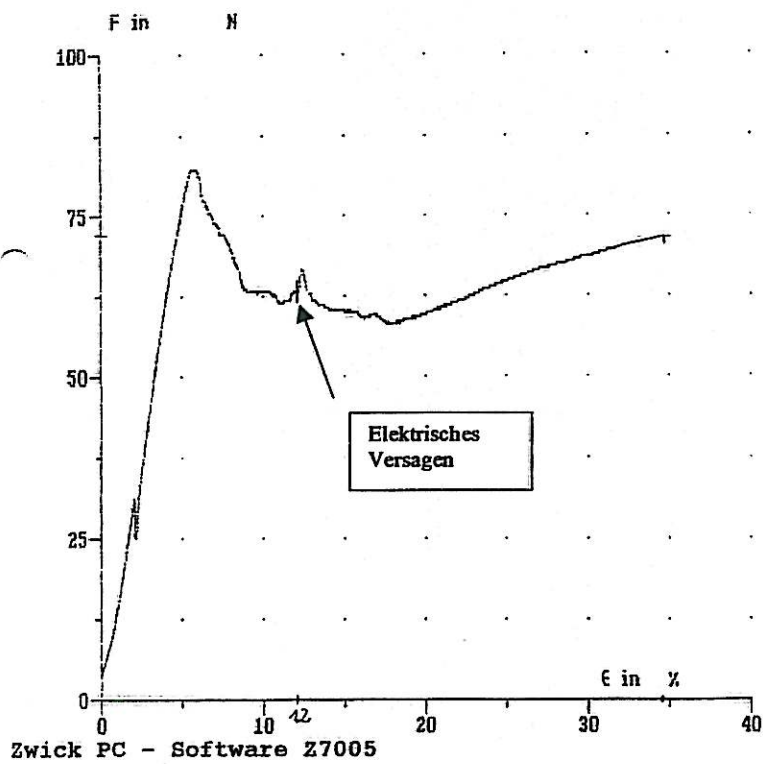


Bild 4: Kraft-Dehnungsdiagramm (beispielhaft) vom Zugversuch an den PE-Sensoren mit einpresstem PE-Kabel (Anlieferzustand)

