

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Einleitung</b>	1
1.1	Vorteile und Entwicklung von Verbundisolatoren	1
1.2	Erfahrungen mit Verbundisolatoren	2
1.3	Einsatz von Verbundisolatoren in Hochspannungsfreileitungen	5
1.4	Einsatz von Verbundisolatoren bei elektrischen Apparaten und Freiluftschaltanlagen	6
1.5	Stand der Normung	8
	Literaturverzeichnis	8
<b>2</b>	<b>Verbundlangstabisolatoren</b>	9
2.1	Anwendungen von Verbundlangstabisolatoren	9
2.2	Das Verhalten von Verbundlangstabisolatoren unter mechanischer Beanspruchung	12
2.2.1	Die Dauerstandfestigkeit von Verbundlangstabisolatoren	13
2.2.1.1	Die Dauerkraftkurve von Verbundisolatoren nach IEC 61109/92	17
2.2.1.2	Mechanisches Modell für das Langzeitverhalten von Verbundisolatoren	19
2.3	Verhalten von Verbundlangstabisolatoren bei dynamischer Belastung	23
2.4	Auslegung und Montage von Endarmaturen für Verbundlangstäbe	27
2.4.1	Entwicklung und Stand der Technik der Metallarmaturen	27
2.4.2	Grundsätzliche Überlegungen zu der Auslegung von Pressarmaturen	28
2.4.3	Montagetechnik von Pressarmaturen	30
2.4.4	Berechnungssystematik	31
2.4.5	Einfache analytische Methode	32
2.4.6	Komplexe analytische Methode	33
2.4.6.1	Verpressung	35
2.4.6.2	Relaxation	39
2.4.6.3	Zugbelastung/Pull-out	39

2.4.7	Numerische Simulationsmethoden . . . . .	40
2.4.7.1	Finite Elemente Modellierung . . . . .	41
2.4.7.2	Rechenergebnisse der Simulation . . . . .	41
2.4.7.3	Ergebnisse der numerischen Simulation beim Versagen . . . . .	43
2.4.7.4	Versuchsergebnisse . . . . .	44
2.4.7.5	Sensitivitätsanalyse . . . . .	47
2.5	Formelzeichen und Abkürzungen . . . . .	49
	Literaturverzeichnis . . . . .	51
<b>3</b>	<b>Verbundstützisolatoren . . . . .</b>	<b>53</b>
3.1	Wesentliche Eigenschaften . . . . .	53
3.2	Anwendungen von Verbundstützisolatoren . . . . .	54
3.3	Das Verhalten von Verbundstützisolatoren unter Biegung . . . . .	58
3.3.1	Allgemeines . . . . .	58
3.3.2	Einführung einer Schadensgrenze (damage limit) . . . . .	59
3.3.2.1	Versuche zur Bestimmung der Schadensgrenze . . . . .	61
3.3.2.2	Versuch zur Bestimmung der maximalen Betriebsbiegelast (MDCL) . . . . .	65
3.3.2.3	Bestimmung der MDCL und der CFL im gleichen Versuch . . . . .	66
3.4	Herstellerangaben zum SCL/MDCL Konzept . . . . .	66
3.5	Das sichere Verhalten beim Versagen von Verbundstützern . . . . .	67
3.6	Kombinierte Belastungen . . . . .	71
3.6.1	Lastdiagramme . . . . .	72
3.6.2	Beispiele . . . . .	73
3.6.2.1	Horizontale Lage des Isolators . . . . .	73
3.6.2.2	Isolator bildet einen Winkel von $\beta = 15^\circ$ zur Horizontalen . . . . .	74
3.6.3	Computersimulation . . . . .	75
3.6.4	Versuche . . . . .	75
3.7	Dynamische Belastungen . . . . .	75
3.7.1	Prüflinge . . . . .	76
3.7.2	Prüfverfahren . . . . .	76
3.7.3	Versuchsergebnisse . . . . .	76
3.8	Konstruktive Anforderungen der Endarmaturen . . . . .	77
3.9	Analytische Berechnungsmethoden . . . . .	79
3.9.1	Einfache analytische Methode . . . . .	80
3.9.2	Komplexe analytische Methode . . . . .	81
3.9.2.1	Radiale Druckspannung an der Öffnung der Metallarmatur . . . . .	82
3.9.2.2	Normalspannung im GFK-Stab innerhalb der Metallarmatur . . . . .	82
3.9.2.3	Schubspannung in der neutralen Achse des Stabes . . . . .	83
3.10	Numerische Simulation . . . . .	84

3.10.1 Finite Elemente Model .....	85
3.10.2 Versuchsanordnung .....	86
3.11 Das Versagensverhalten von Verbundstützisolatoren .....	88
3.12 Sensitivitätsanalyse .....	92
3.13 Formelzeichen und Abkürzungen .....	93
Literaturverzeichnis .....	95
<b>4 Isoliertraversen für Kompaktleitungen .....</b>	<b>97</b>
4.1 Einleitung .....	97
4.2 Grundsätze der Kompaktierung .....	98
4.2.1 Einfluss der Seilaufhängung auf das Mastbild .....	98
4.2.2 Möglichkeiten der Leitungskompaktierung .....	98
4.2.2.1 V-Ketten .....	99
4.2.2.2 Leitungsstützer (horizontal) .....	99
4.2.2.3 Abgehängter Leitungsstützer .....	100
4.2.2.4 Isoliertraverse .....	101
4.3 Die mechanische Auslegung von Isoliertraversen .....	102
4.3.1 Die starr gelagerte Isoliertraverse .....	104
4.3.2 Die gelenkig gelagerte Isoliertraverse (horizontal-V) .....	106
4.3.3 Dynamische Belastungen .....	111
4.3.4 Stabilitätsuntersuchungen .....	113
4.4 Innovative Anwendungen von Kompaktleitungen .....	120
4.4.1 400 kV Leitung mit Hohlkörperisolatoren in der Schweiz .....	120
4.4.2 Notgestänge mit Verbundisolatoren .....	121
4.4.3 420 kV Doppelleitung mit Vollkernverbundtraversen .....	123
4.5 Formelzeichen und Abkürzungen .....	124
Literaturverzeichnis .....	125
<b>5 Phasenabstandshalter .....</b>	<b>127</b>
5.1 Einleitung .....	127
5.2 CIGRE Umfrage .....	128
5.2.1 Auswertung Fragebogen .....	128
5.2.2 Betriebserfahrungen .....	131
5.3 Anschlusstechnik .....	131
5.4 Mechanische Auslegung von Phasenabstandshaltern .....	134
5.4.1 Galloping .....	134
5.4.1.1 Galloping Amplituden .....	134
5.4.1.2 Bauweisen .....	135
5.4.1.3 Einbauempfehlungen .....	136
5.4.1.4 Belastungen der PAH durch Galloping .....	139
5.4.2 Abwurf von Eislasten .....	141
5.4.2.1 Stoßkräfte auf die PAH .....	141
5.4.3 Elektrodynamische Kurzschlusskräfte .....	143
5.4.4 Das Knickverhalten von Phasenabstandshaltern .....	147

5.5	Elektrische Auslegung von Phasenabstandshaltern . . . . .	152
5.5.1	Mindestlänge . . . . .	152
5.5.2	Koronaeffekte . . . . .	153
5.5.3	Verschmutzung . . . . .	154
5.6	Anwendungen . . . . .	155
5.6.1	Kompaktleitung für Mittelspannung . . . . .	155
5.6.2	Phasenabstandshalter gegen Seiltanzen durch Eisabwurf . . . . .	156
5.6.3	Der Tennisschlägermast . . . . .	159
5.7	Formelzeichen und Abkürzungen . . . . .	160
	Literaturverzeichnis . . . . .	162
<b>6</b>	<b>Verbundhohlisolatoren . . . . .</b>	<b>163</b>
6.1	Haupteigenschaften von Verbundhohlisolatoren . . . . .	163
6.1.1	Verbundisolatoren in Freiluftschaltanlagen . . . . .	164
6.1.1.1	Durchführungen . . . . .	164
6.1.1.2	Überspannungsableiter . . . . .	166
6.1.1.3	Freiluftendverschlüsse für Kunststoffkabel . . . . .	167
6.1.1.4	Strom- und Spannungswandler . . . . .	167
6.1.1.5	Freiluftleistungsschalter . . . . .	169
6.1.2	GFK-Rohr . . . . .	169
6.1.3	Endarmaturen . . . . .	169
6.1.4	Das mechanische Verhalten von Verbundhohlisolatoren bei der Biegung . . . . .	170
6.1.4.1	Versagensmechanismen und diagnostische Methoden von Verbundhohlisolatoren . . . . .	170
6.1.4.2	Das Konzept der „Schadensgrenze“ bei Verbundhohlisolatoren . . . . .	171
6.2	Prüfung von Verbundhohlisolatoren . . . . .	173
6.2.1	Definitionen der Lasten . . . . .	173
6.2.2	Biegelasten . . . . .	174
6.2.3	Drucklasten . . . . .	175
6.2.4	Beispiele aus der Versuchspraxis nach IEC 61462 . . . . .	177
6.2.4.1	Hohlkörperisolator für einen 145 kV Überspannungsableiter . . . . .	177
6.2.4.2	Hohlkörperisolator für eine 500 kV Durchführung .	179
6.3	Mechanische Auslegung von Verbundhohlisolatoren . . . . .	180
6.3.1	Einfache analytische Methode . . . . .	181
6.3.1.1	Dimensionierung des GFK-Rohres . . . . .	182
6.3.1.2	Auslegung der Verbindungselemente zum Unterbau	182
6.3.2	Numerische Simulationsmethoden . . . . .	183
6.3.2.1	Finite Elemente Modellierung der Verbund/Metallverbindung . . . . .	183
6.3.2.2	Numerische Simulation des inneren Spannungszustandes . . . . .	185

6.3.2.3	Experimentelle Überprüfung der Simulation	186
6.4	Formelzeichen und Abkürzungen	189
	Literaturverzeichnis	190
<b>7</b>	<b>Materialauswahl und Herstellungsverfahren für Verbundisolatoren mit Silikongummimantel</b>	<b>191</b>
7.1	Einleitung	191
7.2	Komponenten/Halbzeuge für Verbundisolatoren	192
7.2.1	Armaturen	192
7.2.2	Innere Isolierung	194
7.2.2.1	Stab	194
7.2.2.1.1	Materialien	194
7.2.2.1.1.1	Glasfaser	194
7.2.2.1.1.2	Harz	198
7.2.2.1.1.3	Wahl der Glasfaser und des Harzsystems	199
7.2.2.1.1.4	Eigenschaftskoordination zwischen Glasfaser und Harz	203
7.2.2.1.2	Verfahren zur Stabherstellung	203
7.2.2.1.3	Qualitätskontrolle	206
7.2.2.2	Rohr	208
7.2.2.2.1	Materialien und Verfahren	208
7.2.2.2.2	Qualitätskontrolle	212
7.2.3	Äußere Isolierung – Silikongummitypen für den Isoliermantel	212
7.2.3.1	Herstellung von Silikongummi	212
7.2.3.2	Bezeichnung, Kategorisierung von Silikongummi	213
7.2.3.3	Einsatz von ATH als Füllstoff	220
7.2.3.3.1	Erhöhung der Erosions- und Kriechspurbeständigkeit	220
7.2.3.3.2	Einfluss auf die Hydrophobiebeständigkeit	223
7.2.3.3.3	Einfluss auf das Recovery-Verhalten	226
7.2.3.3.4	Einfluss auf den Hydrophobie-Transfer	229
7.2.3.3.5	Einfluss auf die Säurebeständigkeit	232
7.2.3.4	Zusammenfassende Gegenüberstellung	233
7.3	Verfahren	234
7.3.1	Armieren	234
7.3.1.1	Stabarmieren	234
7.3.1.1.1	Vorgang	234
7.3.1.1.2	Qualitätssicherung – Akustische Emissionsanalyse (AE)	235
7.3.1.2	Rohrarmieren	241

7.3.1.2.1	Vorgang .....	241
7.3.1.2.2	Qualitätssicherung.....	241
7.3.2	Aufbringen des Isoliermantels und der Dichtung .....	241
7.3.2.1	Verfahrensüberblick für Isoliermantel .....	241
7.3.2.1.1	Niederdruckformbefüllungsverfahren für RTV-2 und LSR .....	241
7.3.2.1.2	Hochdruckverfahren für HTV .....	245
7.3.2.1.2.1	Traditionelle Verfahren...	245
7.3.2.1.2.2	Automatisiertes kontinuierliches Spritzgießen (ACIM) .....	248
7.3.2.1.3	Extrusionsverfahren .....	249
7.3.2.1.4	Modular-Verfahren .....	250
7.3.2.1.5	Zusammenfassender Überblick zu den Verfahren.....	254
7.3.2.1.5.1	Vollkernisolatoren .....	254
7.3.2.1.5.2	Hohlisolatoren .....	255
7.3.2.2	Qualitätssicherung .....	256
7.3.2.3	Dichtungssysteme .....	257
7.3.2.3.1	Verfahrensabhängigkeit .....	257
7.3.2.3.1.1	Prinzipielle Dichtungssysteme .....	257
7.3.2.3.1.2	Koronaschirm als innovative flexible Dichtungslösung .....	258
7.3.2.3.2	Feldbetrachtungen .....	259
7.4	Zusammenfassung .....	262
7.5	Formelzeichen und Abkürzungen .....	262
	Literaturverzeichnis .....	264
<b>8</b>	<b>Zur Auslegung von Verbundisolatoren aus Sicht des Koronaschutzes</b>	<b>271</b>
8.1	Einleitung .....	271
8.2	Korona als Designproblem – aktuelle Beispiele.....	272
8.2.1	Nennspannung 525 kV – Doppelabspannkette am Gittermast	273
8.2.2	Nennspannung 245 kV – Doppelabspannkette am Stationsportal .....	275
8.2.3	Nennspannung 115/138/145 kV – verschiedene Kettenaufbauten .....	277
8.3	Analyse des elektrischen Feldes von im Betrieb befindlichen Verbundisolatorketten .....	279
8.4	Stand der Normung .....	280
8.5	Wassertropfenkorona auf hydrophoben Mantelwerkstoffen .....	284
8.5.1	Entstehung von Wassertropfenkorona .....	284
8.5.2	Wirkung von Korona auf polymeren Oberflächen .....	288
8.5.3	Schädigungspotential durch Korona .....	298

8.6	Ergänzende Anforderungen für Verbundisolatoren (oder mit Verbundisolatoren zusammengestellten Ketten) .....	298
8.6.1	Material- und Geometrieunterschiede .....	298
8.6.2	Berechnung der elektrischen Feldstärke .....	300
8.7	Empirische Grenzwerte für Korona .....	312
8.8	420 kV-Ketten nach 10-jähriger Betriebszeit .....	313
8.8.1	Überspritztes Design .....	313
8.8.2	Modulares Design .....	315
8.9	Zusammenfassung .....	318
8.10	Formelzeichen und Abkürzungen .....	319
	Literaturverzeichnis .....	320
<b>9</b>	<b>Lichtbogenschutzarmaturen für Verbundlangstabisolatoren</b> .....	323
9.1	Einleitung .....	323
9.2	Der Lichtbogen als physikalische Erscheinung .....	323
9.2.1	Ursachen für den Überschlag einer Verbundisolatorenkette ..	323
9.2.2	Der Lichtbogen .....	324
9.2.3	Prinzipien des Lichtbogenschutzes .....	326
9.3	Wirkungen des Lichtbogens .....	330
9.3.1	Porzellan- und Glasisolatoren .....	330
9.3.2	Verbundisolatoren .....	333
9.3.3	Zusammenfassender Vergleich der Wirkungen .....	335
9.3.4	Peripherieschutz .....	335
9.4	Gestaltung von Lichtbogenschutzarmaturen .....	337
9.4.1	Materialauswahl .....	337
9.4.2	Dichte des Fehlerstromes in den Elementen einer Isolatorkette .....	340
9.5	Prüfungen des Lichtbogenschutzes .....	341
9.5.1	Materialprüfung des Mantelwerkstoffs (Designtest) .....	341
9.5.2	Kettenprüfung aus Sicht der Stromdichte – Kurzschlussversuch .....	344
9.5.3	Kettenprüfung aus Sicht der Lichtbogenwirkung – Lichtbogentest .....	345
9.6	Ausgewählte Beispiele aus Projekten .....	347
9.6.1	Fehlanwendung von Lichtbogenschutzarmaturen von Kappenisolatorenketten für Verbundisolatorenketten .....	347
9.6.2	Koordination von Koronaring und Lichtbogenschutzarmatur ..	350
9.6.3	Direktbefestigung von Lichtbogenschutzarmaturen auf Armaturen von Verbundisolatoren .....	351
9.6.4	Einfluss des Kettendesigns am Mast .....	354
9.7	Zusammenfassung .....	357
9.8	Formelzeichen und Abkürzungen .....	357
	Literaturverzeichnis .....	358

<b>10 Zur Laborbewertung von Verbundisolatoren nach deren Entnahme aus dem Netz .....</b>	361
10.1 Einleitung .....	361
10.1.1 Ist die Bewertung von Verbundisolatoren notwendig? .....	362
10.1.2 Interfacebereiche als wesentlicher Unterschied von Verbundisolatoren .....	362
10.2 Ursachen für die Bewertung von Verbundisolatoren nach der Entnahme aus dem Netz .....	363
10.2.1 Bewertung eines eingebauten Isolatorenbestandes hinsichtlich des Alterungszustandes .....	363
10.2.2 Bewertung eines Isolatorausfalls oder eines Isolatortyps mit hohem Ausfallrisiko .....	363
10.2.3 Bewertung von Verbundisolatoren für Forschungszwecke ..	365
10.3 Ausfallrate/Ausfälle von Verbundisolatoren .....	366
10.3.1 USA/EPRI .....	366
10.3.2 CIGRE Umfrage, publiziert im Jahr 2000 .....	367
10.3.3 Betriebserfahrungen in China .....	369
10.4 Allgemein angewandte Prüfstrategien .....	371
10.4.1 Identifikation der Prüflinge .....	371
10.4.2 Reihenfolge der Prüfungen .....	371
10.4.2.1 Visuelle Bewertung .....	372
10.4.2.2 Mechanische Bewertung .....	381
10.4.2.3 Elektrische Bewertung .....	381
10.4.2.4 Materialanalyse .....	383
10.4.2.4.1 Mantelwerkstoffe .....	384
10.4.2.4.2 Stabmaterial .....	385
10.4.2.4.3 Armaturen .....	385
10.4.2.4.4 Mantelwerkstoff-Finger-Print .....	385
10.4.2.5 Fremdschichtanalyse .....	385
10.4.2.5.1 Fremdschichtanlagerung .....	386
10.4.2.5.2 Oberflächenveränderungen .....	386
10.4.2.5.3 Benetzungsklasse .....	386
10.4.2.5.4 Wirksamkeit des Hydrophobie-Transfer-Mechanismus (HTM) .....	386
10.4.2.5.5 Hydrophobie-Transfer (HT) .....	387
10.4.3 Zusammenfassung zur Auswahl von Prüfverfahren und Ausfallkriterien .....	387
10.5 Beispiele für Prüfprogramme und deren Ergebnisse .....	388
10.5.1 Beispiel 1 – 420 kV-Verbundisolator (gesteppte Spritzgussvariante) nach 10-jährigem Einsatz .....	388
10.5.1.1 Prüflinge und Teststrategie .....	388
10.5.1.2 Ergebnisse und Diskussion .....	389
10.5.1.2.1 Hydrophobie .....	389
10.5.1.2.2 Prüfung der Nennkraft (SML) und Grenzkraft .....	391

10.5.1.2.3 Interfaceprüfungen . . . . .	393
10.5.1.2.3.1 Mikroskopische Bewertung und REM-Analyse . . . . .	393
10.5.1.2.3.2 Kochtest und Steilstoßprüfung . . . . .	394
10.5.1.2.3.3 Farbeindringprüfung . . . . .	395
10.5.1.2.3.4 Schiefe-Ebene-Test . . . . .	395
10.5.1.3 Ergebniszusammenfassung . . . . .	397
10.5.2 Beispiel 2 – 420 kV Verbundisolator (Modularvariante) nach 10-jährigem Einsatz . . . . .	398
10.5.2.1 Prüflinge . . . . .	398
10.5.2.2 Visuelle Bewertung . . . . .	399
10.5.2.3 Prüfprogramm . . . . .	399
10.5.2.4 Ergebnisse und Diskussion . . . . .	399
10.5.2.4.1 Hydrophobie-Bewertung . . . . .	399
10.5.2.4.2 Bewertung der Dichtung . . . . .	402
10.5.2.4.3 Haftungsprüfung . . . . .	403
10.5.2.4.4 96-Stunden-Zugbelastung mit 75 % SML und Grenzlastprüfung . . . . .	404
10.5.2.4.5 Verzinkungsprüfung . . . . .	404
10.5.2.4.6 Farbeindringprüfung (IEC 61109) . . . . .	405
10.5.2.4.7 Grenzlastprüfung ohne Vorbelastung (IEC 61109) . . . . .	405
10.5.2.5 Zusammenfassendes Ergebnis . . . . .	406
10.5.3 Beispiel 3 – 15 kV-Verbundisolator nach 15-jährigem Einsatz im Tunnelbahnbetrieb . . . . .	406
10.5.3.1 Prüflinge und Prüfprogramm . . . . .	406
10.5.3.2 Ergebnisse und Diskussion . . . . .	407
10.5.3.2.1 Fremdschichtmessungen . . . . .	407
10.5.3.2.2 Modifizierte Klarnebelprüfung . . . . .	407
10.5.3.2.3 Grenzbiegekraftprüfung . . . . .	409
10.5.3.3 Zusammenfassung . . . . .	410
10.5.4 Beispiel 4 – Analyse von Verzinkungsdicken und Hydrophobiewirkung nach 30-jährigem 15 kV- Tunnelbahnbetrieb . . . . .	411
10.5.4.1 Vorgehensweise . . . . .	411
10.5.4.2 Visuelle Beobachtungen . . . . .	412
10.5.4.3 Ergebnisse und Diskussion . . . . .	413
10.5.4.3.1 Zinkschichtdicke . . . . .	413
10.5.4.3.2 Fremdschichtanalyse . . . . .	414
10.5.4.4 Zusammenfassung . . . . .	415
10.5.5 Beispiel 5 – Bewertung von 123 kV-Isolatoren zur Produktqualifikation . . . . .	416
10.5.5.1 Prüflinge . . . . .	416

10.5.5.2	Prüfprogramm . . . . .	416
10.5.5.2.1	Inspektion der Verbundisolatoren am Versuchsmast . . . . .	416
10.5.5.2.2	Quick-Salznebelprüfung . . . . .	417
10.5.5.2.3	Bewertung des Interface-Isoliervermögens . . . . .	417
10.5.5.3	Ergebnisse und Diskussion . . . . .	417
10.5.5.3.1	Inspektion am Versuchsmast . . . . .	417
10.5.5.3.2	Quick-Salznebelprüfung . . . . .	419
10.5.5.3.3	Interface-Isoliervermögen . . . . .	419
10.5.5.4	Schlussfolgerung . . . . .	420
10.5.6	Beispiel für die Ableitung von Zuverlässigkeitsschlüssen . . . . .	420
10.5.6.1	Erfahrungswerte . . . . .	420
10.5.6.1.1	Betriebserfahrung mit Verbundisolatoren . . . . .	420
10.5.6.1.2	Betriebserfahrung mit Porzellanisolatoren . . . . .	421
10.5.6.2	Getroffene Annahmen . . . . .	421
10.5.6.3	Statistisch-mathematische Berechnung . . . . .	421
10.6	Zusammenfassung . . . . .	422
10.7	Formelzeichen und Abkürzungen . . . . .	423
	Literaturverzeichnis . . . . .	424
<b>11</b>	<b>Eine Übersicht zur Normung und zur Prüfung von Verbundisolatoren . . . . .</b>	<b>429</b>
11.1	Einleitung . . . . .	429
11.2	Stand der IEC-Normung von Verbundisolatoren und Gemeinsamkeiten im Vergleich zu konventionellen Isolatoren und Isolatorenketten . . . . .	431
11.3	Spezialprüfungen für Flammbeständigkeit . . . . .	433
11.4	Prüfverfahren zur Bewertung bestimmter Eigenschaften . . . . .	433
11.5	Schiefe-Ebene-Test . . . . .	437
11.5.1	Erosions- und Kriechspurbeständigkeit . . . . .	437
11.5.1.1	Einflussfaktoren auf das Prüfergebnis . . . . .	437
11.5.1.1.1	Einfluss der Prüfkörperhalterung . . . . .	437
11.5.1.1.2	Einfluss der Elektrodenrauheit . . . . .	438
11.5.1.1.3	Einfluss der Spannungsquelle . . . . .	439
11.5.1.1.4	Einfluss des Stichprobenumfangs . . . . .	443
11.5.1.2	Prüfung von Silikongummi-Coatings . . . . .	444
11.5.1.3	Prüfung im Rahmen intensivierter Abnahmeprüfungen . . . . .	446
11.5.1.4	Prüfungen mit Gleichspannung . . . . .	447
11.5.2	Schiefe-Ebene-Test-Prinzip zur Bewertung der Hydrophobie-Beständigkeit . . . . .	448

11.5.3 Schiefe-Ebene-Test-Prinzip zur Bewertung des Hydrophobie-Transfers . . . . .	450
11.6 Finger-Print-Analyse von polymeren Mantelwerkstoffen . . . . .	452
11.6.1 Hintergrund . . . . .	452
11.6.2 Übersicht der Verfahren . . . . .	453
11.6.3 Details zu den Verfahren und Beispiele . . . . .	453
11.6.3.1 Dichte- und Härtemessung . . . . .	453
11.6.3.2 Dynamische Differenzkalorimetrie . . . . .	454
11.6.3.3 Thermogravimetrische Analyse . . . . .	455
11.6.3.4 Fourier-Transform-Infrarot-Spektroskopie . . . . .	457
11.6.3.5 Mechanische Materialprüfung . . . . .	458
11.7 Zusammenfassung . . . . .	458
11.8 Formelzeichen und Abkürzungen . . . . .	460
Literaturverzeichnis . . . . .	461
<b>Sachverzeichnis . . . . .</b>	<b>465</b>