

# Inhaltsverzeichnis

<b>0</b>	<b>Einführung . . . . .</b>	<b>1</b>
	von M. Lindmayer	
<b>1</b>	<b>Physikalische Grundlagen . . . . .</b>	<b>3</b>
	von R. Zückler <sup>1</sup>	
1.1	Der elektrische Lichtbogen . . . . .	3
1.1.1	Die Bogensäule . . . . .	3
1.1.2	Elektrodengebiete . . . . .	4
1.1.3	Materialdaten der Bogensäule . . . . .	5
1.1.4	Näherungen . . . . .	11
1.1.4.1	Kanalmodell . . . . .	11
1.1.4.2	Enthalpieflußmodelle . . . . .	12
1.1.5	Die stationäre Lichtbogenkennlinie . . . . .	14
1.1.6	Der Wechselstrombogen . . . . .	15
1.1.6.1	Grundsätzliches . . . . .	15
1.1.6.2	Theorie des dynamischen Bogens. Wechselwirkung Bogen-Netz	16
1.1.7	Bogenbewegung unter dem Einfluß äußerer Kräfte . . . . .	19
1.1.7.1	Strömungskräfte . . . . .	20
1.1.7.2	Bogenbewegung im Magnetfeld* . . . . .	20
1.1.7.3	Plasmastrahlen, magnetischer Druck . . . . .	23
1.1.8	Bogenverhalten in Düsen von Hochspannungs-Hochleistungs- schaltern. Wechselwirkung mit Strömung und Antrieb . . . . .	24
1.1.8.1	Düsenverstopfung, Rückstau . . . . .	25
1.1.8.2	Wechselwirkung mit dem Antrieb . . . . .	27
1.1.9	Elektrodeneffekte* . . . . .	27
1.1.9.1	Bogenspannung* . . . . .	27
1.1.9.2	Löschung durch Elektrodeneffekte (Selbstlöschung, Sofortverfestigung)* . . . . .	27
1.1.10	Vakuumbogen . . . . .	31
1.1.10.1	Entladungsarten im Vakuum . . . . .	32
1.1.10.2	Wirkung von Magnetfeldern . . . . .	33
1.1.10.3	Einfluß des Kontaktmaterials . . . . .	35
1.1.11	Dielektrische Wiederverfestigung . . . . .	35

1.1.12	Der Lichtbogen als Schaltelement. Zum Löschvorgang in verschiedenen Schaltern . . . . .	36
1.1.12.1	Gasschalter . . . . .	38
1.1.12.2	Schalter mit selbsterzeugtem Löschmittel (Ölschalter, Wasserschalter, Hartgasschalter, Sicherungen) . . . . .	40
1.1.12.3	Vakuumschalter . . . . .	40
1.1.12.4	Niederspannungsschalter* . . . . .	41
1.2	Kontaktphysik . . . . .	46
1.2.1	Scheinbare und wirkliche Berührungsfläche . . . . .	46
1.2.1.1	Flächenkontakte . . . . .	46
1.2.1.2	Punktkontakte . . . . .	46
1.2.2	Kontaktwiderstand . . . . .	47
1.2.2.1	Metallischer Kontakt . . . . .	47
1.2.2.2	Quasimetallischer Kontakt . . . . .	47
1.2.2.3	Kontaktstellen mit störenden Fremdschichten . . . . .	47
1.2.3	Engewiderstand . . . . .	48
1.2.3.1	Elektrischer Widerstand einer Stromenge . . . . .	48
1.2.3.2	Erwärmung von Stromengen . . . . .	48
1.2.4	Die Kontaktkraft . . . . .	50
1.2.4.1	Aufgaben der Kontaktkraft . . . . .	50
1.2.4.2	Abhängigkeit des Kontaktwiderstandes von der Kontaktkraft . . . . .	51
1.2.5	Erwärmung von Kontakten (und Wänden) durch stromstarke Lichtbögen . . . . .	52
1.2.6	Kontaktwerkstoffe* . . . . .	53
1.2.6.1	Anforderungen an Kontaktwerkstoffe der Energietechnik* . . . . .	53
1.2.6.2	Kontaktwerkstoffe der Energietechnik und ihre Anwendung* . . . . .	56
	Literatur zu Kapitel 1 . . . . .	61
<b>2</b>	<b>Beanspruchung und Anforderungen</b> . . . . .	<b>65</b>
	von H. Schramm	
2.1	Schaltvorgänge . . . . .	65
2.1.1	Anforderungen an Schaltgeräte . . . . .	65
2.1.2	Einschalten eines Kurzschlußkreises . . . . .	66
2.1.3	Ausschalten eines Kurzschlusses . . . . .	68
2.1.3.1	Einphasiger Klemmenkurzschluß . . . . .	68
2.1.3.2	Klemmenkurzschluß in Drehstromkreisen . . . . .	71
2.1.3.3	Abstandskurzschluß in Hoch- und Mittelspannungsnetzen . . . . .	76
2.1.3.4	Kurzunterbrechung . . . . .	78
2.1.3.5	Phasenopposition . . . . .	79
2.1.4	Ausschalten kleiner induktiver Ströme . . . . .	81
2.1.5	Kapazitiver Stromkreis . . . . .	82
2.1.5.1	Einpolige Ausschaltung, Rückzündung und Wiederzündung . . . . .	82
2.1.5.2	Dreipolige Ausschaltung . . . . .	85
2.1.5.3	Einschalten einer Kapazität . . . . .	86
2.1.5.4	Parallelschalten von Kondensatoren . . . . .	88

2.1.6	Strombegrenzende Schalter, Gleichstromschalter . . . . .	89
2.1.6.1	Erhöhung der Lichtbogenspannung . . . . .	89
2.1.6.2	Schalter mit Parallelzweigen . . . . .	90
2.1.7	Schaltleistungsprüfung . . . . .	91
2.2	Stromtragfähigkeit und Erwärmung . . . . .	94
2.3	Zuverlässigkeit, Fehlerraten . . . . .	97
2.4	Zusammenstellung von VDE-Bestimmungen für Schaltgeräte . . . . .	99
2.4.1	Bestimmungen für Niederspannungsschaltgeräte . . . . .	99
2.4.2	Bestimmungen für Wechselstrom-Schaltgeräte für Spannungen über 1 kV . . . . .	100
	Literatur zu Kapitel 2 . . . . .	101
<b>3</b>	<b>Niederspannungsschaltgeräte . . . . .</b>	<b>102</b>
	von F. Edlmayr, G. Rauter, P. Strop	
3.1	Allgemeines . . . . .	102
3.1.1	Einführung . . . . .	102
3.1.2	Einteilung der Niederspannungsschaltgeräte . . . . .	102
3.1.3	Geräteigenschaften und Kenngrößen . . . . .	103
3.1.3.1	Nennspannung und Nennfrequenz . . . . .	103
3.1.3.2	Nennströme . . . . .	105
3.1.3.3	Erwärmung . . . . .	107
3.1.3.4	Nennbetriebsarten . . . . .	107
3.1.3.5	Nenneinschalt- und Nennausschaltvermögen . . . . .	109
3.1.3.6	Überlastfestigkeit von Schützen . . . . .	114
3.1.3.7	Gebrauchskategorien . . . . .	114
3.1.3.8	Lebensdauer und Schalthäufigkeit . . . . .	116
3.1.3.9	Einsatzgrenzen . . . . .	122
3.2	Aufbau und Wirkungsweise ausgewählter Niederspannungsschaltgeräte . . . . .	124
3.2.1	Grundsätzlicher Aufbau von Schaltgeräten . . . . .	124
3.2.2	Schaltgeräte für Hauptstromkreise . . . . .	125
3.2.2.1	Trenner, Lastschalter, Lasttrenner . . . . .	125
3.2.2.2	Motorschalter . . . . .	126
3.2.2.3	Schütze . . . . .	127
3.2.2.4	Leistungsschalter . . . . .	136
3.2.2.5	Sicherungen für Nieder- und Hochspannung . . . . .	140
3.2.2.6	Schutzgeräte . . . . .	147
3.2.2.7	Selektivität zwischen Schaltgeräten . . . . .	155
3.2.2.8	NOT-AUS-Einrichtung und Hauptschalter . . . . .	157
3.2.3	Schaltgeräte für Hilfsstromkreise . . . . .	158
3.2.3.1	Drucktaster und Leuchtmelder . . . . .	159
3.2.3.2	Positionsschalter . . . . .	160
3.2.3.3	Hilfsschütze . . . . .	164
3.2.3.4	Zeitrelais . . . . .	165
	Literatur, Bestimmungen und Normen zu Kapitel 3 . . . . .	167

<b>4</b>	<b>Hochspannungsschaltgeräte</b> . . . . .	<b>169</b>
	von G. F. Luxa und R. Prätsch	
4.1	Dielektrische Beanspruchungen (G. F. Luxa) . . . . .	169
4.1.1	Definitionen und Prüfanordnungen . . . . .	169
4.1.1.1	Arten der Isolation . . . . .	169
4.1.1.2	Arten der Spannungsbeanspruchung . . . . .	170
4.1.1.3	Isolationskoordination . . . . .	171
4.1.1.4	Arten der dielektrischen Prüfungen . . . . .	171
4.1.1.5	Ermittlung der Stehspannungen bei Stoßspannungsprüfungen	173
4.1.1.6	Berücksichtigung der atmosphärischen Bedingungen bei der Prüfung der äußeren Isolation . . . . .	175
4.1.1.7	Berücksichtigung der Aufstellungshöhe . . . . .	176
4.1.1.8	Prüfungen unter Regen . . . . .	176
4.1.1.9	Prüfungen bei künstlicher Verschmutzung . . . . .	177
4.1.2	Bemessung von Hochspannungsschaltgeräten und Stützern für Betriebsspannungen bis 72 kV . . . . .	177
4.1.2.1	Bemessung der Isolation bei normalen Bedingungen . . . . .	177
4.1.2.2	Bemessung der Isolation bei erschwerten Bedingungen . . . . .	178
4.1.2.3	Teilentladungsprüfungen . . . . .	178
4.1.3	Bemessung von Hochspannungsschaltgeräten und Stützern für Betriebsspannungen über 72 kV . . . . .	178
4.1.4	Umwelteinflüsse auf die Freiluftisolation . . . . .	178
4.1.4.1	Fremdschichteinflüsse . . . . .	178
4.1.4.2	Fremdschichtprüfverfahren . . . . .	181
4.1.4.3	Industriefremdschicht-Prüfverfahren . . . . .	181
4.1.4.4	Salznebel-Prüfverfahren . . . . .	181
4.1.4.5	Höchster Ableitstromimpuls als Kenngröße . . . . .	181
4.1.4.6	Isolatorbemessung hinsichtlich Verschmutzung . . . . .	182
4.1.5	Der Einfluß von Schaltspannungen auf die äußere Isolationsbemessung in Luft . . . . .	184
4.1.5.1	Allgemeines . . . . .	184
4.1.5.2	Prüfung mit Schaltstoßspannung . . . . .	185
4.1.5.3	Bemessungswerte . . . . .	186
4.1.6	SF <sub>6</sub> -Druckgasisolation bei metallgekapselten Geräten . . . . .	187
4.1.6.1	Eigenschaften von Schwefelhexafluorid . . . . .	187
4.1.6.2	Bemessungsgrundlagen . . . . .	189
4.1.6.3	SF <sub>6</sub> in Verbindung mit Feststoffisolatoren . . . . .	190
4.2	Gestaltung der Hochspannungsschaltgeräte (R. Prätsch) . . . . .	190
4.2.1	Schaltgeräte für Anlagen mit Luft als äußere Isolation . . . . .	191
4.2.1.1	Leistungsschalter . . . . .	191
4.2.1.2	Trenn- und Erdungsschalter . . . . .	220
4.2.1.3	Lastschalter und Lasttrennschalter . . . . .	223
4.2.2	Schaltgeräte für Anlagen mit Druckgasisolierung . . . . .	228
4.2.3	Schaltgeräte für Anlagen mit Feststoffisolierung . . . . .	237
	Literatur zu Kapitel 4 . . . . .	240