



© VDE FNN

SF₆-freie Betriebsmittel in der Energieversorgung

Übersicht und Hinweise zum Einsatz in Verteil- und Übertragungsnetzen

Version 1.0
Februar 2023

Inhalt

1 Anwendungsbereich	8
2 Begriffe und Abkürzungen.....	8
2.1 Begriffe.....	8
2.2 Abkürzungen	9
3 Weiterentwicklung der F-Gase-Verordnung und Überblick über Normen und Fachpublikationen.....	11
3.1 Weiterentwicklung der europäischen F-Gase-Verordnung.....	11
3.2 Weitere Regularien und Normen	13
3.3 Literatur zu elektrischen Betriebsmitteln mit SF ₆ - oder alternativer Gasisolation.....	15
3.4 Auszüge aus ausgewählten Literaturstellen.....	15
4 Pilotprojekte und Erfahrungen mit SF₆-Alternativen.....	19
4.1 Einleitung.....	19
4.2 Übersicht zu Alternativen für Hochspannungsanwendungen	20
4.3 HV Anwendungen.....	22
4.3.1 Einleitung	22
4.3.2 Anwendungen mit C4-FN/CO ₂ /O ₂ /N ₂ Gasmisch	22
4.3.3 Anwendungen GIS mit C5-FK/CO ₂ /O ₂ Gasmischung	23
4.3.4 Anwendungen synthetischer Luft (N ₂ /O ₂) als Isolier- und Vakuum als Schaltmedium	23
4.3.5 Anwendungen (CO ₂ /O ₂) als Isolier- und Schaltmedium	25
4.4 Mittelspannungsanwendungen	26
4.4.1 Unterscheidung von Mittelspannungsschaltanlagen	26
4.4.2 Übersicht zu GIS- und Hybrid-Anwendungen in der primären Verteilebene.....	29
4.4.3 Übersicht zu GIS- und Hybrid-Anwendungen in der sekundären Verteilebene ...	29
5 Sicht der Anwender	30
6 Frageliste für Anwender von SF₆-freien Lösungen.....	33
6.1 Aufbau und Zweck der Frageliste	33
6.2 Überblick zu den Kriterien und Anforderungen	33
7 Literaturverzeichnis	36
Anhänge	37
A. Literaturliste.....	37
B. Übersicht zu Anwendungen mit Produktreifegrad 7	38
B.I. HS Schaltanlagen mit C4-FN Gemischen.....	38
B.II. HS GIS-Schaltanlagen mit Vakuumschaltechnik und synthetischer Luft.....	39
B.III. HS Schaltanlagen mit C5FK Gemischen	40
B.IV. HS Gasisolierte Leitungen (GIL/GIB) mit C4FN Gemischen	41
B.V. HS Gasisolierte Leitungen (GIL/GIB) mit synthetischer Luft	41
B.VI. HS Leistungsschalter mit CO ₂ Gemischen als Isolier- und Schaltmedium	42
B.VII. HS Leistungsschalter mit C4FN Gemischen.....	42

B.VIII. Leistungsschalter mit Vakuumschalttechnik und synthetischer Luft	42
B.IX. Wandler mit synthetischer Luft	44
B.X. MS Schaltanlagen (primär) mit synthetischer Luft	45
B.XI. MS Schaltanlagen (primär) mit C5-FK Gemischen	46
B.XII. MS Schaltanlagen (primär) mit O ₂ , N ₂ , CO ₂ Gemischen	46
B.XIII. MS Schaltanlagen (sekundär) mit C5-FK Gemischen.....	47
B.XIV. MS Schaltanlagen (sekundär) mit synthetischer Luft	47
B.XV. MS Schaltanlagen (sekundär) mit O ₂ , N ₂ , CO ₂ Gemischen.....	48
B.XVI. MS Schaltanlagen (sekundär) mit O ₂ , N ₂ Gemischen	48
B.XVII. MS Schaltanlagen (sekundär) mit O ₂ , N ₂ & Umgebungsluft.....	49
B.XVIII. MS GIS-Hybrid Schaltanlagen (primär & sekundär) mit Umgebungsluft.....	49
C. Frageliste für Anwender von SF ₆ -freien Lösungen.....	51

Bildverzeichnis

Bild 1: Ausgelieferte Einheiten von SF ₆ -freien Alternativen nach Spannungsebene	21
Bild 2: Kumulierte Anzahl an ausgelieferten Einheiten von SF ₆ -freien Alternativen nach dem Jahr der Auslieferung.....	21
Bild 3: Strahlendosis (dose rate) in Abhängigkeit der Prüfspannung am Beispiel eines 145 kV Vakuumleistungsschalters mit geöffneten Kontakten [14]	24
Bild 4: Unterscheidung von Mittelspannungsschaltanlagen	26
Bild 5: Einsatzschwerpunkte von Schaltanlagen im Verteilungsnetz	29
Bild 6: Treiber zur Einführung von SF ₆ -freien Alternativen (Mehrfachnennungen möglich)....	31
Bild 7: Hindernisse für den Einsatz von SF ₆ -freien Alternativen (Mehrfachnennungen möglich)31	
Bild 8: Einkaufskriterien Kriterien der Kunden in EU und DE (Mehrfachnennungen möglich) 32	

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Überblick zu Artikeln und Anhängen im Vorschlag für eine neue F-Gase Verordnung vom 5. April 2022 in Bezug auf die in Tabelle 2 gelisteten Gase [2]	11
Tabelle 2: Treibhauspotenzial von reinen fluorierten Gasen, die für elektrische Betriebsmittel verwendet werden (in Anlehnung an den Vorschlag einer neuen EU F-Gase VO vom 05. April 2022).....	13
Tabelle 3: Klassifizierung der Einsatzfähigkeit SF ₆ -freier Alternativlösungen nach Produktreifegrad	19
Tabelle 4: Übersicht zu Alternativen für Hochspannungsanwendungen von Herstellern mit europäischer Fertigung	20
Tabelle 5: Kategorisierung von Schaltanlagentypen für Mittelspannungsanwendungen	27
Tabelle 6: Übersicht zu Alternativen für Mittelspannungsanwendungen - primäre Verteilebene von europäischen Herstellern.....	29

Tabelle 7: Übersicht zu Alternativen für Mittelspannungsanwendungen - sekundäre Verteilebene von europäischen Herstellern.....	30
Tabelle 8: Kriterien und Anforderungen der Frageliste geordnet nach Clustern	34
Tabelle 9: Parameter C4-FN/CO ₂ /O ₂ Gasgemisch in gasisolierten Schaltanlagen	38
Tabelle 10: Übersicht ausgewählter Anwendungen für die Parameter in Tabelle 9	38
Tabelle 11: Parameter N ₂ - O ₂ Gasgemisch und Vakuumschalttechnik in gasisolierten Schaltanlagen	39
Tabelle 12: Übersicht ausgewählter Anwendungen für die Parameter in Tabelle 11	39
Tabelle 13: Parameter C5-FK - CO ₂ - O ₂ Gasgemisch in gasisolierten Schaltanlagen	40
Tabelle 14: Übersicht ausgewählter Anwendungen für die Parameter in Tabelle 13	40
Tabelle 15: Parameter C4-FN - CO ₂ - O ₂ Gasgemisch in gasisolierten Leitungen.....	41
Tabelle 16: Übersicht ausgewählter Anwendungen für die Parameter in Tabelle 15	41
Tabelle 17: Parameter N ₂ - O ₂ Gasgemisch in gasisolierten Leitungen	41
Tabelle 18: Übersicht ausgewählter Anwendungen für die Parameter in Tabelle 17	41
Tabelle 19: Parameter CO ₂ - O ₂ Gasgemisch in Leistungsschaltern	42
Tabelle 20: Übersicht ausgewählter Anwendungen für die Parameter in Tabelle 19	42
Tabelle 21: Parameter C4FN - CO ₂ - O ₂ Gasgemisch in Leistungsschaltern.....	42
Tabelle 22: Übersicht ausgewählter Anwendungen für die Parameter in Tabelle 21	42
Tabelle 23: Parameter N ₂ - O ₂ Gasgemisch in Leistungsschaltern	42
Tabelle 24: Übersicht ausgewählter Anwendungen für die Parameter in Tabelle 23	43
Tabelle 25: Parameter N ₂ - O ₂ Gasgemisch in Wandlern	44
Tabelle 26: Übersicht ausgewählter Anwendungen für die Parameter in Tabelle 25	44
Tabelle 27: Parameter N ₂ - O ₂ Gasgemisch in gasisolierten Mittelspannungsschaltanlagen .	45
Tabelle 28: Übersicht ausgewählter Anwendungen für die Parameter in Tabelle 27	45
Tabelle 29: Parameter C5-FK - O ₂ - N ₂ Gasgemisch in gasisolierten MS-Schaltanlagen (primär)	46
Tabelle 30: Übersicht ausgewählter Anwendungen für die Parameter in Tabelle 29	46
Tabelle 31: Parameter O ₂ - N ₂ - CO ₂ Gasgemisch in gasisolierten MS-Schaltanlagen (primär)	46
Tabelle 32: Übersicht ausgewählter Anwendungen für die Parameter in Tabelle 31	46
Tabelle 33: Parameter C5-FK - O ₂ - N ₂ Gasgemisch in gasisolierten MS-Schaltanlagen (sekundär).....	47
Tabelle 34: Übersicht ausgewählter Anwendungen für die Parameter in Tabelle 33	47
Tabelle 35: Parameter N ₂ - O ₂ Gasgemisch (synthetische Luft) in gasisolierten MS-Schaltanlagen (sekundär)	47
Tabelle 36: Parameter O ₂ - N ₂ - CO ₂ Gasgemisch in gasisolierten MS-Schaltanlagen (sekundär)	48
Tabelle 37: Übersicht ausgewählter Anwendungen für die Parameter in Tabelle 36	48
Tabelle 38: Parameter O ₂ - N ₂ Gasgemisch in gasisolierten MS-Schaltanlagen (sekundär)..	48
Tabelle 39: Übersicht ausgewählter Anwendungen für die Parameter in Tabelle 38	48
Tabelle 40: Parameter O ₂ - N ₂ & Umgebungsluft in gasisolierten MS-Schaltanlagen (sekundär)	49
Tabelle 41: Übersicht ausgewählter Anwendungen für die Parameter in Tabelle 40	49
Tabelle 42: Parameter gasisolierten MS-Schaltanlagen (primär) mit Umgebungsluft	49
Tabelle 43: Übersicht ausgewählter Anwendungen für die Parameter in Tabelle 42	49

Tabelle 44: Parameter gasisolierten MS-Schaltanlagen (sekundär) mit Umgebungsluft..... 50
Tabelle 45: Übersicht ausgewählter Anwendungen für die Parameter in Tabelle 44 50

Vorwort

Der Hinweis wurde vom Expertennetzwerk SF₆ und Alternativen des FNN Lenkungskreises Netztechnik/Netzbetrieb erarbeitet um weitere Anwender bei der Einführung von SF₆-freien Schaltanlagen und Betriebsmitteln in der Energieversorgung zu unterstützen. Die bisherigen Erkenntnisse und Erfahrungen wurden aufbereitet. Der Hinweis gibt einen Überblick über die verschiedenen Technologien und bereits im Einsatz befindliche Pilotanlagen, soweit diese Informationen öffentlich sind. Er bereitet vorliegende Erkenntnisse und Erfahrungen auf und gibt Hilfestellung bei der Auswahl von gasisolierten elektrischen Betriebsmitteln mit alternativen Technologien. Er richtet sich insbesondere an Anwender, die bisher noch kein oder nur in geringem Maß Know-How mit diesen neuen Technologien sammeln konnten.

Im Expertennetzwerk arbeiteten Fachleute von Herstellern und Anwendern aus der Energieversorgung und der Industrie mit.

Das Expertennetzwerk dankt Frau Marie-Charlotte Guetlein und Frau Carine Sebi, Grenoble Ecole de Management für die Bereitstellung weiterführender Auswertungen ihrer Studie [1], die in Abschnitt 5 des FNN-Hinweises eingeflossen sind.