

Vorwort

Dieses Buch fasst die Erfahrung der Autoren mit Hochspannungsfreileitungen über 35 Jahre zusammen, von denen die meisten durch die intensive Beschäftigung mit dem innovativen Produkt *Silikonverbundisolator* geprägt sind. In der Einführungszeit waren Verbundisolatoren eher Spezialprodukte, deren Einsatz wegen der geringen Stückzahlen recht teuer und somit auf ausgesuchte Spezialanwendungen – z. B. Einsatzgebiete mit extremer Fremdschichtklasse – beschränkt. Normen und Langzeitbetriebserfahrung waren kaum vorhanden und konnten bei Dimensionierungsfehlern zu entsprechenden Ausfällen führen. Seit dieser Zeit wurde der Verbundisolator als höherwertige Alternative zur Technik der Porzellan- und Glasisolatoren kontinuierlich weiterentwickelt und mittlerweile ist die positive Betriebserfahrung durch weltweiten Einsatz und repräsentativ große Stückzahlen anerkannt. Wichtige Pionierleistungen wurden von wenigen international tätigen Herstellern und interessierten Anwendern erbracht, die das Einsatzpotential des Verbundisolators erkannten. Dazu zählen Beiträge für das Verständnis der drei unterschiedlichen Materialkomponenten Metallarmatur, Mantelwerkstoff und Trägermaterial sowie der charakteristischen Grenzflächen eines Verbundisolators. Forschungseinrichtungen beteiligten sich bei der Identifizierung und der Ableitung von Modellbeschreibungen für die teilweise dynamischen Wechselwirkungen des Mantelwerkstoffs mit der Umgebung, die mit dem heutigen Kenntnisstand bei korrekter Dimensionierung praktisch zur Wartungsfreiheit führen. Dieses gewachsene Verständnis und die steigenden Stückzahlen führten auch in der Produktion durch die Optimierung und die Automatisierung der Abläufe zu höchster Qualität bei einem attraktiven Kostenniveau über die höheren Stückzahlen (engl. *economies of scale*).

Die Verfasser dieses Buches hatten rückblickend das Glück, ihren Ingenieurberuf bei einem der obengenannten Hersteller auszuüben, der Firma PFISTERER, welche den Verbundisolator als innovatives Produkt immer gefördert hat. Auf Grund ihrer leitenden Funktion, konnten sie manche Entscheidung zu Gunsten der Verbundisolatoren-Entwicklung nachhaltig beeinflussen. Zudem wurde ihnen die Möglichkeit eingeräumt, seit vielen Jahren in den thematisch relevanten Arbeitsgruppen der CIGRE und der IEC aktiv teilzunehmen und sowohl bei der Erarbeitung der Grundlagen (CIGRE) sowie bei der Erstellung der Normen (IEC) von Beginn

an mitzuwirken. Daraus entstand der Wunsch, die gesammelte Erfahrung in einem Fachbuch zusammenfassend weiterzugeben, zumal bisher keine vergleichbare Dokumentation in dieser Tiefe vorliegt.

Die Faszination des Verbundisolators, der ja „einfach nur“ aus den genannten drei Komponenten besteht, liegt für die Autoren darin begründet, dass interdisziplinär Aspekte der Mechanik, Elektrotechnik, Chemie, Physik, Verfahrenstechnik bis hin zur Biologie in einem Produkt vereint werden. Entsprechend wurde auch dieses Buch strukturiert:

Nach einer kurzen Einleitung, in welcher ein Überblick über den weltweiten Einsatz von Verbundisolatoren gegeben wird, werden insbesondere das mechanische Verhalten und die Anwendungen der einzelnen Verbundisolarentypen beschrieben. Das sind im Einzelnen Verbundlangstabisolatoren, Verbundstützisolatoren, Isoliertraversen für Kompaktleitungen, Phasenabstandshalter und Verbundhohlisolatoren.

Bei den Verbundlangstabisolatoren, mit welchen auch die längsten Erfahrungen vorliegen, wird intensiv auf deren Dauerstandsverhalten unter Zuglast eingegangen. Diese hängt eng mit der richtigen Auslegung der Metallarmaturen zusammen. Bei den Verbundstützisolatoren wird sich auf die physikalische Erläuterung und die Bestimmung der Schadensgrenze konzentriert, ist doch diese isolatorenspezifische Größe maßgebend für die Betriebssicherheit im Netzeinsatz unter den verschiedensten Belastungen. Bei beiden Isolarentypen werden sowohl analytische wie auch numerische Simulationsverfahren vorgestellt -und miteinander verglichen- welche eine sichere Dimensionierung der Isolatoren ermöglichen.

In den zwei darauffolgenden Kapiteln werden zwei wichtige Spezialitäten moderner Netze behandelt, für die die Autoren detaillierte Beiträge leisteten: Isolatoren für Kompaktleitungen und für Phasenabstandshalter. Bei den ersteren handelt es sich um sogenannte Isoliertraversen, welche durch ihre Bauweise weniger Durchleitungsrechte erfordern, die Werte des elektrischen und magnetischen Feldes durch den verringerten Phasenabstand reduzieren helfen und damit zu der immer mehr im Vordergrund stehenden optimalen Ausnutzung der Leitungstrassen beitragen. Kompaktleitungen mit Isoliertraversen sind komplexe mechanische Systeme und es bedarf einer umfassenden Erfahrung für deren zuverlässige Dimensionierung. Neben der richtigen Auswahl der Verbundisolatoren für die Traverse selbst wird auf die Stabilitätsproblematik von Kompaktleitungen detailliert eingegangen.

Phasenabstandshalter werden dort eingesetzt, wo Probleme mit den Phasenabständen zwischen den Leiterseilen erwartet werden. Solche Probleme entstehen durch Eisabwurf von vereisten Leitern, Leiterannäherung durch Kurzschlusskräfte und Seiltanzen. Sie können auch erforderlich sein, wenn Mastkopfgeometrie im Sinne einer Leitungskompaktierung gestaltet wird und die üblichen Spannungsfeldlängen beibehalten werden. Phasenabstandshalter sind besonders schlanke Elemente und bedürfen speziellen Berechnungsverfahren, welche hier auch vorgestellt werden.

Verbundhohlisolatoren sind inzwischen als Gehäuse für elektrische Apparate in der Energieübertragung, wie Durchführungen, Kabelendverschlüsse, Überspannungsableiter, etc. nicht wegzudenken. Dies ist einerseits auf deren unkritisches mechanisches Verhalten im Überdruck- oder Erdbebenfall und andererseits auf die

Wirkung der Hydrophobie bei starker Fremdschichtbelastung zurückzuführen. Im entsprechenden Kapitel bildet deren Mechanik den Schwerpunkt im Buch.

Die Materialauswahl und die Herstellungsverfahren sind eng miteinander verknüpft und können das Betriebsverhalten und die Zuverlässigkeit stark beeinflussen. Aufgrund der anerkannten Betriebsakzeptanz für Silikongummi und dessen weit verbreitetem Einsatz bis in die höchsten Spannungsebenen, wird sich auf dieses Material in den Darstellungen eines weiteren Kapitels konzentriert.

Der Korona- und Lichtbogenschutz ist immer noch ein wichtiges Thema, da die Vielfalt der angebotenen Verbundisolatoren designs eine Normung erschwert und individuelle Lösungen heute den Markt weitestgehend prägen. Der Kostendruck, fehlende Produktkenntnis im Vergleich zur Glas- und Porzellantechnik, bei großen Ausschreibungen der Trend, komplette Isolatorenketten als commodity product zu vergeben, ohne die Kompatibilität zu prüfen und in Tests nachzuweisen, können dazu führen, dass Probleme im Betrieb auftreten. Diese Probleme sind dann aber nicht auf die mittlerweile ausgereifte Technik der Verbundisolatoren zurückzuführen. Aus diesem Grund wird der aktuelle Kenntnisstand zum Korona- und Lichtbogenschutz ausführlich dargestellt und in zwei Kapiteln zusammengefasst.

Die Thematik Betriebserfahrung insbesondere aus Sicht des Fremdschichtüberschlags wurde ebenfalls in Erwägung gezogen. Die fehlende Systematik der verfügbaren Information und auch die fehlende Kenntnis von Designdetails der weltweit eingesetzten Produkte führten aber zu dem Entscheid, in den Beispielen des Kapitels zur Bewertung alter Verbundisolatoren, wesentlich auf die Erfahrung mit den seit 30 Jahren eingesetzten eigenen Verbundisolatoren zu fokussieren.

Den Abschluss des Buches bildet ein Kapitel, das sich mit der Normung und Prüfung von Verbundisolatoren befasst. Die Normung wird am Beispiel der IEC-Standards von konventionellen Isolatoren und von Verbundisolatoren vergleichend dargestellt. Bei der Prüfung werden Verfahren zur Bewertung weiterer Eigenschaften von polymeren Mantelwerkstoffen behandelt. Dies erfolgt aus Sicht von wichtigen betriebsrelevanten Eigenschaften wie der Hydrophobie und des Hydrophobie-Transfers sowie einer aktuelle CIGRE-Thematik – dem Material-Fingerprint.

Generell wird viel Material aus eigenen Arbeiten der Verfasser verwendet, sei es aus ihren Veröffentlichungen oder aber aus Publikationen ihrer CIGRE und IEC Arbeitsgruppen. Einen weiteren Schwerpunkt bilden Erkenntnisse aus zwei Industrieprojekten in Zusammenarbeit von PFISTERER SEFAG und der EPFL (École Polytechnique Fédérale de Lausanne), sowie eine ganze Reihe von Untersuchungs- und Prüfberichten, wie diese im Laufe einer langjährigen Produktentwicklung und Produktbetreuung entstehen. Und auch die Arbeiten von vielen Fachkollegen, wie diese sich in einem langen Ingenieurleben „ansammeln“, wurden zur Bereicherung des Inhalts verwendet und – hoffentlich – alle richtig zitiert. So wurden Abbildungen und Diagramme soweit sie nicht aus eigenen Arbeiten und Beiträgen entstammen mit der entsprechenden Literaturreferenz versehen.

Es ist kaum möglich allen zu danken, welche über die Jahre den Verfassern auf die eine oder andere Art geholfen haben, fachlich bei diesem Thema „so weit zu kommen“. Stellvertretend wollen die Autoren Herrn Dr. Claude de Tourreil nennen, langjähriger Leiter der CIGRE-Arbeitsgruppe Isolatoren, welcher leider im März

2006 nach kurzer Krankheit verstarb und mit seiner Produktkenntnis und seinem Ethikverständnis ein wertvoller Fachkollege und Freund war.

Dank gehört auch Hrn. Prof. Dr. Klaus Fröhlich, welcher als Chairman vom Technischen Komitee der CIGRE sich bereit erklärte, dieses Opus kritisch anzuschauen und das Geleitwort zu verfassen.

Wissen nutzt nicht viel, wenn es nicht in eine zum Lesen stimulierende Form gebracht wird und einem breiten Publikum zur Verfügung steht. Für beide Aufgaben konnte der renommierte Springer-Verlag gewonnen werden, welcher in Person von Herrn Dr. Christoph Baumann, Senior Engineering Editor, während der Entstehungsphase des Buches optimal betreute. Den Hrn. Prof. Steffen Großmann und Prof. Jürgen Pilling sei für das sorgfältige Studium des Manuskriptes dieser ersten Auflage und den kritischen Anmerkungen herzlich gedankt.

Die Autoren danken vorab allen Lesern, die auf Fehler in dieser ersten Auflage aufmerksam machen und Anregungen für weitere Ergänzungen und Aktualisierungen geben.

„Last but not least“ sind unsere Familien zu nennen, die uns bei allem operativen Geschäft immer wieder zu motivieren wussten, um das angefangene Werk zu einem guten Abschluss zu bringen.

Winterbach und Malters, im Juli 2011

*Konstantin O. Papailiou
Frank Schmuck*



<http://www.springer.com/978-3-642-23813-0>

Silikon-Verbundisolatoren

Werkstoffe, Dimensionierung, Anwendungen

Papailiou, K.O.; Schmuck, F.

2012, XXIII, 470 S. 474 Abb., 150 Abb. in Farbe.,

Hardcover

ISBN: 978-3-642-23813-0