

Zeitschrift: Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins, des Verbandes Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen = Bulletin de l'Association suisse des électriciens, de l'Association des entreprises électriques suisses

Herausgeber: Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen

Band: 92 (2001)

Heft: 15

Artikel: Verbundisolatoren liegen im Trend

Autor: Cavelti, Guisep

DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-855731>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

Download PDF: 18.04.2026

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

Verbundisolatoren liegen im Trend

Die Baustromversorgung der Alptransit Gotthard AG in Sedrun

Die EW Bündner Oberland AG (EWBO) setzt seit etwa zehn Jahren in verschiedenen Versorgungsabschnitten Verbundisolatoren ein. Im Rahmen des Projekts Neue Alpentransversale (Neat) war im Jahr 1999 die 60-kV-Baustromversorgung des Alptransit-Gotthard-Zwischenangriffs¹ Sedrun zu realisieren. Die bisher gesam-

melten positiven Erfahrungen haben zur Verwendung von Verbundisolatoren auch für dieses wichtige Projekt geführt. Nahezu zwei Drittel der Verbundisolatoren werden als Stützisolatoren eingesetzt. Im folgenden Beitrag werden die Aufgaben

Giusep Cavelti, Konstantin Papailiou, Frank Schmuck

des EWBO im Neat-Projekt und die Bedeutung des Verbundisolators beschrieben sowie die spezifischen Eigenschaften von Verbundstützisolatoren vorgestellt.

Erster Einsatz beim EWBO

Im Jahr 1990 erfolgte die Netzumgestaltung in Trun mit dem Ziel, die Betriebsflexibilität zu erhöhen. Es wurden die 60-kV- und 16-kV-Freileitung auf ein gemeinsames Gestänge zusammengefasst. Das Dorf Trun wurde über eine Mittelspannungs-Schwerpunkt-Transformatorstation eingeschlaucht, und ein künftiger Einspeisepunkt für das geplante Kleinwasserkraftwerk wurde bereitgestellt. In diesem Zusammenhang wurden aktuelle Isolatortechnologien bewertet, darunter auch der Verbundisolator mit Silikongummimantel. Erste Erfahrungen

Die EW Bündner Oberland AG

Die EW Bündner Oberland AG (EWBO) wurde im Jahre 1907 gegründet und betreibt heute ein Versorgungsnetz von ca. 870 km Länge mit den Spannungsniveaus 60 kV, 16 kV und 0,4 kV. Die total installierte Kraftwerksleistung beträgt rund 13 MVA und der mittlere Jahresenergieumsatz 170 Mio. kWh.

mit Verbundisolatoren in den Siebzigerjahren, der Vergleich zwischen konventioneller und Verbundisolatortechnologie, aber auch die seit 1979 gewonnenen Betriebserfahrungen im Lötschbergtunnel sowie der internationale Trend führten zur Entscheidung, eine Versuchsstrecke mit Verbundisolatoren auszustatten. Die Anforderungen an den Verbundisolator übertrafen die Anforderungen an einen vergleichbaren Porzellanisolator: Bei gleichen Kosten sollte ein besseres Eigenschaftsbild (niedriges Gewicht bei hoher Bruchsicherheit und mechanischer Festigkeit, hohes Isoliervermögen, wartungsfreier Betrieb, gute visuelle Integration ins Landschaftsbild) erreicht werden. Der von der Firma Sefag AG in Malters hergestellte Verbundisolator Silcosil entsprach auf Grund der flexiblen Fertigungstechnologie diesen Erfordernissen. Der störungsfreie Betrieb seit 1991 hat den Entscheid für die Technologie Verbundisolator umfänglich bestätigt (Bild 1).

Beteiligung des EWBO an der Neat

Der Gedanke, einen Gotthard-Basistunnel zu bauen, geht bereits auf das Jahr 1947 zurück. Das erste Projekt stammt aus dem Jahre 1962. Fünfzig Jahre später, also im Jahre 2012, soll der längste Eisenbahntunnel der Welt in Betrieb genommen werden. In diesen 50 Jahren wurde das Projekt entsprechend dem wissenschaftlich-technischen Fortschritt, den Sicherheitsbestimmungen und dem Umweltschutz weiterentwickelt. Die Annahme der Vorlagen zur Neat im Jahre 1992 bildete die Planungsgrundlage, und die Annahme der leistungsabhängigen Schwerverkehrsabgabe (LSVA) sowie der Vorlage zur Modernisierung der Bahn

im Jahre 1998 bedeuteten die Baubewilligung.

Das erste Projekt des Jahres 1962 beinhaltete einen einspurigen Tunnel, erschlossen über zwei Zwischenangriffe. Der Tunnel sollte von Amsteg nach Giornico in gerader Linienführung durch den Berg führen. Seine 45 km Länge waren in der Mitte mit einer Überholgleisanlage versehen. Das System Tunnelschiene war für eine maximale Geschwindigkeit von 200 km/h ausgelegt, was der heutigen Planung weitestgehend entspricht. Andere Details des damaligen Plans wurden umfassender modifiziert. Dies gilt insbesondere für das Tunnelsystem: Erste Reviews aus dem Jahre 1971 favorisierten einen Doppelspurtunnel, der gegebenenfalls streckenweise in zwei Einspurprofile aufzuteilen ist. Der Entscheid zwischen einer Doppelspurrohre mit Dienstrohre beziehungsweise zwei Einspurrohren (mit oder ohne Dienstrohre) fiel dann im Jahre 1995. Die in der jüngeren Vergangenheit diskutierte Hybridlösung wurde als optimales Konzept eingeführt: zwei Einspurrohren ohne Dienststunnel, jedoch mit zwei Multifunktionsstellen,

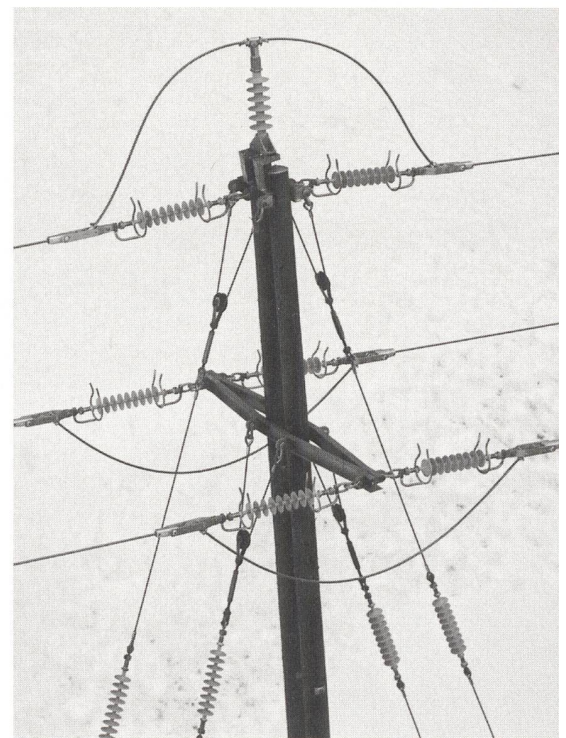


Bild 1 Abspannmast mit Verbundisolatoren aus dem beschriebenen Leitungsabschnitt

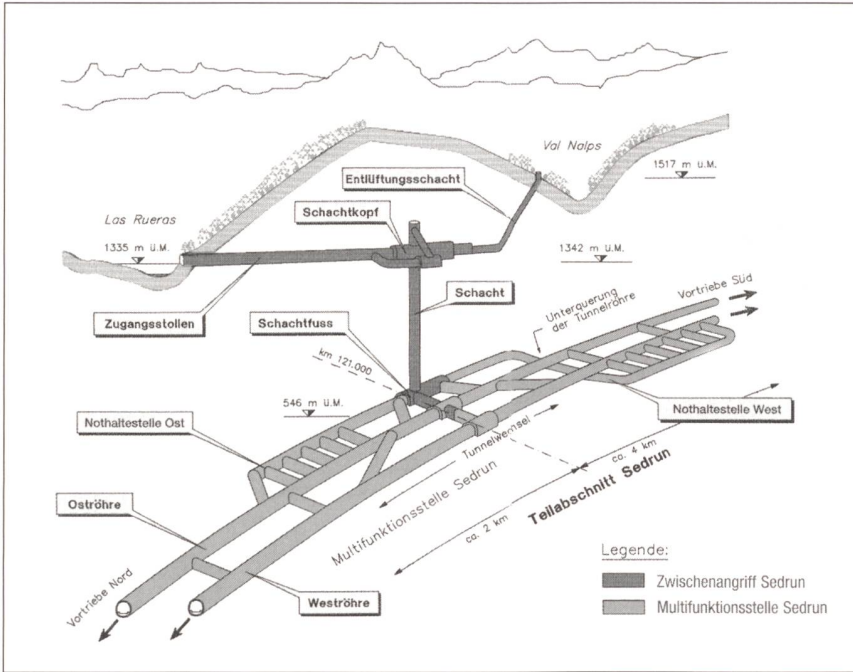


Bild 2 Hybridlösung mit Zwischenangriff Sedrun

Spurwechseln und etwa 180 Querschlägen² [1]. Dieses Konzept stellt sicher, dass jede Röhre als Notröhre der anderen dienen kann (Bild 2).

Um die Bauzeit der beiden Einspurröhren um rund fünf Jahre zu verkürzen, wurde der Zwischenangriff Sedrun geplant. Er besteht aus einem 990 m langen horizontalen Zugangstollen. An dessen

Ende befindet sich ein 800 m tiefer Vertikalschacht mit 7,9 m Durchmesser, der mit einem Nutzlast-Lift für 50,8 t zur Fusssole des Bahntunnels führt.

Die Baustromversorgung

Die Bereitstellung der Baustromversorgung für das Teilprojekt Zwischenangriff Sedrun (ZAS) fällt in den Zustän-

digkeitsbereich der drei lokalen Energieversorgungsunternehmen, des EW Tujetsch (EWT), der EW Bündner Oberland AG (EWBO) und der Kraftwerke Vorderrhein AG (KVR).

Um die Stromversorgung dieser wichtigen Baustelle redundant sicherzustellen, erarbeiteten die drei Partner von 1991 bis 1994 ein spezielles Notstromversorgungskonzept (Bild 3). Neben der bestehenden 220-kV-Freiluftschaltanlage der KVR in Sedrun/Rueras wurde ein 220/60/16-kV-Unterwerk vorgesehen. Durch dieses Umspannwerk wird die Baustelle über zwei Kuppeltransformatoren 60/16 kV mit einer Leistung von je 16 MVA versorgt. Bei einer Störung oder einem Versorgungsunterbruch des 220-kV-Pfades kann das Unterwerk Sedrun mit einer 60-kV-Verbindung ab dem Unterwerk Disentis versorgt werden. Als dritte Möglichkeit steht die 16-kV-Talleitung mit reduzierter Versorgungsleistung ab dem Mittelspannungs-Ortsnetz Disentis zur Verfügung.

Nach der Überprüfung verschiedener Konzepte und Auswertung von Sicherheitsstudien erhielt die Abteilung Netze des EWBO den Ingenieur-Planungsauftrag, die 60-kV-Baustromversorgungs-Freileitung aus der Bauzeit des Kraftwerkes Vorderrhein in Sedrun (Abschnitt Unterwerk [UW] Disentis-Val Bugnei) komplett zu sanieren und zu erneuern. Der Abschnitt Val Bugnei/UW Sedrun

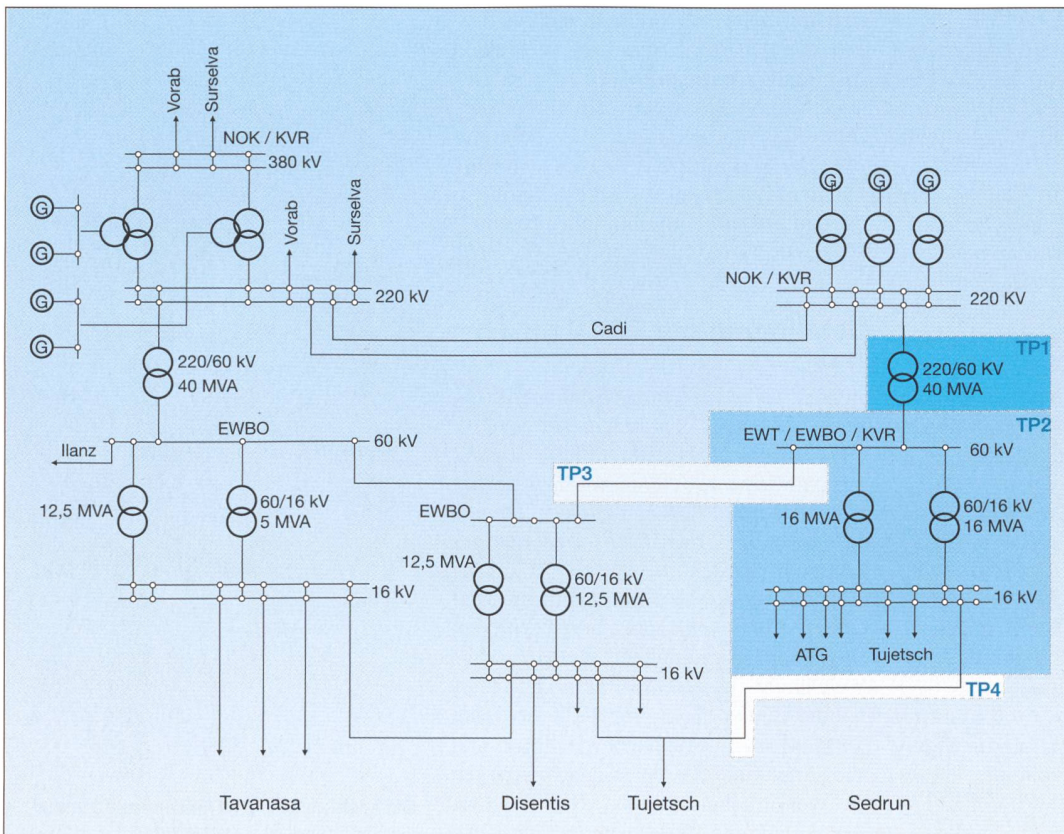


Bild 3 Gesamtstromversorgungskonzept für den Zwischenangriff Sedrun der Alptransit AG

Teilprojekt 1 (PT 1): Kuppelung 220/60 kV (Anschluss an Verbund und KW); Teilprojekt 2 (PT 2): Unterwerk 60/16 kV (Baustelleneinspeisung und Talversorgungssicherheits-Erhöhung); Teilprojekt 3 (PT 3): 60-kV-Leitung zwischen dem Unterwerk Disentis und dem neuen Unterwerk Sedrun (Anschluss an das EWBO-Netz); Teilprojekt 4 (PT 4): 16-kV-Leitung zwischen den Unterwerken Disentis und Sedrun

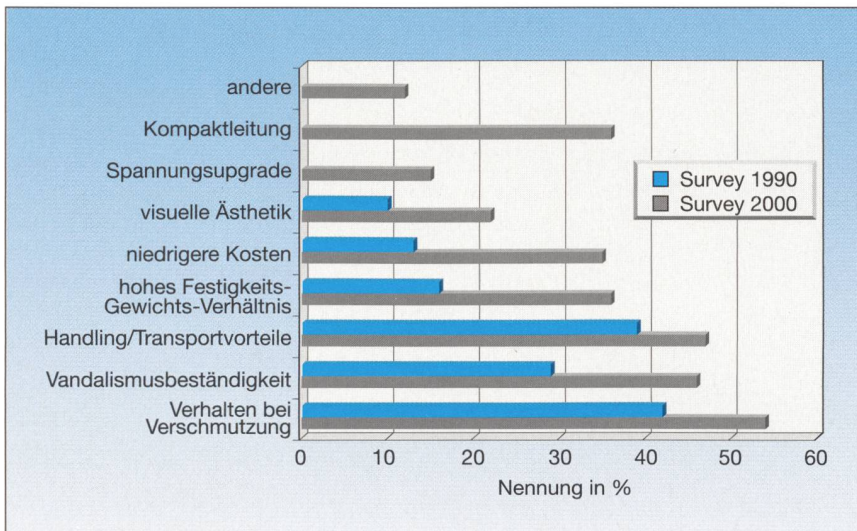


Bild 6 Gründe für den Einsatz von Verbundisolatoren laut Cigré-Befragung

gen, Kosteneinsparung durch schnellere Installation und die fehlende Notwendigkeit von Reserveisolatoren.

- Spannungserhöhungen und Kompaktleitungen sind relativ neue Kriterien, die im Rahmen des deregulierten Strommarktes zunehmend an Bedeutung gewinnen.

Anzahl installierter Einheiten

Die Anzahl installierter Einheiten reflektiert eindeutig den Trend vom konventionellen Isolator zum Verbundisolator. Die Studie enthält nicht den traditionellen Markt USA, so dass die aus der aktuellen Bewertung resultierende Gesamtzahl von 692 176 in der Realität erheblich übertroffen wird (zum Vergleich: 1990 waren 42 590 Einheiten installiert). Schätzungen gehen weltweit von einer Gesamtzahl von 3,5 Mio. Verbundisolatoren aus bzw. 10 Mio., wenn die 36-kV-Spannungsebene berücksichtigt wird. Auf allen Kontinenten ist ein hoher Zuwachs zu beobachten. Der Aufbau der Elektrifizierung in China hat zu einer überproportionalen Zunahme in Asien geführt.

Ungefähr 5% der in der Studie erfassten Verbundisolatoren sind Stützisolatoren. Dieser scheinbar untergeordnete Isolatorotyp spielt eine essentielle Rolle für die Kompaktierung⁶ von Leitungen bei limitierten Durchleitungsrechten [3] beziehungsweise bei einer Spannungserhöhung. Die Philosophie einer Kompaktierung wird verstärkt in den USA verfolgt: Die im Rahmen der Studie verfügbaren Daten zeigen einen Anteil der Stützisolatoren von 50% in amerikanischen EVU. Auf Grund ihrer zunehmenden Bedeutung in Europa und für das

EWBO-Projekt wird im Folgenden speziell auf die Erhöhung der Versorgungszuverlässigkeit durch das «Safe-Failure»-Verhalten von Verbundstützisolatoren eingegangen.

Bruchverhalten von Verbundstützisolatoren

Die allgemeinen Gründe für den Einsatz von Verbundisolatoren entsprechen den in der Studie [2] genannten bekannten Vorteilen:

- niedriges Gewicht bei hoher Bruch-sicherheit und mechanischer Festigkeit
- reduzierte Installationskosten
- hohes Isoliervermögen
- wartungsfreier Betrieb (Lifecycle Costs)
- dynamische Festigkeit
- Vandalismusbeständigkeit
- kurze Prozesszeit (Lieferzeit)

Darüber hinaus versprechen Verbundstützisolatoren:

- Kompaktlösungen für Übertragungs- und Verteilsysteme (T&D-Systeme)
- Bruchsicherheit (Safe Failure Mode)

Verbundstützisolatoren zeigen im Fehlerfall nicht das typische Bruchverhalten im Sinn einer physischen Trennung, wie es von Porzellanisolatoren bekannt ist [4]. Es kommt zu einem partiellen Verlust der mechanischen Festigkeit durch Faserbruch im tragenden Stab. Die verbleibenden intakten Fasern gewährleisten aber, dass das Leiterseil auf dem Mast gehalten wird. Das äußert sich optisch in einer stärkeren Deformation bei konstanter Biegelast. Dieses optische Erscheinungsbild ist für die Diagnose relevant, weil die

zerstörungsfreie Prüfung des im Inneren des Isolatorverbundes befindlichen Stabs zu aufwändig und teuer wäre.

Dieses Verhalten wurde im neuen Standard für Verbundstützisolatoren (IEC 61952 [5]) berücksichtigt. Als Bestandteil der Designprüfung (im deutschen Sprachgebrauch auch als Bauartprüfung bezeichnet) ist eine so genannte Maximum Design Cantilever Load (MDCL) zu bestimmen. Dieser Wert ist als Belastung definiert, bei der erste Schäden des Stabes auftreten.

Die noch begrenzten Langzeiterfahrungen führten zur Definition, dass dieser Wert im Betrieb nicht überschritten wer-

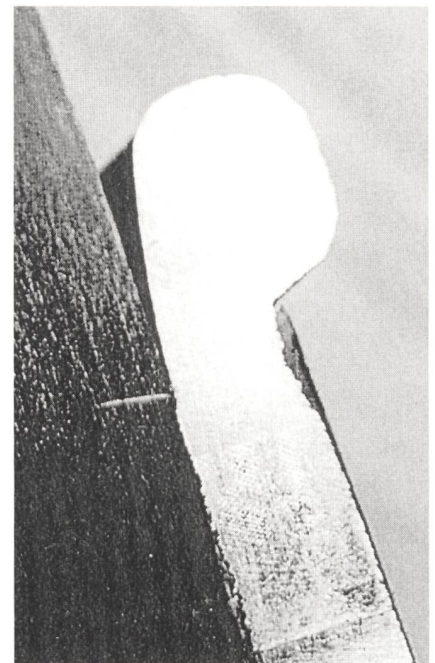


Bild 7 Schadensbild bei Überschreiten des MDCL-Wertes

den sollte. Ein typisches Schadensbild zeigt Bild 7 [6]. Deutlich erkennbar ist der Riss, der sich typischerweise auf der Druckseite ausbildet. Die mittlere Spannung, bei der dieses Schadensbild auftritt, hängt u.a. von folgenden Parametern ab:

- Stabmaterial aus glasfaserverstärktem Kunststoff (GFK)
- Form der metallischen Endarmatur
- Verfahren zum Aufbringen der metallischen Endarmatur auf den Stab

Typische mittlere Spannungswerte für die MDCL liegen abhängig vom Verhältnis zwischen Längen und Durchmesser bei 250 bis 400 N/mm² (zum Vergleich: Das Versagen des GFK-Stabes ohne Armatur auf Zugbelastung tritt bei wesentlich höheren Werten zwischen 400 und 1100 N/mm² auf).

Der eigentliche Bruchversuch ist Bestandteil des «Type Tests» (Typprüfung). Dieser Wert – in der branchenüblichen englischen Terminologie als Specified Cantilever Load (SCL) bezeichnet – ist die Biegekraft, welche allmählich innerhalb von 300 s bis auf den Bruchwert erhöht wird.

Beispiel eines SCL-Versuchs

Bild 8 zeigt die Anordnung eines Tests für einen 72,5-kV-Stützer, bei welchem die SCL 20 kN betrug. Das Erscheinungsbild im Bruchaugenblick zeigt, dass es zu keiner physischen Separation der Stützerteile gekommen ist. Der Bruchwert kann sowohl dem Kraft-Zeit-Diagramm entnommen als auch akustisch zweifelsfrei bestimmt werden. Das nachfolgende Anlegen der Betriebslast von 6 kN führte zu einer stärkeren Deformation im Vergleich zum ungebrochenen Zustand, der Stützer behielt aber seine mechanische Integrität.

Eine Analyse des Fusstorsos ergab ein verändertes Schadensbild (Bild 9) gegenüber dem MDCL-Schadensbild aus Bild 7. Deutlich erkennbar ist die Rissbildung auf der Druckseite. Der Riss endet an der so genannten neutralen Faser (hier

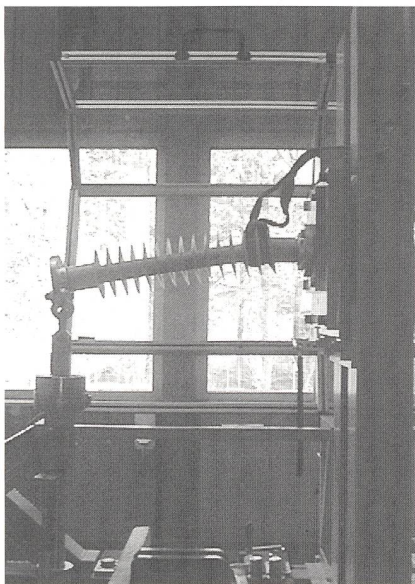


Bild 8 SCL-Versuch des 72,5-kV-Stützers

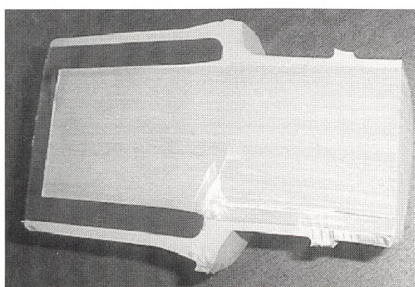


Bild 9 Schadensbild des SCL-geprüften Stützers

gibt es weder Druck noch Zug) des Stabes. Der den Zuganteil aufnehmende Stababschnitt weist keine Schädigung auf. Dieses Bruchverhalten führt zu einer Restfestigkeit im Vergleich zu Porzellanstützern und zu einem gesamthaft sicheren «Failure Mode». Der betroffene Stützer kann auf Grund der grösseren Deformation zweifelsfrei erkannt und ersetzt werden.

Versuch zur Bestimmung der Restfestigkeit

Die für die Betriebssicherheit interessante Restfestigkeit wurde hinsichtlich ihrer zeitlichen Beständigkeit untersucht. Dazu wurde folgendes Prüfverfahren angewendet:

- Festlegung des MDCL-Wertes
- Bruch des Stützers
- Anlegen des 1,1-fachen MDCL-Wertes für 96 h

Für den Prüfling (unbeschränkter 36-kV-Stützer) wurde aus versuchstechnischen Gründen ein MDCL von 5 kN festgelegt. Dieser Wert übertrifft die verbreitete Praxis, die der empirischen Beziehung $MDCL < 0,4 SCL$ folgt. Der Bruchwert wurde mit 11,1 kN bestimmt. Es ist wieder erkennbar, dass der Stützer trotz erheblicher Deformation seine physische Integrität behält (Bild 10).

Der gebrochene Stützer wurde über 96 h statisch mit 5 kN belastet (Bild 11). Die Deformation beträgt rund 45 mm. Das entspricht einer Zunahme gegenüber dem ungebrochenen Zustand um 100% (22 mm).

Nach den 96 h wurde die Restfestigkeit untersucht. Die Resultate sind in Bild 12 dargestellt. Es ergab sich ein nicht linearer Verlauf, wobei die ursprünglichen 11 kN nicht erreicht wurden. Bis etwa 8 kN kann der gebrochene Stab die Biegekraft nahezu linear aufnehmen, das rechnerisch reduzierte E-Modul beträgt rund 22 000 N/mm². Eine weitere Krafterhöhung führt zu einer überproportionalen Deformation.

Mit dem Anwenden einer MDCL-korrespondierenden Belastung über 96 h und dem konstant-plastischen Verhalten im untersuchten Bereich kann tendenziell eine hohe Sicherheit für die Restfestigkeit des gebrochenen Stützers abgeleitet werden.

Aus Sicht der Prüfphilosophie entspricht in einem Diagramm mit logarithmischer Zeitachse eine Prüfzeit von 96 h der «Mitte» zwischen einem Tag und 50 Jahren. Führt die reduzierende Belastung zu einem gleichbleibenden Alterungsprozess, so ergibt sich ein konstanter Änderungsgradient und es kann z.B. aus den



Bild 10 Bruchverhalten des Stützers

Prüferten des Neuzustandes und des 96-h-Tests entsprechend auf grössere Betriebszeiten extrapoliert werden.

Zusammenfassung

Verbundisolatoren haben heute einen technischen Reifegrad erreicht, der auf Grund ihrer Vorteile zu einem überproportionalen Anwendungswachstum geführt hat. Für die wichtige Baustromversorgung der Alptransit Gotthard AG in Sedrun wurden Verbundisolatoren sowohl als Stützer wie auch als Abspannisolatoren eingesetzt. Die elektrischen und mechanischen Prüfungen wurden mit den entsprechenden Sicherheitsfaktoren bestanden. Zudem zeigten die mechanischen Prüfungen ein sicheres Bruchverhalten, welches mit Isolatoren in konventioneller Bauweise nicht erreichbar ist. Die im vorliegenden Beitrag beschriebenen spezifischen Eigenschaften des Ver-

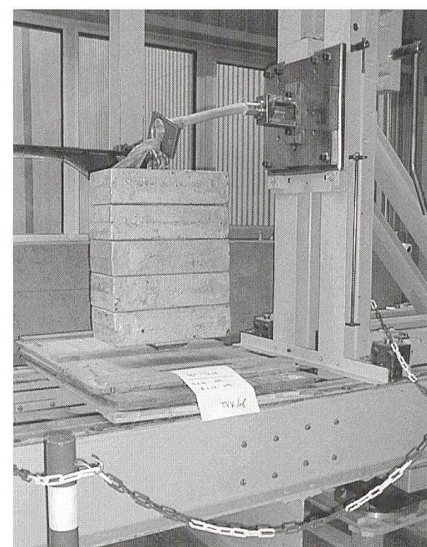


Bild 11 96-h-Test des gebrochenen Stützers

bundstützisolators werden unter den Anforderungen deregulierter Märkte zunehmend an Bedeutung gewinnen.

Adressen der Autoren

Sefag AG, 6102 Malters, Tel. 041 499 72 72: *Konstantin O. Papailiou*, papailiou/sefag@sefag.ch; *Frank Schmuck*, frank_schmuck/sefag@sefag.ch
 EWL Kabelnetz AG, 6002 Luzern, Tel. 041 369 43 01: *Giusep Cavelti*, giusep.cavelti@ewl-luzern.ch

Literatur

- [1] Gotthard-Basistunnel: Zwischenangriff Sedrun. Informationsbroschüre
- [2] Worldwide Service Performance with HV Composite Insulators. *Electra* 191, Issue 191, August 2000
- [3] *M. Ammann et al.*: A new 400 kV line with compact towers and composite insulated crossarms. Beitrag 22/33/36-06, Cigré 1998
- [4] *K. Papailiou et al.*: On the raising Application of polymeric post insulators. Cigré Prag, September 2000
- [5] Composite line post insulator for a.c. overhead lines with a nominal voltage greater than 1000 kV, IEC 61952
- [6] Insulator News & Market Report: International & (Some) National Standards Governing Composite Insulators, Vol. 7 No. 1, 1999

Links

- [7] www.cigre.org

¹ Zwischenangriff = Zugangsstollen zur Hauptachse des Bahntunnels, um den Vortrieb des Tunnels nach Norden und Süden zeitlich zu verkürzen

² Ein Querschlag ist ein bergmännischer Fachausdruck für die Verbindungsstollen zwischen den beiden Einbahntunneln

³ Wasser abstossend

⁴ 325-kV-Blitz-Stehstoss und 140-kV-1-Minutenstehwert nass: Diese Werte müssen bei den üblichen Spannungsprüfungen vom Isolator erreicht werden. Der «Stehstoss» ist die Haltespannung bei einer Prüfung mit einer normierten Impulsspannung; der «1-Minutenstehwert nass» ist die Spannung bei einer Prüfung mit 50 Hz Wechselfspannung während einer Minute, wobei der Isolator beregnet wird.

⁵ Cigré=Conseil International des Grands Réseaux Electriques

⁶ Mehrere Leitungssysteme auf einem Mast

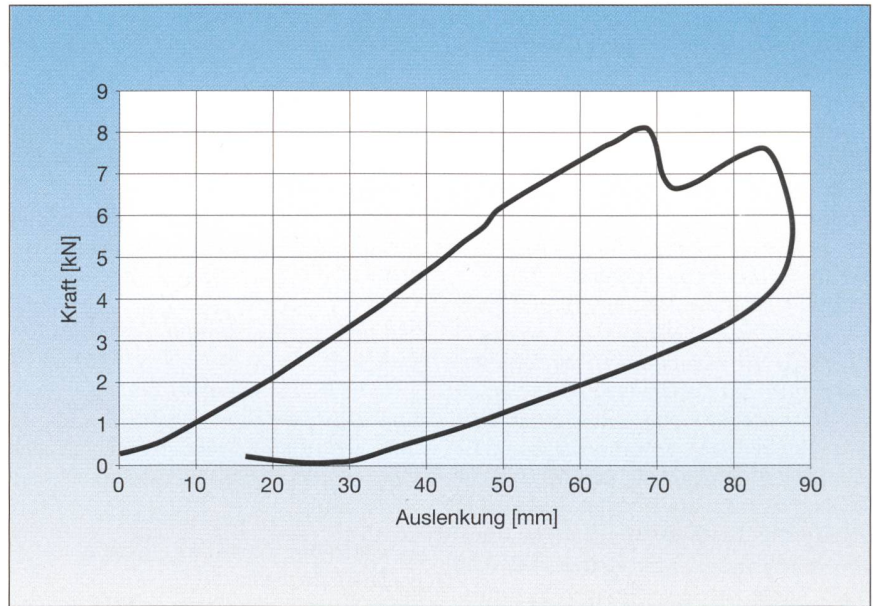


Bild 12 Restfestigkeit des gebrochenen Stützers nach 96-h-Test

Les isolateurs composites sont à la mode

Ces dix dernières années, les isolateurs composites ont constamment conquis de nouveaux domaines d'application. Dans l'alimentation du chantier NLFA à l'accès intermédiaire de Sedrun, ces isolateurs modernes ont également été choisis. Outre le coût plus réduit, ils sont caractérisés par un poids plus faible pour une haute résistance à la rupture et une meilleure résistance mécanique, un pouvoir isolant élevé et un service exempt d'entretien, de même que la bonne tenue dynamique et la résistance au vandalisme. Les expériences pratiques disponibles à ce jour ont confirmé tous ces avantages. On s'attend donc que les isolateurs composites continuent de gagner des parts de marché au cours des années à venir.