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: 71 (1980)

Heft: 1

Artikel: Aus der Geschichte der Tragisolatoren

Autor: Imhof, A.

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-905191

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: 13.12.2025

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

Aus der Geschichte der Tragisolatoren

Von A. Imhof

621.315.6(091)

Die historischen, einen Zeitraum von etwa 300 Jahren umfassenden Entwicklungen im mannigfaltigen Gebiet der verschiedensten Stützisolatoren, Hängeisolatoren, Abspannisolatoren, Isoliertraversen werden dargestellt für die Gebiete der Elektrostatik, der galvanischen Elektrizität und Telegrafie, der Starkstromtechnik. Ein grosser Formenreichtum bei Beschränkung auf relativ wenige Werkstoffe kennzeichnet diesen scheinbar einfachen und doch viele Probleme, darunter namentlich diejenigen der Witterungseinflüsse, bietenden Sektor der Technik.

Le développement englobant quelque 300 années, dans le domaine très varié des isolateurs, soit des isolateurs support, de suspension, d'arrêt et des traverses isolantes de tout genre, est décrit pour leurs emplois en électrostatique, électricité galvanique, télégraphie et technique des courants forts. Un grand nombre de formes, avec des matières relativement peu nombreuses, caractérise les problèmes apparemment simples et pourtant multiples dans ce secteur de la technique, notamment ceux des influences atmosphériques.

1. Einführung

Die hier gewählte Bezeichnung «Tragisolatoren» umfasst das grosse Gebiet der Stützisolatoren, Hängeisolatoren, Abspannisolatoren, Langstabisolatoren, Distanzhalter, Scheibenisolatoren. Trotz der scheinbaren Einfachheit der mit dem Tragen elektrisch geladener oder unter elektrischer Spannung stehender Leiter verbundenen Probleme hat sich eine beträchtliche Forschung bis in die neueste Zeit damit befasst, und die Zahl der die Tragisolatoren betreffenden Publikationen ist gross. Im Sinne der fachtechnischen Nomenklatur versteht man unter Tragisolatoren nur solche mit der ausschliesslichen Funktion des Tragens oder des Abstandhaltens von Leitergebilden beliebiger Art. Umfassender müsste man jedoch auch diejenigen Isoliergebilde einbeziehen, deren Hauptzweck der eines elektrisch isolierenden Behälters für Flüssigkeiten, Gase oder für das Vakuum ist. Sie alle tragen, als Nebenfunktion, Konstruktionsteile, wie Deckel, Elektroden, Polklemmen, das elektrische Feld beeinflussende Schirme. In manchen Fällen findet eine Potentialsteuerung der Gefässwandung statt.

Die Werkstoffe der Tragisolatoren sind, stark überwiegend, Porzellan und Glas, Hartpapier sowie einige Kunststoffe. Deren Beschreibung und Entwicklung im Laufe der Zeit auch nur einigermassen einzubeziehen, ist im Rahmen eines Aufsatzes von wenigen Seiten nicht möglich, so dass der kurze Hinweis genügen muss.

Wenn nachfolgend von historischen Etappen die Rede ist, so sei vorangestellt, dass sich solche nur hinsichtlich ihres Beginnens einigermassen abgrenzen lassen, nicht aber in bezug auf ihr Ende, denn jede Etappe setzt sich in die nächst jüngere fort. Die Geschichte der Tragisolatoren beginnt mit der Elektrostatik etwa um 1650. Darauf folgt um 1800 die Etappe der galvanischen Elektrizität und praktisch gleichzeitig die Etappe der elektrischen Telegrafie (von *S. Th. Soemmering* 1809). Um 1870 setzte die Etappe der Starkstromtechnik ein, anfänglich mit niedrigen Spannungen, dann, schon kurz vor der Jahrhundertwende mit hohen Spannungen und, etwa von 1960 an, mit den sog. Höchstspannungen. Die Etappe der Starkstromtechnik könnte auch als Etappe der Kraftwerke und deren Energieleitungen bezeichnet werden, einerseits bezogen auf die Innenraumanlagen, anderseits auf die Freiluftanlagen. Hinsichtlich der Isolatoren folgt zuletzt das Aufkommen der vollgekapselten Anlagen für hohe und sehr hohe Spannung.

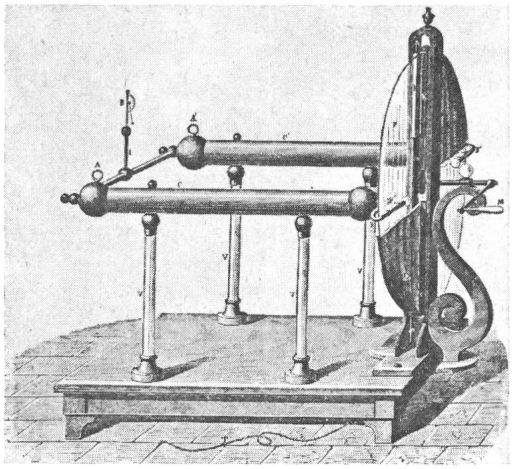


Fig. 1 Scheibenelektrisiermaschine mit 4 Glastragisolatoren [1]

2. Die Etappe der Elektrostatik

Die Tragisolatoren der elektrostatischen Geräte waren von den ersten Versuchen an bis etwa 1930 fast ausschliesslich glattwandige Glasstäbe von rundem Querschnitt, in den ersten Zeiten auch Seidenschnüre. Die Glastechnik war zur Zeit der ersten Experimente mit Reibungselektrizität um 1750 schon sehr alt und stand in einigen europäischen Ländern in hoher Blüte. Sie beherrschte insbesondere auch die Herstellung von Röhren und Scheiben. «Bei der Erzeugung von Stäben fällt das vorangehende Aufblasen weg, man macht lediglich eine Wurst von Glasmasse und verfährt wie angegeben» belehrt ein späteres technologisches Werk [1, Band IV]. Die Rohstoffe des Glases: Kieselerde, alkalische Erde und Metalloxide, standen überall reichlich zur Verfügung. Obschon zwischen 1710 und 1759 neun europäische Porzellanmanufakturen entstanden, findet man kaum je Porzellantragstäbe in elektrostatischen Kabinetten, wohl aber gelegentlich zierlich geformte Porzellanfüsse für die Glasstäbe.

Hauptsächliche Anwendungen der Glasisolierstangen boten die Reibungselektrisiermaschinen, die zudem als Reibkörper Glaszylinder und Glasscheiben benötigten (Fig. 1), ganz am Anfang auch eine Schwefelkugel. Daneben sind die Influenzelektrisiermaschinen verschiedener, schrittweise verbesserter Systeme zu erwähnen. In den Physikbüchern aus dem späten 19. Jahrhundert findet man meist auch ein Bild der Dampfelektrisiermaschine (Fig. 2) mit ihren hohen gläsernen Tragsäulen. Tragstäbe für Drähte trugen an ihrem dem Fuss abgewandten Ende meist eine Metallkugel. Für eine Zeit, in der man noch nichts von Kraftfeldern wusste, ist es bemerkenswert, dass die Auflagefläche der Kugel manchmal nach innen gewölbt war, um das Ende der Glasstange elektrisch zu entlasten [4].

Hier sei noch eines lateinischen Schriftchens des Luzerner Geistlichen *P. W. Amersin* aus dem Jahre 1755 gedacht, das

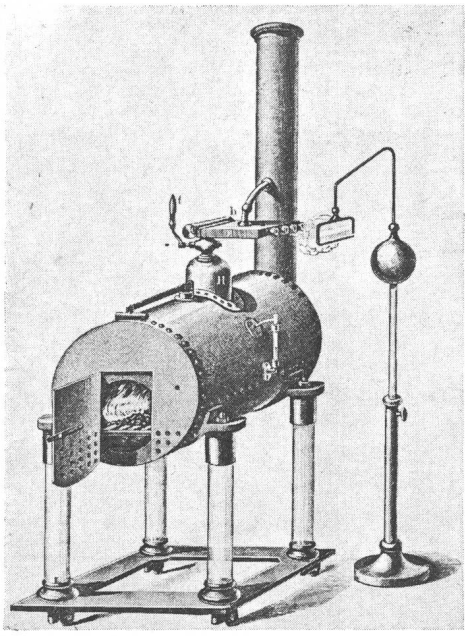


Fig. 2 Dampfelektrisiermaschine von Armstrong mit 4 Glastragisolatoren für den Dampfkessel [2]
Rechts ein in der Höhe verstellbares Stativ mit Glasträger

schon ein Rezept zur Herstellung eines Isolators aus Holz enthält: «Das Holz ist zu trocknen, bis es anfängt zu bräunen. Hierauf ist es in Leinöl zu kochen und am Schluss noch mit einem Lacküberzug zu versehen» [5].

Ab 1942 erfuhren die elektrostatischen Generatoren ganz grundlegende Fortschritte durch *N. J. Félici* [6] am Laboratoire d'électrostatique du C.N.R.S.[1]) in Grenoble. Ihre Tragisolatoren bestanden aus Anilinharz Cibanit. Sie befanden sich in Druckluft von bis 37 bar und versuchsweise auch in andern Gasen.

Zur Elektrostatik gehört ferner der 1930 in Amerika durch *R. J. van de Graaff* erfundene Bandgenerator für die Kernforschung, der bis heute sukzessive verbesserte und grössere Ausführungen erfahren hat. Mit solchen Generatoren werden Gleichspannungen bis weit über 10 MV erzeugt. Ihre Isoliertragsäulen bestehen aus Glas, wie bei den alten Elektrisiermaschinen, mit dem Unterschied, dass sie in einem hochisolierenden Druckgas stehen.

3. Die Etappe der galvanischen Elektrizität und der Telegrafie

Von etwa 1850 bis 1875 dauerte die Verwendung der galvanischen Elektrizität zur Speisung von Bogenlampen durch sehr grosse galvanische Batterien. Der niedrigen Spannung und kurzen Leiter wegen bot das Problem der Stromleitungen keine grossen Schwierigkeiten. Anders aber für die Tragisolatoren der ungefähr zur selben Zeit zu erstellenden Telegrafenleitungen. Diese hatten nicht, wie man es von der Elektrostatik gewohnt war, für hohe Spannungen zu isolieren, sondern, wegen den sehr schwachen Strömen, deren Ableitung nach Erde zu verhindern, und dies grossenteils jeder Witterung ausgesetzt. Wichtig war deshalb ein möglichst bleibender hoher Isolationswiderstand.

Man hatte zunächst grosse Bedenken gegen Freileitungen, denn man fürchtete Regen, Schnee und Eis, den Wind, ja sogar den Diebstahl der Drähte. Die ersten Telegrafenleitungen wurden deshalb mit auf ihrer ganzen Länge isolierten Drähten ausgestattet, und erst als sich dieses System nicht bewährte und zu hohe Kosten verursachte, wagte man sich an Freileitungen. *J. P. Cooke* bemühte sich, an den Befestigungsstellen der Drähte für den Nadeltelegrafen Zonen zu schaffen, die auch bei Regen trocken blieben. Zu diesem Zweck führte er die Drähte an den Tragpunkten durch kurze Porzellanröhrchen, die mit Metallschellen an hölzernen Leisten befestigt waren. Die Tragstangen wurden mit einem Holzdach versehen. Diese Abstützungsvorrichtung hat sich *J. P. Cooke* 1842 sogar durch ein Patent schützen lassen, so wichtig erschien sie ihm [7]. *W. Fardely* erstellte eine 8,8 km lange Freiluft-Telegrafenleitung, bei der ein Kupferdraht von 1,5 mm Durchmesser auf niedrigen Stangen in einem am obern Ende angebrachten Einschnitt ruhte und durch Holzkeile festgehalten wurde. Schnittstellen und Keile waren geteert und durch eine kleine angenagelte Blechkappe gegen Feuchtigkeit geschützt.

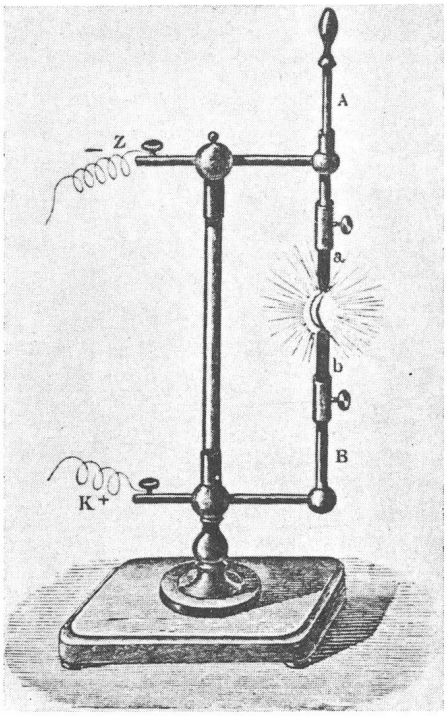


Fig. 3
Elektrischer Lichtbogenbrenner mit Glastragstange der Kohleelektrode, aus der Zeit um 1850 [2]

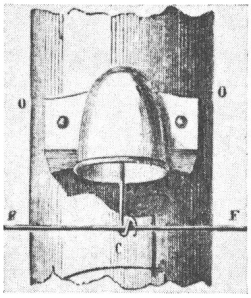


Fig. 4
Isolierende Befestigung eines Telegraphendrahtes am Tragmast [1]

Eine in Frankreich damals übliche Art der Drahtaufhängung ist in Fig. 4 dargestellt. Die erste Telegrafen-Freileitung in Deutschland hat *W. Robinson* nach dem Vorbild seiner Heimat mit amerikanischen, mit glockenförmigem Mantel versehenen Glasisolatoren ausgerüstet. *W. von Siemens* verwendete für eine Teilstrecke der Linie Berlin–Frankfurt glok-

[1]) Centre National de Recherches Scientifiques.

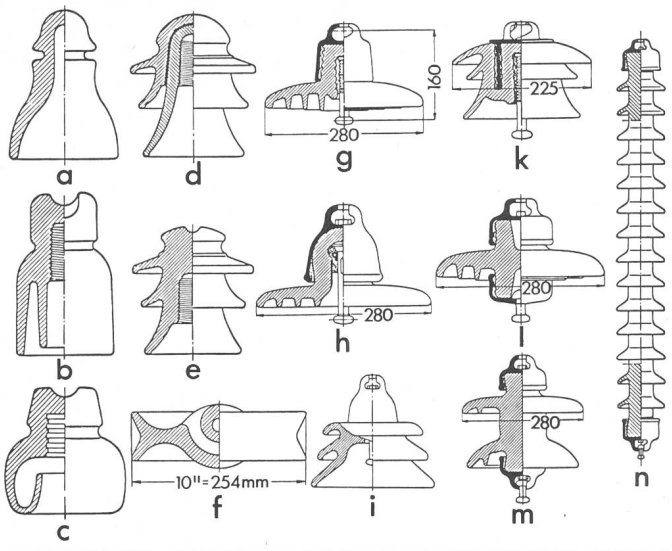


Fig. 5 Entwicklung der Freiluftisolatoren [10]

a Siemens-Isolator 1850
b Doppelglocken-Isolator 1858
c Einteiliger Ölisolator der Anlage Lauffen-Frankfurt a. M.
d Delta-Glocke 1920 (genormte Form)
e Verstärkter Delta-Isolator der Reihe VHD
f Hewlett-Abspannisolator 1907
g Ältester deutscher Kappenisolator 1910
h Kappenisolator mit Federringbefestigung des Klöppels
i Nebel-Kappenisolator des RWE
k Kappenisolator mit eingelassener Kappe
l Doppelkappenisolator 1920
m Motor-Isolator 1924
n Langstab-Isolator

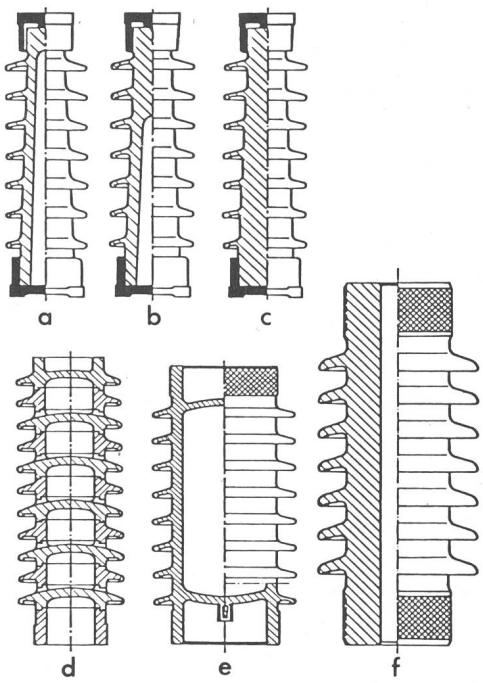


Fig. 6 Verschiedene Porzellan-Stützerisolatoren [10]

a Hohlstützer
b 1/3-Massivstützer
c Vollmassivstützer
d Mehrfach-Zwischenbodenstützer
e Gasgefüllter «abgeschmolzener» Stützer
f Dickwandiger Druckrohr-Isolator

kenförmige Isolatoren aus Porzellan, die sich, wenigstens bei trockenem Wetter, gut bewährten. Im Laufe der Zeit zeigte sich aber, dass Isolatoren mit einfachen Glocken bei feuchtem Wetter den Bedürfnissen nicht genügten. Fig. 5a...5c zeigt den Gang der Entwicklung beim Suchen nach betriebssicheren Isolatoren an einigen Beispielen. Die Ausführungsformen, die allein in den ersten zehn Jahren der elektrischen Telegrafie in den verschiedenen Ländern erprobt worden sind, gehen in die Hunderte. Die noch heute so oder ähnlich verwendete Form ist die Doppelglocke von *Chovin* aus dem Jahre 1858 [7]. Solche Isolatoren wurden auch aus gebranntem und glasiertem Steingut gefertigt. Eine von *W. Weicker* (Hermsdorf) gebotene Darstellung der bis 1927 erreichten Entwicklung [8] enthält Querschnittskizzen von 20 verschiedenen Schwachstromisolatoren.

4. Die Etappe der Starkstromtechnik

Diese Etappe begann mit den ersten im praktischen Betrieb einsetzbaren Dynamomaschinen. Das erste Elektrizitätswerk der Welt wurde 1882 in London für Glühlampenbeleuchtung erbaut; seine Leistung betrug etwa 500 kW, die Spannung 100 V Gleichstrom. Das Freileitungsnetz in den Strassen Londons hatte eine Länge von 130 km, dessen Spannung betrug 2,4 kV. Die ersten Wechselstromwerke Europas, die Transformatoren verwendeten, kamen in Thorenberg (Schweiz), Mailand, Rom und London in Betrieb. Darnach wuchs die Zahl der Kraftwerke, deren Leistung und Verteilspannung sehr rasch. Von etwa 1890 bis 1896 stieg die Spannung der jeweils neuesten Generatoren wie auch der Verteilanlagen von 2000 V auf 16 kV; 1898 wurden als Verteilspannung schon 60 kV, 1907, in den USA, gar schon 110 kV verwendet; die erste europäische 100-kV-Freileitung, Lauchhammer–Riesa, nahm 1912 den Betrieb auf. Schon ein Jahr später setzte die Southern California Edison Co. eine rund 400 km lange Fernleitung mit 220 kV in Betrieb. Ab 1925 kam es auch in Europa zu 380-kV-Übertragungsleitungen.

4.1 Freiluftisolatoren

Für die Sammelschienen der Schaltanlagen und die Freiluftübertragungen benützte man zunächst ausschliesslich Porzellanisolatoren. Für die historisch berühmte Starkstromleitung Lauffen–Frankfurt (1891), die mit 15 kV und zeitweise mit 25 kV betrieben wurde, glaubte man, den aus dem Telegrafenwesen bekannten Glockenisolator mit ölgefülltem Rand (Fig. 5c) verwenden zu müssen. Es zeigte sich aber, dass gewöhnliche Glockenisolatoren genügten. Weitere Glockenformen jener Zeit waren Doppelglocken und Dreifachglocken. Gegen Ende des 19. Jahrhunderts entstand die erste kleine Form des Flachschirm-Isolators, genannt Deltaisolator, für Betriebsspannungen bis etwa 8000 V, der sowohl zweiteilig (Fig. 5d) als einteilig (Fig. 5e) ausgeführt wurde. Mit ihm befassten sich alsdann einige Verbesserungsvorschläge, darunter die zum Weitschirmisolator niedriger Bauhöhe führende Studie von *W. Cordes* [9]. Die Zahl der Isolatorformen wuchs von Jahr zu Jahr. Für Spannungen, bei denen der einteilige Isolator nicht genügte, wurden mehrere Glieder übereinander angeordnet und zusammengekittet (Fig. 6); Fig. 7 zeigt einen amerikanischen viergliedrigen Typ.

Die Vielfalt der Bauformen und der hiefür erdachten Benennungen wirkt rückblickend erstaunlich. *A. Schwaiger* zeigt in seinem Buch «Elektrische Festigkeitslehre» aus dem Jahre 1925 [11] zwölf Entwicklungsstufen des erwähnten Delta-

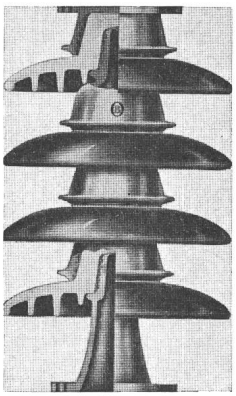


Fig. 7
Viergliedriger Freiluft-Porzellanstützer (Ohio Brass) USA

isolators der Porzellanfabrik Hermsdorf aus der Zeit von 1898 bis 1920, ferner den Kammerisolator der Porzellanfabrik Rosenthal, den Metalldachisolator, den Faradoidisolator, den Weitschirmisolator, die Trideltaisolatoren; unter den Hängeisolatoren nennt er den Kappenisolator, den Doppelkappenisolator, den Schlingenisolator, den Abspannisolator, und unter diesem Sammelbegriff die Kappentype, die Schlingentype, den Schäkel-Isolator, den Kugelkopfisolator (Schomburg), den Untra-Isolator, den Kegelkopfisolator (Rosenthal) sowie den V-Isolator der Siemens-Schuckert-Werke. Er zeigt auch den Verbund-Tragisolator, einen amerikanischen Hängeisolator aus Holz, mit einem Blechschirm von 1140 mm Durchmesser, ferner einen 750 mm langen Verbund-Abspannisolator der AEG, der als Zugorgan ebenfalls einen Holzstab enthält, über den vier Porzellanschirme geschoben sind. Der bereits erwähnte Artikel von *W. Weicker* [8] enthält anno 1927, als die Hochspannungstechnik noch recht jung war, Querschnittskizzen von etwa 65 Hochspannungs-Freileitungs-Stützenisolatoren! Und als der VDE im Jahre 1927 eine Normung der Deltaisolatoren vornahm, schrieb *W. Weicker*: «Jedenfalls dürften hinsichtlich der äusseren Form von Hochspannungsstützenisolatoren in Zukunft kaum noch grundlegende Änderungen zu erwarten sein.»

Eine derartige Vielfalt der Formen, die durchwegs bezweckten, den Überschlag bei Regen, Schnee, Vereisung und Verschmutzung zu bekämpfen, ist schwer verständlich, wenn man die diesbezüglichen, prägnanten Ausführungen von *H. Kläy* (Porzellanfabrik Langenthal) vom Jahre 1948 über die Entwicklung der Freileitungsisolatoren zur Kenntnis nimmt. Sie lauten zusammengefasst [12], dass die Hochspannungs-Freileitungsisolatoren sich aus dem Telegrafenisolator entwickelt und dabei die typischen Schirme beibehalten haben.

Fig. 8 zeigt, wie das Gewicht mit der Regenüberschlagspannung U ansteigt. Anhand von Beispielen aus dem Freileitungsbetrieb wird gezeigt, dass diese Schirme die ihnen zugedachte Rolle nur teilweise erfüllen und dass auch ein vollständig benetzter Isolator die notwendige Regenüberschlagspannung hat. Diese Feststellung führt zu der neuartigen Form des Zapfenisolators (Fig. 9). Die von *H. Kläy* vorgeschlagenen Horizontalstützer hatten damals noch keinen Erfolg. Erst als einige Jahre später von Amerika her ähnliche Lösungen propagiert wurden, interessierten sich auch europäische Leitungsbauer dafür.

Die Bedeutung der Schirme, ihre Form und Grösse, wurde weiterhin viel diskutiert und erprobt, dies besonders im Hinblick auf verschiedene Arten der Verschmutzung. In erhöhtem Masse gilt dies für das Klima in äquatornahen Gebieten, für die noch ein Bericht aus jüngster Zeit lautet [13]: «Die schlimmsten Störungen verursachen immer noch die Staubablagerungen auf den Isolatoren in den Wüstengebieten, wobei nach Tauniederschlag ein leitender Belag entsteht und der darüberfliessende Kriechstrom einen Lichtbogenüberschlag auslösen kann. Längere Betriebsunterbrüche zur Reinigung der Isolatoren sind notwendig. Bis jetzt konnte nur durch periodisches Abspritzen aus Tankwagen oder durch Verlängerung der Isolatorenketten (z.B. auf 7,5 m für die 500-kV-Assuan-Leitung) eine längere Betriebsdauer erreicht werden.»

Bei der Zusammensetzung von Einzelisolatoren zu mehrteiligen Isolatoren und bei der Einsetzung der eisernen Tragbolzen entstanden vor etwa 1930 viele Schwierigkeiten. Eine der Ursachen war der verwendete Portlandzement, der einen viel grösseren Ausdehnungskoeffizient als Porzellan aufweist. Man fügte deshalb elastische Zwischenlagen ein, zum Beispiel aus imprägniertem Hanf, oder eine Sandschicht. Ebenso entwickelte man Isolatoren, in denen der Bolzen kittlos befestigt wird. Zu diesen gehören der Kugelringisolator und der Federringisolator. Es gibt eine grosse Zahl von kittlosen Kappenbefestigungen. Bei den Vollkernisolatoren, z.B. den Motorisolatoren, wird das Porzellan auf Zug beansprucht, was ab

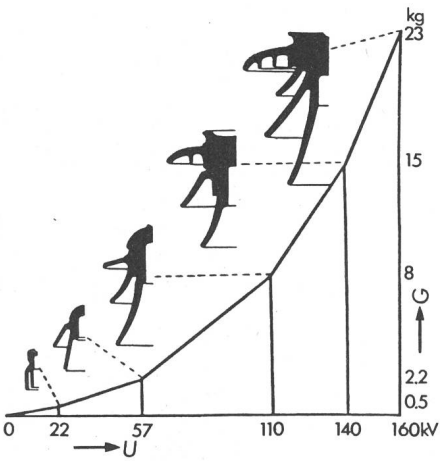


Fig. 8 **Entwicklung des Glockenisolators [8]**
Zunahme des Gewichts G mit der Überschlagsspannung U

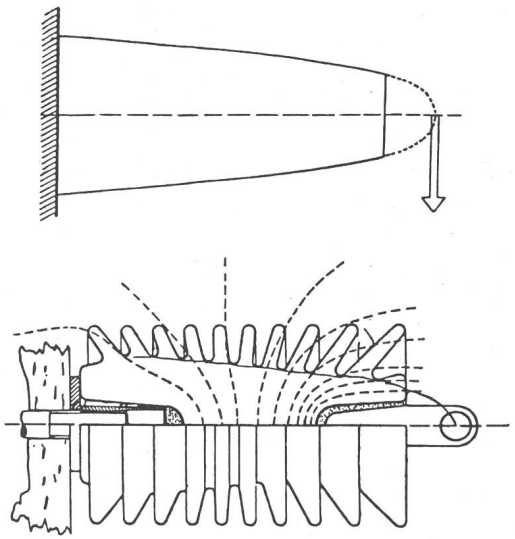


Fig. 9 **Freiluft-Stützisolator (Zapfenisolator) nach Vorschlag H. Kläy [12]**

etwa 1930 durch eine wesentliche Verbesserung der Zugfestigkeit desselben ermöglicht wurde [12]. Als Beispiel sei erwähnt, dass um 1930 für Kappenisolatoren je nach Typ Durchschlagspannungen unter Öl von 100...145 kV und Mindest-Bruchlastwerte von 5000...18000 kg, für Vollkernisolatoren 3000 bis 8500 kg erzielt wurden [15].

Für hohe Spannungen haben sich an Stelle entsprechend grosser Stützisolatoren Hängeisolatorketten eingeführt, die ersten etwa um 1905. Für die einzelnen Glieder derselben sind wieder die verschiedensten Formen erdacht worden; einige Beispiele zeigt Fig. 5f bis 5m. An langen Isolatoren und Isolatorketten ist die Verteilung der Gesamtspannung auf die einzelnen Glieder sehr ungleich; es fehlte nicht an Bemühungen zu Verbesserungen, z. B. durch Anbringen eines halbleitenden Überzuges an den höchstbeanspruchten Gliedern.

Unter den Bestrebungen, im Betrieb defekt gewordene Glieder von Isolatorketten ausfindig zu machen, sei die Hescho-Meßstange aus der Zeit um 1924 erwähnt, die ein leichtes elektronisches Spannungsprüfinstrument aufwies [16].

Die Forderung nach möglichst schmalem Leitungstrassee führte in neuester Zeit zur Verwendung der Isoliertraverse, einer Kombination von Mastausleger und Isolation. Die technische Entwicklung von Langstabisolatoren grosser Baulänge mit hoher mechanischer Bruchfestigkeit sowohl in Porzellan als in Kunstharz bietet die Möglichkeit, die Mastenausleger aus Isoliermaterial zu konzipieren und die Leiterseile direkt an den Auslegerspitzen zu befestigen (Fig. 5n). Dadurch ist es möglich, Übertragungsleitungen ohne Trasseeverbreiterung auf eine höhere Spannungsebene umzubauen. Das System ist bereits für 380-kV-Leitungen angewendet worden [17; 18; 19].

Die höchste heute realisierbare Übertragungsspannung liegt nach Ansicht der Spezialisten zwischen 1500 und 2000 kV Drehstrom, wobei weniger die Spannungsfestigkeit der Isolatoren als die Radio- und akustischen Geräusche die Grenzen bestimmen. Bei Gleichspannung ist besonders die Isolatorenverschmutzung ein Problem.

Die cycloaliphatischen Epoxidharze, die etwa 1960 auf dem Markt erschienen, erwiesen sich als sehr kriechstromfest. Dass sie leicht, mechanisch fest und relativ flexibel sind, begünstigt deren Anwendung für lange Isolatoren. Praktische Dauerversuche im Freien mit periodischer Kontrolle auf allfällige Veränderungen der Isolatoroberfläche betreffend Kriechspuren, Erosion, Aufrauhung sowie das Registrieren von Teilüberschlägen erhöhten das Zutrauen. Die Studien erstreckten sich auch auf Polyester- und Polyurethanharze, meist gefüllt mit mineralischem Pulver und mit Glasfasern verstärkt. Beim Langstabisolator wird vorzugsweise eine Kombination mit einem glasfaserverstärkten Kern vorgenommen. Dabei verlangt die Grenzschicht Kern–Mantel besondere Beachtung [23; 24]. Für Giessharzisolatoren besteht ungefähr Preisgleichheit mit Porzellanisolatoren.

H. Strecker [25] berichtet über sehr gute Erfahrungen mit Freiluftisolatoren aus Silikon-Kautschuk mit Glasfaserverstärkung. Diese Isolatoren bestehen aus dem tragenden Glasfaserstrunk, dem eine mit Schirmen versehene Kautschukschwarte übergestülpt ist. Hindernd ist der hohe Preis für Material und Fertigung.

Für sehr hohe Spannungen haben die keramischen Isolatoren ein erhebliches Gewicht, ein Grund für vermehrtes Interesse an den leichteren Giessharzisolatoren auch für Freiluftgebrauch.

4.2 Innenraumisolatoren

Unter den Innenraumstützisolatoren war, für Spannungen bis etwa 24 kV, der Porzellan-Rillenstützer von jeher sehr verbreitet (Fig. 10, 11). Für höhere Spannungen verwendete man vorwiegend hohle Porzellan- und Steatitstützer. Doch nimmt das Gewicht mit der Höhe der Spannung derart zu, dass andere Lösungen gesucht wurden, die den Vorteil der leichten Montage und der Unzerbrechlichkeit bieten. Aus diesen Bestrebungen stammen die hohlen Bitubastützer konischer Form und der Repelitstützer, beide bestehend aus einer Art Hartpapier und den gusseisernen Endarmaturen. Die elektrische Festigkeit solcher Werkstoffe in Richtung Pol–Erde ist gering. Trotzdem fanden diese Stützer für den Mittelspannungsbereich erhebliche Verbreitung. Zur selben Zeit kamen aus einem Phenol-Formaldehydharz gegossene Stützer auf (Haefely). Das genannte Harz ist spröde und dielektrisch mittelmässiger Qualität, vor allem nicht konstant. Sowohl in dielektrischer wie auch mechanischer Hinsicht von hervorragender Qualität war der in Fig. 12 abgebildete, 1937 bei Micafil AG nach Anregung von *A. Imhof* gefertigte Stützer aus dem schon erwähnten Anilinharz Cibanit [20]. Er war nach Flammbogenüberschlag mit grosser Stromstärke noch durchaus betriebsfähig. Umstände, die nicht qualitätsbedingt waren, verhinderten eine grössere Fabrikationsaufnahme. In frühen Zeiten der Starkstromtechnik wurden hin und wieder Hartholz-Tragisolatoren verwendet, unbewusst beinahe nach dem in Abschnitt 2 zitierten alten Rezept. Für Abstützelemente in Transformatoren spielte Holz, im Vakuum getrocknet und mit Mineralöl imprägniert, von jeher und bis heute eine wichtige Rolle.

Im Jahre 1947 wurden bei Moser-Glaser nach Anregung von *A. Imhof* die ersten Mittelspannungs-Stützisolatoren aus

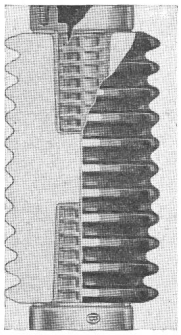


Fig. 10 Rillenstützisolator aus Porzellan, von Ohio Brass, für niedrige Mittelspannung, um 1926

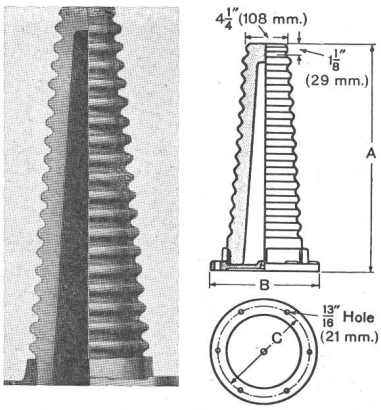
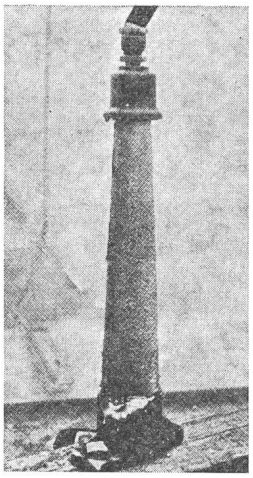


Fig. 11 Innenraumstützisolator aus Porzellan, für höhere Mittelspannung, um 1926 (Ohio Brass)

Fig. 12
Innenraumstützisolator 50 kV aus Anilin-Formaldehydharz (Micafil)
Überschlagspannung 50 Hz, 150 kV; nach Flammbogenüberschlag 8000 A, 3 s, keine Deformation [20]



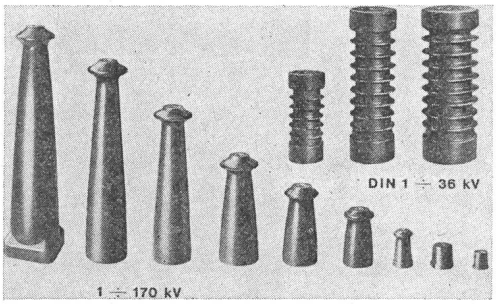


Fig. 13 Innenraumstützisolatoren 1...170 kV aus Epoxidharz (gegossen) von Gardy SA

Epoxidharz mit mineralischem Zusatz gegossen und als Bewährungsmuster in einigen Innenraumanlagen und Freiluftleitungen eingebaut. Sie erwiesen sich als Fortschritt, besonders nachdem auch eine über mehrere Jahre ausgedehnte Forschungsarbeit [21] bestätigt hatte, dass innerhalb der praktisch vorkommenden Temperaturgrenzen genügende Sicherheit für Formstabilität bei Belastung durch Sammelschienen oder Freileitungen zu erwarten war. Die ganze Mittelspannungsreihe der Epoxidharzstützer (Fig. 13) wurde durch Gardy SA und durch einige Firmen in andern Ländern erarbeitet und mit gutem Erfolg für Innenraumanlagen geliefert. Sie verdrängten grossenteils die keramischen und die Hartpapier-Mittelspannungsstützer.

Eine weitere Konzeption für Innenraumstützisolatoren bietet mit Polyester- oder Epoxidharz imprägniertes Glasfasergewebe, das sich durch sehr hohe mechanische Festigkeit, kleines Gewicht und mannigfaltige Formgebungsmöglichkeit der Isolatoren auszeichnet. Fig. 14 zeigt ein Beispiel unter vielen.

Die noch neue Technik der metallgekapselten Hochspannungsschaltanlagen liess die genannten Giessharze in fast ausschliessliche Verwendung für Tragisolatoren treten. Vorzugsweise haben sich hiefür Scheibenstützer aus Epoxid-Giessharz eingeführt (Fig. 15), und dies sowohl für den Mittel- als auch für den Höchstspannungsbereich. Sie haben sich im Isoliergas, heute ganz allgemein SF_6 oder eine Mischung von SF_6 und N_2 unter einem Druck von wenigen bar, als gut beständig erwiesen. Eine weitere Anwendung spezieller Giessharzstützer bieten die in aussichtsreicher Entwicklung befindlichen SF_6-Rohrgaskabel (Fig. 16) für sehr hohe Energien und Spannungen [27].

An der Entwicklung der Tragisolatoren haben viele Ingenieure mit wertvollen Beiträgen gewirkt. Einige Namen sind

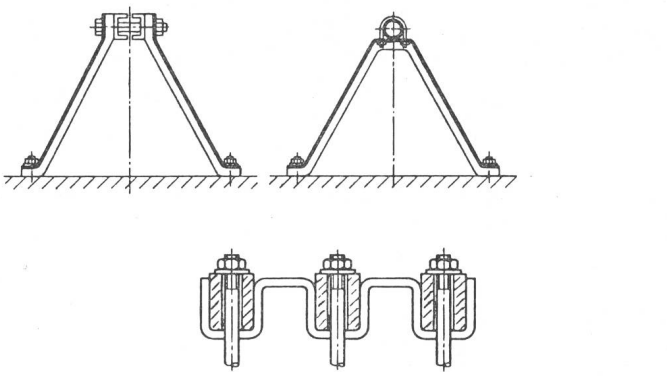


Fig. 14 Innenraumstützisolator aus mit Epoxidharz imprägniertem Glasfasergewebe. Unten die Fussarmaturen [22]

in Verbindung mit der diesbezüglichen Literatur genannt. Die Anwendung der elektrischen Kraftlinienbilder für Konstruktions- und Beurteilungsprobleme, wie sie *K. Kuhlmann* 1915 für Durchführungsisolatoren in [28] dargestellt hat, kam auch der Formgebung und Beurteilung der Tragisolatoren zugute. Die grosse Bedeutung der Stoßspannungswellen für die Prüfung der Isolatoren und die Erschaffung der dazu nötigen Apparatur in den Jahren 1924/25 ist das Verdienst von *E. Marx* (damals bei Hescho), dessen Name in allen Hochspannungslaboratorien der Welt gegenwärtig ist. Zu jener Zeit kam *A. Schwaigers* «Elektrische Festigkeitslehre» [11] des «Lehrbuches der elektrischen Festigkeit der Isoliermaterialien» heraus, die den Tragisolatoren sehr eingehend gewidmet war und zur Klarheit der diesbezüglichen Erkenntnisse wesentlich beigetragen hat.

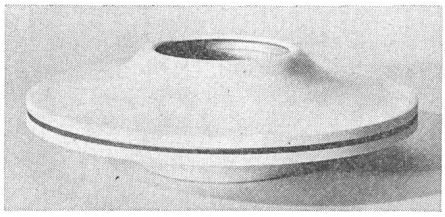


Fig. 15
Scheiben-Stützisolator 220 kV aus Epoxid-Giessharz für vollgekapselte SF_6-isolierte Schaltanlage [26]
Die am äusseren Umfang eingezogene Rille und die Aussenfläche sind metallisiert

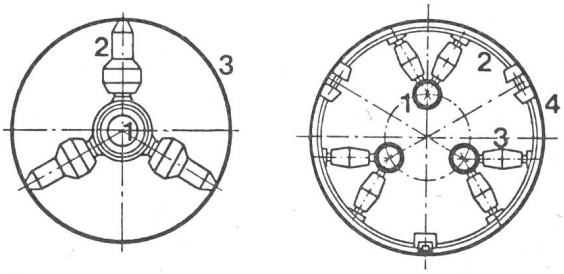


Fig. 16 220-kV-Rohr-Gaskabel mit SF_6 [27]
Links: einphasig
1 Stromleiter
2 Dreibein-Stützisolatoren
3 Mantelrohr aus Stahl oder Aluminium, ummantelt mit Kunststoff

Rechts: dreiphasig
1 Rohrförmige Stromleiter aus Aluminium
2 Konzentrischer Tragring
3 Stützisolatoren
4 Mantelrohr aus Stahl oder Aluminium, ummantelt mit Kunststoff

Literatur

[1] Das Buch der Erfindungen, Gewerbe und Industrien. 8. Auflage, Band 2 und 4, Leipzig, Otto Spamer Verlag, 1885.
[2] *J. Müller:* Grundriss der Physik und Meteorologie. 13. Auflage, Braunschweig, Vieweg Verlag, 1875.
[3] Die gesamten Naturwissenschaften. 3. Auflage, Essen, G.D. Bädeker, 1873.
[4] *G. Schaefer* und *W. Naumann:* Magnetismus und Elektrizität als Forschungsgebiet von Ärzten. CIBA-Zeitschrift 6(1938)64, S. 2214...2219.
[5] *J. Fischer-Hinnen:* Beiträge zur Vorgeschichte der Elektrotechnik. Bull. SEV 11(1920)12, S. 316...333.
[6] *N. J. Felici:* Machines électrostatiques industrielles. STZ 45(1948)36, S. 577...588.
[7] *E. Feyerabend:* Der Telegraph von Gauss und Weber im Werden der elektrischen Telegraphie. Berlin, Reichspostministerium, 1933.
[8] *W. Weicker:* Die Entwicklung des Freileitungs-Stützenisolators. Beiträge zur Geschichte der Technik und Industrie 17(1927), S. 60...71.
[9] *W. Cordes:* Weitschirm-Isolatoren. Bull. SEV 14(1924)10, S. 519...521.
[10] *A. Hecht:* Geschichtliche Entwicklung der Elektrokeramik. Berichte der Deutschen Keramischen Gesellschaft 36(1959)9, S. 309...318.
[11] *A. Schwaiger:* Elektrische Festigkeitslehre. 2. Auflage, Berlin, Springer Verlag, 1925.
[12] *H. Klay:* Die Entwicklung der Freileitungsisolatoren. Bull. SEV 39(1948)12, S. 387...391.
[13] *B. Staub* und *R. Herrmann:* Keramische Hochspannungsisolatoren. NZZ Beilage Forschung und Technik –(1977)293 vom 14. 12., S. 51...52.
[14] *H. Klay:* Verschmutzungsprobleme in Hochspannungsanlagen. Bull. SEV/VSE 70(1979)5, S. 245.
[15] *K. Draeger:* Hochspannungs-Freileitungen. Sammlung Göschen, Bd. Nr. 1013, Berlin, Verlag W. de Gruyter, 1930.
[16] *A. Imhof:* Die Elektronenröhre als Hochspannungsrelais. Bull. SEV 15(1924)7, S. 361...363.
[17] *B. Krumm:* Isoliertraversen für Höchstspannungsleitungen. Bull. SEV/VSE 67(1976)6, S. 277...279.
[18] *B. Staub:* Dimensionierung von Isoliertraversen. Bull. SEV/VSE 67(1976)6, S. 279...282.
[19] *F. Messerli:* Lichtbogenschutz an Isoliertraversen. Bull. SEV/VSE 67(1976)6, S. 282...283.
[20] *A. Imhof:* Eigenschaften der Kunststoffe. Schweizer Archiv Angew. Wissensch. Techn. 4(1938)4, S. 99...104 + Nr. 5, S. 117...127.
[21] *W. Eichenberger:* Über die thermische Alterung von Kunststoffen insbesondere von Epoxyharzen. Dissertation Nr. 2925 der ETH Zürich, 1960.
[22] *A. Imhof:* Innenraum-Flächenstützer und prismatische Kanäle für Hochspannungsanlagen – zwei neue Konstruktionselemente im Hochspannungsanlagebau. STZ 67(1970)16, S. 273...280.
[23] Freiluftbeständige elektrische Isolatoren aus cycloaliphatischen Araldit-Epoxidharzen. Publikation Nr. 35–886/d. Basel, Ciba, 1968.
[24] *W. Dieterle:* Verwendung von Kunststoffen für die Freiluftisolation. Bull. SEV/VSE 66(1975)22, S. 1221...1233.
[25] *H. Strecker:* Giessharz-Isolatoren in regionalen Mittelspannungsnetzen. Elektrizitätswirtsch. 76(1977)10, S. 271...275.
[26] *H. Karrenbauer* und *K. Kriechbaum:* Vollisolierte Schaltanlagen als Bausteinsystem. ETZ-A 94(1973)7, S. 396...405.
[27] *A. Eidinger:* Aufbau, Einsatz und Erprobung von SF_6-Rohrgaskabeln. STZ 74(1977)19/20, S. 481...484.
[28] *K. Kuhlmann:* Hochspannungsisolatoren. Arch. Elektrotechn. 3(1915)9/9, S. 203...225.
[29] *H. Wüger:* Pioniere der Technik: Werner von Siemens. Bull. SEV 57(1966)12, S. 537.

Adresse des Autors

Prof. Dr. Ing. h.c. *Alfred Imhof,* Winzerstrasse 113, 8049 Zürich.

Heinrich Friedrich Emil Lenz 1804–1865

Dorpat in Estland, wo Lenz am 12. Februar 1804 als Sohn des Sekretärs des Bürgermeisters zur Welt kam, gehörte schon damals zu Russland. Aber das Land hatte eine bewegte Geschichte hinter sich, war es doch dänisch, deutsch, polnisch und schwedisch gewesen. Die Baltendeutschen, zu denen auch Lenz zählte, genossen Privilegien und sprachen deutsch. Lenz studierte an der Universität Dorpat (heute Tartu) Physik und Theologie. Vor dem Abschluss der Studien nahm er von 1823–1826 als Physiker an der 3. Weltumsegelung von *Otto von Kotzebue* teil. Er machte dabei ozeanographische Studien über den Temperaturverlauf der Luft und des Wassers bis in grosse Tiefen und über den Salzgehalt des Wassers. Nach seiner Rückkehr weilte er in Heidelberg, wo er seinen Doktorhut erwarb.

Bibliothek der ETH Zürich

Dank seiner Verdienste bei der Weltumsegelung wurde er 1828 Adjunkt der Akademie der Wissenschaften in St. Petersburg, 3 Jahre später Direktor des Physikalischen Kabinetts der Akademie, dann Professor der Physik an der Artillerieschule und später auch der Seeschule. 1834 wurde er als Nachfolger Petrows zum Professor der Physik an der Universität sowie zum ordentlichen Mitglied der russischen Akademie der Wissenschaften gewählt.

Seine wissenschaftlichen Leistungen liegen vorwiegend auf dem Gebiet der Elektrizität. Er mass die Leitfähigkeit der Metalle und stellte den zunehmenden Widerstand bei steigender Temperatur fest. 1834 stellte er die bekannte *Lenzsche Regel* auf, die besagt, dass der Induktionsstrom so gerichtet ist, dass er der Ursache der Induktion entgegenwirkt. Durch Anwendung des *Peltier*-Effektes gelang es ihm, Wasser zum Gefrieren zu bringen. Er bewies schon 1830, dass eine elektrische Maschine sowohl als Motor als auch als Generator laufen könne. Er machte Messungen über die Leitfähigkeit des menschlichen Körpers, untersuchte den Polarisationseffekt bei Elektrolyten, die Leitung des galvanischen Stromes in Flüssigkeiten. Unabhängig von Joule machte er Versuche über die Wärmewirkungen des elektrischen Stromes. Er erfand die ballistische Methode zur Messung elektrischer Grössen, ferner verbesserte er ein Instrument zur Bestimmung der Kurvenform von Wechselstrom. Mehrmals nahm er an Expeditionen teil, so in den Kaukasus, in die südrussischen Steppen und zur Insel Jussarö, wo er eine Abweichung der Magnetnadel um 90° feststellte.

Sein erstmals 1839 herausgekommener «Leitfaden der Physik» erlebte 11 Auflagen. Seine zahlreichen Publikationen erschienen vorwiegend in den «Mémoires ...», den «Bulletins scientifiques ...» und den «Bulletins physico-mathematiques de l'Academie de Saint Petersbourg». Etliche Arbeiten machte er zusammen mit dem ebenfalls in Petersburg wirkenden *M. H. von Jacobi.*

Am 18. Juli 1830 hatte Lenz Anna Helmersen geheiratet die ihm 6 Kinder schenkte. Der 1833 geborene Sohn Robert wurde später ebenfalls Physikprofessor in St. Petersburg. Zwei Kinder starben 1859. 1861 wurde Lenz Rektor der Universität. Im Frühling 1864 erkrankte er und sah sich genötigt, um einen Erholungsurlaub zu bitten. Dieser wurde ihm gewährt, und mit seiner Frau und der jüngsten Tochter begab er sich nach Rom, wo er am 10. Februar 1865 an einem Schlaganfall starb.

H. Wüger