

Zeitschrift: Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins
Herausgeber: Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätswerke
Band: 59 (1968)
Heft: 1

Artikel: Belehrsame Experimentierkünste über den Blitz
Autor: Prinz, H.
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-916011>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. 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. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

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. [Voir Informations légales.](#)

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. [See Legal notice.](#)

Download PDF: 03.04.2025

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

Belehrsame Experimentierkünste über den Blitz ¹⁾

Von H. Prinz, München

551.594.221

1. Beginnendes Beobachten und Experimentieren

Es gehört wohl zu den heute nicht mehr ergründbaren Merkwürdigkeiten einer Geschichte der Elektrizität, dass bereits im Altertum vier Erscheinungsformen des elektrischen Feldes heutiger Vorstellung bekannt gewesen waren, ohne dass die Philosophen der damaligen Zeit weder ihre Herkunft noch ihren ursächlichen Zusammenhang erahnt haben [13] ²⁾:

Einmal sind es die feurig gezackten und donnerrollenden Blitze einer auf viele Millionen Volt geladenen Gewitterwolke gewesen, die den Menschen mit Angst und Schrecken erfüllt haben und erstaunlicherweise noch heute mit mythologischen Vorstellungen assoziiert werden, wie sie uns im Laufe einer jahrtausendealten Historie überliefert worden sind. Wie kaum einer anderen Naturerscheinung ist deshalb dem Blitzphänomen in vielgestaltiger Form und Deutung stets uneingeschränkte Aufmerksamkeit geschenkt worden. Dann ist es das Elmsfeuer gewesen, wie es bei herannahenden Gewittern von unerschrockenen Seefahrern und Kriegern oftmals beobachtet worden ist und von dem *Caius Plinius Secundus* in seiner um 78 n. Chr. erschienenen «*Historia naturalis*» berichtet, dass es auch auf der Erde und auf dem Meere Sterne gebe. Ich selbst sah oft — so bemerkt *Plinius* — an den Wurfspießen der vor dem Walle die Nachtwache versehenen Soldaten einen Schimmer dieser Gestalt hängen. Auch sollen sich diese Sterne auf Segelstangen und andere Teile der Schiffe niederlassen und ein hörbares Geräusch von sich geben, wenn sie von einer Stelle zur anderen hüpfen. Allerdings, so fügt *Plinius* hinzu, sei die Ursache aller dieser Erscheinungen ungewiss und liege im Schoße der hochherrlichen Natur verborgen. Dann sind es die heilsamen Schläge des Zitterrochenes gewesen, über die der antike Pharmakologe *Scribonius Largus* in seiner etwa um 47 n. Chr. erschienenen Schrift «*Compositiones medicinae*» zum ersten Male berichtet und ihre heilenden Wirkungen bei Kopfschmerzen und Podagra lobend erwähnt. Und schliesslich ist es die anziehende Wirkung des geriebenen Bernsteins gewesen, von der wohl mit Sicherheit angenommen werden darf, dass sie zunächst zufällig und unbewusst beobachtet worden war. So erwähnt *Plinius*, dass in Syrien Spinnwirteln aus Bernstein in Gebrauch gewesen sind, die Blätter, Spreu und leichte Gewebefransen anzogen. Auch sollen syrische Frauen Bernstein als Haarschmuck verwendet haben, den sie *Harpaga* nannten, was «anziehende Kraft» bedeutet.

Erst um die Mitte des 18. Jahrhunderts ist von den damaligen Naturkünstlern erkannt worden, dass alle vier Erscheinungsformen Phänomene von einerlei Art sind und ihre Verursachung in der Elektrizität gesucht werden müsse. Es ist die Zeit gewesen [19, 20], in der man allerorts begeistert begonnen hatte, die belehrsam und oft auch belustigenden Experimentierkünste einer wundersamen Elektrizität zu üben und ihre vielbestaunten Wirkungen zu ergründen (Fig. 1). So wusste man damals von der möglichen Fortleitbarkeit ihrer Kraftwirkung und der Existenz zweier Elektrizitätsarten so-

wie auch, dass es Stoffe gibt, die die Elektrizität gut, und solche, die sie schlecht leiten würden. Auch hatte man in Leyden die ersten Erfahrungen von der erschütternden und schlagversetzenden Wirkung einer verstärkten Elektrizität machen müssen, die in jener Zeit das grösste Aufsehen erregt und dazu geführt hat, geduldige Patienten in schmerzhaften Elektrifikationskuren einem durchdringenden Fluidum Leydener Flaschen auszusetzen. Nicht weniger eindrucksvoll war die Erkenntnis, dass das elektrische Feuer eine ebenso zündende Wirkung wie das Elementarfeuer besitze, insbesondere nachdem bekannt geworden war, dass auch einer elektrisierten Person stechende und brennende Funken entnehmbar seien.

2. Blitzelektrizität

In dieser ereignisreichen Zeit des Experimentierens mit Reibungselektrizität begann *Benjamin Franklin* aus Philadelphia mit eigenen Versuchen und stellte dank seiner ausgeprägten Beobachtungsgabe die mehrfache Übereinstimmung zwischen der Materie des Blitzes und der durch Reibung erzeugbaren Elektrizität fest. Vor allem waren es seine Experimentierkünste mit spitzen Eisenstangen, die ihn zu der Überzeugung führten, dass die von einer Gewitterwolke ausgehende Blitzmaterie elektrischer Natur sein müsse und deshalb über eine metallische Wetterstange gefahrlos abgeleitet werden könne. Allerdings, so stellt er in einem an *Peter Collinson* gerichteten Schreiben des Jahres 1750 fest, müsse das elektrische Fluidum eines Blitzes noch durch das Experiment bewiesen werden. Nach Veröffentlichung der *Franklin'schen Briefe* in Buchform war es der französische Botaniker und Physiker *Dalibard*, der auf Veranlassung von Comte de *Buffon* in Marly bei Paris eine mit Weinflaschen und Seidenschnüren isolierte Eisenstange von nahezu 40 Fuss Höhe

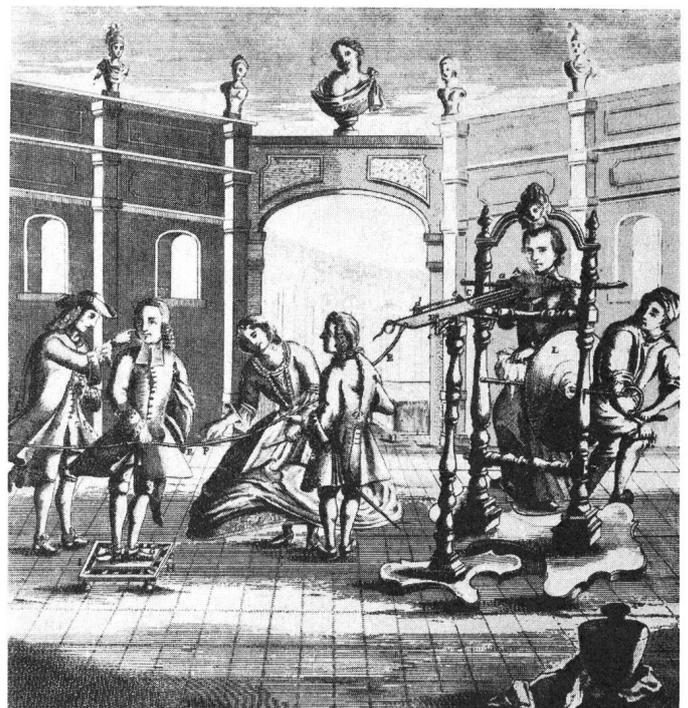


Fig. 1

Experimentierkünste 1747 mit Reibungselektrizität [1]

¹⁾ Geänderte Fassung einer im Sommersemester 1967 gehaltenen Experimentalvorlesung über Gewitterblitze [24] ²⁾, an der Oberkonservator Dr.-Ing. W. Zaengl sowie die wissenschaftlichen Assistenten Dipl.-Ing. K. Feser und Dipl.-Ing. J. Moeller mitgewirkt haben.

²⁾ Siehe Literatur am Schluss des Aufsatzes.

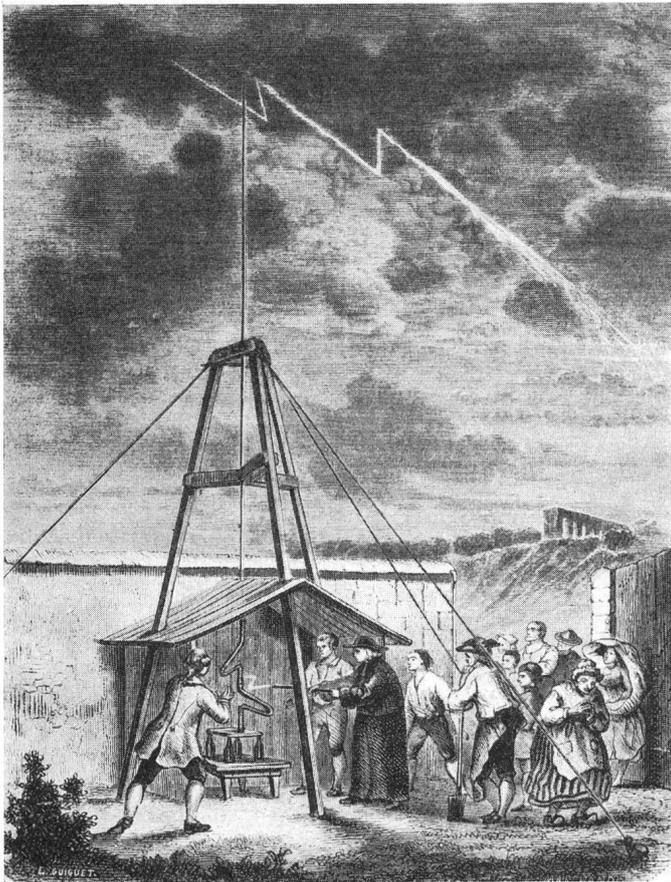


Fig. 2

Erstes Blitzexperiment in Marly bei Paris am 10. Mai 1752 [10]

errichten liess, um so den *Franklinschen* Gedanken zur Wirklichkeit werden zu lassen. Und so kam es, dass am Nachmittag des 10. Mai 1752 sein unerschrockener Gehilfe *Coiffier* und der hinzugeeilte Dorfpfarrer *Raulet* während eines vorbeziehenden Gewitters Funken von nahezu 4 cm Länge aus der Eisenstange herausziehen konnten (Fig. 2), womit erstmalig der Beweis vom Vorhandensein einer Blitzelektrizität erbracht war. Einen Monat später liess *Benjamin Franklin* im Verlauf eines Gewitters einen Drachen steigen und konnte nach einsetzendem Regen der feucht gewordenen Drachenschnur elektrische Funken entnehmen.

Eigentlich ist es erstaunlich und zugleich bewundernswürdig, mit welcher Selbstverständlichkeit und ungeachtet der damit verbundenen Gefahr diese ersten Blitzexperimente von zahlreichen anderen Gelehrten wiederholt worden sind, um so das Blitzphänomen in seinen Erscheinungsformen weiter ergründen zu können. Mit umso grösserer Bestürzung ist deshalb die Nachricht aufgenommen worden, dass Professor *Richmann* der Kaiserlichen Akademie zu St. Petersburg während Gewitterbeobachtungen im Sommer 1753 von einem Blitzstrahl erschlagen worden sei (Fig. 3).

3. Belehrsames aus Experimentierkabinetten

Dieses tragische Ereignis hat ohne Zweifel mit dazu beigetragen, die belehrsame Kunst des Erforschens der Blitzelektrizität in die damals zur Mode gewordenen Experimentierkabinette zu verlegen und vermittels hieraus gewonnener Erkenntnisse auf die Wirklichkeit des Blitzgeschehens zu schliessen. Auch das spielerische Milieu, als der Unterhaltung und Belehrung dienend, hat die Phantasie der Expe-

rimentatoren zu neuen Überlegungen und Erkenntnissen angeregt.

Erste Ansätze in dieser Richtung finden sich bereits in einer im Jahre 1759 erschienenen Abhandlung [3] des königlich kurfürstlichen Kommissars zu Hannover *Johann Friedrich Hartmann*, in der ein Versuch beschrieben wird, der die Zickzackform der Blitzbahn eindrucksvoll demonstrieren sollte (Fig. 4):

«Und zwar besteht derselbe aus 40 dreipfündigen eisernen Kanonenkugeln, welche auf eben so viele gläserne Gefässe, woraus man Brantwein und andere starke Getränke zu trinken pflegt, ruhen und zwar solchergestalt, dass sie nach einer Reihe von 5 Kugeln allemal einen gewissen Winkel verstellten, wodurch ich also die Gestalt eines Zick Zacks erhielt.»

Sofern diese Kugelmaschine mit einer Leydener Flasche verbunden wurde, brachten die zwischen den Kugeln gleichzeitig herausbrechenden Funken eben die Gestalt zustande, welche mit der Figur des Blitzes vollkommen gleich kam. Allerdings müsse man, so fügt *Hartmann* hinzu, eine besonders vorzüglich gute und der Elektrizität vollkommen günstige Witterung haben, wenn dieser Versuch nach Wunsch gelingen soll!

Zwei Jahrzehnte später war es der Silberdrechsler *Jacob Langenbucher* aus Augsburg, der einen grossen Teil seines Vermögens auf die Verbesserung elektrischer Apparate verwandte und sich im Zusammenhang mit der Beschreibung einer beträchtlich verbesserten Elektrisiermaschine [5] ein «gewiss artiges Experiment» erdachte, das möglichst alle Wirkungen des Blitzes darzutun vermochte. Demzufolge baute er sich eine Modellkirche (Fig. 5), auf die sich eine geladene und drehbar angeordnete Wolke entladen und das mit Weingeist gefüllte Schälchen zur Entflammung bringen könne. Sobald dann die Wolke mittels einer Leydener Flasche geladen würde, so könne man mit Vergnügen sehen, wie

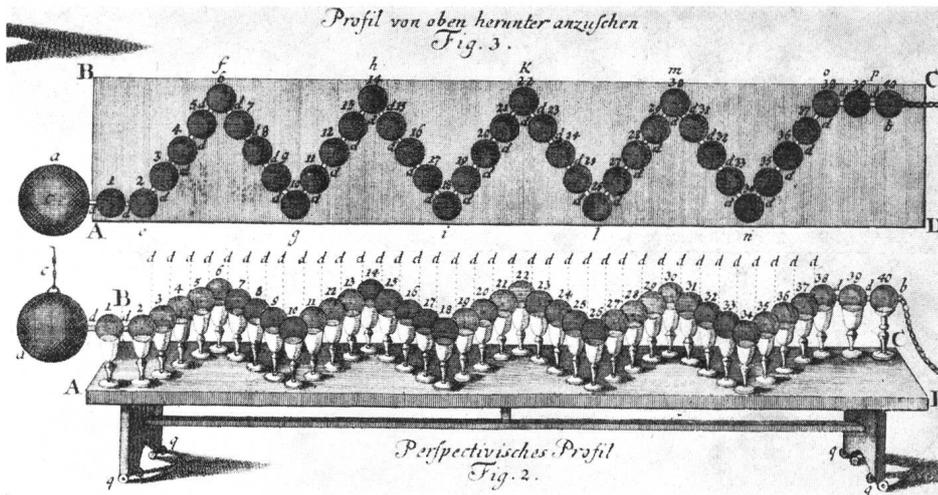


Fig. 3

Professor Richmann wird 1753 von einem Blitzstrahl tödlich getroffen [11]

Fig. 4
Experiment 1759 zur Zickzackform
des Blitzes [3]

sich die Wolke der Kirchturmspitze näherte und aus nächster Umgebung ihr Feuer ganz dorthin abgebe. Bei Dämmerung, so meinte *Langenbucher*, sei der Blitz gut zu erkennen, der im übrigen das Zifferblatt und eine der Fensterscheiben der Kirche zersplitterte und schliesslich den Weingeist zur Entzündung bringe, so dass der Kirchturm unter Feuer stehe. Wenn man dagegen die Turmspitze als Wetterableiter gelten lasse, dann würde zwar der Blitz daran herunterfahren, den Weingeist aber unangezündet lassen und also keine Zerstörung anrichten können. Sofern man noch den Wunsch habe, die Wirkung eines Wetterableiters zur See zu erproben, so könne das ebenfalls dargestellte Schiff benutzt werden, das mittels einer Schublade in dem mit Wasser gefüllten Kanal bewegt werden kann. Sobald das Schiff unter die Gewitterwolke gerät, wird der Blitz zwar den Holzmast treffen, derselbe aber doch ganz bleiben, weil er an dem in das Wasser hängenden Ableiter herabfahren könne. Ist es nicht bestaunenswert, mit welcher Wirklichkeitsnähe eine *Langenbuchersche* Experimentierkunst des Jahres 1780 die Eigenschaften eines Blitzableiters demonstriert hatte?



Um die gleiche Zeit ist es der Hamburger Kaufmann und Senator *Nikolaus Anton Johann Kirchof*, der in einer Veröffentlichung des Jahres 1781 [6] eine Vorrichtung beschreibt, welche die zwischen Erde und Gewitterwolke bestehende Anziehungskraft sowie auch die Nützlichkeit eines Blitzableiters beweisen könne. *Kirchof* verwendet dazu die in Fig. 6 dargestellte «Zurüstung», die aus einem mit Zinnfolie beklebten Tisch und einer darüber befindlichen metalli-

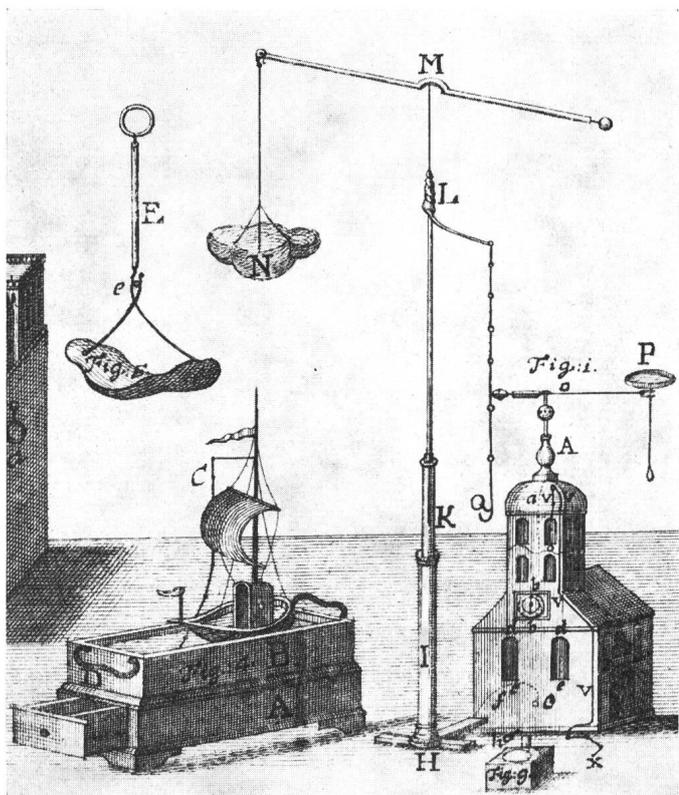


Fig. 5
Blitzmodellanlage aus 1780 [5]

«Fig. 1» Kirche mit Ableiter *v* und drehbarer Gewitterwolke *N*;
«Fig. 4» Schiff mit Ableiter *C* und Wasserkasten *D*; «Fig. 5» Gewitterwolke über dem Schiff; «Fig. 9» Schälchen mit Weingeist

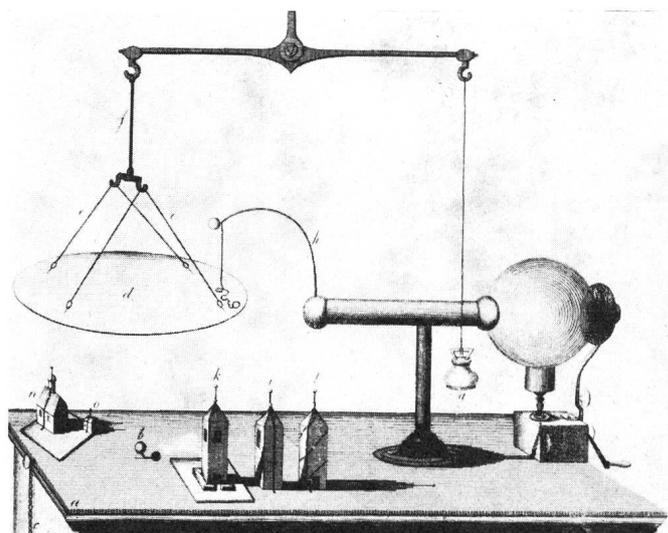


Fig. 6
Experiment 1781 zum Nachweis der Anziehungskraft einer Gewitterwolke
sowie der Nützlichkeit eines Wetterableiters [6]

a mit Zinnfolie beklebter Tisch; *d* mit Zinnfolie beklebte Tafel;
e Seidenfäden; *f* Waagebalken; *g* Gegengewicht; *i* Turm mit Ableiter;
k Turm ohne Ableiter; *l* Turm mit unterbrochenem Ableiter; *n* Kirche
mit Ableiter; *o* Haus

sierten Tafel besteht, die über Seidenschnüre mit dem Waagebalken und einem Gegengewicht verbunden ist. Darunter befinden sich drei kleine aus Karton gefertigte Türme, von denen der eine mit Wetterableiter, der andere ohne und der dritte mit unterbrochenem Ableiter versehen ist. Sobald nun die Tafel durch die ebenfalls dargestellte Glaskugel-Elektriermaschine aufgeladen wird, nähert sie sich der darunter liegenden Tischfläche und wird dazu veranlasst, «vorzüglich auf hervorragende Körper einen Blitz auszuschiessen.» Wird dabei der Turm ohne Ableiter getroffen, dann entzündet sich die im Innern des Turmes befindliche und mit warmem Weingeist getränkte Leinwand und versetzt ihn so in hellen Feuer-

schein. Wird dagegen der Turm mit Wetterableiter getroffen, dann kann der Blitz abgeführt werden und es passiert nichts. Bei dem mit Unterbrechungen versehenen Ableiter springt der Blitz schliesslich von Metallstück zu Metallstück, ohne jedoch den Turm zu verletzen. Die Vorrichtung kann ausserdem dazu verwendet werden, um darzutun, dass die im Modell dargestellte Kirche mit Ableiter das daneben stehende Haus nicht zu schützen vermag.

Bei dem grossen Interesse, das der Blitzelektrizität und ihren Wirkungen in der damaligen Zeit entgegengebracht worden ist, konnte es nicht ausbleiben, dass grössere und leistungsfähigere Experimentieranlagen gebaut wurden, mit denen schliesslich explosionsartige Effekte erzielt werden konnten. Die grösste Anlage dieser Art ist im Jahre 1784 auf Veranlassung des damaligen Direktors des *Teylerschen Museums* in Haarlem, *Martinus van Marum*, errichtet worden [7], mit deren Hilfe hohe Gleichspannungen aus einer Batterie Leydener Flaschen von einigen 100 Ws speicherbarer Energie entnommen werden konnten. Mit dieser *Marumschen Anlage*, die heute noch im *Teylerschen Museum* zu sehen ist, waren für die damalige Zeit beachtenswerte Wirkungen erzielbar, wie beispielsweise das Verdampfen dünner Eisendrähte bis zu 4,5 m Länge sowie das Zerspalten von Holzstücken.

4. Elektrische Spielwerke

Bemerkenswerterweise haben die erstaunlichen Künste einstiger Experimentierkabinette auch die spielerische Phantasie zur Schaffung elektrischer Spielwerke angeregt, worauf jüngst *Fraunberger* in einer amüsant zu lesenden Abhandlung des Deutschen Museums hingewiesen hat [22]. Wohl die umfassendste Beschreibung solcher Art ist in der «Sammlung elektrischer Spielwerke für junge Elektriker» enthalten, die *Georg Heinrich Seiferheld* verfasst hat [8], einstmals Ratsadvokat, dann Professor der Physik am Gymnasium zu Schwäbisch-Hall und schliesslich hochfürstlicher Senator. In seinem vielgestaltigen Experimentier-Repertoire finden sich auch einige ergötzliche Spielereien zur Thematik der

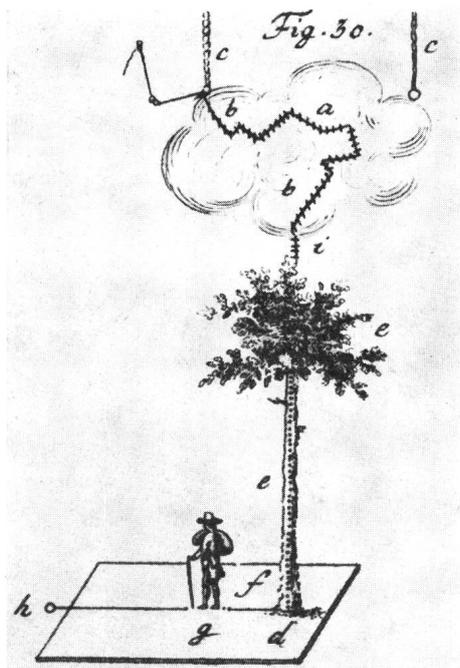
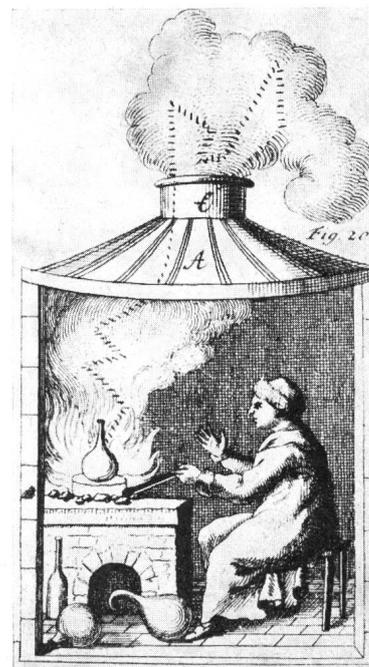


Fig. 7
Der vom Blitz erschlagene Mann (1791) [8]

Fig. 8
Der Laborant (1795) [8]



Blitzelektrizität, wie die schöne Entladung der Gewitterwolke oder der erleuchtete Tempel. Für den vom Blitz erschlagenen Mann schneide man aus Pappendeckel eine Wolke, wie Fig. 7 zeigt, und leime darauf die im Zickzack verlaufenden Staniolstreifen des Blitzweges. Diese also zugerichtete Wolke hänge man alsdann an zwei Seidenschnüren an die Zimmerdecke und stelle einen künstlich verfertigten Baum darunter, an dessen Bodenbrett ein Draht mit einer kleinen Unterbrechung entlang läuft. Bei der Entladung mehrerer Leydener Flaschen wird man dann nicht nur den Blitz auf der Wolke sehen, sondern auch an dem Stamm des Baumes, und die Figur wird zu Boden geworfen. Nicht minder ergötzlich ist der Laborant nach Fig. 8, der vor seinem Ofen sitzt und über die zersprungene Retorte sehr bestürzt ist. Nach der Entladung sieht man Flammen und Kohlen in Brand und das Übrige fährt zum Kamin hinaus.

Trotz mancher neuartiger spielerischer Ideen ist eine Anlehnung der *Seiferheldschen Sammlung*, die in erster Linie für Bastler gedacht gewesen war, an die Experimentierkünste eines *Langenbucher* unverkennbar. In jener Zeit konnten Spielwerke solcher Art auch käuflich erworben werden, wie aus einem Magazin der Nürnberger Spielwarenfabrik *G. H. Bestelmeier* des Jahres 1803 hervorgeht [9]: Es enthält unter anderem einen elektrischen Gewitterturm zum Brennen eingerichtet, dann den vom Blitz erschlagenen Mann sowie ein elektrisches Schiff in einer Darstellung nach Fig. 9.

5. Experimentierkunst von heute

Für eine neuzeitliche Analyse des Blitzphänomens, die etwa um die Jahrhundertwende eingesetzt hat, ist die wissenschaftliche Erforschung künstlicher Blitze, wie sie in modernen Hochspannungslaboratorien erzeugt werden können, vordringlicher denn je geworden. Wenngleich die aus Kunstblitz-Experimenten abgeleiteten Erkenntnisse sich oft nur mit Vorbehalt und grösstmöglicher Vorsicht auf das natürliche Blitzgeschehen übertragen lassen, so hat doch die Erfahrung gelehrt, dass manches Problem der Blitzthematik im Laboratorium schneller und wirkungsvoller einer Lösung zugeführt werden kann, als dies durch ein Beobachten und Mes-

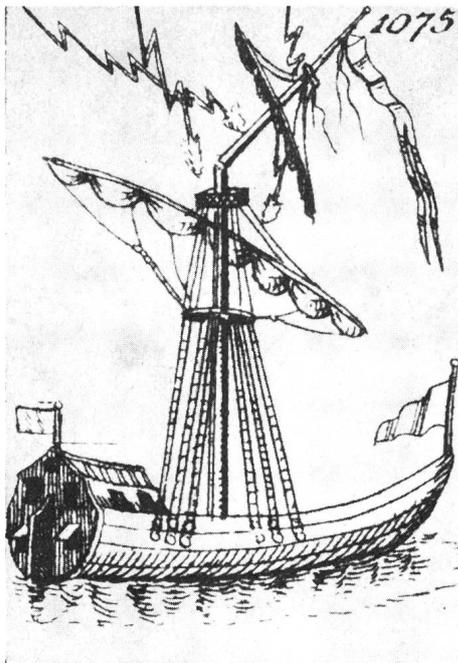


Fig. 9
Das elektrische Schiff (1803) [9]

sen natürlicher Blitze möglich ist. Dies trifft insbesondere für die belehrende Experimentierkunst zu, wie sie zur Ergänzung des theoretisch vorgetragenen Lehrstoffes an manchen Lehrinstituten mit Vorteil geübt wird, und zum besseren Verstehen der Zusammenhänge wesentlich beizutragen vermag. Auch die Öffentlichkeit hat an solcher Art des Experimentierens ein gewisses Interesse, da auf diese Weise manche Verhaltensregel bei Gewittern ad oculos demonstriert und damit auch einem Laien klar gemacht werden kann. In dieser Hinsicht haben die Erkenntnisse aus den Experimentierkabinetten von damals ihren Informationswert behalten, denn der einzige Unterschied zwischen einst und jetzt ist darin zu sehen, dass die Elektrisiermaschine von damals mit ihren Hunderttausend Volt durch leistungsfähige Stossgeneratoren von heute mit Summenladenspannungen bis zu 10 MV ersetzt werden konnte. Aus dieser Sicht wird verständlich, dass manche Blitzmodellanlage der jüngsten Zeit [12; 14] im

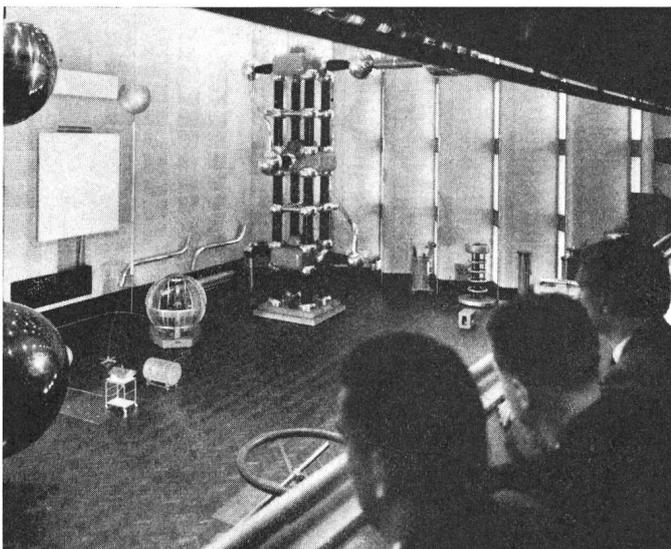


Fig. 10
Experimental-Vorlesung im Hochvolthaus der Technischen Hochschule München (1967)

wesentlichen noch jene Requisiten enthält, wie sie in den Experimentieranlagen eines *Langenbucher* vor nahezu 200 Jahren enthalten gewesen waren.

6. Blitzexperimente im Hochvolthaus

Anhand der im Hochspannungsinstitut der Technischen Hochschule München gegebenen Experimentiermöglichkeiten [20] soll nunmehr im folgenden dargelegt werden, welche Art von Blitzexperimente einem Studentenauditorium und gelegentlich auch der Öffentlichkeit vorgeführt werden kann. Für die Durchführung solcher Experimental-Vorlesungen wurden im Hochvolthaus des Instituts zwei Studentengalerien mit insgesamt 120 Sitzplätzen eingerichtet, von denen aus die

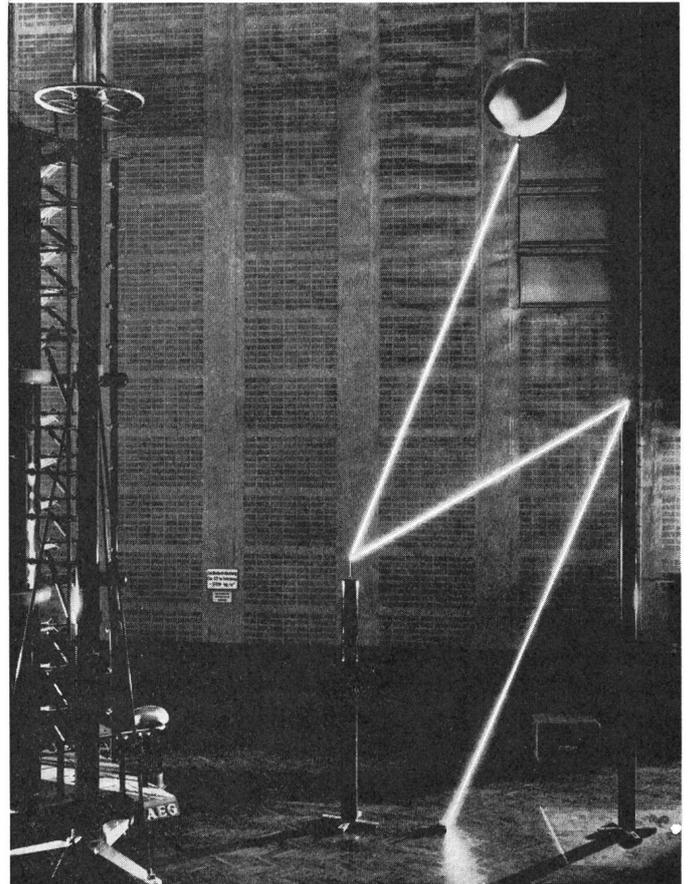


Fig. 11
Drahtverdampfen

in der Halle sich abspielenden Experimente mit guter Einblickmöglichkeit übersehen werden können. Fig. 10 zeigt einen Blick von der unteren Studentengalerie auf das Experimentierfeld der Halle. Um die dabei angewandte didaktische Methodik besser erkennen zu können, sollen die nachfolgenden 8 Experimente etwas eingehender beschrieben und durch ergänzende Informationen entsprechend erläutert werden:

- a) Das Drahtverdampfen
- b) Das Holzspalten
- c) Das brennende Modellhaus
- d) Der rückwärtige Überschlag
- e) Das Faradaysche Loch
- f) Das Abspringen eines Kunstblitzes
- g) Der Schwimmer im See
- h) Der Autoeinschlag.

6.1 Das Drahtverdampfen

In einem ersten Experiment wird die verdampfende Wirkung eines künstlichen Blitzes auf einen 0,2 mm dünnen Wi-

derstandsdraht mit $16 \Omega/m$ und von etwa 15 m Länge gezeigt. Wie aus Fig. 11 hervorgeht, ist der Draht von einer kugelförmigen Hochspannungselektrode des daran angeschlossenen 3-MV-Stoßgenerators über zwei verschieden hohe Hartpapierstützer zickzackförmig zum geerdeten Hallenboden geführt. Nach Anlegen einer negativen Stoßspannung von rund 2 MV entsteht ein Stoßstrom von etwa 1500 A, der den Draht sofort zum Verdampfen bringt und ihn schliesslich in Rauch auflöst.

6.2 Holzspalten

In einem zweiten Experiment wird bei etwa gleicher Stoßspannung ein rund 2 m langer Weidenstab auseinander ge-

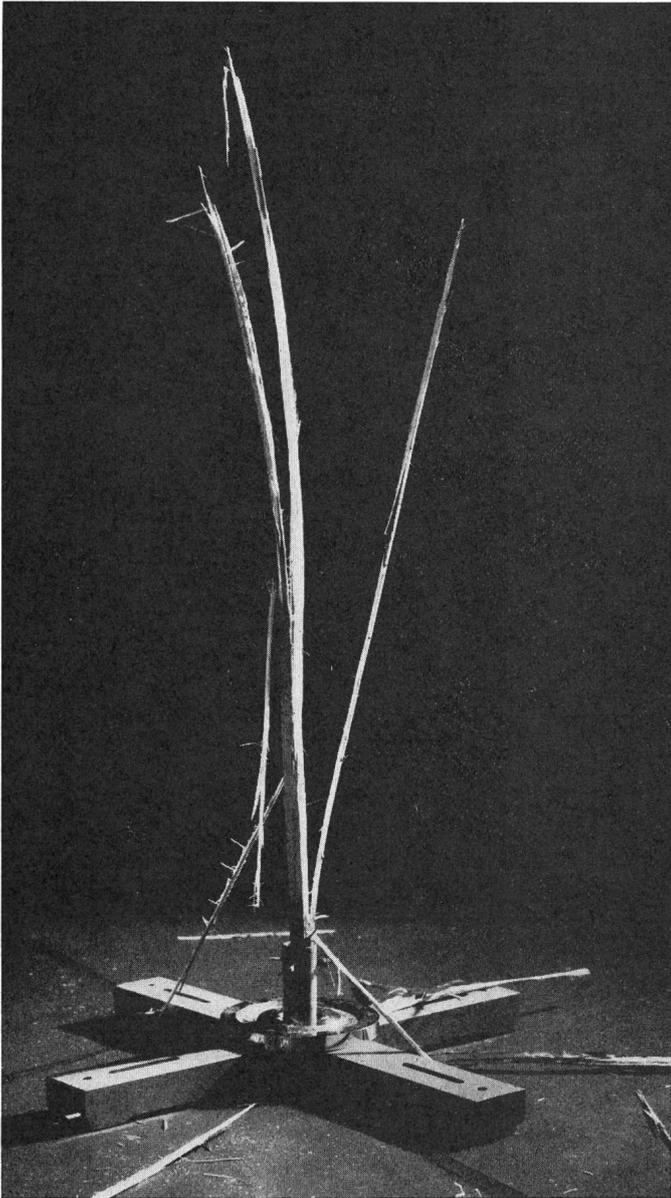


Fig. 12
Zerspaltener Weidenstab

spalten, so wie es aus Fig. 12 ersichtlich ist. Die explosionsartige Spaltwirkung kommt dadurch zustande, dass die im Holzstab enthaltene Feuchtigkeit plötzlich verdampft und zu einer Volumenexpansion etwa im Verhältnis 1:1300 mit den daraus resultierenden erheblichen Drücken Veranlassung gibt. Dieselbe Wirkung ist auch zu beobachten, wenn der Blitz in einen Baum einschlägt und die absplitternden Holzteile unter



Fig. 13
Blitzeinschlag in einen Baum eines Zeltplatzes [17]

hohem Druck wegschleudert, so dass in Baumnähe befindliche Personen unter Umständen gefährdet werden können. So wurde bei einem im Jahre 1962 registrierten Blitzschlag in einen Baum eine in dem zerstörten Zelt befindliche Person durch abgesplitterte Holzteile erschlagen (Fig. 13). Zwei weitere im gleichen Zelt auf dem Erdreich liegende Personen erlitten durch den Spannungstrichter des in das Erdreich abfliessenden Blitzstromes Nervenlähmungen [16]. Ähnliche Explosionseffekte sind im übrigen auch dann zu erwarten, wenn der Blitzstrom über nicht ausreichend geschütztes

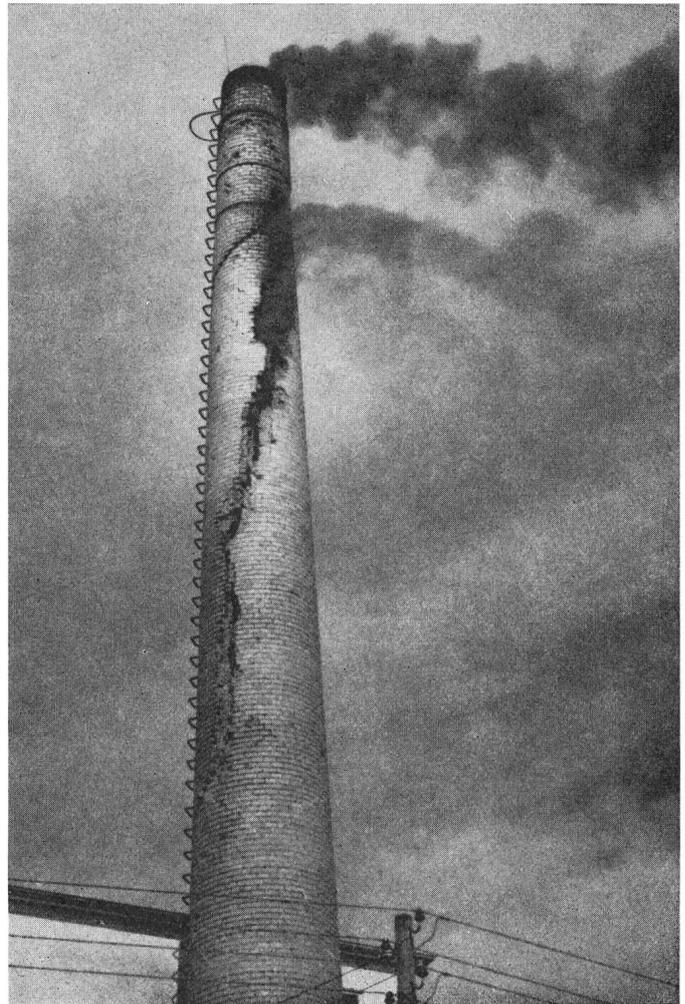


Fig. 14
Blitzeinschlag in einen Schornstein



Fig. 15
Das brennende Modellhaus

Mauerwerk zur Erde abfließen muss, so dass durch die vorhandene Feuchtigkeit Mauerteile herausgeschleudert werden, wie es bei dem in Fig. 14 dargestellten Schornsteineinschlag der Fall gewesen war.

6.3 Das brennende Modellhaus

Die Statistik lehrt, dass innerhalb der Bundesrepublik Deutschland im Verlauf der vergangenen sieben Jahre Blitzschäden von etwa über 20 Mill. DM im Jahresmittel vorgefallen sind, und dass das Verhältnis der Schadenhöhe durch zündende Blitzschläge zu der durch nicht zündende Blitzschläge für den gleichen Zeitraum durchschnittlich 2,6:1 betragen hat³⁾. Im Hinblick auf die durch zündende Blitze verursachten hohen Brandschäden sollte deshalb dem Schutz von Gebäuden gegen Blitzschlag mehr Aufmerksamkeit als bisher geschenkt und überlegt werden, dass eine nach den Regeln des ABB⁴⁾ ausgelegte Blitzschutzanlage [17] das betreffende Gebäude von den Gefahr bringenden Schäden eines Blitzschlages zu schützen vermag. Zur Demonstration der Schutzwirkung eines Gebäudeblitzableiters wird in einem dritten Experiment dargelegt, dass das Modellhaus mit eingebautem Blitzableiter unbeschädigt bleibt, während das nicht geschützte Modellhaus nach erfolgtem Blitzschlag zu brennen anfängt (Fig. 15). Der Brand wird dadurch bewirkt,

³⁾ Nach freundlicher Mitteilung der Bayerischen Versicherungskammer München vom September 1967.

⁴⁾ ABB = Ausschuss für Blitzableiterbau e. V.



Fig. 16
Durch Blitzschlag verursachter Brand eines Gebäudes ohne Blitzableiter

dass durch den beim Einschlag fließenden Stoßstrom zwei Rauchpatronen zur Entzündung kommen, die das Modellhaus in einen rötlichen Feuerschein hüllen und so beim Beschauer einen spektakulären Eindruck hinterlassen. Den Blick zur Wirklichkeit vermittelt das durch Blitzschlag abgebrannte Gebäude der Fig. 16, das wegen Fehlens eines Blitzableiters einen grossen Sachschaden verursacht hatte.

6.4 Der rückwärtige Überschlag

Ein für den Schutz elektrischer Anlagen bedeutsamer Effekt ist der sog. rückwärtige Überschlag, der beispielsweise bei einem Blitzeinschlag in ein Erdseil oder einen Leitungsmast dadurch zustande kommt, dass die im Blitzkanal mitgeführte Ladung nicht schnell genug zur Erde abgeführt werden kann, so dass es zu Potentialanhebungen des Mastes gegenüber dem umgebenden Erdreich und auch gegenüber den Phasenseilen kommt. Dies kann zur Folge haben, dass ein oder auch mehrere Leitungsisolatoren vom Mast zum Pha-

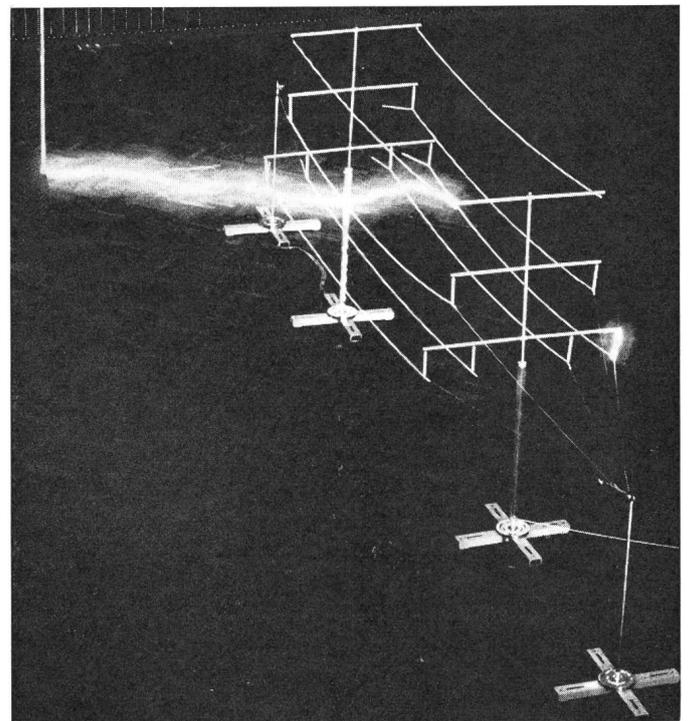


Fig. 17
Rückwärtiger Überschlag an einer Modelleitung

senseil überschlagen werden. Es ist einleuchtend, dass mehrphasige Rücküberschläge zu zwei- oder dreipoligen Kurzschlüssen mit Erdberührung führen. In einem vierten Experiment wird nun ein rückwärtiger Überschlag an einer von einem Kunstblitz getroffenen Modelleitung gezeigt, an der der Mastwiderstand durch Dazwischenschalten eines Erdungswiderstandes von 100 Ω absichtlich erhöht worden ist. Anhand der Fig. 17 ist gut erkennbar, dass der vordere Modellmast vom Fusspunkt des Blitzstrahles erfasst worden ist und dabei der rechte vordere Leitungsisolator zum Rücküberschlag kommt.

6.5 Das Faradaysche Loch

Interessanterweise sind Rücküberschläge auch innerhalb eines Faradayschen Käfigs möglich, was zunächst erstaun-

Fig. 21
Einschlag in ein Auto
Der Insasse bleibt unbeschädigt



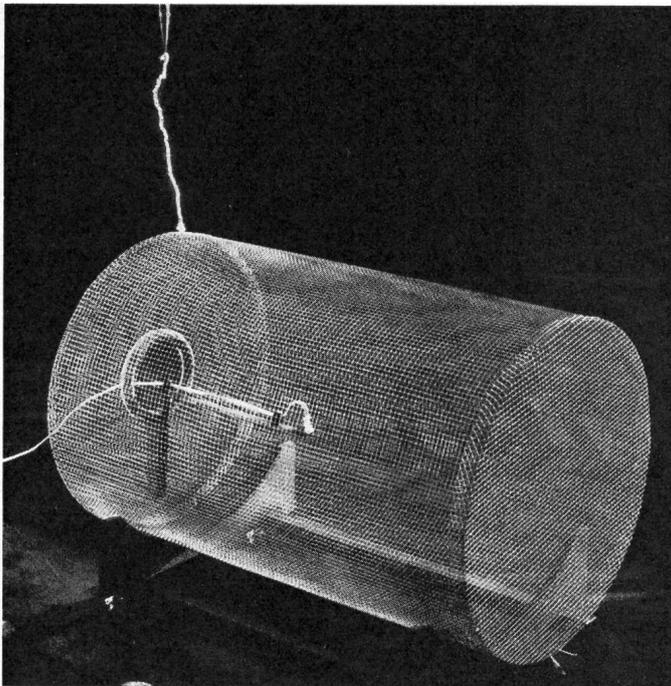


Fig. 18

Rücküberschlag innerhalb eines Faradayschen Käfigs

lich sein mag, wenn man von der als gesichert zu betrachtenden Schutzwirkung eines solchen Käfigs ausgeht. Ein im Jahre 1965 durch Blitzeinschlag in Brand geratener Benzintank von 1500 m³ Nutzinhalt [21] gab Veranlassung, eine solche Möglichkeit durchzudenken und für ein fünftes Experiment einen Versuchsaufbau zu wählen, wie er aus Fig. 18 ersichtlich ist:

In den aus 1 mm Maschendraht aufgebauten Käfig von 0,7 m Durchmesser und 1 m Länge führt eine isolierte, aber gut geerdete Leitung hinein, so dass deren Potential als fest angenommen werden kann. Sobald nun der Käfig von aussen her durch einen Kunstblitz von etwa 600 kV beaufschlagt wird, kann das Potential des Käfigs bei nicht rasch genug abfliessender Blitzladung so stark angehoben werden, dass es zu einem Rücküberschlag innerhalb des Käfigs von der Leitungshalterung zu der gut geerdeten Leitung kommt, wie es auch an dem dargestellten Versuchsaufbau gut erkennbar ist. Es ist dann durchaus denkbar, dass ein solcher Überschlagsfunke ein Benzinluftgemisch zur Entzündung bringen kann, wie es vermutlich im Fall des vorhererwähnten Tankbrandes geschehen sein konnte. Eine nachträgliche Überprüfung der an dem Tank vorhandenen Einrichtung hat nämlich ergeben, dass aus einer Anschlussdose des Tankes, die vom Tankinnenraum nicht gasdicht abgetrennt war, ein isoliertes Messkabel herausführte, das über eine Strecke von rund 200 m erdverlegt gewesen war, so dass sich die Messeinrichtung durch die dadurch bedingte starke Kopplung mit Sicherheit auf Erdpotential befunden haben musste. Dagegen stand die mit dem Tank verbundene Halterung der Anschlussklemmen im Augenblick des Blitzeinschlages unter hohem Potential, weshalb es zu einem Funkenüberschlag zwischen dieser Halterung und dem Meßsystem kommen konnte, der dann das explosive Gasgemisch im Tank zur Entzündung brachte. Die Einrichtung hatte also gleichsam so gewirkt, als ob die von aussen kommende Entladung über das vorhanden gewesene «Loch» in das Innere des als *Faradayscher Käfig* wirkenden Tanks hineingetragen worden sei. Dabei hätte sich

als einfache Schutzmassnahme der Anbau entweder einer Funkenstrecke oder noch besser eines kleinen Kopplungskondensators angeboten. Tatsächlich zeigt das Experiment, dass dann keine Überschläge innerhalb des Käfigs auftreten können. Auch einem angeschnallten Fluggast kann beim Durchsacken des Flugzeuges wegen seiner festen Ankopplung nichts passieren!

6.6 Abspringen eines Kunstblitzes

Die noch verbleibenden drei Experimente mögen dem Personenschutz zudedacht sein.

Trotz Warnungen und Ermahnungen passiert es immer wieder, dass Personen beim Wandern, Heuernten, Reiten, Fussballspielen, Obstpflücken, Radfahren, Beerensammeln, Bergsteigen, Skifahren, Golfspielen, Schwimmen, Pferderennen, Fischen, Traktorfahren, Jagen, Kahnfahren, Paddeln oder Segeln vom Blitz getroffen werden. Soweit es sich aus einer von *W. Harms* stammenden Statistik entnehmen lässt [6] ist innerhalb der Bundesrepublik Deutschland jährlich mit rund 100 Blitzeinschlägen zu rechnen, wovon nahezu die Hälfte tödlich verläuft. Mit zu den ereignisreichsten Blitzeinschlägen gehört ein im Jahre 1956 verzeichneter Blitzschlag, von dem 46 Personen betroffen worden sind [15]. Besonders gefährdet sind naturgemäss Personen, die im freien Gelände beschäftigt sind oder sich an exponierten Punkten aufhalten. Deshalb vermeide man «soviel wie möglich erhabene Orte, weil alsdann der Mensch so gut als eine metallene Stange die Materie an sich zieht», wie es in einem Büchlein über Verhaltensregeln bei nahen Donnerwettern aus dem Jahre 1778 heisst [4]. Zu den nicht minder bevorzugten Blitzeinschlagstellen gehören auch allein stehende Bäume oder Baumgruppen, dann Waldränder und Feldscheunen oder sonst im ebenen Gelände vorhandene Einzelobjekte. Deshalb sollte davor

gewarnt werden, während eines Gewitters in ihrer Nähe Schutz zu suchen, denn es ist denkbar, dass der Blitzstrahl von dem Einschlagobjekt abspringt und sich über den besser leitenden menschlichen Körper seinen Weg zur Erde sucht. Das dazu erdachte sechste Experiment soll das Abspringen eines Kunstblitzes von einem Weidenstab auf einen Wasserwiderstand von 1,5 k Ω demonstrieren, der den menschlichen Körper als elektrisches Analogon nachbilden möge. Aus Fig. 19 ist dieser Absprüngeffekt gut erkennbar, insbesondere auch, dass der Wasserwiderstand selbst überschlagen wird. Dies kann damit erklärt werden, dass bei einem abfliessenden

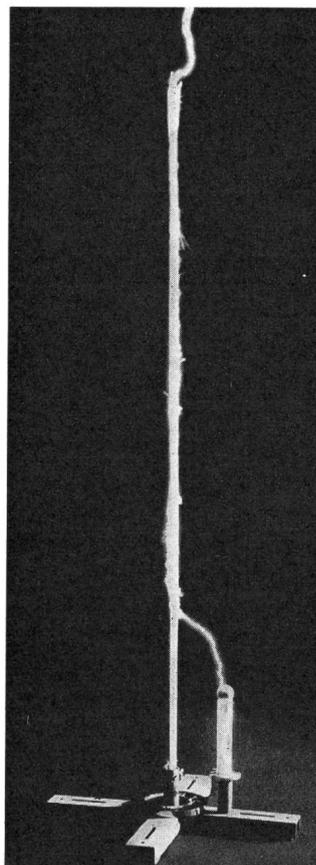


Fig. 19

Abspringen eines Kunstblitzes

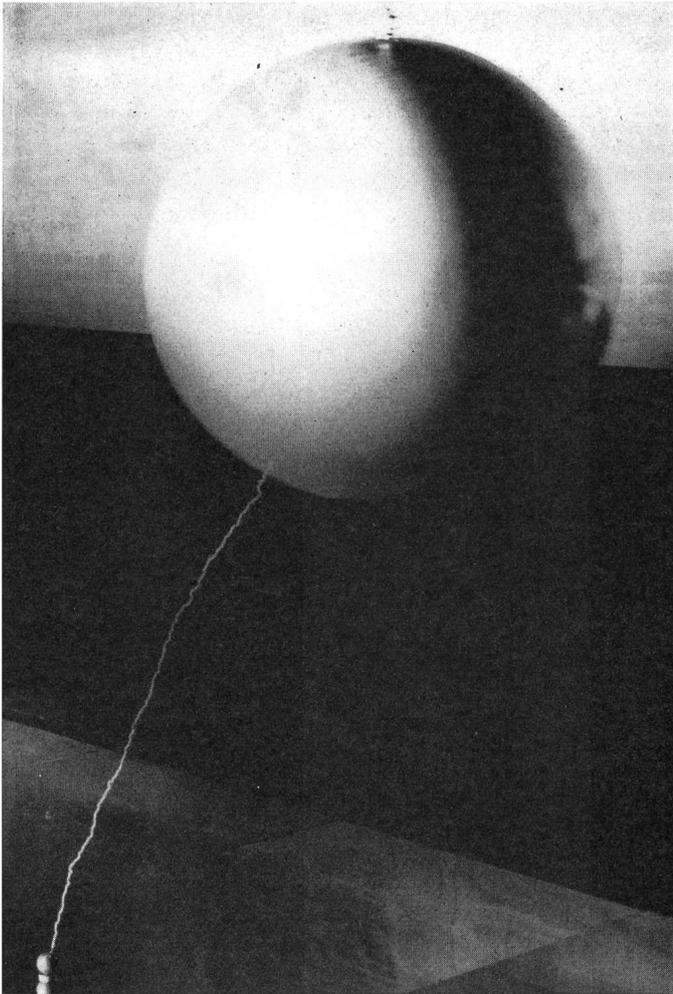


Fig. 20
Einschlag in eine exzentrisch liegende Kugel

Stoßstrom von etwa 1,5 kA an dem Wasserwiderstand von 1,5 k Ω bereits eine Spannung von 2,25 MV ansteht, die als Folge der geringen Überschlagfestigkeit der Glas-Luft-trennschicht längs der Oberfläche des Glaszylinders zur Wirksamkeit kommt. Ähnliche Oberflächenüberschläge sind zu erwarten, wenn beispielsweise die Kopfpforten einer Person vom Blitzstrahl erfasst werden [21], die sich dann durch Blitzfiguren auf der Hautoberfläche oder bei entsprechender Stromstärke durch ein Aufreißen oder Wegbrennen der Kleidungsstücke bemerkbar machen können.

6.7 Der Schwimmer im See

Eine nicht zu unterschätzende Blitzgefährdung muss auch beim Baden oder Schwimmen erwartet werden. Dies rührt davon her, dass der aus dem Wasser ragende Kopf eines Schwimmers eine starke Feldkonzentration bewirkt, die zu einer dreifachen Feldstärkeüberhöhung gegenüber dem umgebenden elektrischen Feld führt und so zu einer bevorzugten Einschlagstelle des Blitzes werden kann. Fig. 20 zeigt einen Einschlag in eine 5 cm Metallkugel, die auf einer ebenen Metallplatte als simulierte Wasserfläche exzentrisch zur Blitzelektrode ruht und so den Kopf des Schwimmers im See nachbildet. Wie oft auch das Experiment wiederholt wird: Immer erfolgt der Einschlag in die Kugel!

6.8 Der Autoeinschlag

Den vollkommensten Schutz gegen die Blitzgefahr bietet zweifellos ein metallumschlossener Hohlraum. Um seine Un-

gefährlichkeit nachzuweisen, baute sich *Michael Faraday* vor rund 130 Jahren einen rings herum mit Zinnfolie belegten Würfel von etwa 4 m Kantenlänge, dem auf Isolierstützen stehend Elektrizität zugeführt werden konnte. Nachdem sich *Faraday* in den Würfelraum hineinbegeben hatte, gab er seinem Gehilfen *Anderson* die Weisung, die Elektrisiermaschine zu betätigen, um so den Würfel aufzuladen. Über seine Eindrücke berichtet er in einer Tagebucheintragung vom 15. Januar 1836 wie folgt:

«I now went inside the cube standing on the stool and *Anderson* worked the machine until the cube was fully charged and he continued working the machine. I could by no appearance find any traces of electricity in myself or the surrounding objects.»

Damit hatte *Faraday* an sich selbst den experimentellen Beweis erbracht, dass in einem metallischen Hohlkörper das elektrostatische Feld Null ist, weshalb wohl sein Name mit dem Begriff eines Faradayschen Käfigs bis auf den heutigen Tag erhalten geblieben ist.

Als ebenso sicher können metallumschlossene Land-, Schienen- und Wasserfahrzeuge sowie Metallgondeln von Seilbahnen betrachtet werden, also auch Kraftfahrzeuge mit Metallkarosserie. Die in Fig. 21 dargestellte Farbaufnahme zeigt einen Einschlag in ein Auto mit nachfolgendem Reifenüberschlag bei einer angelegten Spannung von rund $\frac{3}{4}$ Millionen Volt. Gefährdet dagegen sind Personen in Kabrioletts oder auf Motor- und Fahrrädern. Die oft entgegengehaltene Ansicht, dass der Blitz in ein gummbereiftes Fahrzeug nicht einschlagen könne, hat schon mancher Unbelehrbare mit dem Leben bezahlen müssen. Auch sollte bei Naheinschlägen an eine mögliche Blendung des Fahrers gedacht werden, die — wie die Erfahrung lehrt — bei zu hoher Fahrgeschwindigkeit zu einer ernstesten Gefahr werden kann. Es sei also allen Kraftfahrern empfohlen, bei Gewittern langsam und vorsichtig zu fahren!

Erstaunlicherweise musste bereits *Benjamin Franklin* davon gewusst haben, dass in einem metallischen Hohlraum keine Elektrizität vorhanden sein könne, denn in einem Brief vom 18. März 1755 berichtete er [2], dass eine an einem Seidenfaden aufgehängte Korkkugel, sofern sie in das Innere eines elektrisch geladenen Silberbechers eingeführt würde, keine Anziehung erfahre und selbst nach einem Berühren des Becherbodens keinerlei elektrisches Verhalten zeige. *Franklin* kommentiert das Becher-Experiment schliesslich mit der Bemerkung:

«You require the reason; I do not know it. Perhaps you may discover it, and then you will be so good as to communicate it to me.»

Aber selbst der grosse englische Experimentator *Josef Priestley*, der das Experiment zwei Jahrzehnte später wiederholte, konnte keine Erklärung dafür finden. Und am 17. April 1790 wurde *Benjamin Franklin* 86jährig unter feierlichem Zeremoniell in Philadelphia zu Grabe getragen.

Literatur

- [1] *P. J. Windler*: Tentamina de causa electricitatis. Napoli 1747.
- [2] Letter XVII from *Benjamin Franklin* of Philadelphia to Dr. L..., Charlestown, South Carolina, March 18th 1755. In: I. B. Cohen: *Benjamin Franklin's Experiments*. Cambridge/Massachusetts and Oxford, Harvard University Press, 1941.
- [3] *J. F. Hartmann*: Abhandlungen von der Verwandtschaft und Ähnlichkeit der electrischen Kraft mit den erschrecklichen Luft-Erscheinungen. Hannover 1759.
- [4] *L. C. Lichtenberg*: Verhaltens-Regeln bey nahen Donnerwettern, nebst den Mitteln, sich gegen die schädlichen Wirkungen des Blitzes in Sicherheit zu setzen, zum Unterricht für Unkundige. Gotha, Ettinger, 1778.
- [5] *J. Langenbucher*: Beschreibung einer beträchtlich verbesserten Elektrisiermaschine, samt vielen Versuchen und einer ganz neuen Lehre vom Laden der Verstärkung. Augsurg, Riegers Söhne, 1780.

[6] N. A. J. Kirchof: Beschreibung einer Zurüstung, welche die anziehende Kraft der Erde gegen die Gewitterwolke und die Nützlichkeit des Blitzableiters sinnlich beweisen. Hamburg-Berlin, Nicolai, 1781.
 [7] M. van Marum: Description d'une très grande machine électrique. Vol. 1...3. Haarlem, Euschede, 1785/1795.
 [8] G. H. Seiferheld: Sammlung electrischer Spielwerke für junge Electriciker. 4...6. Lieferung. Nürnberg-Altendorf, Monath, 1791/1795.
 [9] G. H. Berstelmeier: Magazin von verschiedenen Kunst- und anderen nützlichen Sachen. Nürnberg 1823.
 [10] L. Figuié: Les merveilles de la science ou description populaires de inventions modernes. Vol. I. Paris 1870.
 [11] W. Schütte: Das Reich der Luft. Leipzig, Brandstetter, 1874.
 [12] J. Landry et al.: Elektrizität, technisches Zeitbild über die schweizerische Landesausstellung 1939. Zürich, Elektrowirtschaft, 1940.
 [13] D. E. Roller and D. H. D. Roller: The Development of the Concept of the Electric Charge. Cambridge/Massachusetts, Harvard University Press, 1954.
 [14] H. Prinz und H. Heindl: 1-Millione-Volt-Blitzmodellanlage. Elektr.-Wirtsch. 53(1954), S. 266...271.
 [15] G. P. Arden, S. H. Harrison, J. Lister and L. H. Maudsley: Ligthning Accident at Ascot. British Medical Journal (1956)4981, S. 1450...1453.

[16] W. Harms: Unfälle durch Blitzschlag. ETZ-A 82(1961), S. 285...288.
 [17] H. J. Blumenhagen: Blitzschäden und Blitzschutz. Wiesbaden, Bundeskriminalamt, 1962.
 [18] ABB. Allgemeine Blitzschutz-Bestimmungen. 7. Auflage, Berlin/München, Ernst und Sohn, 1963.
 [19] H. Prinz: 200 Jahre Experimentierkunst mit Reibungselektrizität. Bull. SEV 55(1964), S. 2...21.
 [20] H. Prinz: Feuer, Blitz und Funke. München, Bruckmann, 1965.
 [21] H. W. Thaden: Tankbrand durch Blitzschlag. Erdöl und Kohle, Erdgas, Petrochemie 19(1966), S. 422...424.
 [22] K. Berger: Neue Resultate von San Salvatore. Vortrag im Elektrotechnischen Kolloquium der TH München im Juni 1967.
 [23] F. Fraunberger: Elektrische Spielereien im Barock und Rokoko. Abhandlungen und Berichte Deutsches Museum 35(1967), S. 5...45.
 [24] J. Wiesinger: Gewitterblitze. Bull. SEV 58(1967), S. 1034...1035.

Adresse des Autors:

Prof. Dr. Hans Prinz, Direktor des Institutes für Hochspannungs- und Anlagentechnik der Technischen Hochschule München, Arcisstrasse 21, D-8 München 2.

Über den Einfluss geringer Wassergehalte auf die Durchschlagfestigkeit von Isolierflüssigkeiten

Von J. Schober und W. Strittmatter, Baden

621.315.615

Es wurde die Durchschlagspannung sehr sorgfältig filtrierter und im Vergleich dazu mit Zellulose verunreinigter Isolierflüssigkeiten in Abhängigkeit vom Wassergehalt gemessen. Im Gegensatz zu den Resultaten anderer Autoren wurde gefunden, dass die Durchschlagspannungen reiner Flüssigkeiten bis zu Wassergehalten von ca. 70 % (bezogen auf den Sättigungswert) vom Wassergehalt unabhängig sind und erst dann stark fallen. Im Gegensatz dazu zeigen die künstlich verunreinigten Isolierflüssigkeiten bereits bei sehr geringer Feuchtigkeit eine starke Abhängigkeit der Durchschlagspannung vom Wassergehalt. Es wird gezeigt, dass selbst im Konzentrationsbereich einiger ppm die im Öl befindliche Wassermenge ausreicht, um die in geringer Menge vorliegenden festen Teilchen relativ stark zu befeuchten und so die Brückenbildung zu beschleunigen.

On a mesuré la tension de rupture en fonction de la teneur en eau de liquides isolants très soigneusement filtrés, et à titre comparatif celle de liquides isolants souillés par de la cellulose. A l'encontre des résultats obtenus par d'autres auteurs on constata, que jusqu'à une teneur en eau de 70 % (rapportée au degré de saturation) la tension de rupture des liquides purs demeure indépendante de la teneur d'eau, pour ne tomber fortement qu'au delà de cette valeur. A l'inverse, la tension de rupture des liquides isolants souillés artificiellement dépend lors d'un faible degré d'humidité déjà fortement de la teneur en eau. On démontre que même à une concentration de quelques ppm, la quantité d'eau renfermée dans l'huile suffit à une humectation relativement forte des particules solides disséminées, en activant ainsi la formation de ponts.

1. Einleitung

Es ist allgemein bekannt, dass Feuchtigkeit die elektrische Festigkeit von Isolierölen stark herabsetzen kann. Dass ein zur Füllung von elektrischen Apparaten bestimmtes Öl trocken sein soll, darüber besteht also kein Zweifel mehr. Die Meinungen gehen jedoch bereits auseinander, wenn nach dem noch zulässigen Wassergehalt «für ein trockenes» Öl gefragt wird.

halten zwischen 10 und 30 ppm sehr stark abfällt, um sich dann oberhalb 40 ppm langsam einem Endwert zu nähern (Fig. 1).

Ganz anders ist der von Brinkmann und Beyer gezeigte Kurvenlauf [2]. Hier fällt die Durchschlagspannung bereits mit den ersten 10 ppm Wassergehalt auf 60 % ihres Maximalwertes ab, bleibt dann bis ca. 40 ppm etwa konstant und fällt dann zwischen 40 und 60 ppm nochmals mit steigendem Wassergehalt steil auf ca. 15 % des ursprünglichen Wertes (Fig. 2).

¹⁾ Siehe Literatur am Schluss des Aufsatzes.

Zur Beantwortung dieser Frage ist es notwendig, den Einfluss des Wassers auf die Durchschlagfestigkeit des Öles genau zu kennen, und es hat auch nicht an Versuchen gefehlt, um zu dieser Erkenntnis zu gelangen. Die bisher erhaltenen Ergebnisse sind z. T. jedoch recht widersprechend.

So stellen z. B. Casper und Kemper fest [1]¹⁾, dass die elektrische Festigkeit eines Isolieröles bereits bei Wasserge-

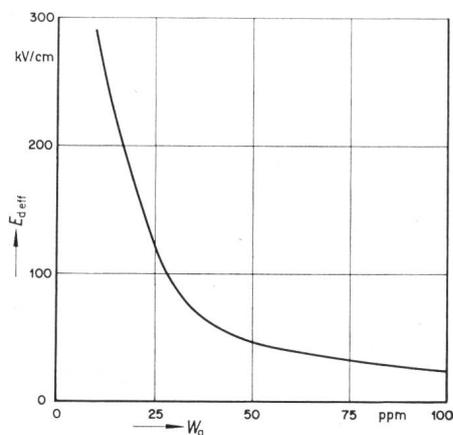


Fig. 1
Verlauf der Durchschlagfeldstärke E_{def} eines Isolieröles bei steigendem Wassergehalt W_g nach [1]
Elektrodenabstand 2,5 mm

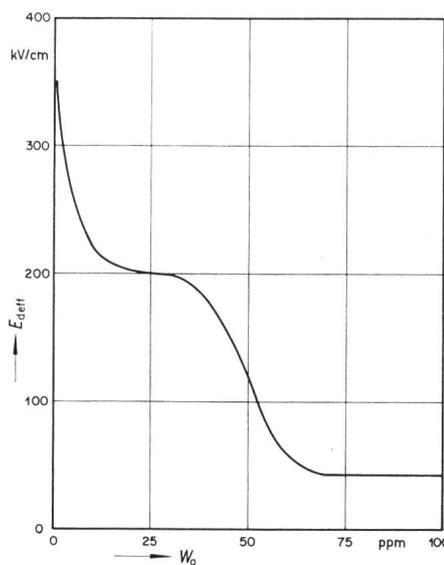


Fig. 2
Wie Fig. 1, aber nach [2]
Elektrodenabstand 1,5 mm
Bezeichnungen siehe Fig. 1