

Zeitschrift: Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins
Herausgeber: Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätswerke
Band: 63 (1972)
Heft: 1

Artikel: Bewunderungswürdige Experimentierkünste mir funkender Elektrizität
Autor: Prinz, H.
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-915648>

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: 17.03.2025

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

BULLETIN

DES SCHWEIZERISCHEN ELEKTROTECHNISCHEN VEREINS

Gemeinsames Publikationsorgan des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins (SEV)
und des Verbandes Schweizerischer Elektrizitätswerke (VSE)

Bewunderungswürdige Experimentierkünste mit funkender Elektrizität

Von H. Prinz, München

Im ereignisreichen Ablauf einer denkwürdigen Geschichte der Elektrizität sind es die viel bestaunten Experimente mit leuchtenden, stechenden, feurigen und knallenden Funken gewesen, die das unaufhörliche Verlangen einstiger Naturforscher erweckt haben, das Wundersame ihrer Verursachung zu ergründen. Ein allererstes Bemühen diesethalben ist allerdings erst in der zweiten Hälfte des 17. Jahrhunderts vermerkbar, also in einer Zeit, in der man unter Elektrizität lediglich die Eigenschaft eines geriebenen «Electricum» verstanden hatte, leichte Teilchen entweder anzuziehen oder abzustossen.

1. Leuchtende Funken

Um diese Zeit bekundete der 25jährige *Gottfried Wilhelm Leibniz*, Rat beim Höchsten Gericht des Kurfürsten von Mainz und durch seine späteren mathematischen und philosophischen Schriften als Persönlichkeit von hohem Rang berühmt geworden (Fig. 1), sichtliches Interesse an den Eigenschaften geriebener *Electrica* und experimentierte mit einer ihm von *Otto von Guericke* überlassenen Schwefelkugel, von der er wusste, dass sie eine «virtus attractiva» und eine «virtus expulsiva» offenbaren könne und zudem die Kraft des Rauschens, Knisterns und Leuchtens besitze. Dabei musste er beim Bestreichen mit trockener Hand auch ihr Funken vermerkt haben, denn am 1. März 1672 hat ihm *Guericke* einen Brief geschrieben, der mit folgender Passage beginnt [25]¹⁾:

«Desselben gar angenehmes vom 31. Jan.: hatt mich die Überkunfft der Schwäffelkugel verständiget und dass sie wegen anderer geschöfftte noch nicht rächt probiert werden können; doch hette Er die Wärme und funcken gar wohl gespühret etc. Nuhn weiss nicht, ob etwa ein missverstand hierbey, weil mihr von Wärme bey der kugel nichts beweist, die funcken aber müssen etwa von dem leuchten zu verstehen sein, wan man Sie mitt trucken henden bey der nacht oder im finstern gemach bestreichett, so gibtt Sie, wie der Zucker, leuchtung von sich.»

Obwohl der zitierte Originalbrief nicht mehr vorhanden ist, muss als erwiesen betrachtet werden, dass *Leibniz* erstmals einen elektrischen Funken bewusst beobachtet hat [27].

Drei Jahrzehnte später beginnt *Francis Hauksbee*, einstmals Konservator der Royal Society London und gelehriger Schüler von *Robert Boyle*, vermutlich auf Anregung von *Isaac Newton* mit Reibungselektrizität zu experimentieren. Dazu baute er sich eine Maschine mit einem grossen Antriebsrad, mit dessen

Hilfe es ihm möglich war, evakuierbare Glaskugeln und Glaszylinder in schnelle Drehung zu versetzen. Nach dem Auflegen seiner trockenen Hand auf die Glasoberfläche beobachtete er bei abgedunkeltem Raum funkenartige Leuchteffekte [1].

537.21:9

2. Stechende Funken

Im weiteren Verlauf einer bald gern geübten Experimentierkunst sind es die stechenden Wirkungen einer funkenden Elektrizität gewesen, die im Kreise der Experimentierenden mehr Bestürzung als Erstaunen verursacht haben. Eine erste zufällige Erfahrung dieser Art sollte dem Verwalter des Königlich Botanischen Gartens zu Paris, *Charles François de Cisternay du Fay*, vorbehalten bleiben, der der Elektrizität sehr zugetan war und in phantasievollen Experimenten Bedeut-



Fig. 1
Gottfried Wilhelm Leibniz 1646—1716

¹⁾ Siehe Literatur am Schluss des Aufsatzes.

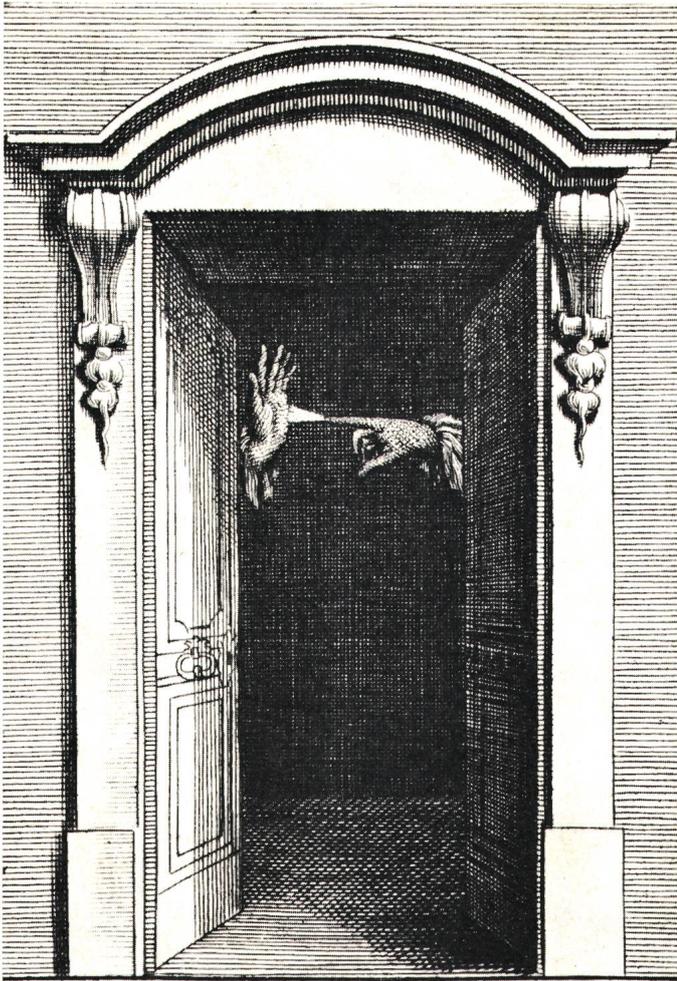


Fig. 2

1749: Stechender Funke oder die Frage nach der elektrisierten Hand [10]

sames zu einem besseren Verstehen ihrer Erscheinungen beigetragen hat. So kam er eines Tages auf den Gedanken, das erstmals von dem Engländer *Stephan Gray* gewagte Experiment eines «homo electricatus» zu wiederholen, wobei er sich selbst auf das an Seidenschnüren aufgehängte Brett setzte und sich darnach von einem geriebenen Glasstab berühren liess. Als dann im Verlauf der Ereignisse sein Gehilfe ein Goldplättchen wegnehmen wollte, das an *Du Fays* Fuss hängen geblieben war, verspürten beide unerwartet eine von einem Knistern begleitete Schmerzempfindung, von der *Du Fay* in seinem dritten Memoire über die Elektrizität des Jahres 1733 meinte [2]:

«... je ne la puis comparer qu'à une piqûre faite très brusquement, ou à une brûlure d'étincelle.»

Diese Erfahrung wurde später von dem Wittenbergischen Professor *Georg Matthias Bose* in seinem oft belächelten Gedicht über die Elektrizität durch folgenden Vers glossiert [5]:

«So bald bey mir der Mensch auf Pech und Sieglack tritt,
Theilt meine Kugel ihm sofort die Kräfte mit.
Man fühlt auf vier, fünf Zoll ein deutlich warmes Wehen,
Wie tausend Wirbel sich in tausend Kreysen drehen.
Berührest Du hierauf den Menschen mit der Hand,
So fährst Du schnell zurück, und fragst, was Dich gebrannt.»

Dessen ungeachtet war es unausbleiblich, dass noch mancher Elektrizitätsbegeisterte die empfindlichen Wirkungen eines stechenden Funkens zu verspüren bekam, mag es aus neugierigem Verlangen oder auch zur Bereicherung seiner eige-

nen Vorstellungen hievon gewesen sein. Im Fortschreiten einer immer erstaunlicher werdenden Experimentierkunst sind jedoch die Wirkungen einer funkenden Elektrizität immer heftiger geworden, insbesondere seitdem *Gray* klar erkannt hatte, dass Elektrizität nicht nur Menschen und Tieren, sondern gleichermassen irgendwelchen metallischen Gegenständen entnehmbar ist, als da sind Schürhaken, Feuerzangen und Kohlenschaukeln, so dass bald ein vorsichtigeres Hantieren als schicklich erachtet wurde. Damals muss es *Gray* auch zum Bewusstsein gekommen sein, dass eine weitere Steigerung der bisher beobachteten Funkeneffekte erwartet werden müsse, sobald mehr Elektrizität sammelbar sein würde, womit er später tatsächlich recht bekommen sollte.

Erfindungsreiche und zugleich behelrende Gedankenspiele über die Verursachung funkender Elektrizität mögen den berühmten *Abbé Jean Antoine Nollet* dazu veranlasst haben, in einem seiner viel gelesenen Bücher eine sehr geschickt formulierte Denkaufgabe vorzustellen, die bei manchem Leser der damaligen Zeit höchst geheimnisvolle Vorstellungen erweckt haben musste. In dieser Aufgabe wird vorausgesetzt, dass sich in einem Zimmer zwei Personen befinden mögen, die für einen Beobachter nicht sichtbar mit Elektrizität hantieren. Durch die offene Zimmertür könne lediglich ein elektrischer Funke eingesehen werden, der gemäss Fig. 2 vom Zeigefinger der einen Person auf die Handfläche der anderen mit sicherlich stechenden Wirkungen überspringt. Die sich stellende Frage lautet dann, ob dem Bilde nach für den Beobachter erkennbar sei, welche der beiden Hände die augenblicklich elektrisierte ist. Der Leser findet dazu die folgende Antwort [10]:

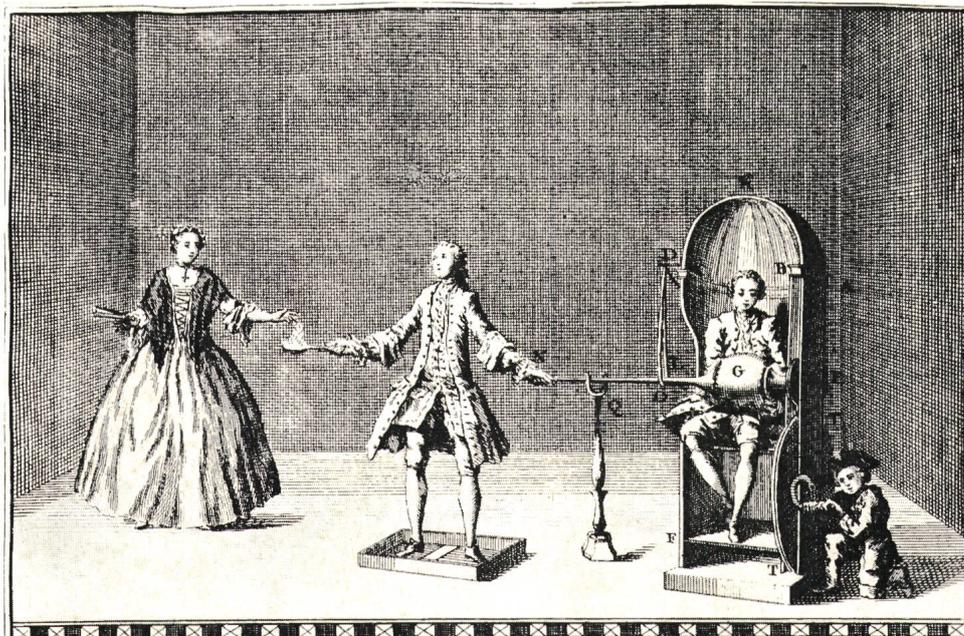
«... il seroit bien difficile, je pourrois dire impossible, de décire à coup sûr quel est celui des deux corps sur qui l'on fait agir immédiatement le globe.»

Ob *Nollet* wohl schon damals den Potentialbegriff erahnt haben mochte?

3. Das elektrische Feuer

Noch mehr als die stechende Elektrizität ist es die feurige Elektrizität gewesen, die als neuartige Erscheinungsform des elektrischen Funkens allergrösste Aufmerksamkeit gefunden hat. Bereits im Jahre 1734 hatte *Du Fay* den Gedanken ausgesprochen, dass ein elektrischer Funke auch eine feurige Kraft besitzen müsse, diesethalber es allerdings geboten sei, die verbrennliche Materie höchstmöglich zu vermehren. In seiner vermeintlichen Vorstellung, dass ein elektrischer Funke nur aus lebenden Körpern erweckt werden könne, machte er damals den kaum glaublichen Vorschlag, einen solchen in trockene und leicht verbrennliche Materie einzuwickeln und dazu jene Umstände zu bedenken, die am geschicktesten die feurige Wirkung zu verstärken vermöchten [3]. Allerdings wird nicht berichtet, ob dieses makabre Experiment je vonstatten ging, weshalb vermutet werden muss, dass *Du Fays* erläuternde Bemerkung, man könnte sich hiebei auch einer anderen selbst zu erdenkenden Art bedienen, wenn man herausfände, dass dies der Mühe wert sei, wohl nachdenklich gestimmt haben musste. Dazu kommt, dass *Du Fay* späterhin klar erkannt hatte, dass für das gedachte Experiment ein *Grayscher* Konduktor nützlicher sei, wozu man ihn mit fein geschnittenem Zündschwamm zu versehen habe, der vorher mit Schiesspulver zubereitet worden war. Nach einer so wohlerwogenen Zurichtung musste es *Du Fay* eine grosse Enttäuschung bereitet haben, als der feurige Funke letztlich ausgeblieben ist [4].

Fig. 3
1753: Das elektrische Feuer nach
Savérien [12]



Bei dieser Gedankenreife ist kaum begreiflich, dass weitere sieben Jahre vergangen sind, bis das entscheidende Experiment von der feurigen Wirkung der Elektrizität zum Erfolg geführt hat. Erst in der Sitzung der Berliner Akademie der Wissenschaften vom 24. Januar 1744 ist es nämlich dem Medikus *Christian Friedrich Ludolff* erstmalig gelungen, eine kleine Probe von Huile de Vin und darnach auch von Esprit de Térébenthine durch den elektrischen Funken eines metallischen Konduktors zur Entzündung zu bringen [7]. Damit war der schlüssige Beweis erbracht, dass das elektrische Feuer, ähnlich wie das alchemistische, eine ebenso zündende Wirkung besitzt wie das Elementarfeuer.

Nach dieser sensationellen Erfahrung konnte nicht ausbleiben, dass der Elektrizität nunmehr die Rolle einer tatsächlich feurig wirkenden Materie zugedacht wurde, deren kaum übersehbare Wirkungen mehr und mehr das Interesse sowohl der Fachwelt als auch der Öffentlichkeit in Anspruch genommen haben. So war es auch zu verstehen, dass den zündenden Funken mit ihren feurigen Eigenschaften damals das Prädikat eines männlichen Feuers zugesprochen wurde, als offenkundiges Pendant zum weiblichen Feuer, wie die leuchtenden Funken in jener Zeit genannt worden sind [11].

Noch im gleichen Jahr wiederholt *Johann Heinrich Winkler*, Ordinarius für Althilologie an der Universität Leipzig das *Ludolffsche* Experiment mit einer Reihe anderer leicht entflammbarer Flüssigkeiten, wenn auch vorher etwas angewärmt, und kommt auf Grund eines an sich selbst erprobten Versuches zu der Meinung [8], dass

«die Funken, welche aus einem electrisirten Menschen fahren, einen Spiritum eben so schnell zünden, als die Funken eines electrisirten Metalles.»

Dieses effektvolle Experiment hat der feurigen Elektrizität naturgemäss erneut Bewunderung und Erstaunen eingebracht und findet sich in manchen künstlerischen Interpretationen jener Zeit, so auch in dem Lexikon des Marineingenieurs und späteren Literaten *Alexandre Savérien* in Form des in Fig. 3 wiedergegebenen reizvollen Stiches.

4. Professor Winklers Buchtrilogie

In den Jahren 1744 bis 1746 erscheinen in Leipzig drei bemerkenswerte Schriften [6; 8; 9], die sich in einer erstaunlichen Systematik mit den Wirkungen der Elektrizität im allgemeinen und dann auch mit ihren feurigen Erscheinungsformen im einzelnen befassen. Deshalb ist nicht verwunderlich, dass darin über manche Erfahrung einer bewunderungswürdigen Experimentierkunst jener Zeit berichtet wird.

In seiner ersten Schrift benennt der Professor zunächst diejenigen Körper, an welchen sich elektrische Funken erregen lassen, zu denen er alle Metalle, dann Menschen und Tiere, Feuersteine und Diamanten, Quecksilber und Spiritus vini, Wasser und Essig und nicht zuletzt Butter, Milch und Käse rechnet. Dann stellt er fest, dass aus den Spitzen und Kanten solcher Körper in der Zeit, da sie elektrisiert werden, von selbst leuchtende Strahlen herausfahren, die sich immer weiter voneinander entfernen, je länger sie werden. Und schliesslich macht er den Versuch, die drei beobachtbaren Merkmale eines elektrischen Funkens zu erklären, nämlich das Leuchten, das Zünden und das Knacken.

In des Professors zweiter Schrift ist vornehmlich davon die Rede, dass beim Betrachten eines elektrischen Funkens durch ein gläsernes Prisma diejenigen sieben Farben sichtbar werden,

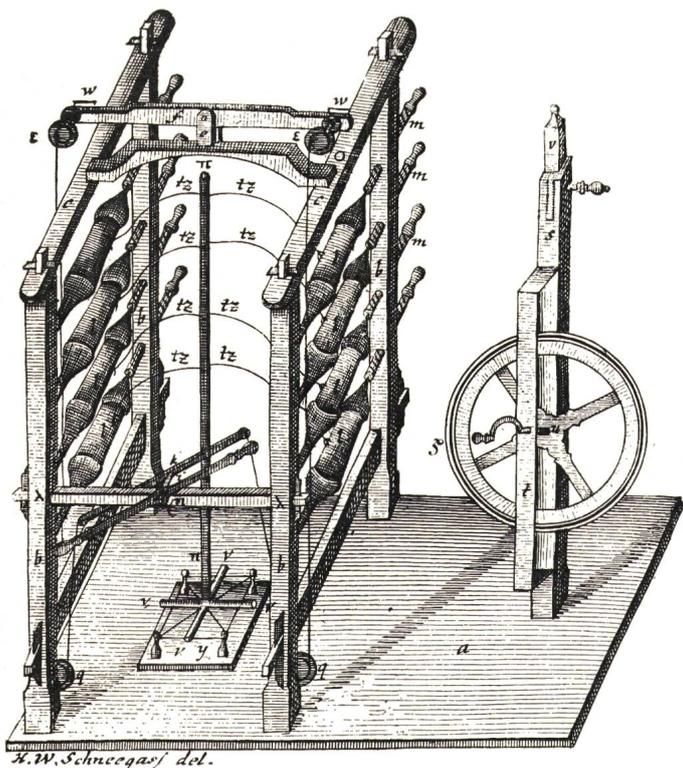


Fig. 4
1746: Achtzylindermaschine nach Winkler [8]

Fig. 5

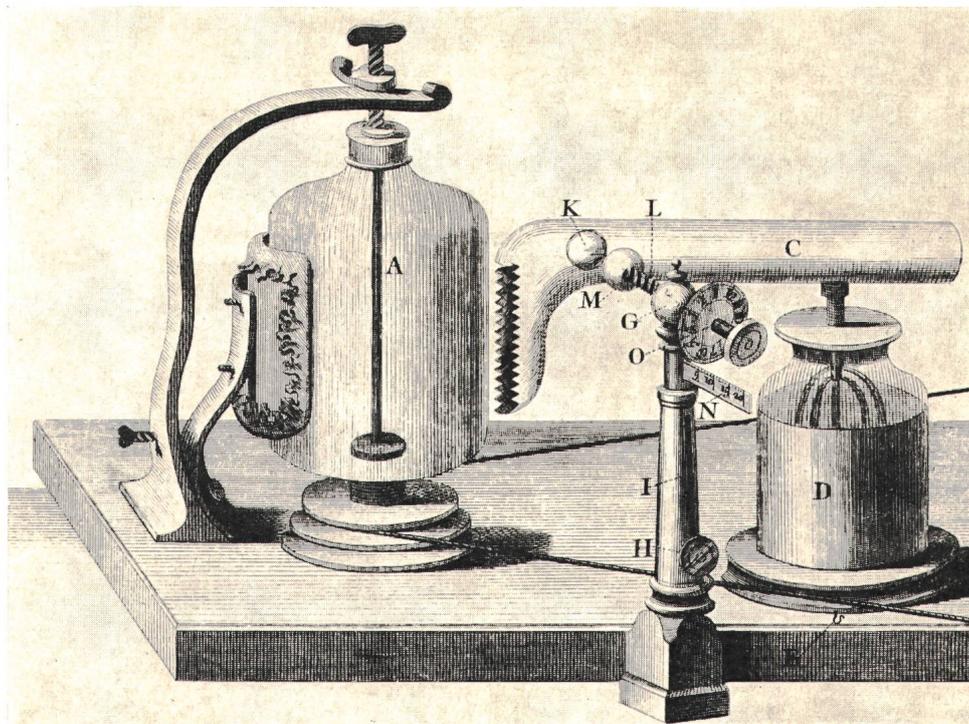
1766: Kugelfunkenstrecke nach Lane [15]
 K Messinghalbkugel; M Messingvollkugel;
 L Einstellschraube; N Skala;
 H Anschlußschraube

unter denen sich auch eine Flamme darstellt. Dann wird eingehend die Frage erläutert, durch welche Massnahmen ein elektrischer Funke verstärkt werden könne, als da sind: Vermehrung der Grösse und der Anzahl der Konduktoren sowie auch der elektrisierenden Röhren, Kugeln und Zylinder, wonach er sich eine Maschine bauen lässt, mit der eine einzige Person acht Glaszylinder zugleich elektrisieren konnte (Fig. 4). Die daraus entnehmbaren Funken sind dementsprechend auch achtmal so heftig gewesen.

Von noch stärkeren Funken berichtet der Professor in seiner dritten Schrift, die sich ausschliesslich mit der verstärkten Elektrizität durch wassergefüllte Leydener Flaschen befasst. Interessanterweise ist dort auch der Hinweis zu finden, dass allemal, wenn ein Funke einen Schlag getan hat, eine gewisse Zeit vorbeigeht, ehe ein weiterer Schlag erfolgt, und dass diese Zeit um so länger wird, je grösser die Menge des Wassers in den Flaschen ist. So hat Professor *Winkler* bereits damals richtig erkannt, dass das Aufladen einer Leydener Flasche eine bestimmte Zeit erfordert, die von der Grösse der Flasche abhängig ist.

5. Die ersten Funkenstrecken

Im weiteren Verlauf einer sich mehr wissenschaftlich orientierenden Experimentierkunst beginnt sich langsam die Auffassung durchzusetzen, dass manches feurige Experiment mit grösserer Genauigkeit vonstatten gehen könnte, wenn die Stärke eines elektrischen Funkens sozusagen dosierbar wäre. Besonders überzeugende Vorstellungen in dieser Hinsicht entwickelt der Londoner Apotheker *Timothy Lane* in einem in



den *Philosophical Transactions* veröffentlichten Brief des Jahres 1766 [15]. Er beschreibt darin eine Einrichtung (Fig. 5), die aus zwei hochpolierten Messingkugeln besteht, deren gegenseitiger Abstand mit Hilfe einer Skala justiert werden kann. Nach dieser Art liesse sich — so meinte der Skribent — aus der Leydener Flasche *D* über den Maschinenkonduktor *C* eine solche Menge an abstandsgerechter elektrischer Materie entnehmen, die an der Anschlußschraube *H* gerade benötigt wird. Damit hatte *Lane* ohne Zweifel die erste Kugelfunkenstrecke verwirklicht.

Noch im gleichen Jahr beschreibt *Jean Baptiste Le Roy* zu Paris eine aus einer Metallspitze und einer Metallplatte bestehende Vorrichtung (Fig. 6), die er *Spinthéromètre* nennt und mit deren Hilfe es ihm möglich ist, ein unterschiedliches Funkenverhalten zu beobachten, je nachdem ob die Spitze oder die Platte elektrisiert worden ist. Dabei stellte er fest, dass sich bei einem Elektrisieren der Spitze mit positiver Glaselektrizität längere Funken ergeben als bei einem Elektrisieren der Platte. Wurde dagegen das Experiment mit negativer Harzelektrizität vorgenommen, dann stellten sich die längeren Funken beim

Elektrisieren des nicht spitzigen Metalls, also der Platte, ein. Die positive Spitze hatte sich demnach stets als die funkenträchtigere erwiesen. Selbst heute noch beschäftigt man sich mit diesem Phänomen, obwohl die Spitze—Platte—Funkenstrecke inzwischen 200 Jahre alt geworden ist!

Nach diesem guten Anfang sind die Funkenstrecken im Laufe der Zeit zu einem unentbehrlichen Ex-

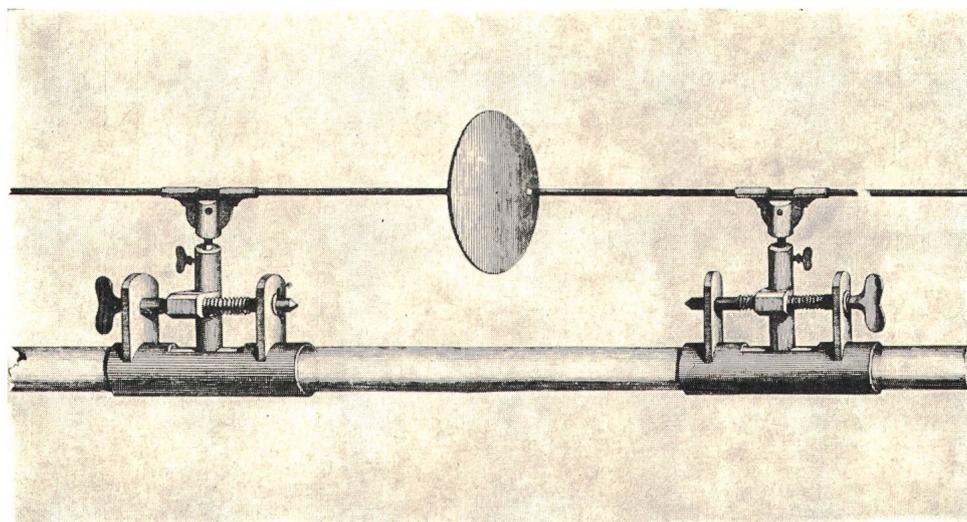


Fig. 6
 1766: Spinthéromètre nach Le Roy [14]

perimentierzubehör geworden, das sich vor allem zum Beobachten von funkender Elektrizität in jeder Hinsicht als dienlich erwiesen hatte und mit dessen Hilfe die Elektrizität gleichsam gesehen werden konnte. So ist in einem Buche des französischen Arztes und späteren Revolutionärs *Jean Paul Marat* eine Darstellung zu finden (Fig. 7), die eine Leydener Flasche mit daran errichteter Funkenstrecke und einem dazwischen entfalteten feurigen Funken zeigt,

«dont le profil représente assez bien deux ailes de papillon.»

6. Heilsame Funkenkuren

In einer Zeit, in der jegliches Experimentieren mit Elektrizität mit belobigender Aufmerksamkeit bedacht worden ist, konnte es nicht ausbleiben, dass den ersten erfolgreichen Elektrifikationskuren ebensolche Beachtung zuteil geworden ist. So meinte der Regensburger Medikus *Johann Gottlieb Schäffer*, Leibarzt des Fürsten Thurn und Taxis, in seiner 1766 erschienenen Schrift über die *Medicina Electrica* [13]:

«Es sei demnach kein Scherz, sondern Wahrheit, dass die Elektrizität als ein Genesungsmittel wider verschiedene Krankheiten, insbesondere aber wider gelähmte Beschwerden, mit Nutzen gebraucht werde.»

Zudem gibt er darin nach Vernunft und Erfahrung fassliche Ratschläge für zu applizierende Funkenkuren und beschreibt anhand des Titelkupfers (Fig. 8) die dazu passenden Zurichtungen, die vornehmlich eine Zylindermaschine mit hin und her bewegbarem Fittelbogen sowie drei wassergefüllte Gefässe zum Traktieren mit verstärkter Elektrizität umfassen. Ansonsten wird der bettlägerigen Patientin gerade durch den neben ihr stehenden Arzt mit der Funkenkette *o* eine Dosis stechender und brennender Funken verabreicht, die sich zugleich in stossenden und erschütternden Empfindungen kundgetan haben mussten, zumal sich die Entladungen über ihren ganzen Körper hinweg bis zur Verbindungskette *n* auswirken konnten. Auf den traktierten Hautpartien haben sich zuerst Rötungen wie Flohbisse und darnach kleine Bläschen eingestellt, wie nach einem Schlagen mit Brennesseln.

Auch über manche Kurerfolge wird berichtet: So bekam eine vornehme und betagte Dame von sehr dicker Leibesgestalt am linken Oberarm starke reissende Schmerzen, welche auf den Gebrauch der sonst dienlichsten Mittel nicht im geringsten weichen wollten. Endlich entschloss sich diese gnädige Frau Patientin den leidenden Oberarm etlichemal elektrisieren zu lassen, worauf sie sich in kurzer Zeit völlig hergestellt sah.

Zum Zwecke des Selbstkurierens hat der Londoner Mechanikus *Edward Nairne* in der Folge eine ihm patentierte Zylindermaschine gebaut, deren funkende Metallkugeln durch flexible Verbindungen auf die zu behandelnden Körperteile eingerichtet werden konnten (Fig. 9). Der Karlsruher Professor für Naturlehre, *Johann Lorenz Boeckmann* war über diese vortreffliche Maschine begeistert und belobte an ihr, dass man damit alle Arten elektrischer Versuche in jedem Grad der Stärke an sich selbst anstellen könne [21]. Als ergänzende Zurichtung empfiehlt *Boeckmann* das von ihm ausgedachte elektrische Bett, dessen Gestell aus backofengedörrtem und ölgetränkten Holz besteht und von 6 bis 8 mit Siegellack überzogenen Glasfüssen getragen wird.

7. Die Voltasche Glaspistole

Im Mai des Jahres 1777 schreibt *Alessandro Volta*, damals noch Physikprofessor in Como, an den Marchese *Francesco*

Castelli einen Brief, in welchem er ihm eine «pistola di vetro» vorstellt, deren Glasgefäss nach Füllung mit «aria infiammabile» — also entzündlicher Luft — mit einem Holzkork dicht verschlossen werden kann (Fig. 10). In das Glasgefäss führen zwei dünne Metalldrähte, die mit einer Leydener Flasche verbunden sind. Sobald nun die Flasche entladen wird, entsteht im Inneren des Glasgefässes ein kleiner Funke, der die entzündliche Luft zur Explosion bringt, wodurch der Holzkork mit lautem Knall davonfliegt. Ohne Zweifel war dies für die damalige Zeit ein sensationelles, aber auch nicht ganz ungefährliches Experiment, was leicht einzusehen ist. Späterhin ist es in manch belustigendem Spielwerk vorgestellt worden und hat schliesslich in der Zündkerze des Benzinmotors eine kaum glaubliche Anwendung gefunden.

In diesem Zusammenhang sollte noch erwähnt werden, dass Professor *Boeckmann* in seinem 1794 erschienenen Buche über die Telegraphik die erstaunliche Frage gestellt hat, ob die

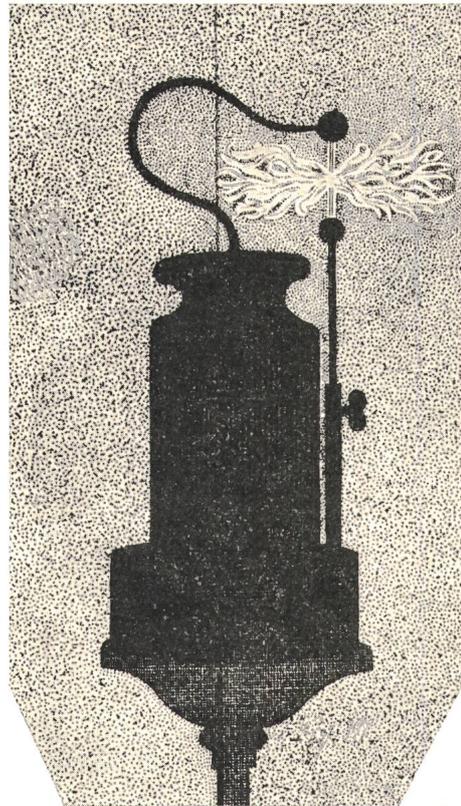


Fig. 7

1784: Leydener Flasche mit Funkenstrecke nach Marat [19]

Elektrizität nicht dem Prinzip nach für eine schnelle Gedankenübermittlung nützlich sein könne. Dabei kommt er zu der Ansicht, dass es denkbar sei, einem isolierten Draht, dessen Ende in der Nachbarschaft einer geladenen elektrischen Pistole liege, elektrische Funken mitzuteilen, wodurch dann wenigstens einzelne Signale gegeben werden könnten. Wirkungsvoller würde es jedoch sein, den Entladungskreis grosser Leydener Flaschen an dem Orte, wo das Signal sichtbar sein soll, zu unterbrechen und dort die Anzahl der mitgeteilten Funken zu ermitteln, woraus sich bequem Buchstaben und Worte zu einer geheimen Sprache zusammenfügen liessen. Die dazu notwendigen Metalldrähte könnten nach *Boeckmanns* Meinung in Kanälen unter der Erde geführt werden [22]. Wäre es nicht zu wünschen, dass unser heutiges technisches Zukunftsdenken zu ebenso sicheren Prognosen gelangt?

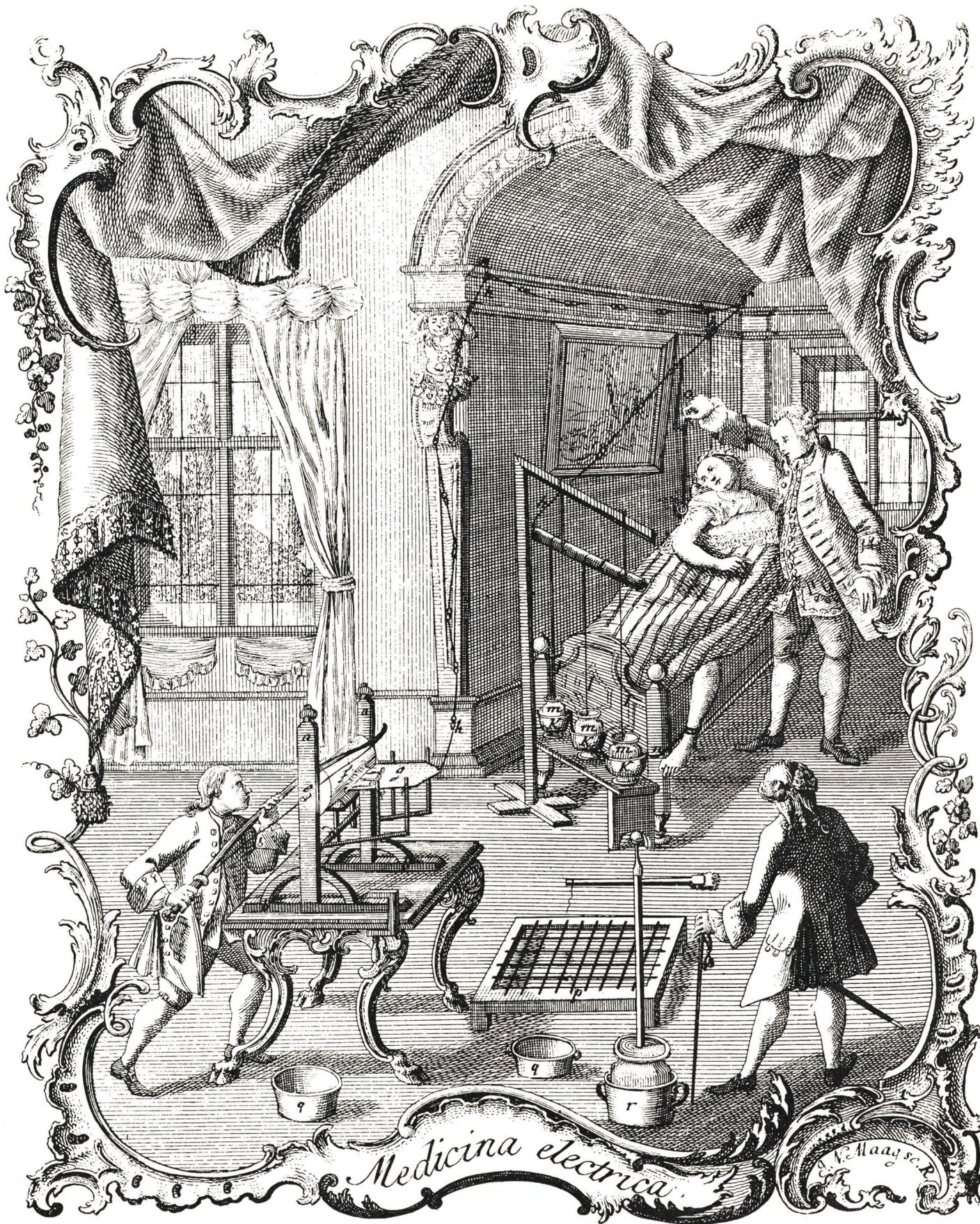


Fig. 8

1766: Medicina Electrica nach Schäffer [13]

f Glaszylinder; h Drahtverbindung; m wassergefüllte Glasgefäße; K wassergefüllte Zinngefäße; n Verbindungskette; o Funkenkette

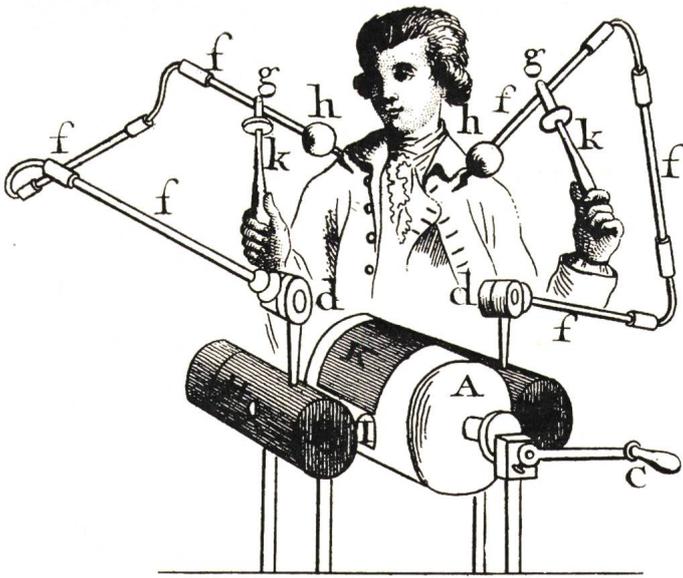


Fig. 9

1784: Funkenkur nach Nairne [20]

A Glaszylinder; f flexible Verbindungen; h Metallkugeln; k Glasgriffe

8. Guyots Rekreationen

In den Jahren 1769 und 1770 ist in Paris ein vierbändiges Werk mit dem Titel «Nouvelles récréations physiques et mathématiques» erschienen, das Monsieur Guyot, Mitglied der literarischen und militärischen Gesellschaft zu Besançon, verfasst hat. Dieses Werk, das einige Jahre später auch ins Deutsche übersetzt worden ist, enthält erstmalig eine wohl einzigartige Sammlung amüsanter und zeitvertreibender Spiele aus nahezu allen Bereichen der Mathematik und Physik. In der Vorrede dazu ist begründend zu lesen, dass eine gar zu lange Beschäftigung mit ernstlichen Gegenständen oder mit abstrakten und schweren Dingen ermüdet und das Gemüt verdriesslich und ganz untüchtig macht, wenn man die Lebensgeister nicht durch solche Belustigungen erfrischt, welche imstande sind, die notwendige Ordnung und Beschaffenheit wieder herzustellen. Auch dienen sie dazu, unseren Verstand aufzuheitern und ihn gewissermassen richtig denken zu lernen, welches bei allen menschlichen Geschäften so nötig wie nützlich ist. Zum besseren Verständnis, so meint Guyot schliesslich, findet der Leser bei einer jeden Belustigung eine Anweisung zu ihrer Zurichtung, ihre Wirkung, welche sie tut, und das

Vergnügen, welches man davon erwarten kann, um sich teils selbst zu ergötzen, teils um andere in ein grosses Erstaunen zu versetzen.

Schon wenige Jahre später musste eine zweite Auflage dieses Werkes herausgebracht werden, die erfreulicherweise durch nahezu 50 Spiele über die bis dahin bekannt gewesenen Erscheinungen der Elektrizität erweitert worden ist [16]. Allein das Lesen der französischen Spieltitel entledigt einem allen Unmuts und erweckt vergnügliche Stimmung: La danse électrique, le petit chasseur, la roue tournante, le bouquet lumineux, l'arraignée électrique, la torpille et la course de chevaux, um wenigstens einige zu benennen. Noch mehr Vergnüglichkeit bietet ein Studium der einzelnen Rekreationen mit den beige-fügten Farbstichen, wovon in Fig. 11 die tableaux étincelants — die funkenden Tafeln — wiedergegeben sind. Hiermit lassen sich beliebige Worte in leuchtenden Buchstaben vorstellen, wie beispielsweise das Wort «Amour». Diesethalben nehme man eine Glasplatte und schreibe dieses Wort mit Pinsel und Blei-

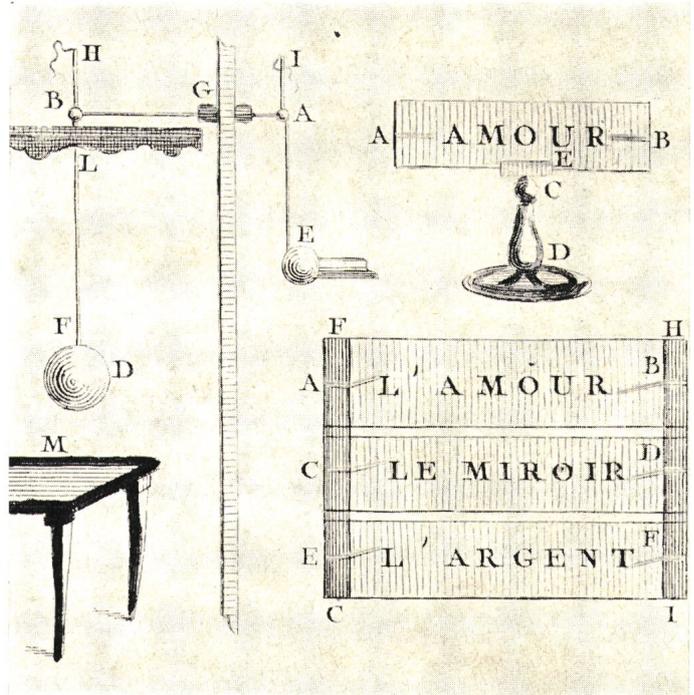


Fig. 11

1773: Guyots tableaux étincelants [16]

weissfarbe in unterbrechungslosem Schriftzug darauf, damit der später wirksame Funke diesen ungestört durchlaufen kann. Wird die so gefertigte Schrifttafel in A mit der Hand und in B mit dem elektrisierenden Konduktor berührt, dann erscheint dieses Wort zum grossen Erstaunen aller Zuschauenden in hell leuchtenden Lettern. Soll dagegen die Schrift heimlich erscheinen und wieder verschwinden, dann ist dazu eine Anordnung mit einem Experimentiertisch M einzurichten, über dem sich eine elektrisierbare Kugel D befindet, die mittels isolierter Konduktoren an die ausserhalb des Experimentierkabinetts befindliche Elektrisiermaschine angeschlossen werden kann. Auf diese Weise lässt sich das Aufleuchten des Wortes nach Belieben bewerkstelligen, ohne dass die Zuschauer der Ursache davon gewahr werden. Anschliessend wird noch ein Fragespiel beschrieben, zu dem für die drei möglichen Antworten «Amour», «Miroir» und «Argent» drei Schrifttafeln dienlich sein müssen.

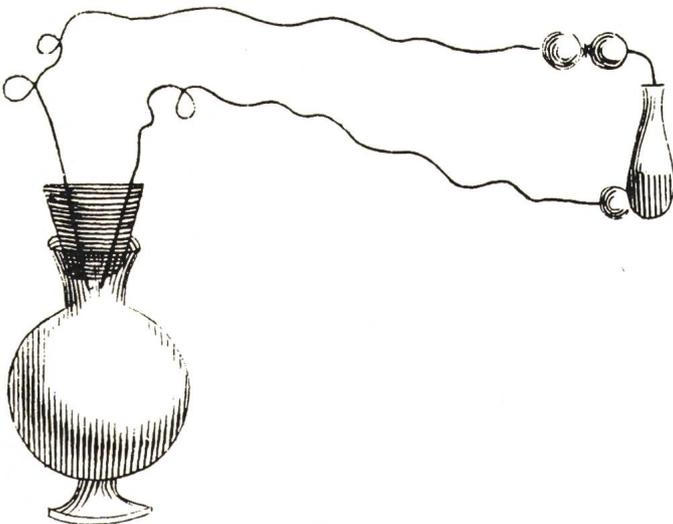


Fig. 10

1777: Die Voltasche Glaspistole [18]

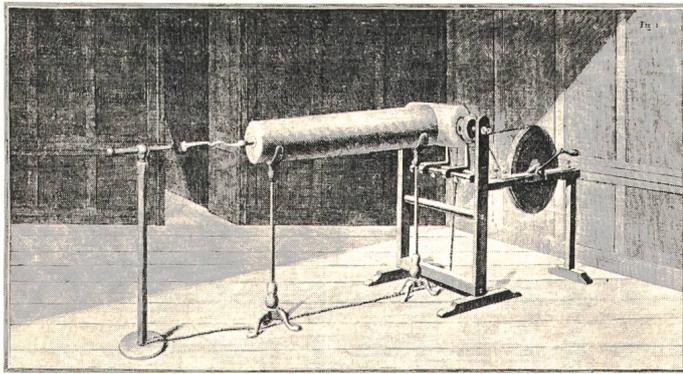


Fig. 12
1773: Glaszylindermaschine nach Nairne [17]

Bei soviel sprühendem Charme könnte man der *Guyotschen* Spielsammlung selbst heute noch einen dankbaren Leserkreis wünschen!

9. Knallende Funken

Etwa um die gleiche Zeit erscheint in den *Philosophical Transactions* eine bemerkenswerte Publikation des Mechanikus *Nairne*, in der er über eine von ihm gebaute grosse Zylindermaschine berichtet, mit der aus einem 1,5 m langen Konduktor Funken bis zu 35 cm Länge gezogen werden konnten (Fig. 12). Es ist anzunehmen, dass dabei der knallende Charakter einer funkenden Elektrizität unüberhörbar zur Wirksamkeit gekommen ist. Und ein Jahrzehnt später ist es der Amsterdamer Mechanikus *John Cuthbertson*, der für den damaligen Direktor des Haarlemer Teylermuseums *Martinus van Marum* eine riesige Scheibenmaschine, als die grösste Elektrisiermaschine jener Zeit, baute und aus ihr Funken bis zu 60 cm Länge zu entnehmen vermochte. Demgemäss muss man heute zu der Meinung kommen, dass damals bereits mit Spannungen im Bereich einiger 100 kV experimentiert worden ist und dabei die inzwischen wirkungsvoller gewordenen Erscheinungen einer funkenden Elektrizität beobachtet werden konnten.

10. Der Funkeninduktor

Nach der Entdeckung der elektromagnetischen Induktion im Jahre 1831 hat man sich sehr eingehend mit der zweifellos bedeutsamen Frage beschäftigt, auf welche Weise es möglich sein könne, den aus galvanischen Elementen entnehmbaren Voltaschen Strom in einen kontinuierlichen Induktionsstrom umzuwandeln, um auf diese Weise die Elektrisiermaschine entbehrlich zu machen.

Den ersten bedeutsamen Vorschlag zur Verwirklichung dieses Gedankens machte der in Paris lebende Mechaniker *Heinrich Daniel Rühmkorff* — fälschlicherweise oft *Ruhmkorff* genannt —, der es sich im Verlauf des Jahres 1851 angelegen sein liess, einen Induktionsapparat zu konstruieren und dann auch zu bauen, der aus den folgenden drei wesentlichen Elementen bestand: einem

Wagnerschen Hammer zum Öffnen und Schliessen des primären Volta-Stromes, einer Induktionsspirale — gemeint war eine Spule —, bestehend aus vielen Windungen dünnen und mit Gummilack isolierten Drahtes, und schliesslich einem Bündel von Eisendrähten statt eines massiven Eisenkerns. Wie der Telegrapheningenieur *Théodine du Moncel* später berichtete [23], konnten aus diesem so aufgebauten Apparat überraschenderweise elektrische Funken auf eine gewisse Distanz entnommen werden. Als dann zur Verstärkung der Wirkungen dem Apparat noch eine Leydener Flasche hinzugefügt wurde, war es möglich geworden, kleine Funken von immerhin 2 cm Länge zu erregen. Ungeachtet dieser vergleichsweise zu den Marumschen Experimenten als bescheiden anzusprechenden Funken hat der Rühmkorffsche Funkeninduktor nach mancher konstruktiven Verbesserung in der Folge eine grosse Rolle gespielt, vor allem deshalb, weil mit ihm auf verhältnismässig kleinem Raum bequem und zuverlässig experimentiert werden konnte, was schliesslich dazu geführt hat, dass der «Rühmkorff» auf keinem physikalischen Experimentiertisch der damaligen Zeit fehlen durfte. Es ist deshalb nicht verwunderlich, dass mit Hilfe seiner Funken in einer erfindungsreichen Experimentierkunst neue wichtige Erkenntnisse beobachtet und auch entdeckt worden sind. So ist in dem intensiven Studium das Verhalten elektrischer Funken in verdünnten Gasen aller Art ein entscheidender Schritt zu einer systematischen Erforschung der Gasentladungen und ihrer Chemie erkennbar. Damals sind auch Funkenentladungen unter Flüssigkeiten, wie in Wasser und Öl, als wichtiges Thema analysiert worden, das bekanntlich die Hochspannungstechniker von heute nach wie vor intensiv beschäftigt. Auch das Elektrisieren und Funkenbehandeln von Personen ist wieder grosse Mode geworden und hat der Elektromedizin jener Zeit neue Impulse gegeben. Nun waren es eben die Rühmkorffschen Funken, von denen man sich neue und unvermutete Wirkungen erhoffte!

In diesem Summarium darf nicht unerwähnt bleiben, dass der berühmt gewordene Würzburger Professor der Physik, *Conrad Wilhelm Röntgen*, bei der Entdeckung seiner neuen Strahlen einen grossen «Rühmkorff» benutzte, wie er selbst in seinem Originalmanuskript vom 28. Dezember 1895 vermerkte.

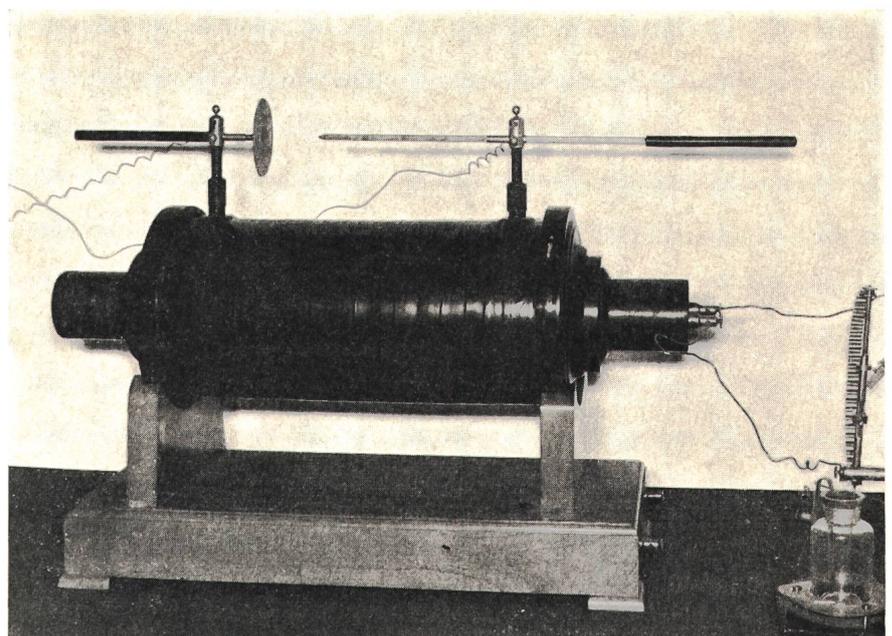


Fig. 13
Rühmkorffscher Funkeninduktor mit Spitze -
Platte-Funkenstrecke

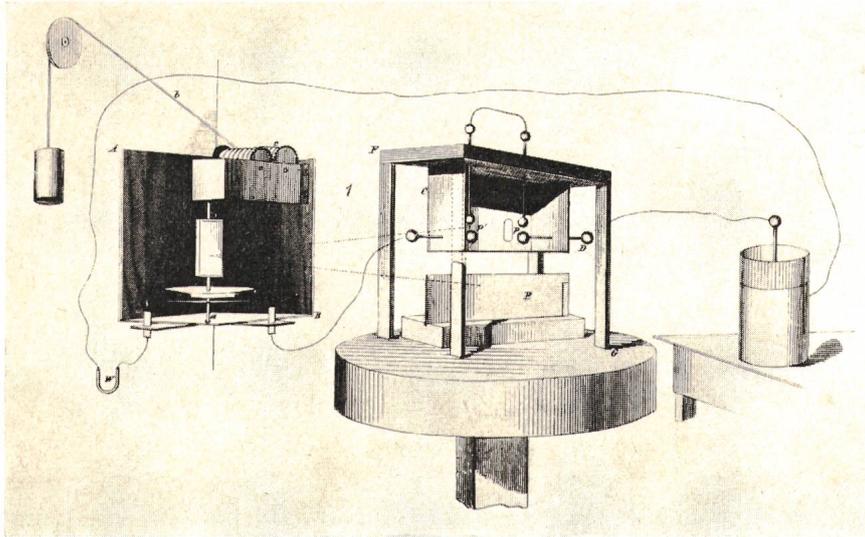


Fig. 14
1861: Feddersens oszillierendes Funkenexperiment [24]

Es ist erfreulich, dass der von ihm damals verwendete Versuchsaufbau in einer Nachbildung erhalten geblieben ist, die *Röntgen* selbst für das Deutsche Museum entworfen und zusammengestellt hatte: Sie besteht aus einem Funkeninduktor (Fig. 13), dessen Primärspule unter Zwischenschaltung eines Quecksilberunterbrechers an einen Akkumulator angeschlossen ist. Die auf Fig. 13 nicht sichtbare Röntgenröhre wird von dem Sekundärkreis des Induktors erregt und verursacht bei jeder Stromunterbrechung im Primärkreis einen entsprechenden Röntgenblitz. Im Jahre 1901 erhält *Röntgen* als erster den Nobelpreis für Physik.

11. Oszillierende Elektrizität

Zu Beginn der sechziger Jahre berichtet der Leipziger Privatgelehrte der Physik *Berend Wilhelm Feddersen* über seine Beobachtungen eines Entladungsfunkens durch einen rotierenden Hohlspiegel [24]. Er verwendete dazu eine Apparatur, die im wesentlichen aus einer Leydener Flasche, einer Doppelfunkenstrecke zur sicheren Bilderfassung sowie einem uhrwerkgetriebenen Drehspiegel bestand (Fig. 14). Interessanterweise zeigten die photographierten Funkenbilder typische Helligkeitsänderungen, woraus *Feddersen* den Schluss zog, dass der über die Funkenstrecke zustande gekommene Entladungsvorgang mit Schwingungen abgelaufen sein musste. Eine exakte quantitative Auswertung der Bilder hat ergeben, dass die Frequenz der Schwingungen von den Kenndaten des Entladekreises in einer Weise abhängig ist, wie es nach der Thomsonschen Schwingungsformel erwartet werden musste. Damit war erstmalig der experimentelle Beweis erbracht, dass die Entladung eines Kondensators unter bestimmten Voraussetzungen in einem Oszillationsvorgang vonstatten geht.

Fast 30 Jahre später gelingt es *Heinrich Rudolph Hertz*, damals Professor für Physik in Karlsruhe, mit einer induktor-erregten kleinen Funkenstrecke hochfrequente Schwingungen zu erzeugen und durch Bündelung ihrer Wirkungen an einem Parabolspiegel «deutliche Strahlen elektrischer Kraft» nachzuweisen [26]. *Guglielmo Marconi* hat sich diese Erkenntnis für seine erste drahtlose Nachrichtenübertragung der Jahres 1896 zunutze gemacht, indem er als Schwingungserzeuger neben einem Funkeninduktor eine Dreifachfunkenstrecke verwendet, die der Funkentelegraphie letztlich ihren berechtigten Namen

gegeben hat. Nicht unerhebliche Gedankenarbeit ist in den folgenden Jahren auf eine Verbesserung der Funkenstrecke aufgewendet worden, was schliesslich zu der von *Max Wien* im Jahre 1906 erfundenen Löschfunkenstrecke geführt hat [27].

12. Teslas Hochfrequenzentladungen

Im Mai des Jahres 1891 berichtet *Nikola Tesla* anlässlich eines in New York gehaltenen Vortrages über einige sensationelle Experimente mit Wechselströmen hoher Frequenz und hoher Spannung, mit denen es ihm erstmalig gelungen ist, Entladungsfunken mit neuartigen Leuchteffekten vorzuführen [28]. Er verwendet dazu den von ihm erfundenen Tesla-Transformator, der von einem besonderen Schwingkreis mit einer magnetisch beblasenen Funkenstrecke erregt wird, wodurch ein extrem schnelles Löschen des Funkens und damit eine hohe Schwingfrequenz des induzierten Transformatorstromes zu erreichen ist. Mit dieser Apparatur gelingt es *Tesla* hochfrequente Entladungen von einigen 100 kHz und Spannungen im Megavoltbereich zu erzeugen. Das im Deutschen Museum eingerichtete Tesla-Kabinett vermittelt ein eindrucksvolles Bild von den damit erzielbaren Wirkungen. Fig. 15 zeigt links ein diffuses Leuchten einer auf Hochspan-

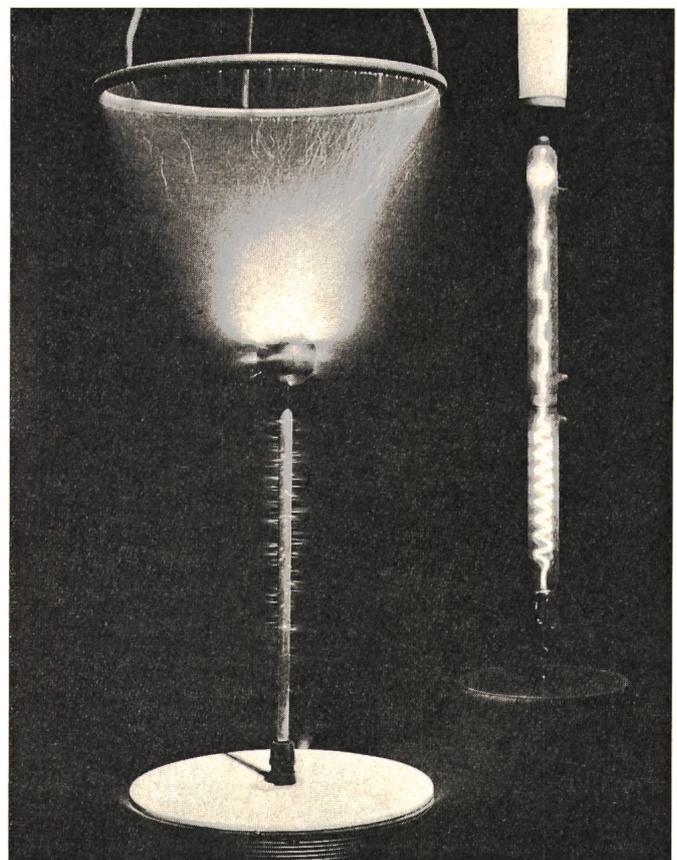


Fig. 15
Hochfrequente Entladungen im Tesla-Kabinett des Deutschen Museums

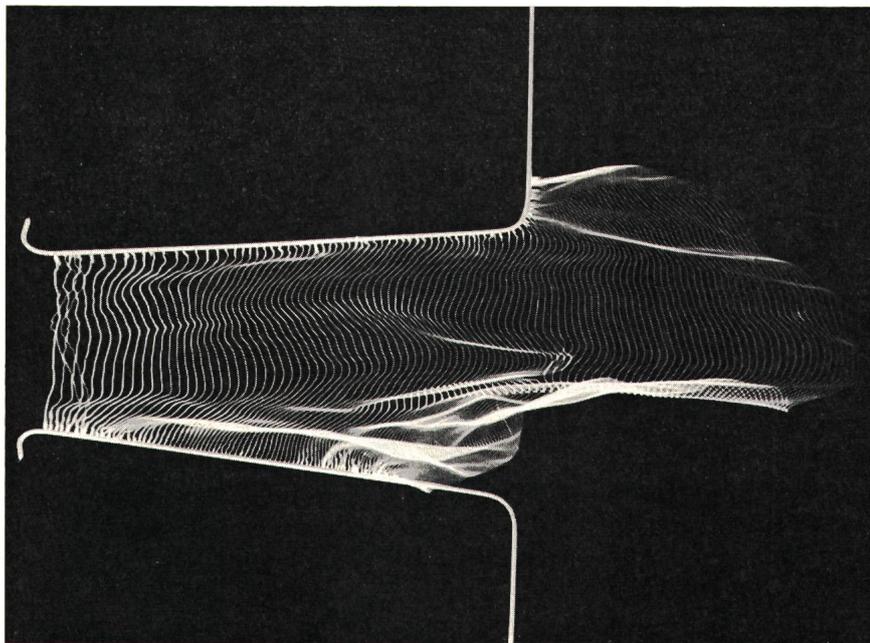


Fig. 16
Funkengardine mit etwa 110 Impulsfunken bei einer von links nach rechts gerichteten Turbulenzströmung [30]

Die Funkengardine ist hervorragend dazu geeignet, zwei- und dreidimensionale Strömungsbilder aufzunehmen, da sie zeigt, dass ihre Form von der Art der Strömung und ihrer möglichen Turbulenz abhängig ist. In Fig. 16 ist eine 50-kHz-Gardine einer turbulenten Gasströmung von etwa 100 m/s Geschwindigkeit dargestellt.

In diesem Zusammenhang sollte nicht unerwähnt bleiben, dass impulsartiges Funkenlicht extrem hell gemacht werden kann und deshalb äusserst kurze Belichtungszeiten im Mikro- und Nanosekundenbereich erlaubt. Ausserdem lassen sich Funken in

nungspotential liegenden Kugel mit darüber befindlichen Feinstentladungen eines geerdeten Ringes und rechts davon das Aufleuchten einer durch das Hochfrequenzfeld angeregten Entladungsröhre.

Späterhin haben Teslafunken manche nützliche Verwendung gefunden. Wegen ihrer bequemen Manipulierbarkeit sowie ihrer effektvollen Wirkungen sind sie noch heute ein vielbestauntes Requisit im Show-Geschäft.

13. Die Funkengardine

Dank der Entwicklung leistungsfähiger Impulstransformatoren für Spannungen von einigen 100 kV ist es heute möglich geworden, eine beliebige Anzahl von Hochspannungsimpulsen von unter einer Mikrosekunde Dauer mit dazwischen liegenden Dunkelpausen extrem schnell aufeinander folgen zu lassen, wobei Impulsefolgefrequenzen von über 100 kHz erreicht worden sind. Es ist klar, dass sich im Falle einer feststehenden Funkenbahn die einzelnen Impulse nur als ein einziger Funke abbilden würden. Wird dagegen die Funkenbahn durch externe Beeinflussung bewegt, dann erscheinen die einzelnen Funken als räumlich voneinander getrennte Bahnen, sofern die Funkenfolge so eingerichtet wird, dass das Zünden eines neuen Funkens im Restplasma der vorangegangenen Funkenbahn erfolgen kann. Auf diese Weise entstehen räumlich und zeitlich getrennte Funkenbahnen, die sich jedoch im Falle einer einzigen Aufnahme als eine Reihe nebeneinander liegender Funken abbilden lassen und dann wie eine Gardine aussehen.

Der dazu notwendige apparative Aufbau ist in jüngster Zeit von Frank Frügel und seinen Mitarbeitern zu einer gut funktionierenden Technik entwickelt worden [30]. Er besteht im wesentlichen aus einem 300-kV-Impulstransformator mit daran anschliessbaren Leitelektroden zur Fixierung der Funkenbahn. Seine Impulsfrequenz ist mit Hilfe eines elektronisch gesteuerten Impulsgenerators und einer dazugehörigen wasserstoffgefüllten Löschfunkenstrecke in einem Bereich von 2 bis 100 kHz variierbar. Obwohl die Energie der einzelnen Impulse nur in der Grösse einiger Wattsekunden liegt, müssen wegen der extrem kurzen Funkenzeiten Impulsleistungen von einigen 10 MW zur Verfügung stehen.

kleinstem Raum unterbringen und wirken praktisch wie eine punktförmige Lichtquelle, was für eine High-Speed-Aufnahmetechnik von unschätzbarem Wert ist [31].

14. Gleitfunken

Im Gegensatz zur soeben bekundeten Nützlichkeit einer funkenden Elektrizität muss im Bereiche hochspannungstechnischer Konstruktionen sorgfältig darauf geachtet werden, Funkenentladungen jeglicher Art zu vermeiden. Die Erfahrung hat nämlich gelehrt, dass selbst kleinste Teilentladungen im Laufe der Zeit zu einer langsamen Zerstörung des Dielektrikums führen können und darüber hinaus elektromagnetische Störungen verursachen, die in vieler Hinsicht als unerwünscht empfunden werden. Es gehört deshalb mit zu den wichtigsten Aufgaben einer modernen Hochspannungstechnik, ihre Konstruktionen möglichst teilentladungsfrei auszulegen.

Als denkbare Verursacher derartiger Teilentladungen müssen in erster Linie Gleitfunken in Spalten und Zwickeln angesehen werden, wie sie im Schichtdielektrikum bei unüberlegter Formgebung oder auch an eingebetteten Elektroden in nicht hochspannungsgerechter Anordnung zu erwarten sind.

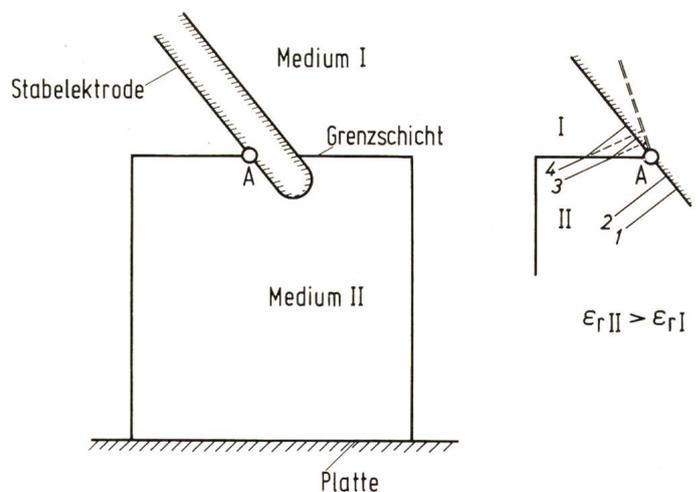


Fig. 17
Einbettungseffekt nach Weiss

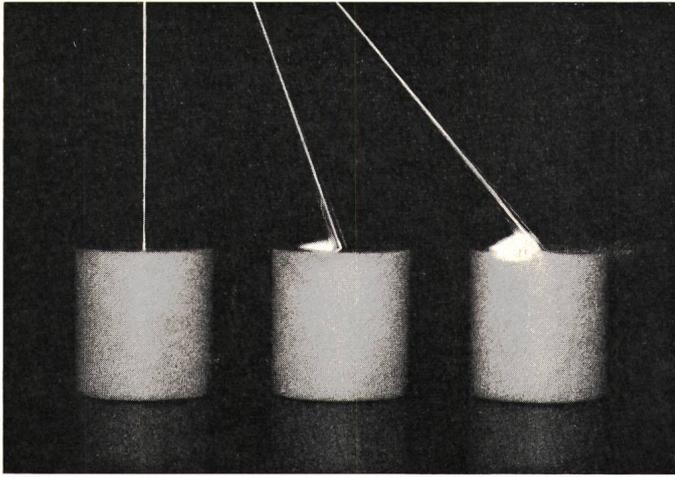


Fig. 18
Gleitfunken an eingebetteten Stabelektroden

So hat *Paul Weiss* in einer demnächst erscheinenden feldtheoretischen Arbeit, die sich mit der Berechnung von Zweistoff-dielektrika befasst, zeigen können, dass beispielsweise beim Schrägeinbetten einer Stabelektrode nach Fig. 17 im Zwickelpunkt *A* sogar eine unendlich grosse Feldstärke auftreten muss, denn wenn man davon ausgeht, dass die von der Elektrodenoberfläche wegführenden Feldlinien 3 und 4 an der Grenzschicht der beiden Medien *I* und *II* zur Grenzschicht hin gebrochen werden, dann wirkt diese so, als ob die beiden Feldlinien 3 und 4 ohne ihr Vorhandensein von einer in *A* abgewinkelten Elektrode zu kommen scheinen. Damit entsteht eine fiktive Kante, an der die Feldstärke naturgemäss unendlich gross sein muss. Zum experimentellen Nachweis dieses Zwickel-effektes verwendet *Weiss* drei gleich grosse Polyamidzylinder von je 15 cm Höhe, in die Stäbe von jeweils 2 cm Durchmesser eingebettet worden sind (Fig. 18), und zwar der linke Stab ohne, der mittlere Stab mit 20° und der rechte Stab mit 40° Neigung gegen die Vertikale. Nach Anlegen einer effektiven Wechselspannung von 70 kV sind dann bei zwickelfreier Anordnung keine Entladungen zu sehen, während beim mittleren Stab schwache und beim rechten Stab stärkere Gleitentladungen im Zwickelraum erkennbar sind.

Um auch einem Nichtfachmann die Wirksamkeit von Gleitfunken anschaulich zu demonstrieren, wird in der Hochspannungsanlage des Deutschen Museums eine an Perlonseilen aufgehängte Verbundglasplatte von rund 2 m^2 Fläche überschlagen (Fig. 19). Dabei ist gut erkennbar, dass die von den beiden Spitzenelektroden ausgehenden Entladungen eher den etwa 1,5 m langen Weg über die Oberfläche der Glasplatte hinweg bestreichen

als die Glasplatte selbst mit nur 28 mm Stärke zu durchschlagen.

15. Funken grosser Schlagweite

Die Erfahrungen einer allerjüngsten Experimentierkunst mit höchsten Spannungen haben gezeigt, dass bei positiver Schaltstoßspannung im Bereiche von 2 bis 3 MV bereits Luftstrecken von 20 bis 30 m durchschlagen werden, was einer mittleren Durchschlagfestigkeit der Luft von nur noch 1 kV/cm entspricht. Physikalisch ist diese Festigkeitsminderung damit zu erklären, dass oberhalb einer gewissen Grenzschlagweite funkenartige Vorentladungen — sog. Leader — entstehen, die einen erheblichen Schlagweitenanteil zu überbrücken vermögen, ohne dass ein vollständiger Spannungszusammenbruch wie beim eigentlichen Durchschlag zustande kommt. Infolge ihrer Stabilität und ihres geringen Längsgradienten von 1 kV/cm und weniger können solche Leaderentladungen sehr weit in den Feldraum vorstossen und letztlich bewirken, dass im Bereiche hoher Spannungen die Durchschlagspannung inhomogener Funkenstrecken, wie sie auch in der Praxis üblicherweise vorkommen, nur noch wenig mit der Schlagweite zunimmt [29].

In diesem Zusammenhang erhebt sich naturgemäss die Frage, inwieweit es möglich sein wird, das bisher erreichte 765-kV-Niveau für die in Zukunft notwendig werdenden Übertragungsanlagen elektrischer Energie auf einen 1000/1500-kV-Ultraspannungsbereich anzuheben und bei welcher höchsten Ultraspannung ein Fortleiten von Elektrizität über Freileitungen überhaupt noch denkbar ist. Bei der Bedeutung, die diesem Fragenkomplex für eine Elektrizitätsversorgung von morgen uneingeschränkt zugesprochen werden muss, hat es die

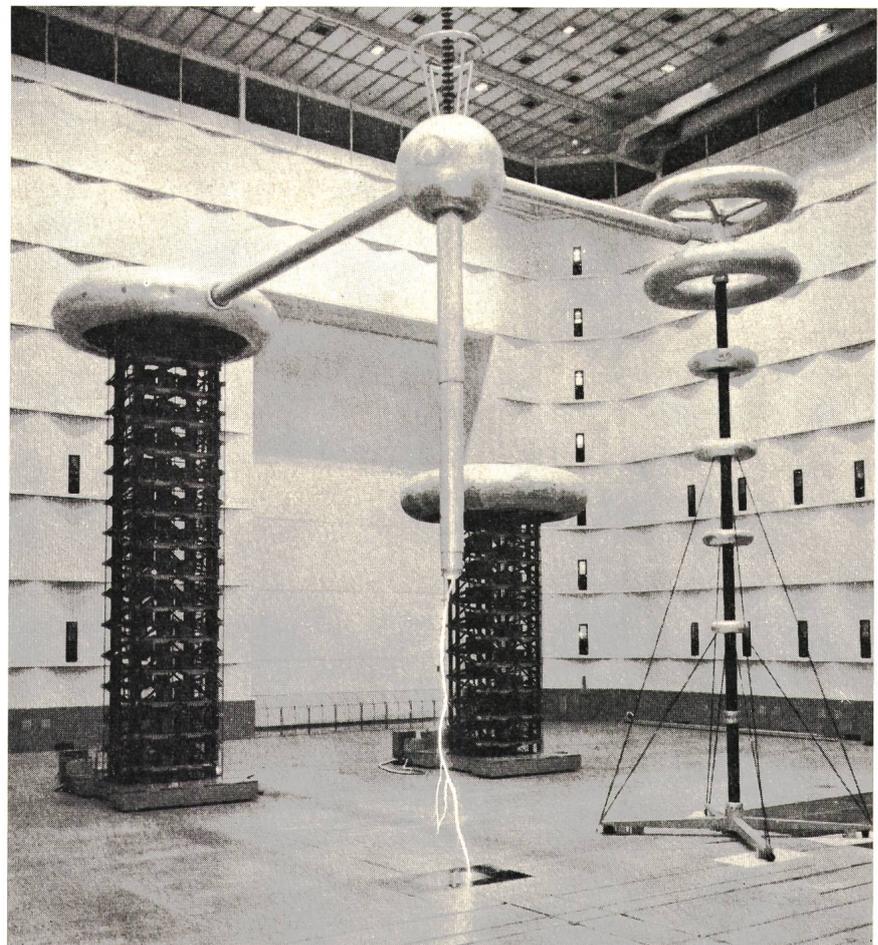


Fig. 20
8-m-Funkenentladung im Höchstspannungslaboratorium Les Renardières

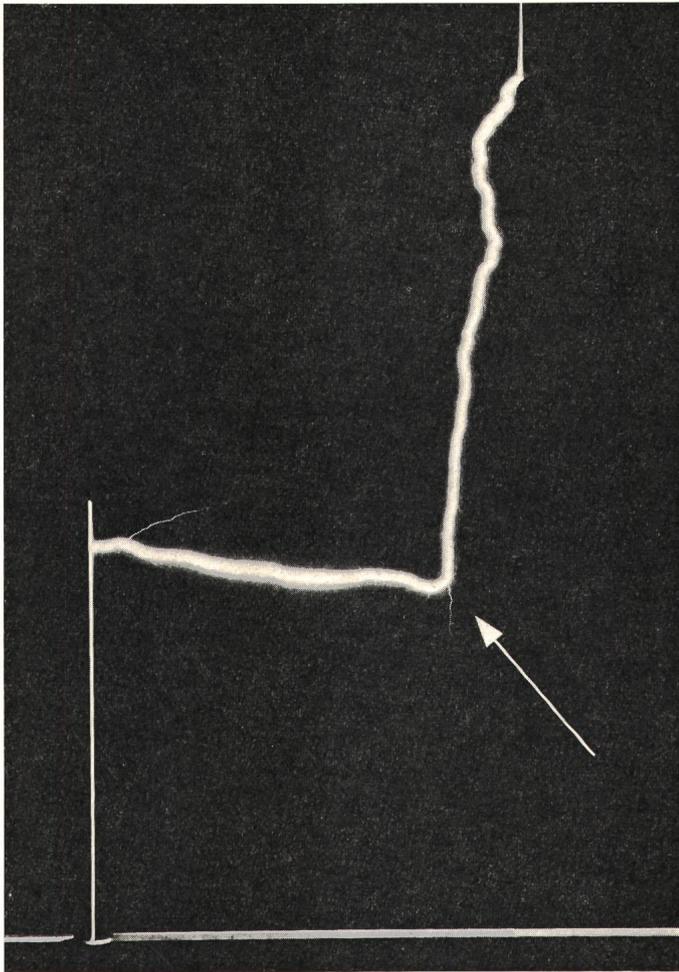


Fig. 21
Tiefeinschlag in eine 2 m hohe Fangstange

Electricité de France in wohl durchdachter Voraussicht und verantwortungsbewusster Initiative rechtzeitig unternommen, auf ihrem Forschungsgelände in Les Renardières, rund 70 km südlich von Paris, ein nach modernsten Gesichtspunkten ausgestattetes Höchstspannungslaboratorium zu errichten, in dessen nahezu 200 000 m³ umfassender Höchstspannungshalle alle damit zusammenhängenden Probleme untersucht werden können. Im Vordergrund des Interesses steht nach wie vor die Stab—Platte-Funkenstrecke, die wegen ihres einfachen und optisch gut beobachtbaren Aufbaus eine aussagekräftige Experimentalanalyse des Entladungsfunkens bis zu Schlagweiten im Zehnmeterbereich durchzuführen gestattet (Fig. 20). So ist das einstige Spinthéromètre von *Le Roy* — wenn auch mit etwa den hundertfachen Dimensionen — zu einem bedeutsamen Requisite einer modernen Hochspannungstechnik geworden.

Es mag als erfreuliches Zeichen einer sich anbahnenden internationalen Zusammenarbeit auf dem Gebiete der zu erforschenden höchsten Spannungen angesehen werden, dass die Electricité de France sich initiativ dazu entschlossen hat, ihre Höchstspannungshalle für ein zeitweiliges Experimentieren mit europäischer Teambesetzung zur Verfügung zu stellen. Ein erstes Programm dieser Art, mit welchem das Entladungsverhalten verschiedener Stabelektroden gegen eine bis zu 10 m entfernte Platte bei Stirnzeiten von 100 bis 500 μ s analysiert wurde, ist im Juni des vorigen Jahres unter Mitwirkung englischer, deutscher und italienischer Institutionen in geradezu vorbildlicher Weise abgelaufen. Über die Ergebnisse dieser

wohl einzigartigen Experimente soll in einer Veröffentlichung der diesjährigen CIGRE-Tagung erstmalig berichtet werden [33].

Noch aus einem anderen nicht minder bedeutsamen Grund ist ein Experimentieren mit Funken grosser Schlagweite von Interesse, nämlich aus der Sicht des Schutzraumes, den eine Fangstange oder ein Erdseil gegenüber einem Blitzstrahl zu bieten vermag. Nachdem sich ein Experimentieren mit natürlichen Blitzen wie ehemals als eine Tätigkeit geduldigen Wartens erwiesen hat, wird man für die Zukunft mehr auf Simulationsexperimente zurückgreifen müssen, um auf diese Weise sehr viel schneller zu greifbaren Ergebnissen zu kommen, insbesondere wenn man an vollautomatische Stossanlagen mit programmierter Ergebnisauswertung denkt. Dabei sollte jedoch nicht übersehen werden, dass ein solches Vorgehen nur dann zu brauchbaren Erkenntnissen führt, wenn das zu simulierende Einschlagexperiment aus einem bereits vorgewachsenen Leaderkopf, also aus einem elektrodenlosen Raum, zustande kommen kann, wie dies auch beim natürlichen Blitzphänomen der Fall ist. Überraschenderweise lassen sich dann manche Einschlageffekte simulieren, die bisher nur bei natürlichen Blitzen beobachtet werden konnten, wie beispielsweise das Erfassen eines Objektes unterhalb seines höchstmöglichen Einschlagpunktes in Form eines Tiefeinschlages.

In diesem Zusammenhang möge auf eine bemerkenswerte Arbeit von *Falk Rühling* hingewiesen werden, in der an einer Dreielektrodenanordnung gezeigt wird, dass die aus einer positiven Stabelektrode vorwachsende Leaderentladung sehr weit in den Feldraum vorzudringen vermag, ehe sich der Leaderkopf entscheidet, in die darunter befindliche Platte oder in eine daneben stehende Fangstange einzuschlagen. In dem in Fig. 21 dargestellten Einschlagfall hat sich der Leaderkopf bis auf etwa 1,5 m der Platte genähert, um dann an der pfeilmarkierten Stelle fast rechtwinklig abzubiegen und unterhalb der Spitze in die Fangstange einzuschlagen. Wie sich leicht feststellen lässt, hat sich dabei eine Entladungsbahn eingestellt, die um rund 50% über der kürzesten Entfernung zwischen Stabelektrode und Fangstange liegt. Es ist klar, dass für einen derartigen Tiefeinschlag, der sich im Verlaufe einer statistisch verteilten Einschlagserie ergeben hat, in der unter sonst gleichen Bedingungen sowohl die Spitze der Fangstange als auch die Platte getroffen worden sind, das Gesetz der kürzesten Schlagweite keine Gültigkeit mehr besitzt, so dass abzuwarten bleibt, welche Folgerungen sich hieraus für eine neu zu erdenkende Schutzraumtheorie ergeben. Einmal mehr zeigt sich hier, wie wichtig ein Experimentieren mit simulierten Blitzen für die Lösung konkreter wissenschaftlicher Probleme geworden ist, insbesondere auch im Hinblick auf eine mögliche Zeitraffung.

16. Lasergetriggerte Funken

Zu noch faszinierenderen Funkenexperimenten hat die Plasmatechnik der allerjüngsten Zeit Anlass gegeben, nachdem sich herausgestellt hat, dass für die Triggerung von Funkenstrecken anstelle der auch sonst in der Hochspannungstechnik angewendeten elektrischen Impulsmethode eine optische Funkenauslösung in der Weise erreicht werden kann, indem ein fokussierter Laserstrahl von etwa 100 MW Impulsleistung während einiger 10 ns in den Feldraum der zu triggernden Funkenstrecke eingeschleust wird. Soweit einer kürzlichen Veröffentlichung von *Karlheinz Schmitter*, Direktor am Max-Planck-Institut für Plasmaphysik in Garching bei München,

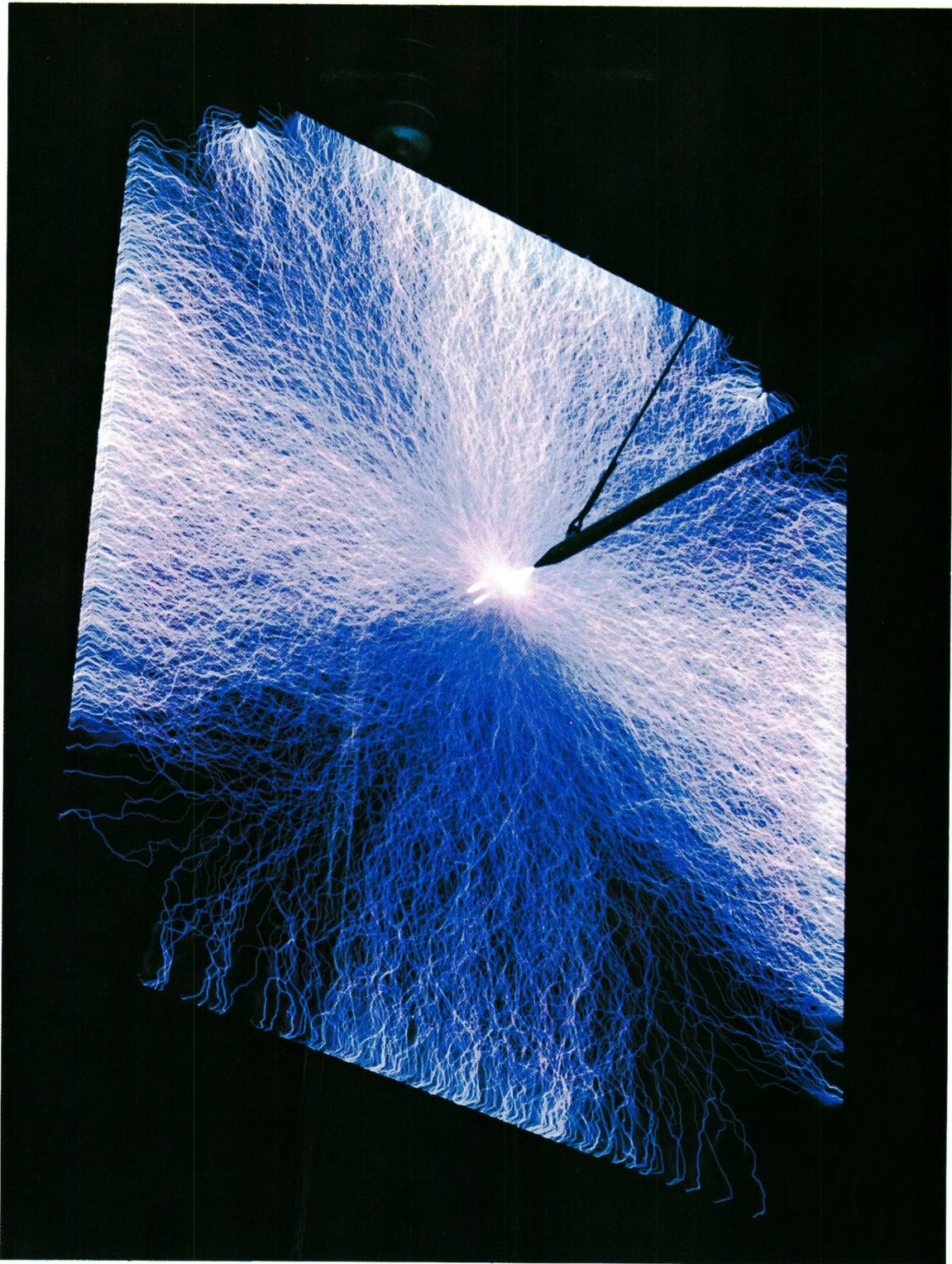


Fig. 19
Demonstration von Gleitentladungen im Deutschen Museum

Fig. 22
Lasergetriggter Hochspannungsfunke
(Institut für Plasmaphysik Garching)

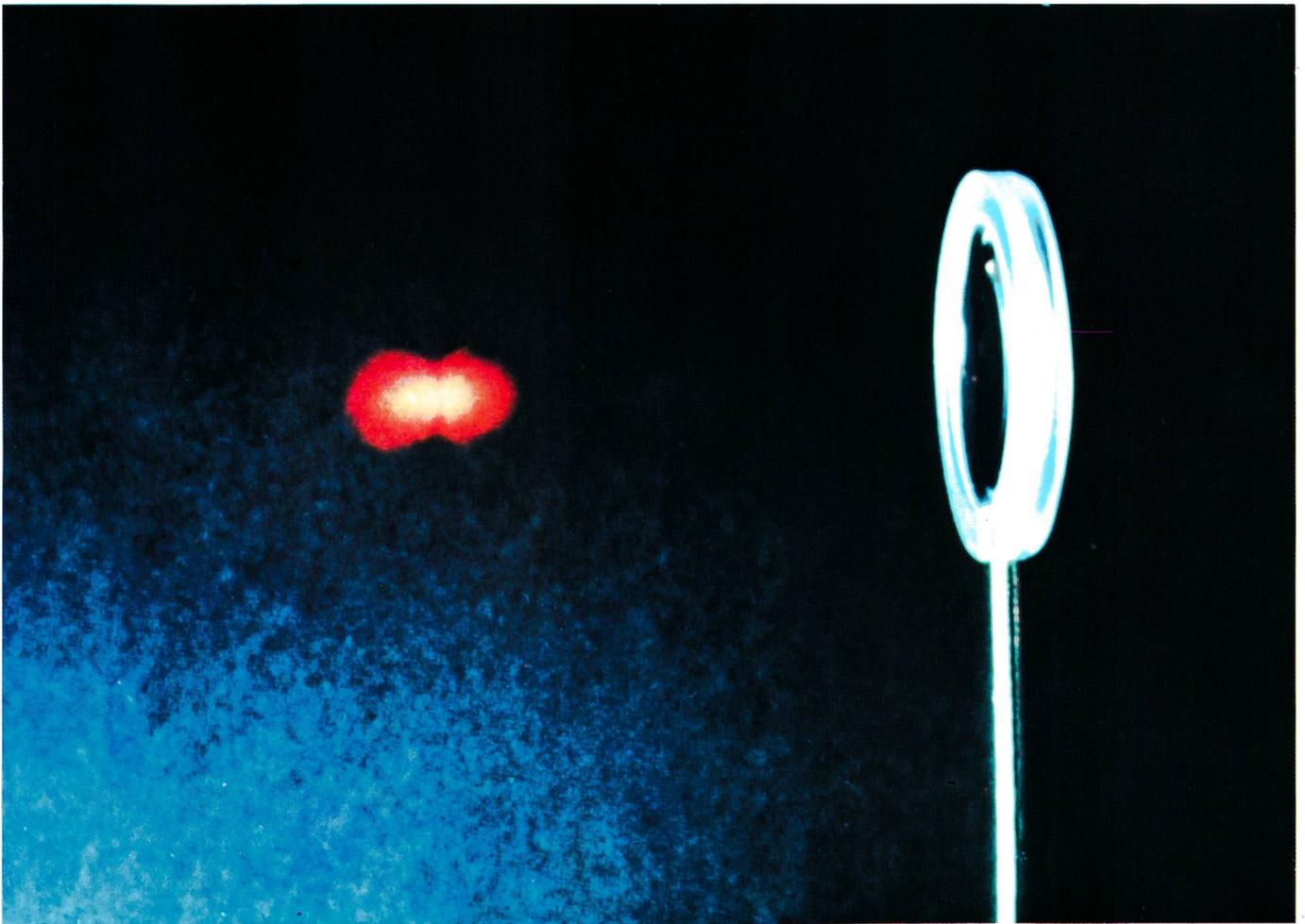
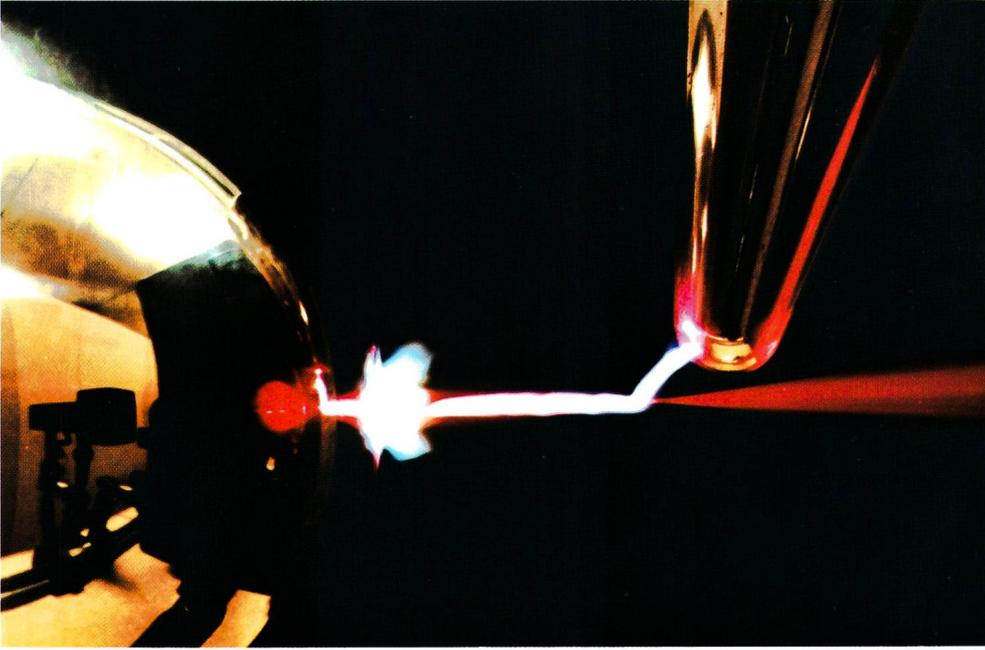


Fig. 23
Durch einen fokussierten Hochleistungslaser erzeugter «Kugelblitz»
(Institut für Plasmaphysik Garching)

entnehmbar ist [32], lässt sich durch eine Lasertriggerung selbst für Zündspannungen, die weit unterhalb der statischen Durchschlagspannung der Funkenstrecke liegen, ein wesentlich schnelleres und zugleich zeitexakteres Ansprechen erreichen, was vor allem dann von Vorteil ist, wenn einige hundert Funkenstrecken extrem zeitgenau durchzündet werden müssen, wie dies bei Entladungsanlagen der Fusionsforschung gefordert wird. Bei derartigen Synchrontriggeranlagen wird dann in der Weise verfahren, dass der von einem Laseroszillator erzeugte Lichtstrahl, entsprechend der Anzahl der zu triggernden Funkenstrecken, gesplittet wird, wobei es mit zunehmender Anlagengröße zu hierarchischer werdenden Triggersystemen kommt. Darüber hinaus hat sich gezeigt, dass sich der langwelligere Neodymlaser mit 1066 nm Wellenlänge für solche Synchronanlagen besser eignet als der bisher verwendete Rubinlaser mit nur 694 nm.

Die Wirksamkeit eines fokussierten Laserimpulses dokumentiert sich sehr eindrucksvoll durch die Ablenkung eines Hochspannungsfunkens aus seiner kürzest möglichen Bahn (Fig. 22), was letztlich zu einem Abbiegen des Funkenkanals geführt hat, ähnlich wie im Falle eines Tiefeneinschlages im Bereiche grosser Schlagweiten. Nicht minder eindrucksvoll sind die erzielbaren Effekte eines mehrstufigen Hochleistungslasers, in dessen fokussiertem Strahl Feldstärken in der Größenordnung von 1000 kV/cm auftreten können, die ausreichen, um die im Fokus befindliche Luft so stark zu ionisieren, dass eine elektrodenlose Knallentladung in Form eines «Kugelblitzes» entsteht (Fig. 23), der jedoch durch Rekombinationseffekte in der sich anschliessenden Expansionsphase schnell wieder verschwindet.

17. Ausklang

So haben uns drei Jahrhunderte einer bewunderungswürdigen Experimentierkunst mit funkender Elektrizität, die vom Leuchten einer geriebenen Schwefelkugel bis zum Strahlen eines lasergetriggerten Kugelblitzes reicht, in einem erstaunenswerten Variationsreichtum neuer Erkenntnisse und Erfahrungen hineingeführt und mit dazu beigetragen, ihre Erscheinungsformen besser zu verstehen und zu nützen. Aber auch in Zukunft wird die funkende Elektrizität unsere höchste Aufmerksamkeit finden müssen, sei es um das Physikalische ihrer Verursachung, insbesondere im Bereich extremer Schlagweiten, in modern eingerichteten Höchstspannungslaboratorien zu ergründen oder sei es um manche neuartige Nützlichkeit an ihr zu entdecken. Sollten wir einem solchen Gedanken gegenüber nicht mehr Wirklichkeitsnähe bekunden, vor allem im Hinblick auf eine Zeit, die noch mehr als bisher von Elektrizität durchdrungen sein wird?

Literatur

- [1] *F. Hauksbee*: An account of an experiment touching the production of light by the effluvia of one glass filling on another in motion. Philosophical Transactions 25(1706/07)310, p. 2413...2415.

- [2] *C. Du Fay*: Troisième mémoire sur l'électricité. Mém. Acad. Roy. Sciences Amsterdam -(1733)-, p. 327...357.
 [3] *C. Du Fay*: Sixième mémoire sur l'électricité. Mém. Acad. Roy. Sciences Amsterdam -(1734)-, p. 691...724.
 [4] *C. Du Fay*: Septième mémoire sur l'électricité. Mém. Acad. Roy. Sciences Amsterdam -(1737)-, p. 124...143.
 [5] *G. M. Bose*: Die Electricität nach ihrer Entdeckung und Fortgang mit poetischer Feder entworfen. Wittenberg 1744.
 [6] *J. H. Winkler*: Gedanken von den Eigenschaften, Wirkungen und Ursachen der Electricität nebst einer Beschreibung zwei neuer electricischer Maschinen. Leipzig, Breitkopf, 1744.
 [7] *J. T. Etter*: Sur l'électricité. Hist. Acad. Sciences Belles Lettres, Berlin (1745)- p. 10...12.
 [8] *J. H. Winkler*: Die Eigenschaften der electricischen Materie und des electricischen Feuers aus verschiedenen Versuchen erklärt und nebst etlichen neuen Maschinen zum Electricieren beschrieben. Leipzig, Breitkopf, 1745.
 [9] *J. H. Winkler*: Die Stärke der electricischen Kraft des Wassers in gläsernen Gefässen welche durch den Musschenbroekischen Versuch bekannt geworden. Leipzig, Breitkopf, 1746.
 [10] *J. A. Nollet*: Recherches sur les causes particulières des phénomènes électriques et sur les effets nuisibles ou avantageux qu'ont peut en attendre. Paris, Guérin, 1749.
 [11] *J. P. Eberhard*: Gedanken vom Feuer und denen damit verwandten Körpern, bey gelähmten Gliedern aus Vernunftsgründen erläutert und durch Erfahrung bestätigt. Regensburg, Montag u. W. 1766.
 [12] *A. Savérien*: Dictionnaire universel de mathématique et de physique. Tome 1, Paris, 1753.
 [13] *J. G. Schüller*: Die electricische Medicin oder die Kraft und Wirkung der Electricität in dem menschlichem Körper und dessen Krankheiten besonders bey gelähmten Gliedern aus Vernunftsgründen erläutert und durch Erfahrung bestätigt. Regensburg, Montag u. W. 1766.
 [14] *J. B. Le Roy*: Mémoire sur un phénomène électrique intéressant et qui n'avoit pas encore été observé. Hist. Acad. Roy. Sciences Paris -(1766)-, p. 541...546.
 [15] *T. Lane*: Description of an electrometre with an account of some experiments made with it. Philosophical Transactions 57(1767)-, p. 451...460.
 [16] *M. Guyot*: Nouvelles récréations physiques et mathématiques. Nouvelle édition corrigée et considérablement augmentée. Tome II et IV. Paris 1773...1775.
 [17] *E. Nairne*: Electrical experiments made with a machine of his own workmanship. Philosophical Transactions 64(1774)-, p. 79...89.
 [18] *A. Volta*: Lettera terza diritta al signor Marchese Francesco Castelli. Como, 15 maggio 1777.
 [19] *J. P. Marat*: Recherches physiques sur l'électricité. Paris, Nyon, Nyon, Berlin, 1782.
 [20] *E. Nairne*: Description de la machine électrique negative et positive de M. Nairne avec les details de ses applications à la physique et principalement à la médecine. Paris 1784.
 [21] *J. L. Boeckmann*: Über Anwendung der Electricität bei Kranken nebst der Beschreibung der neuen Maschine von Nairne zur positiven und negativen Electricität auch eines neuen electricischen Bettes. Durlach, Schneider, 1786.
 [22] *J. L. Boeckmann*: Versuche über die Telegraphie und Telegraphen. Carlsruhe, Macklot, 1794.
 [23] *T. Du Moncel*: Ruhmkorff's Inductions-Apparat und die damit anzu-stellenden Versuche. Frankfurt a/Main, Sauerländer Verlag 1857.
 [24] *W. Fedderson*: Über die elektrische Flaschenentladung. Annalen der Physik und Chemie 113(1861)-, S. 437...467 + 116(1862)-, S. 132...171.
 [25] *C. J. Gerhardt*: Die philosophischen Schriften von Gottfried Wilhelm Leibniz. Band 1. Berlin, 1875.
 [26] *H. Hertz*: Über Strahlen electricischer Kraft. Annalen der Physik und Chemie. Neue Folge 36(1889)4, S. 769...783.
 [27] *L. Darmstaedter*: Handbuch zur Geschichte der Naturwissenschaften und der Technik. 2. Auflage, Berlin, Springer-Verlag, 1908.
 [28] *N. Tesla*: Lectures, patents, articles. Beograd, Nikola Tesla Museum, 1956.
 [29] *E. Lemke*: Die Leaderentladung und ihre Bedeutung für das Durchschlagverhalten langer Luftfunkenstrecken. Wissensch. Z. Elektrotechn. 13(1969)1/2, S. 77...91.
 [30] *F. Früngel*: Messung der dreidimensionalen Luftwirbelung nach dem sogenannten spark tracing-Verfahren. VDI-Berichte 146(1970)-, S. 181...186.
 [31] *F. Früngel*: Spark photography. Visual 8(1970)1, p. 1...5 + Nr. 2, p. 33...39.
 [32] *K. H. Schmitter*: Funkenstrecken mit optischer Triggerung. Laser 2(1970)3, S. 9...10.
 [33] *H. Heilbronner*: Internationale Zusammenarbeit auf dem Gebiet der Funkenentladungsphysik im Megavoltbereich. ETZ-A 92(1971)10, S. 603.

Adresse des Autors:

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