

Zeitschrift: Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins
Herausgeber: Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätswerke
Band: 61 (1970)
Heft: 1

Artikel: Nachdenkliches und Belustigendes über das Hochspannungsfeld
Autor: Prinz, H.
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-915894>

Nutzungsbedingungen

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

Conditions d'utilisation

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

Terms of use

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

Download PDF: 17.02.2026

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

Nachdenkliches und Belustigendes über das Hochspannungsfeld

Von H. Prinz, München

630-649

1. Zur Biogenese

Manches spricht dafür, dass das Naturgeschehen über unvorstellbare Zeiträume hinweg bereits in seinen Uranfängen von Elektrizität durchdrungen gewesen sein musste. So glaubt man heute annehmen zu sollen, dass sich der Entladungsmechanismus des Blitzphänomens bereits in einer präbiologischen Periode vor 4,5 bis 3,5 Milliarden Jahren abspielen konnte, also in einer Zeit, zu der die ganze Erdoberfläche mit Wasser bedeckt gewesen war und die darüber befindliche Uratmosphäre aus Ammoniak, Methan und Wasserstoff bestanden hatte. Erst in allerjüngster Zeit hat man sich jedoch Gedanken darüber gemacht, welche Rolle das Blitzgeschehen im biogenetischen Formierungsprozess unserer Umweltbedingungen gespielt haben möchte. Der unmittelbare Anlass zu derartigen Betrachtungen war das sensationelle Ergebnis eines Experimentes, das innerhalb weniger Tage des Jahres 1953 abgelaufen ist. Damals kam der angehende Biochemiker S. I. Miller der Universität Chicago auf den Gedanken, den in einer Glasretorte erzeugten Wasserdampf in sich wiederholenden Zyklen einem Ammoniak-Methan-Wasserstoff-Gemisch und danach einer elektrischen Funkenentladung auszusetzen (Fig. 1). Nach Ablauf einer Woche stellte er in dem Wasserdampfkondensat zu seinem allergrößten Erstaunen Spuren von Aminosäuren fest, dem entscheidenden Aufbauelement der Proteine.

Auf Grund dieses Experimentes glaubt McAlester in seinem interessanten Buch über die Geschichte des Lebens [15] ¹⁾ der Meinung sein zu sollen, dass die in einer Uratmosphäre wirksam gewesenen Blitze unter Einwirkung der Sonnenstrahlen zur Bildung einer aus Aminosäuren, Nukleinäuren und Kohlehydraten bestehenden «organischen Suppe» beigetragen haben, so dass sich in einer vor 3,5 Milliarden Jahren begonnenen biologischen Zeitepoche die ersten Organismen bilden konnten. Unter Mitwirkung photosynthetischer Prozesse sind dann späterhin vor etwa 2 Milliarden Jahren die ersten Pflanzen und vor 600 Millionen Jahren die ersten Lebewesen entstanden. Demgegenüber reicht die Entwicklungsgeschichte des Menschen erst in die allerjüngste Epoche dieser unendlich langsam abgelaufenen Biogenese zurück: Vor etwa 2 Millionen Jahren ist in einer ersten Entwicklungsstufe der Australopithecus, in einer zweiten der Homo erectus und schliesslich in einer dritten vor etwa 500 000 Jahren der Homo sapiens erstmals in Erscheinung getreten.

Eine derartige Interpretation des Millerschen Experimentes würde bedeuten, dass die lebenspendende Urkraft allen Seins gleichsam aus einem himmlischen Feuer erwachsen ist, wie es einstmals von gläubigen Priestern beobachtet worden ist, als sie das allumfassende Kräftespiel des Himmels zu erforschen versuchten und über den Ursprung des Lebens

¹⁾ Siehe Literatur am Schluss des Aufsatzes.

nachdachten. Ob wohl ein Orakel von Delphi dieses wundersame Geheimnis einer hochherrlichen Natur hätte jemals errahnen können?

2. Die zwölf Erkenntnisschritte

Es mag schwer fallen, aus unvorstellbaren Zeitabläufen einer Biogenese, in welcher die Lebenserwartung eines Menschen gleichsam als geraffter Nanosekundenimpuls im Maßstab einer Sekunde erkennbar ist, in die Gedankenwelt jener Jahrhunderte zurückzufinden, in denen sich die wichtigsten Erkenntnisschritte entweder rein zufällig oder auch in logischer Folge ereignen konnten, die späterhin zu einem besseren Verstehen der Erscheinungsformen des elektrischen Feldes geführt haben. Sofern eine solche Thematik aus der Sicht des Feldgeschehens analysiert wird, lassen sich nach Meinung des Verfassers aus der Geschichte der Elektrizität insgesamt zwölf solcher Schritte herausstellen, die für eine spätere Deutung des elektrischen Feldes von Wichtigkeit geworden sind.

In chronologischer Reihenfolge sind dies:

1. Schritt: Der Bernsteineffekt
4. Jahrhundert v. Chr. *Plato*
Anziehend wirkendes Kraftfeld
2. Schritt: Das Elmsfeuer
78 n. Chr. *Plinius*
Raumladungsfeld

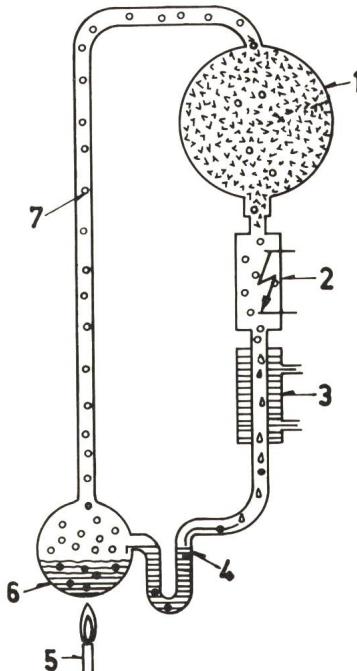


Fig. 1

Schema der Millerschen Versuchsausrüstung [15]

1 Ammoniak, Methan, Wasserstoff; 2 Funkenentladung; 3 Kondensator; 4 Aminosäuren; 5 Wärme; 6 Wasser; 7 Dampf

3. Schritt: Das Vensorium
1600 *Gilbert*
Wissenschaftliche Analyse des Bernsteineffektes sowie Feuchteeffekt eines Electricum
4. Schritt: Abstossender Bernsteineffekt
1629 *Cabeo*
Abstossend wirkendes Kraftfeld
5. Schritt: Die Schwefelkugel
1663 *Guericke*
Fortleitbares und tönendes Kraftfeld
6. Schritt: Das Bindfadenexperiment
1705 *Hauksbee*
Richtungsfeld
7. Schritt: Die hänfene Communicationsschnur
1729 *Gray*
Fortleitbares Feld
8. Schritt: Die Glas- und Harzelektrizität
1733 *Du Fay*
Dualistisches Feld
9. Schritt: Das elektrische Feuer
1744 *Ludólf*
Funken erzeugendes Feld
10. Schritt: Die Elektrifikationskuren
1744 *Krüger*
Biologisches Feld
11. Schritt: Die Leydener Flasche
1745 *Allamand*
Speicherbares Feld
12. Schritt: Das Becherexperiment
1755 *Franklin*
Abschirmbares Feld

Wie ersichtlich, beginnt die Schrittfolge mit dem Bernsteineffekt, wie er erstmals von *Plato* im 4. Jahrhundert v. Chr. beschrieben worden ist und als anziehend wirkendes Kraftfeld gedeutet werden kann und schliesst mit dem Franklinschen Becherexperiment des Jahres 1755 in seiner Interpretierbarkeit als abschirmbares Feld. Damit waren bereits um die Mitte des 18. Jahrhunderts alle wichtigen Erscheinungsformen des elektrischen Feldes bekannt gewesen, was wohl den ideenreichen Experimenterkünsten jener Zeit mit Reibungselektrizität zu verdanken ist [10; 11; 14].

Mit den nunmehr folgenden Betrachtungen soll versucht werden, die einzelnen Erkenntnisse nach Massgabe ihrer Bedeutung aus der Perspektive eines übergeordneten Feld-

begriffes zu kommentieren und durch Einfügen einiger unterhaltsamer Experimente aus der Zeit der einstmals modisch gewesenen physikalischen Kabinette zu untermalen.

2.1 Allererstes Beginnen

Niemand vermag mehr zu sagen, welche Zeit vergangen sein möchte, bis die anziehende Wirkung des geriebenen Bernsteins eine erste schriftliche Aufzeichnung in den Werken des griechischen Philosophen *Plato* im 4. Jahrhundert v. Chr. gefunden hat, obwohl mit ziemlicher Wahrscheinlichkeit angenommen werden darf, dass der Bernsteineffekt bereits vor dieser Zeit irgendwo unbewusst vermerkt worden war. Ähnliches trifft für das Elmsfeuer zu, wie es im Verlaufe vergangener Jahrhunderte vor starken Gewittern auf Schiffen und hohen Bergspitzen sowie an Wurfspiessen und Lanzen (Fig. 2) als bläuliches Leuchten beobachtet worden war, denn erst in der um 78. n. Chr. veröffentlichten «*Historia naturalis*» des Geschichtsschreibers *Cajus Plinius Secundus* findet sich ein darauf Bezug nehmender Hinweis.

Aber erst das im Jahre 1600 erschienene und berühmt gewordene Werk «*De Magnete*» von *William Gilbert*, das erstmals eine wissenschaftliche Analyse der anziehenden Wirkung verschiedener *Electrica* enthält und in Form des von ihm erdachten Vensoriums — eines Nadelektroskop — erste Ansätze einer qualitativen Abschätzung des Bernsteineffektes erkennen lässt, brachte einen entscheidenden Fortschritt zu einem besseren Erkennen dieses Effektes in seiner anziehenden Kraftwirkung. Bemerkenswerter Weise findet sich darin auch in Hinweis, dass Feuchtigkeit und Wasser die anziehende Kraft eines Electricum völlig zum Erlöschen bringen. Drei Jahrzehnte später ist es *Nicolò Cabeo*, Professor der Mathematik zu Parma, der in seiner Schrift «*Philosophia magnetica*» des Jahres 1629 zum ersten Mal darüber berichtet, dass ein Electricum manchmal auch eine abstossende Wirkung ausüben vermag. Und nochmals drei Jahrzehnte später ist es der Magdeburger Bürgermeister *Otto von Guericke*, der beim Experimentieren an seiner von ihm erdachten geriebenen Schwefelkugel die erstaunliche Beobachtung machte, dass ihre Kraftwirkung über einen Leinenfaden hinweg fortleitbar sei. Auch besitzt sie die Kraft des Tönen, «denn wenn man sie in der Hand hält oder so ans Ohr bringt, vernimmt man ein Rauschen und Knistern in derselben».

So ist also der allererste Anfang gemacht worden, der nur in ganz langsam abgelaufenen Schritten neue Erkenntnisse gebracht hat.

2.2 Das Bindfadenexperiment

Um die Wende des 17. Jahrhunderts beginnt *Francis Hauksbee*, damals Konservator der Royal Society London, mit Glaskugeln und Glaszylinern zu experimentieren, die über ein grosses Antriebsrad in schnelle Drehung versetzt werden konnten. Im Verlauf seiner originellen Versuche macht er erstmals die Beobachtung, dass halbkreisförmig innerhalb des rotierenden Glaskörpers angeordnete Bindfäden sich in radialer Richtung orientieren, sobald die bewegte Glasoberfläche mit den blossen Händen gerieben wird (Fig. 3). Wenngleich ihm dies merkwürdig und zugleich unerklärlich zu sein scheint, so hat *Hauksbee* mit seinem Bindfadenexperiment erstmals das von einem Electricum ausstrahlende Feld sichtbar gemacht und damit unbewusst gezeigt, dass das elektrische Hochspannungsfeld als Richtungs-

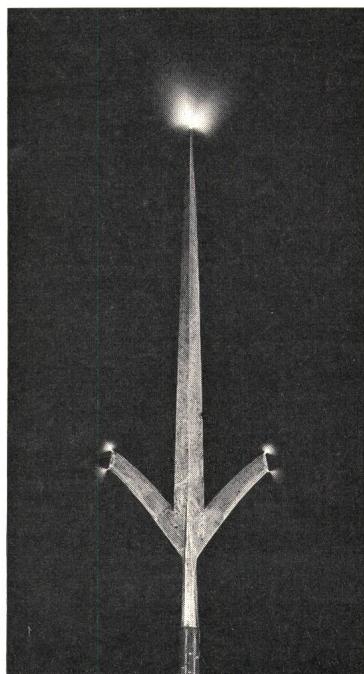


Fig. 2
Elmsfeuer an einer Korseke aus dem 16. Jahrhundert

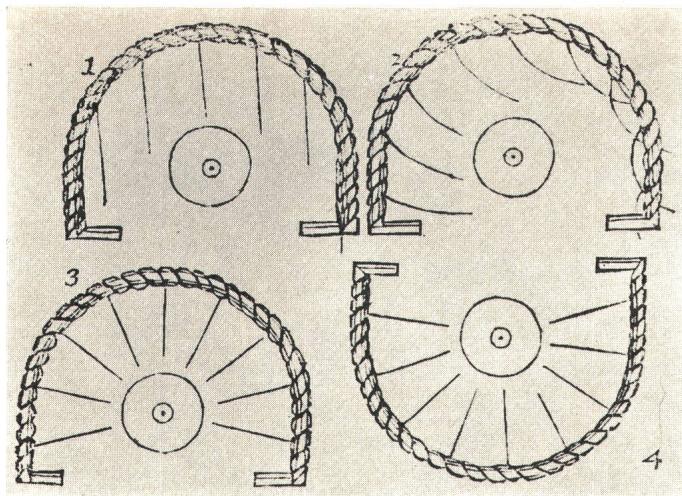


Fig. 3

Francis Hauksbee's Bindfadenexperiment [1]

1 Glaszyylinder in Ruhe; 2 Glaszyylinder in Drehung; 3 und 4 Glaszyylinder in Drehung mit aufgelegter Handfläche

feld aufgefasst werden kann. Dieses einfache Experiment von ehedem lässt sich an einem reibungselektrisch stärkeren Plexiglaszyylinder noch besser vorführen, wie aus Fig. 4 ersichtlich ist.

2.3 Die hänfene Communicationsschnur

Obgleich es Guericke gewesen ist, der an einem Leinenfaden erstmals die Fortleitbarkeit von Elektrizität beobachtet hatte, so muss doch Stephen Gray, einstmals Mitarbeiter des Trinity College, das besondere Verdienst zugesprochen werden, die Bedeutung einer solchen Fortleitbarkeit klar erkannt und innerhalb einer wohldurchdachten Experimentierkunst ergründet zu haben. In diesen seinen Bemühungen machte er eines Tages die merkwürdige Beobachtung, dass eine schwebende Flaumfeder von dem Korken eines damit verschlossenen Glasrohres ebenso angezogen wird, wie von dem Glasrohr selbst. Nachdem er zu dem Schluss gekommen war, dass die anziehende Kraftwirkung offenbar auf den Korken fortgeleitet worden sein musste, machte er am 2. Juli 1729 zusammen mit Granville Wheler den Ver-

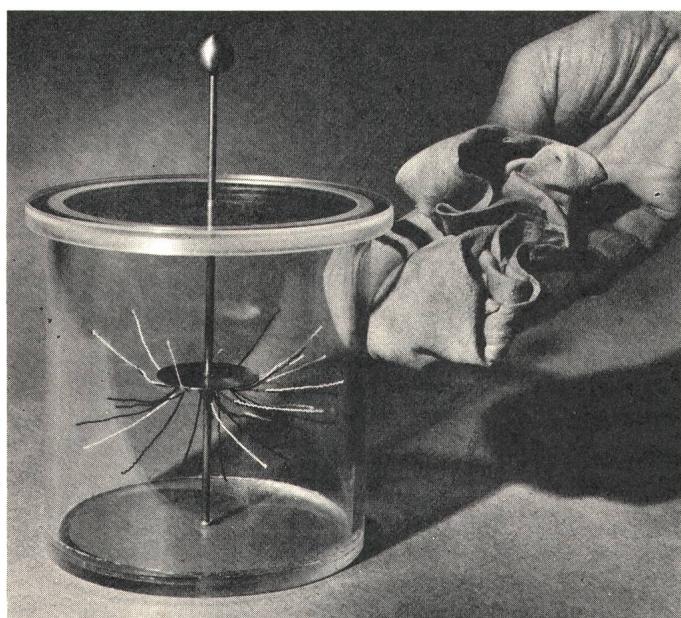


Fig. 4

Demonstration zum Hauksbeeschen Bindfadenexperiment

such, die Kraftwirkung über eine 80,5 m lange und an Seidenschnüren aufgehängte hänfene Communicationsschnur zu übertragen. Dabei konnte er die Beobachtung machen, dass eine an dem Hanfschnurende befestigte Elfenbeinkugel tatsächlich leichte Messingblättchen anzog, sobald das andere Ende der Hanfschnur durch einen geriebenen Glasstab elektrisch gemacht worden war.

Kein Naturkundler jener Zeit hätte wohl erahnen können, welche Bedeutung diese einfache Demonstration einer Fortleitung von Elektrizität einmal erlangen würde, wenngleich bereits damals Überlegungen bekannt geworden sind, die Communicationsschnur für die Zwecke einer Nachrichtenübermittlung zu verwenden. So ist im Jahre 1753 vorgeschlagen worden, jedem Buchstaben des Alphabets eine solche Communicationsschnur mit einer daran befestigten Elfenbeinkugel zuzuordnen, wodurch es verständlicherweise möglich gewesen wäre, aus dem am Schnurende dann zu beobachtenden Anziehen der Messingblättchen auf den betreffenden Buchstaben zu schliessen [9]. Wenn auch dieser

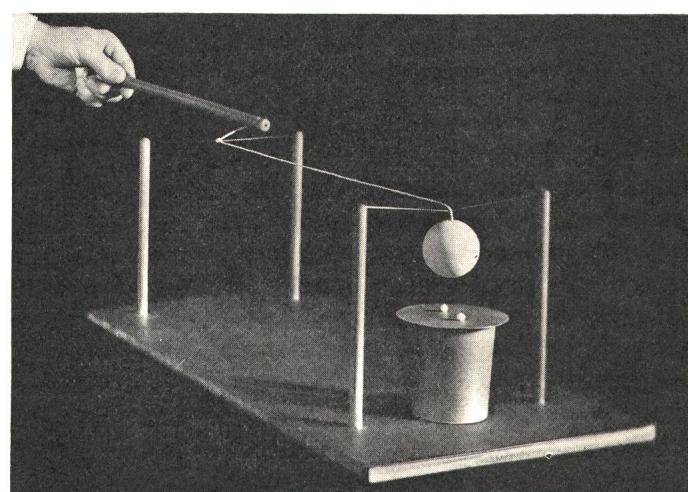


Fig. 5

Demonstration zur Fortleitung von Elektrizität über eine 45 cm lange Schnur

Vorschlag nie zur Ausführung gelangte, so ist in ihm ohne Zweifel der Gedanke einer ersten elektrischen Nachrichtenübertragung zu erkennen.

Zur einfachen Nachbildung des Grayschen Experiments ist in Fig. 5 eine kleine Versuchsanordnung dargestellt, die aus einem Gestell mit einer darauf befindlichen Communicationsschnur besteht. Sobald diese an dem einen Ende mit einem Kunststoffstab elektrisiert wird, werden die an dem anderen Ende befindlichen Hollundermarkkugelchen angezogen und wieder abgestossen.

2.4 Die Glas- und Harzelektrizität

Im Frühjahr 1733 erfuhr Charles François Cisternay du Fay, Verwalter des Königlich Botanischen Gartens zu Paris, erstmals von Gray's erstaunlichen Versuchen über die Elektrizität. Dadurch angeregt, beginnt er ehestens selbst zu experimentieren und wiederholt dazu den Guerickeschen Flaumfederversuch mit einem schwebenden Goldblättchen. Dabei macht er die merkwürdige Beobachtung, dass das Goldblättchen, nachdem es zuvor von einem geriebenen Glasstab angezogen und abgestossen worden war, von einem geriebenen Harzstab — entgegen allen Erwartungen — nicht mehr angezogen sondern abgestossen wurde, worauf



Fig. 6
Salonexperimente um die Mitte des 18. Jahrhunderts [2]

er zu dem Schluss kommt, dass es zwei Arten von Elektrizität geben müsse, nämlich eine Glaselektrizität und eine Harzelektrizität.

Demgegenüber hat späterhin *Benjamin Franklin* die Auffassung vertreten, dass es nur eine Elektrizitätsart geben könne, die in einem elektrisch ungeladenen Körper stets in bestimmter Menge vorhanden sein müsse. Die Glaselektrizität würde dann, so meinte *Franklin*, jeweils durch einen Überschuss an Elektrizität und die Harzelektrizität durch deren Mangel verursacht werden, weshalb er die Du Faysche «électricité vitrée» positive Elektrizität und die «électricité resineuse» negative Elektrizität nannte. Heute wissen wir, dass jeder Körper aus Atomen aufgebaut ist, die selbst wieder aus elektrisch positiv geladenen Kernen und darum angeordneten negativen Elektronen bestehen. In einem elektrisch ungeladenen Körper ist die in den Atomen vorhandene positive Elektrizität ebenso gross wie die negative, so dass sich ihre Wirkungen nach aussen hin aufheben. Erhält der Körper dagegen einen Überschuss bzw. einen Mangel an Elektronen, dann verhält er sich gegenüber seiner Umgebung als negativ bzw. positiv geladener Körper. Die von *Franklin* vorgeschlagene Bezeichnung «negativ elektrisch» für einen Elektronenüberschuss und «positiv elektrisch» für einen Elektronenmangel scheint somit nach heutiger Vor-

stellung nicht mehr sinnvoll zu sein. Trotz dieses Widerspruches hat sich der Franklinsche Begriff einer positiven und negativen Elektrizität bis auf den heutigen Tag erhalten.

2.5 Das elektrische Feuer

Mit zu den eindrucksvollsten Erkenntnissen jener Zeit gehörte zweifellos die Erfahrung, dass der elektrische Funke einer Elektrisiermaschine ebenso die Eigenschaft des Zündens besitzt wie das Elementarfeuer eines Feuersteins. Um jene Zeit gelingt nämlich dem Feldmedikus *Christian Friedrich Ludolff* eine kleine Probe von Äthylalkohol mittels eines elektrischen Funkens zum Entzünden zu bringen.

Welche Sensation aber musste ein solches Experiment bedeuten haben, als sich herausgestellt hatte, dass die zündende Wirkung des elektrischen Feuers auch durch Herauslocken eines Funkens aus dem menschlichen Körper zustande kommen kann? Soweit sich aus zeitgenössischen Berichten entnehmen lässt, war es um die Mitte des 18. Jahrhunderts zur grossen Mode geworden, bei der Vorführung von Experimentierkünsten mit Elektrizität einer elektrisierten Person brennende und stechende Funken zu entnehmen (Fig. 6), die von einem geheimnisvollen Knistern begleitet gewesen waren. In einem 1775 erschienenen Büchlein von *James Ferguson* findet sich dazu ein amüsantes Experiment mit dem Titel «The Electrical Kiss», worüber es heisst:

«Let either a gentleman or a lady be electrified on the glass-footed stool, whilst the other stands at a little distance on the floor. Then if they incline their heads and offer to salute each other, the fire will snap from the lips of the electrified person to those of the other and will give them both such a smart and mutual rebuff.»

In jener Zeit sind ebenso erstaunliche Bemühungen erkennbar, die in den Experimentiersalons erdachten kunstvollen Versuche — gleichsam zur Unterhaltung — mit spielerischem Akzent zu durchsetzen [13], um auf diese Weise eine breitere Öffentlichkeit für den jeweils angesprochenen Effekt zu interessieren. Wohl die umfassendste Beschreibung solcher Versuche ist in der «Sammlung electricischer Spielwerke für junge Electriker» enthalten, die *Georg Heinrich Seiferheld*

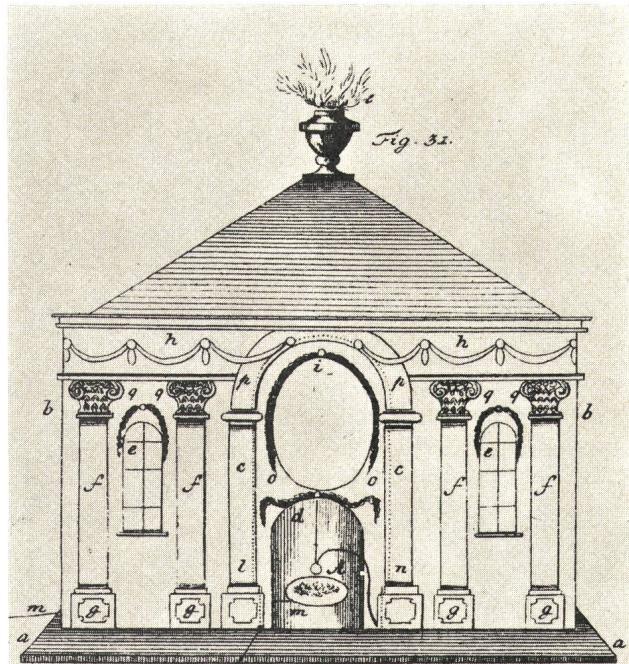


Fig. 7
Der erleuchtete Tempel [7]

Fig. 8
Elektrifikationskur nach Barneveld,
Apotheker zu Amsterdam [5]



verfasst hat [7], einstmals Ratsadvokat und schliesslich hochfürstlicher Senator. In seinem vielgestaltigen Repertoire an ergötzlichen Spielereien findet sich auch der erleuchtete Tempel (Fig. 7), der nach Gefallen gross oder klein gemacht werden kann und dessen Fassade mit verschiedenenfarbigen Gläsern abzudecken ist, die zum Erleuchten kommen, sobald das mit Kolophoniumstaub und Baumwollefädchen gefüllte Schälchen durch einen kleinen elektrischen Funken zur Entzündung gebracht worden ist. Es wird dann nicht nur das ganze Portal auf einen Augenblick erleuchtet sein — so schreibt *Seiferheld* —, sondern ebenso die Säulen und Fenster und die Dachurne wird sich mit einem grün brennenden Feuer darstellen.

Späterhin ist man auf die kuriose Idee gekommen, das aus Leydener Flaschen entnehmbare elektrische Feuer zum Anzünden von Nachttisch- und Kronleuchterkerzen zu verwenden, was immer dann am besten gelingen sollte, wenn die Kerzendochte von einem vorausgegangenen Nachtlicht noch nicht zur Gänze kalt geworden waren. Ob wohl diejenigen, die solche Zünder benutztten, über ihre Wirksamkeit höchst ergötzliche Freude empfunden haben konnten, oder stimmte es sie eher verdriesslich?

2.6 Elektrifikationskuren

Der Gedanke, die möglicherweise denkbaren biologischen Wirkungen des elektrischen Hochspannungsfeldes in Form von Elektrifikationskuren für Heilzwecke auszunutzen, ist erstmals von *Johann Gottlieb Krüger*, Professor der Medizin in Halle, in seiner im Jahre 1744 erschienenen Zuschrift an seine Zuhörer enthalten, worin er ihnen seine Gedanken von der Elektrizität mitteilt. Für diese neuartige Behandlung musste sich der Elektrifikationskandidat auf einen Isoliersessel begeben, wonach ihm dann mehr oder weniger starke elektrische Schläge versetzt worden sind (Fig. 8). Bei Lähmungen empfahl *Abbé de Sans* den Patienten, sich auf eine Isolierbank zu setzen, die über hänfene Stricke an der Decke befestigt worden war (Fig. 9), so dass der Arzt sich selbst auf einen Isolierschemel stellen musste, sofern er dem Kranken noch zusätzliche Behandlung zuteil werden lassen woll-

te. Es versteht sich von selbst, dass die Krügerschen Kuren nach dem Bekanntwerden der Leydener Experimente sehr viel schmerzhafter geworden sind, da die Patienten nunmehr den wirkungsvolleren Schlägen einer verstärkten Elektrizität — wie sie damals genannt wurde — ausgesetzt werden konnten, so dass der zu Behandelnde oft erst durch mühsames Zureden von der Wirksamkeit einer Elektrifikationskur überzeugt werden musste, sofern er es nicht von vornherein vorzog, auf eine solche Kur ganz zu verzichten, was verständlich gewesen sein mochte. Auch die Ausrufer auf den Jahrmarkten mussten ihren schaulustigen Zuhörern humorvolle Worte zusprechen, um sie endlich soweit zu bringen, sich für einen Schilling elektrisieren zu lassen (Fig. 10).

Ogleich mit läblicher Eloquenz manche Person von der Effizienz des elektrischen Fluidums überzeugt werden konnte, ist es nicht selten der Eigensinn einer maladen Madam gewesen, der einem vorzüglich nützlichen Gebrauch der Elektrizität unübersteigliche Hindernisse in den Weg legte. Vielleicht konnte es auch eine schreckensvolle Langeweile gewesen



Fig. 9
Isolierbankkur nach Abbé de Sans [3]



Fig. 10
«Elektrisiren für ein Schilling»
 Interpretation des Malers Christoffer Suhr

sein, die sie nachdenklich gestimmt haben mochte, denn in der Vorrede eines 1793 publizierten Buches des Utrechter Mediziners *J. R. Deiman* mit dem Titel «Von den guten Wirkungen der Elektricität in verschiedenen Krankheiten» wird wie folgt berichtet:

«Eben so fürchte ich, dass manche nervensieche Dame darum keinen Gebrauch von der Elektricität machen werde, weil sie so wenig bey demselben zu thun hat. Ihr wird eine Kur besser gefallen, wo Tropfen, Pillen, Pulver, Emulsionen, Lattwergen u. s.f. in bunter Mischung abwechseln, und alle Stunden eine Arzney die andere ablöst. Dies giebt doch Beschäftigung den ganzen langen Tag über, welche bey der Elektricität fast ganz wegfällt.»

2.7 Die Leydener Flasche

Es ist *Allamand* gewesen, einst-
mals Assistent bei Professor
Musschenbroek an der Universität
Leyden, der im Verlaufe eines Experi-
mentes mit Reibungselektrizität
erstmals die schlagversetzende Wir-
kung einer verstärkten Elektrizität
erfahren musste, die so nachhaltig

war, dass *Allamand* für einige Augenblicke den Atem verlor, wie sein Freund *Trembley* in einem Brief an den damaligen Präsidenten der Royal Society London vom 4. Februar 1745 berichtet hat. Auch Professor *Musschenbroek* musste bei einer Wiederholung des Experimentes einen höchst schrecklichen Schmerz empfunden haben und war deshalb über diesen neuartigen Effekt der Elektrizität so bestürzt, dass er einen ausführlich gehaltenen Brief an *René de Réaumur* in Paris schrieb, den er mit den Worten «En un mot, je croyois que c'étoit fait de mois» resümierte. Zweifellos musste der Professor der Meinung gewesen sein, dass es um ihn geschehen sei, denn während des Experimentes hatte sich die gespeicherte Elektrizität einer mit Wasser gefüllten Glasvase über seinen Körper entladen können.

Trotz dieser erschütternden Erfahrungen wurde die Wirksamkeit der verstärkten Elektrizität allseits erprobt, und zwar nicht nur an Einzelpersonen, sondern ebenso an ganzen Personenketten. Der grossartigste Schauversuch dieser Art fand bekanntlich im April des Jahres 1746 vor *Ludwig XV.* und seinem Hofstaat im Schloss Versailles statt, wo 180 Grenadiere der Königlichen Garde unerwartet ein gehöriger Schlag versetzt wurde, so dass alle Soldaten zur Belustigung der Zuschauer gleichzeitig in die Luft sprangen. Eigentlich ist es zu bedauern, dass es dazu keine zeitgenössischen Darstellungen gibt, in denen die Erschütterungseffekte sicherlich noch eindrucksvoller hätten wiedergegeben werden können. Immerhin hat der Verfasser anlässlich seiner Japanreise in einer in *Sōshū* geschriebenen Buchveröffentlichung [8] des Jahres 1813, die *Sōkichi Hashimoto*, Sohn eines Kaufmanns aus Osaka, verfasst hat, zufällig eine sitzende Personenkette gefunden, der offenbar ein erschütternder Gemeinschaftsschlag durch die dazwischen befindlichen Leydener Flaschen noch bevorzustehen scheint (Fig. 11).

Bei dem damals allerorts bekundeten Interesse für die Elektrizität und ihre Wunderwürdigkeiten musste es bald zu einem köstlichen Vergnügen werden, wenn man einer freundlich gestimmten Person ganz unvermittelt einen erschütternden Schlag versetzen konnte, wozu es an unterhaltsamen und



Fig. 11
Japanische Personenkette mit Leydener
Flaschen [8]



Fig. 12
Das Franklinsche Zauber Gemälde [4]

belustigenden Vorschlägen wahrlich nicht gefehlt hat. So findet sich in dem zum Nutzen und Vergnügen geschriebenen Büchlein von *Gütte* [6] eine Anweisung, in welcher Weise eine Flasche einzurichten ist, damit die Person, die sie öffnen will, eine Erschütterung bekommt:

«Man nehme hierzu, so heisst es in dem Büchlein, eine Weinbouteille, deren Glas dunkel und undurchsichtig ist, z. B. eine Burgunder- oder Champagnerflasche, fülle sie auf zwey Dritteln ihrer Höhe mit Wasser oder Wein, verstopfe sie, und stecke durch den Stöpsel einen Draht oder Nagel, der die Flüssigkeit in der Flasche berührt, stelle die Flasche in ein bleichernes Futteral, das von aussen so hoch ist als die Flüssigkeit in der Flasche und aus welcher man sie leicht herausnehmen kann, wenn sie geladen ist... Will man eine Person mit dieser so geladenen Flasche erschüttern, so gebe man sie ihr hin unter dem Vorwand, ihr den darin enthaltenen Wein vorzusetzen und ersuche, sie solle sie öffnen, wobei sie eine Erschütterung in eben diesem Augenblick empfangen wird.»

In einem anderen von *d'Inarre* verfassten Büchlein [4] über die Elektrizität findet sich eine Beschreibung des Franklinschen Zauber Gemäldes (Fig. 12), das allen jenen einen kräftigen Schlag zu versetzen vermochte, die das Gemälde zu berühren wünschten. Nur der eingeweihte Magier konnte dies ohne Erschrecklichkeit tun. «Nun begreift man leicht, dass dieses Gemälde nichts andres vorstellt und nicht anders wirkt, als es eine Verstärkungsflasche thut.»

Es ist gut so, dass nicht alle elektrischen Spielwerke jener Zeit für den uneingeweihten und zu meist ahnungslosen Zuschauer so wenig sympathisch in ihrer Wirksamkeit abgelaufen sind. Wieviel angenehmer liest sich in dieser Hinsicht das in der Seiferheldschen Sammlung beschriebene elektrische Kartenspiel, das im Prinzip darauf beruhte, aus einem Paket von acht Herzkarten eine Karte zu wählen, die dann, sofern sie in die Vorrichtung der Fig. 13 richtig eingelegt und danach eine kleine Leydener Flasche zur Entladung angesetzt wor-

Fig. 13
Das elektrische Kartenspiel [7]

den war, mit der entsprechenden Anzahl roter Herzen aufleuchtete, worüber diejenige Person, welche die betreffende Karte gezogen hatte, höchst erfreulich gestimmt wurde.

Aber bald kam die Zeit, in der man mit immer noch grösseren Leydener Flaschen zu hantieren begann, bis schliesslich explosionsartige Wirkungen des Hochspannungsfeldes erzielt werden konnten. Dabei ist es auch zu unvermuteten Erschütterungen der experimentierenden Personen gekommen, die sie am ganzen Leib erzittern liessen und manches Mal erbarmungslos zu Boden warfen. So hat man erstmals erkennen müssen, dass die Elektrizität auch für den Menschen höchst gefährlich werden kann.

2.8 Das Becherexperiment

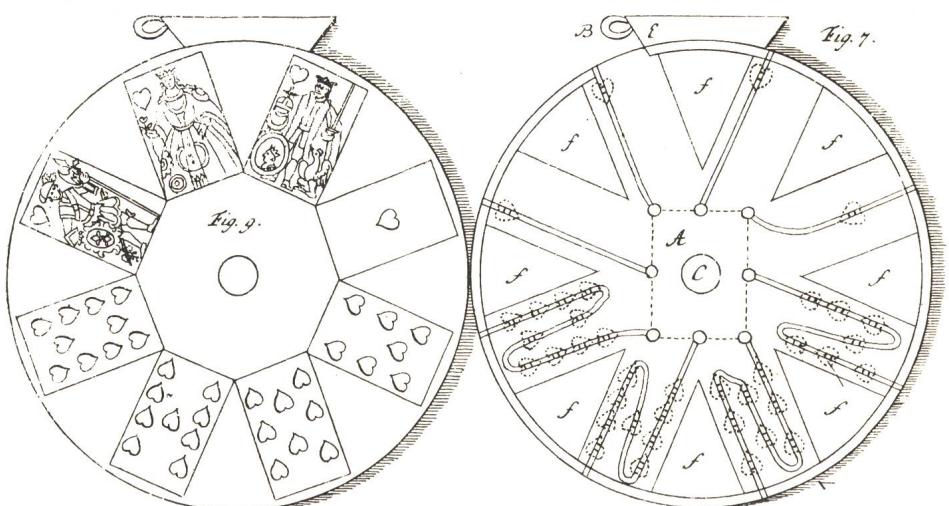
Es ist nicht allgemein bekannt, dass bereits *Benjamin Franklin* in einem vom 18. März 1755 datierten Brief darüber berichtet hat, dass eine an einem Seidenfaden aufgehängte Korkkugel, sofern sie in das Innere eines elektrisch geladenen Silberbechers eingeführt wird, keinerlei Anzeichen einer Anziehung erfahre und selbst nach einem Berühren des Becherbodens keine elektrische Ladung zeige.

In Fig. 14 ist eine eindrucksvolle Demonstration dieses Experimentes dargestellt, die erkennen lässt, dass das innerhalb des Gitterbechers befindliche Hollundermark-Elektroskop keine Ladung anzeigt, obwohl das in den Becher hereinführende Metallstäbchen geladen ist, was aus dem starken Ausschlag des zweiten Elektroskopes deutlich hervorgeht.

Franklin kommentierte das Becherexperiment einstmals mit der Bemerkung: «You require the reason; I do not know it.» Aber selbst *Priestley*, der das Experiment 11 Jahre später wiederholt hatte, konnte keine Erklärung für das offenbar merkwürdige Verhalten der Korkkugel finden. Dies ist *Michael Faraday* vorbehalten geblieben.

3. Zur Berechenbarkeit des elektrischen Feldes

Durch die Entwicklung einer sich mehr und mehr verfeinernden Experimenterkunst hat sich verständlicherweise die Notwendigkeit ergeben, die gewonnenen Ergebnisse durch mathematische Überlegungen zu ergänzen, um so nützliche Hinweise für weitere Betrachtungen zu gewinnen. Erste Ansätze zu einem solchen Vorgehen finden sich in einer bemerkenswerten Arbeit des englischen Privatgelehrten *Henry Cavendish* aus dem Jahre 1771. Dann ist es *Pierre Simon de Laplace* gewesen, einstmals Examinator des Königlichen Artilleriekorps zu Paris und später Vizepräsident des fran-



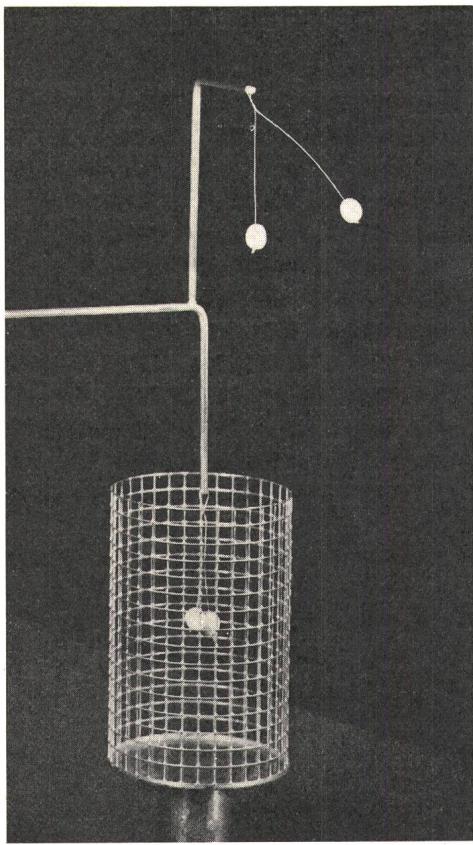


Fig. 14

Demonstration zum Franklinschen Becherexperiment

zösischen Senats, der in einer hervorragenden Arbeit des Jahres 1782 mit dem Titel «Théorie des attractions des sphéroïdes et de la figure des planètes» zum ersten Mal seine berühmt gewordene und später nach ihm benannte Potentialgleichung in Kugelkoordinaten veröffentlicht hat. Drei Jahrzehnte später war es dann sein Zeitgenosse *Simon Denis Poisson*, Professor für Mechanik an der Pariser Ecole Polytechnique, der eine ebenso bedeutsame Arbeit über die Anwendung der Laplaceschen Gleichung auf das massenbehaftete Gravitationsfeld und damit auch auf das raumladungsbeschwere elektrische Feld veröffentlicht hat. Damit konnte nicht ausbleiben, dass im Verlauf der weiteren Entwicklung hervorragende Physiker und Mathematiker des vergangenen Jahrhunderts den mannigfältigen Problemen des elektrischen Hochspannungsfeldes besondere Aufmerksamkeit geschenkt haben, insbesondere nachdem *James Clark Maxwell* mit seinem im Jahre 1873 erschienenen Werk «A Treatise on Electricity and Magnetism» zur wissenschaftlichen Konsolidierung des Feldgedankens entscheidend beigetragen hatte.

In der Denkweise einer modernen Feldtheorie haben sich für die Berechnung elektrischer Hochspannungsfelder aus der Laplaceschen Potentialgleichung leistungsfähige Rechenverfahren durchgesetzt [12], die in ihrer Anpassungsfähigkeit und schnellen Auswertbarkeit über ein Zeichengerät (Fig. 15) bereits ein hohes Mass an Perfektion erreicht haben, so dass der hochspannungstechnisch orientierte Wissenschaftler und Ingenieur von heute diese Verfahren für die Lösung konkreter Aufgaben bestens anwenden kann. Welche Fortschritte in dieser Hinsicht erzielt worden sind, möge einer kürzlich erschienenen Arbeit von *H. Steinbigler* [18; 21] entnommen werden, in der ein elegantes Digitalverfahren zur Ermittlung des Feldverlaufes rotationssymmetrischer Mehrelektroden-

systeme mit weitgehend beliebig geformten Konturen beschrieben worden ist. Es beruht im Prinzip darauf, die an der Elektrodenoberfläche sitzenden wahren Ladungen durch eine lineare Überlagerung diskretisierter, fiktiver Ladungen, die im allgemeinsten Fall aus Punkt-, Linien- und Ringladungen bestehen können, derart nachzubilden, dass das Oberflächenpotential möglichst an allen Konturpunkten gleich dem eingravierten Elektrodenpotential wird. Trifft dies zu, dann kann sowohl das Potential als auch die Feldstärke in jedem beliebigen Aufpunkt des gesamten Feldsystems und damit auch für den Bereich höchster Feldkonzentration unmittelbar analytisch ermittelt werden. Dieses Verfahren hat den grossen Vorteil, dass der Feldbereich nicht abgegrenzt zu sein braucht, wie im Falle der Differenzenmethode, und darüber hinaus kann bei entsprechender Programmierungs-Strategie erheblich an Rechenzeit eingespart werden. Damit ist erstmalig die Möglichkeit geboten, technische Elektrodensysteme rasch auf ihre Feldgüte zu überprüfen und den Einfluss von Zuleitungselektroden, beispielsweise der Schäfte von Kugelfunkenstrecken, abzuschätzen. In einer Weiterentwicklung dieses Punkt-Linien-Ring-Ladungsverfahrens, wie es genannt sei, hat *H. Singer* zusätzlich sich periodisch ändernde Ladungsverteilungen eingeführt, wodurch es möglich geworden ist, das elektrische Feld von Gitterelektroden in Form von Gitterebenen, Gitterzylindern und Gitterkugeln (Fig. 16) zu berechnen [22]. Nach einem Vorschlag von *P. Weiss* können auch Zweistoffdielektrika behandelt werden [24].

Trotz der zweifellos beachtlichen Anstrengungen, die in diesem Jahrzehnt im Hinblick auf eine gezielte Anwendung der Laplaceschen Potentialgleichung auf technische Probleme

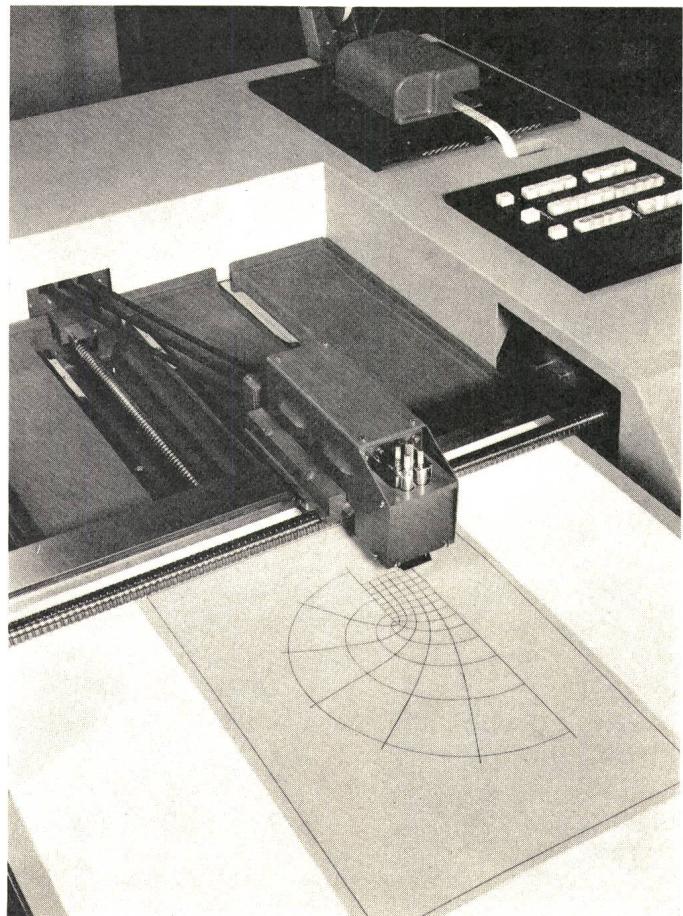


Fig. 15
Zuse-Graphomat des Leibniz-Rechenzentrums München mit Feldbild

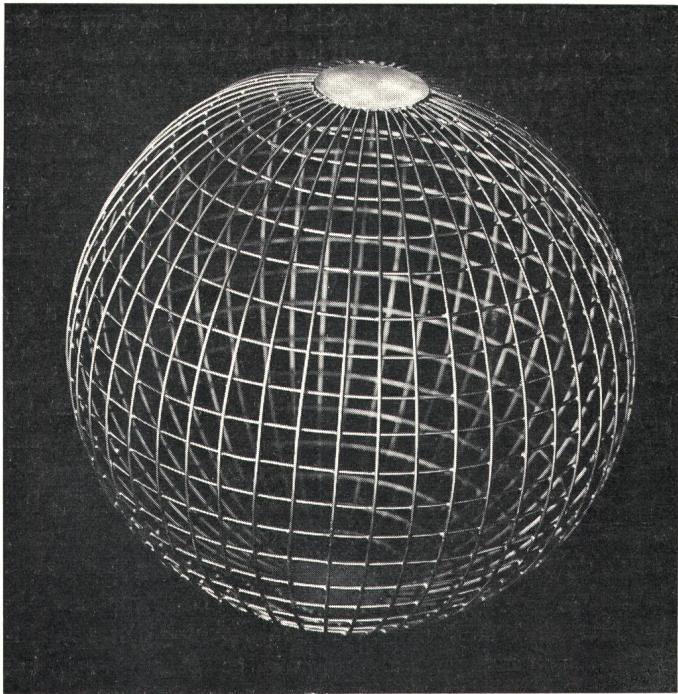


Fig. 16
Gitterkugel [22]

der Hochspannungstechnik zu verzeichnen sind, wird noch manche Aufgabe zu lösen sein. In noch viel stärkerem Masse trifft dies für jegliche Art raumladungsbehafteter Hochspannungsfelder zu, wenn bedacht wird, dass im technischen Bereich der Durch- oder Überschlag einer Isolieranordnung zumeist aus einer bereits vorhandenen Vorentladung erfolgt, wie beispielsweise an einer Stab/Stab-Funkenstrecke (Fig. 17) oder einer Stab/Platte-Funkenstrecke. Die Lösung solcher Raumladungsprobleme, die für die Praxis von allergrösster Bedeutung sind, wird sich nur in einer sinnvollen Synthese zwischen einer noch zu entwickelnden hochwertigen Messtechnik und einer mathematischen Ansteuerung der Poisson-schen Gleichung erfolgreich vollziehen lassen. Aus dieser Sicht eröffnet sich dem forschungsbegabten Hochspannungstechniker ein heute noch nicht übersehbares Betätigungsgebiet, sei es in einer subtileren Experimentierkunst oder sei es in einer überlegenen Anwendung hochwertiger Feldkalküle.



4. Bedeutung des Hochspannungsfeldes

Bei einem solchen Variationsreichtum an noch zu lösenden Problemen mag es angebracht sein, mit einigen Worten auf die Bedeutung des Hochspannungsfeldes im allgemeinen einzugehen, ähnlich wie es *D. Kind* in einer lebenswerten

Fig. 17
Polaritätseffekt an einer Stab/Stab-Funkenstrecke bei hoher Gleichspannung
Oberstab negativ, Unterstab positiv

Arbeit [16] über den heutigen Stand der Hochspannungstechnik getan hat.

Eine darauf abgestellte Analyse lässt erkennen, dass das Hochspannungsfeld in erster Linie für die isolationsmässige Dimensionierung der vielfältigen Betriebseinrichtungen einer auf Sicherheit bedachten Elektrizitätsversorgung eine Rolle spielt, und zwar nicht nur für den stationären Betriebszustand, sondern vor allem auch im Hinblick auf die bei Schalthandlungen und Blitzschlägen auftretenden Überspannungen, deren Beherrschung besonderer Aufmerksamkeit bedarf. Bis zu einem gewissen Grade sind derartige Überlegungen auch für die Bahnstromversorgung von Interesse, wenigstens soweit es die Isolation von Unterwerken, Fahrleitungen und Lokomotivtransformatoren mit ihren Schalteinrichtungen betrifft. Ein besonders hohes Mass an die Beherrschung des elektrischen Feldes wird für den Bau von Linearbeschleunigern zu fordern sein, für deren Auslegung Betriebsspannungen von einigen Millionen Volt zum derzeitigen Stand der Technik gehören. Die nach dem Greinacherschen Kaskadenprinzip gebauten Beschleuniger werden heute in mannigfaltiger Weise verwendet, wie beispielsweise für kernphysika-

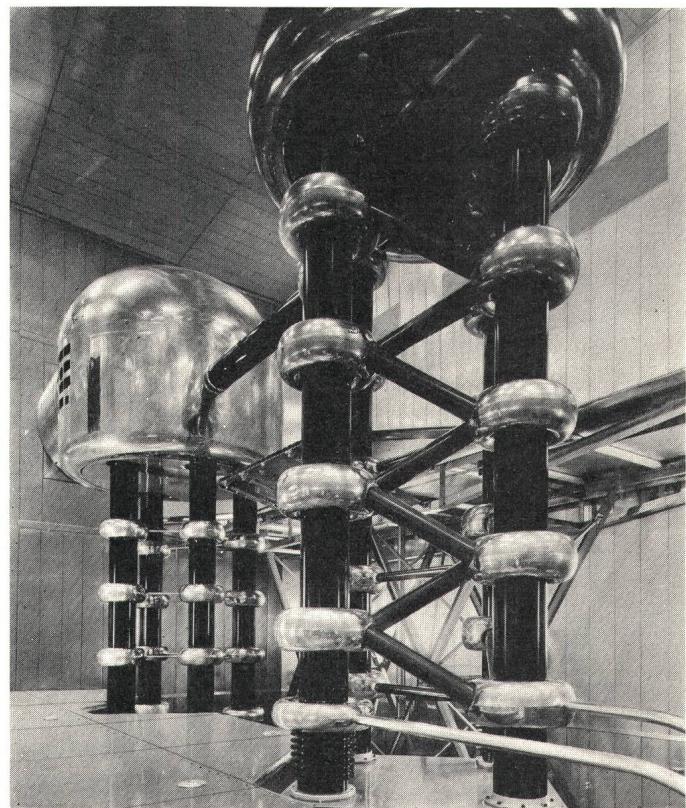


Fig. 18
800-kV-Injektor eines 12,5-GeV-Synchrotrons

lische Untersuchungen sowie für industrielle Bestrahlungszwecke zur Sterilisation von Lebensmitteln und Medikamenten oder auch für die Röntgen- und Elektronenmikroskopie und schliesslich für Injektoren von Mehrfachbeschleunigern (Fig. 18). Neben Kaskadengeneratoren haben sich Van de Graaffsche Band- und Isolierkerngeneratoren in Drucktankausführung als Hochspannungsquelle von Linearbeschleunigern bewährt, für die bereits Beschleunigungsspannungen von 15 MV erreicht worden sind. Im Hinblick auf den bei solchen Anlagen vorgegebenen extremen Spannungsbereich wird verständlich, dass nur gut fundierte Kenntnisse über die Eigen-



Fig. 19

Euro-Verbundnetz mit 3,3 Millionen km² und 310 Millionen Einwohnern [20]

- ◆◆◆◆◆ Gebiete gleicher Netzfrequenz
- HGÜ-Verbindungen
- ◆◆◆◆◆ Über HGÜ angeschlossene Gebiete

schaften des Hochspannungsfeldes zu optimierten Gerätekonstruktionen führen können. Diese werden auch dann erforderlich sein, wenn es sich um die Planung und den Bau von Hochspannungs-Prüfanlagen für die Industrie oder für Lehr- und Forschungsinstitute handelt, da in solchen Fällen immer ein Zuschnitt auf schwierigste Betriebsbedingungen zu erwarten sein wird. Schliesslich möge nicht unerwähnt bleiben, dass dem Hochspannungsfeld auch in der Hochfrequenztechnik eine gewisse Bedeutung zukommt, so weit es den Bau von Senden- und Antennenanlagen anbelangt. Für die Lösung aller damit zusammenhängenden Hochspannungsprobleme wird es sich wohl immer in erster Linie darum handeln müssen, das elektrische Feld genau zu analysieren, um auf diese Weise zu hochspannungstechnisch brauchbaren

Lösungen zu kommen. In jüngster Zeit scheinen auch die Plasmaphysik ebenso wie die Raumfahrt an einem solchen Konzept interessiert zu sein.

Bei dieser Situation wird sich auch die an den Hoch- und Fachhochschulen gepflegte Lehre der Hochspannungstechnik auf eine entsprechende Stoffselektion ausrichten müssen mit dem Ziel, den Ingenieurnachwuchs bereits während des Studiums mit den Grundprinzipien einer hochspannungsorientierten Feldtheorie und ihren Anwendungsmöglichkeiten vertraut zu machen [20]. Darüber hinaus ist es aber auch vordringlich geworden, dem Studierenden die physikalischen Erscheinungsformen des elektrischen Hochspannungsfeldes anhand entsprechend ausgewählter Experimente, die wenigstens im Spannungsbereich einiger Hunderttausend Volt ablaufen sollten, möglichst eindrucksvoll zu demonstrieren [14].

5. Ein Blick in die Zukunft

Ein Zukunftsdenken aus der Perspektive der Hochspannungstechnik wird sich in erster Linie auf eine Elektrizitätsversorgung der nächsten Jahrzehnte ausrichten müssen, die im technischen Geschehen unserer Zeit in einem kaum vorstellbaren Masse das unermessliche Energiepotential der Welt wird erschliessen müssen, um damit die wachsenden Ansprüche einer mehr und mehr sich technisierenden Gesellschaft erfüllen zu können. Es ist einleuchtend, dass die Bereitstellung elektrischer Energie in einem den zukünftigen Dienstleistungen gerecht werdenden Masse neben dem Bau von Kraftwerken stetig wachsender Leistungen von 10000 MW und mehr die Errichtung von Übertragungsanlagen immer höher werdender Betriebsspannungen voraussetzt, um derartig geballte Leistungen in die Belastungsschwerpunkte zukünftiger Versorgungsnetze hereinführen zu können, sei es im Rahmen einer konventionellen Hochspannungs-Drehstrom-Übertragung (HDÜ) oder in Verbindung mit einer Hochspannungs-Gleichstrom-Übertragung (HGÜ), die nicht zuletzt durch die bedeutsamen Fortschritte auf dem Thyristorgebiet mehr und mehr an Bedeutung gewinnen wird. So

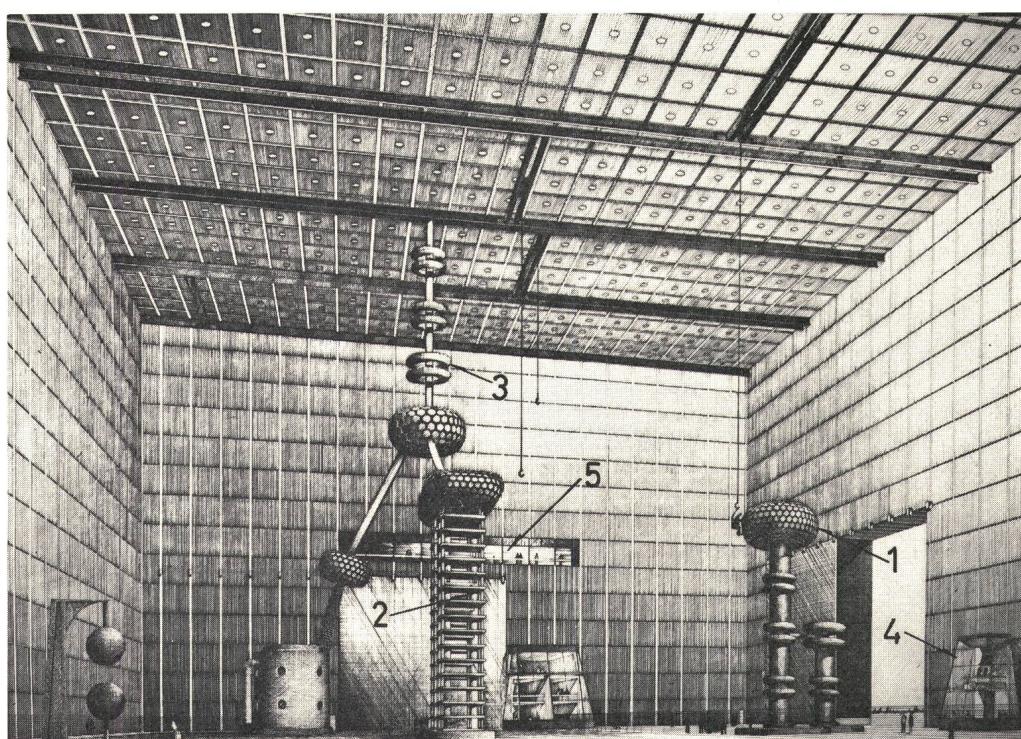


Fig. 20

280 000 m³ Höchstspannungshalle der Hydro-Quebec, Montreal

Modellaufnahme
1 2,1-MV-Prüfkaskade; 2 6,4-MV-Stossgenerator; 3 Spannungsteiler; 4 Steuerstand; 5 Beobachtungsgalerie

wird die Zeit abzusehen sein, dass Übertragungsanlagen für einen 1000/1500-kV-Ultraspennungsbereich entwickelt, gebaut und geprüft werden müssen [17; 23]. Auch für eine europäische Elektrizitätsversorgung werden solche Überlegungen eine Rolle spielen müssen, wenn man bedenkt, dass das derzeit bestehende *Euro*-Verbundnetz (Fig. 19), das von Hammerfest nördlich des Polarkreises über 4000 km hinweg bis nach Portopalo im südlichsten Sizilien und von Lissabon im Westen über 3000 km hinweg bis nach Hattuvaara an der Ostgrenze Finnlands reicht, mit seinen vier HGÜ-Verbindungen eine Engpassleistung von über 200 000 MW umfasst und die Lastspitze in den Gebieten gleicher Netzfrequenz im Dezember 1968 bereits 93 000 MW betragen hat. Bei einem Ansteigen des Energieverbrauches im bisherigen Umfang wird sicherlich im Laufe dieses Jahres die 100 000-MW-Grenze überschritten werden und im Jahre 1980 eine Lastspitze von 200 000 MW zu erwarten sein. Dann wird auch der Zeitpunkt gekommen sein, von dem bestehenden 400-kV-Niveau auf eine zukunftsorientierte Ultraspennungsebene überzugehen.

Bei diesem ausgeprägten Trend zur Leistungsballung wird es sich nicht umgehen lassen, die für einen Ultraspennungsbereich notwendigen Forschungs- und Prüfanlagen so bald wie möglich einzurichten, damit einer Elektrizitätsversorgung von morgen die bis dahin erforderliche Technik zur Verfügung steht. Wie schnell die Entwicklung in dieser Hinsicht voranschreitet, mag die Tatsache erhäusern, dass bereits im Laufe dieses Jahres zwei Ultraspennungsinstitute in Betrieb genommen werden sollen, und zwar eine Anlage im Bereich der EdF mit einer rund 195 000 m³ umfassenden Höchstspannungshalle in Les Renardières und eine zweite Anlage mit einer Höchstspannungshalle von rund 280 000 m³ (Fig. 20), die auf dem grosszügig angelegten Forschungszentrum der Hydro-Quebec etwa 24 km südöstlich von Montreal errichtet wird.

In Anbetracht dieses wirklichkeitsnahen Voranschreitens wird man vorbehaltlos zu der Meinung kommen müssen, dass das elektrische Feld auch weiterhin eine führende Rolle für die Übertragung und Verteilung elektrischer Energie im Verbande einer an Betriebssicherheit gewohnten Elektrizitätsversorgung spielen wird.

Noch ein bemerkenswerter Aspekt scheint sich für die Hochspannungstechnik abzuzeichnen, nämlich die bisher ungelöste Problematik einer kontrollierten Kernfusion [19]. Nachdem die bisher erzielten Energiedichten für die Zündung einer Verschmelzungsreaktion offenbar nicht ausgereicht haben, sind vor einiger Zeit von F. Winterberg zwei neuartige Verfahren vorgeschlagen worden, für die in dem einen Fall eine Marxsche Stossanlage mit 10 000 kW speicherbarer Energie notwendig sein würde und in dem anderen eine spezielle Torus/Kugel-Funkenstrecke entwickelt werden müsste. Das Ziel einer gelenkten Kernfusion würde dann in erster Näherung erreicht sein, wenn es gelänge, die entstehenden Explosionsimpulse raschestens aufeinander folgen zu lassen.

Nicht minder faszinierend könnte die Verwirklichung eines langgehegten Wunschtraumes der Elektronenmikroskopie sein, durch Steigerung der Beschleunigungsspannung auf 1 bis 2 Millionen Volt ein Auflösungsvermögen von unter einem Å — einem Zehnmillionstel Millimeter — zu erreichen, wodurch sich erstmals die Möglichkeit eröffnen

würde, die einzelnen Atome innerhalb eines Molekülverbandes direkt zu sehen. Die Erkenntnisse, die sich mit einem derart höchstauflösenden Höchstspannungs-Elektronenmikroskop erreichen liessen, würden vor allem einer Gefügeanalyse hochpolymerer Kunststoffe ebenso wie einem neuartigen biochemischen Strukturdenken zugute kommen und die noch phantasievollere Perspektive erahnen lassen, die wunderbare Ordnung eines genetischen Mikrokosmos visuell zu ergründen [25]. Würde es dann nicht gleichsam die Elektrizität diskreter Elementarteilchen sein, die eine von Elektrizität durchdrungene Biogenese wirkungsvoller deuten liesse?

So liegt zwischen der einstigen Verwirklichung eines Gilbertschen Vorsioriums und den vielgestaltigen Aufgaben einer modernen Hoch- und Höchstspannungstechnik eine Zeit meisterhaften Experimentierens und schöpferischen Denkens, die uns die Elektrizität mit ihren Wunderwürdigkeiten unaufhaltbar näher gebracht hat. Bei diesem stetigen Voranschreiten konnte sich das elektrische Feld in einem kaum übersehbaren Variationsreichtum in ein technisches Geschehen hineinspielen, in dem die Elektrizität bereits zu einer dienstbaren Macht allerhöchsten Ranges geworden ist. In dieser Machtentfaltung wird das Hochspannungsfeld auch für die Zukunft gleichsam als unsichtbares Medium wirksam sein und auf diese Weise dazu beitragen, den Menschen in eine Welt besinnlicheren Denkens hineinzuführen.

Literatur

- [1] F. Hauksbee: An account of an experiment made before the Royal Society at Gresham-Colledge, touching the extraordinary elisticity of glass, producable on a smart attrition of it; with a continuation of experiments on the same subject, and other phenomena. Philosophical Transactions 25(1706/1707)308, p. 2327...2335.
- [2] Abbé J.-A. Nollet: Essai sur l'électricité des corps. Paris, Guérin, 1746.
- [3] Abbé de Sans: Neue und durch die Erfahrung vollkommen bestätigte Anweisung, wie die von einem Schlagfluss gelähmte Kranken vermittelst der Electricität sicher und vollkommen geheilt werden. Augsburg, Klett und Frank, 1780.
- [4] C. F. d'Inarre: Anfangsgründe der Naturlehre. Teil 1: Von der Elektrizität. Frankfurt, Andreä, 1784.
- [5] W. van Barneveld: Geneeskundige electriciteit. Amsterdam, J. Elwe en D. M. Langeveld, 1785.
- [6] J. C. Gütle: Versuche, Unterhaltungen und Belustigungen aus der natürlichen Magie zur Lehre, zum Nutzen und zum Vergnügen bestimmt. Leipzig/Jena, Schneider u. W., 1791.
- [7] G. H. Seiferheld: Sammlung elektrischer Spielwerke für junge Electriker. Lieferung IV und VI. Nürnberg/Altdorf, Monath und Kussler, 1791/1795.
- [8] S. Hashimoto: Oranda shisei erekiteru kyūrigen. 1813 (in japanisch).
- [9] T. Karass: Telegraphen- und Fernsprechtechnik in Einzeldarstellungen. IV. Geschichte der Telegraphie, Braunschweig, Vieweg, 1909.
- [10] H. Prinz: 200 Jahre Experimentierkunst mit Reibungselektrizität. Bull. SEV 55(1964)1, S. 1...21.
- [11] H. Prinz: Feuer, Blitz und Funke. München, Bruckmann 1965.
- [12] H. Prinz: Zur Feldberechnung von Höchstspannungs-Übertragungsanlagen. Bull. SEV 57(1966)26, S. 1199...1211.
- [13] F. Fraunberger: Elektrische Spielereien im Barock und Rokoko. Abhandlungen und Berichte Deutsches Museum 35(1967), S. 5..45.
- [14] H. Prinz: Belehrsame Experimentierkünste über den Blitz. Bull. SEV 59(1968)1, S. 2..13.
- [15] A. L. McAlester: The history of life. Englewood Cliffs, N. J., Prentice Hall, 1968.
- [16] D. Kind: Hochspannungstechnik heute. ETZ-B 21(1969)3, S. 49...53.
- [17] H. Prinz: Warum Höchstspannungsprüffelder. ETZ-B 21(1969)4, S. 73...78.
- [18] H. Steinbigler: Angangsfeldstärken und Ausnutzungsfaktoren rotations-symmetrischer Elektrodenanordnungen. Diss. Technische Hochschule München 1969.
- [19] E. Zachmann und W. Kranzer: Neue Wege zur kontrollierten Kernfusion. Physikalische Blätter 25(1969)3, S. 135...137.
- [20] H. Prinz: Hochspannungsfelder. München, Oldenbourg, 1969.
- [21] H. Steinbigler: Digitale Berechnung elektrischer Felder. ETZ-A 90(1969)25, S. 663...666.
- [22] H. Singer: Das elektrische Feld von Gitterelektroden. ETZ-A 90(1969)25, S. 682...686.
- [23] L. Paris: The future of UHF transmission lines. IEEE Spectrum 6(1969)9, p. 44...51.
- [24] P. Weiss: Berechnung von Zweistoffdielektrika. ETZ-A 90(1969)25, S. 693...694.
- [25] H. Goeschel: Die technologischen Entwicklungen und unsere Zukunft. Universitas 24(1969), S. 847...862.

Adresse des Autors:

Prof. Dr. Hans Prinz, Direktor des Institutes für Hochspannungs- und Anlagenbau der Technischen Hochschule München, Arcisstr. 21, D-8000 München.