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

Herausgeber: Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen

Band: 65 (1974)

Heft: 1

Artikel: Nachdenkenswertes über nützliche Elektrizität = Méditations sur l'électricité utile

Autor: Prinz, H.

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-915335

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: 02.10.2025

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

BULLETIN
des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins
de l'Association Suisse des Electriciens
des Verbandes Schweizerischer Elektrizitätswerke
de l'Union des Centrales Suisses d'électricité

Elektrotechnik – Electrotechnique

Nachdenkenswertes über nützliche Elektrizität

Von H. Prinz

Méditations sur l'électricité utile

Par H. Prinz

537.004.17(091)

Im ereignisreichen Geschehen einer faszinierenden Geschichte der Elektrizität, in deren Ablauf sich verdienstvolle Gelehrte und Freunde der Naturlehre – sei es aus neugierigem Verlangen oder belustigendem Zeitvertreib – um ein besseres Verstehen ihrer Erscheinungsformen bemüht haben, war es unausbleiblich, dass mehr und mehr ihre erstaunliche Nützlichkeit verstanden worden ist. Ein allererstes Beginnen dieser Art ist jedoch erst um die Mitte des 18. Jahrhunderts erkennbar, als man gelernt hatte, mit Reibungselektrizität geschickter umzugehen und ihre mannigfachen Phänomene anhand wohldurchdachter Experimente zu ergründen, wobei der menschliche Konduktor als vorzügliche Zurüstung eine bedeutsame Rolle gespielt haben musste. Höchst anschaulich ist diese Art von Experimentierkunst durch die Eleganz eines amüsanten Bildes vorgestellt worden, das in dem hervorragend ausgestatteten «Nuovo dizionario scientifico e curioso sacro-profano» von *Gianfrancesco Pivati*, einstmals Archivar an der Universität Bologna, zu finden ist [4] [1]) und eine Persona Elettrizata in schicklicher Pose mit der sie umgebenden Gerätschaft darstellt (Fig. 1).

Beginnende Medicina Electrica

Demzufolge konnte es wohl kein Zufall gewesen sein, dass ein Nützlichkeitsdenken zuerst in Hinsicht auf die physiologischen Wirkungen der Elektrizität vermerkbar war, zumal sich auch Arzneigelehrte mit Rang und Namen an den Experimenten jener Zeit beteiligt haben und die ärztliche Kunst sich zudem von einer Medicina Electrica überraschende Heilerfolge versprechen musste.

Unbestreitbar ist es *Johann Gottlob Krüger* gewesen (Fig. 2), der sich um Gedanken solcher Art erstmals bekümmert hatte. Durch ein gelungenes Traktat über die Naturlehre bekannt geworden [1] und schon mit 28 Jahren zum Professor für Medizin an die Friedrichsuniversität Halle be-

[1]) Siehe Literatur am Schluss des Aufsatzes.

La fascinante histoire de l'électricité, si fertile en événements de tout genre, et au cours de laquelle des savants émérites et des naturalistes s'efforcèrent de mieux en comprendre les phénomènes apparents – soit par curiosité, soit par passe-temps –, devait nécessairement aboutir à la compréhension de son étonnante utilité. Cela ne débuta cependant que vers le milieu du 18e siècle, lorsqu'on eut appris à s'occuper plus habilement de la tribo-électricité et à approfondir ses multiples phénomènes par des expériences bien conduites, l'expérimentateur lui-même ayant joué un rôle important. Ce genre d'expérimentation très remarquable a été représenté d'une façon élégante et amusante dans le «Nuovo dizionario scientifico e curioso sacro-profano» de *Gianfrancesco Pivati,* archiviste à l'Université de Bologne [4][1]), où une Persona Elettrizata est représentée dans une pose convenable, avec l'appareillage qui l'entourait (fig. 1).

Débuts de la Medicina Electrica

Ce n'est donc pas par hasard que l'on se soit rendu compte de l'utilité de l'électricité tout d'abord par ses effets physiologiques, d'autant plus que des pharmacologues réputés participèrent à ces premières expériences et que la médecine devait en outre espérer des guérisons spectaculaires avec une Medicina Electrica.

Johann Gottlob Krüger (fig. 2) fut manifestement celui qui s'occupa pour la première fois d'idées de ce genre. Connu par un excellent traité sur les sciences naturelles [1] et nommé professeur de médecine à l'université de Halle, alors qu'il n'avait que 28 ans, Krüger manifesta un louable intérêt aux phénomènes à peine croyables de corps électriques, qui se percevaient non seulement par l'ouïe et l'odorat, mais encore plus nettement par le toucher, lorsqu'on en approchait la main et que l'on en recevait une douleur pénétrante comme celle d'une aiguille, souvent suivie de taches

[1]) Voir la bibliographie à la fin de l'article.

rufen, bekundete er löbliches Interesse an den kaum glaublichen Erscheinungen elektrischer Körper, die sich nicht nur im Gehör und Geruch, sondern noch deutlicher durch das Gefühl bemerkbar machten, sofern man mit der Hand in ihre Nähe kam und dann einen durchdringenden Schmerz wie beim Stechen mit einer Stecknadel hinnehmen musste, mit oftmals sich einstellenden rötlichen Flecken auf den betroffenen Hautpartien. In Wahrnehmung dieser Wirkungen und von der Überzeugung getragen, dass vorzüglich darauf abgestellte Experimente zu einer Vertiefung der Artzneygelahrtheit – wie die Arzneiwissenschaft damals genannt wurde – beitragen müsste, hatte den jungen Professor dazu bewogen, im Laufe des Jahres 1743 eine Zuschrift an seine Hörer zu verfassen, worin er ihnen von seinen Vermutungen und Gedanken über die Elektrizität Mitteilung machte und dabei erstmals von einer neuen Art zu kurieren spricht, so er schrieb [2]:

«Wenn nun die Electricität nicht nur Flecken auf der Haut zu erregen, sondern auch durch den gantzen Cörper sich fortzupflantzen vermögend ist, so wird man nicht zweiffeln, dass durch die Electrification auch in den verborgensten Theilen des menschlichen Leibes Veränderungen hervorgebracht werden können, sie mögen auch bestehen worinnen sie nur immer wollen. Alles aber was da geschickt ist, Veränderungen in dem menschlichen Leibe zu verursachen, das kan gebraucht werden, die verlohrne Gesundheit wieder herzustellen oder die gegenwärtige zu erhalten, wenn man sich nur desselben zu gehöriger Zeit und an rechten Orte bedienet. Würde also hieraus nicht folgen dass das electrificiren eine neue Art zu curieren sey.»

rougeâtres sur les parties touchées de la peau. S'étant rendu compte de ces effets et étant persuadé que des expériences bien conduites devaient permettre un approfondissement de la pharmacologie, le jeune professeur rédigea, en 1743, à l'intention de ses auditeurs, un article pour leur communiquer ses présomptions et ses idées au sujet de l'électricité et où il mentionna pour la première fois une nouvelle méthode de traitement [2]:

«Wenn nun die Electricität nicht nur Flecken auf der Haut zu erregen, sondern auch durch den gantzen Cörper sich fortzupflantzen vermögend ist, so wird man nicht zweiffeln, dass durch die Electrification auch in den verborgensten Theilen des menschlichen Leibes Veränderungen hervorgebracht werden können, sie mögen auch bestehen worinnen sie nur immer wollen. Alles aber was da geschickt ist, Veränderungen in dem menschlichen Leibe zu verursachen, das kan gebraucht werden die verlohrne Gesundheit wieder herzustellen oder die gegenwärtige zu erhalten, wenn man sich nur desselben zu gehöriger Zeit und an rechten Orte bedienet. Würde also hieraus nicht folgen dass das electrificiren eine neue Art zu curieren sey.»

et dont voici une traduction:

«Etant donné que l'électricité peut non seulement provoquer des taches sur la peau, mais se propager également à travers tout le corps, il n'est pas douteux que, par l'électrification, des modifications peuvent être produites dans les parties les plus cachées du corps humain, elles peuvent aussi demeurer à n'importe quel endroit. Mais, tout ce qui permet de causer des modifications

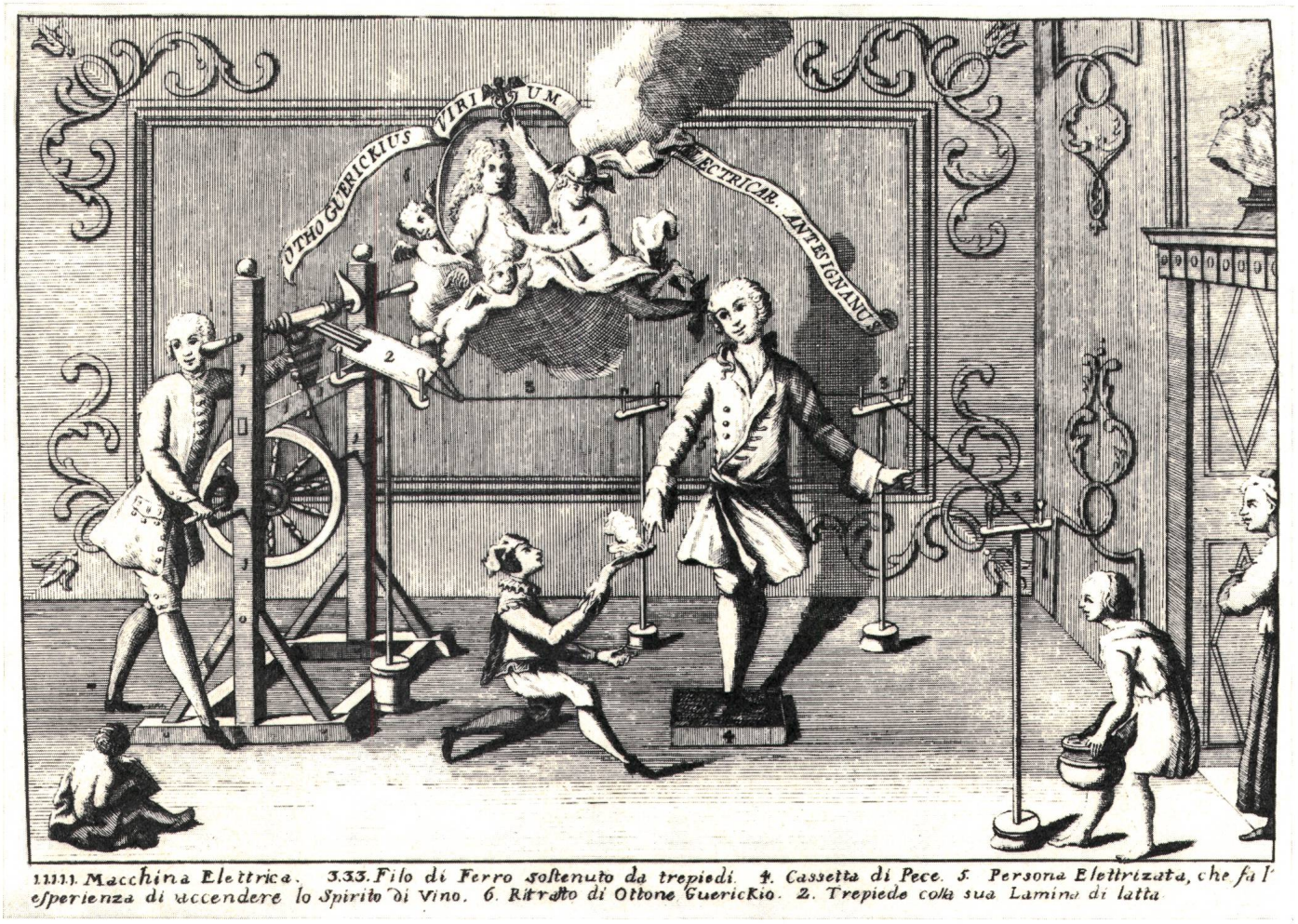


Fig. 1 **1746: Persona Elettrizata [4]**

1 Reibungsmaschine
2 Blechplatte
3 Eisendraht
4 Pechkuchen
5 elektrisierte Person, Weingeist entzündend
6 Bildnis von Otto Guericke

1746: Persona Elettrizata [4]

1 Machine à frottement
2 Plaque en tôle
3 Fil de fer
4 Galettes de poix
5 Personne électrisée, allumant de l'esprit de vin
6 Image de Otto Guericke

tige zu erhalten, wenn man sich nur desselben zu gehöriger Zeit und an rechten Orte bedienet. Würde also hieraus nicht folgen, dass das electrificiren eine neue Art zu curieren sey.»

Einschränkend fügte er allerdings hinzu, dass man bedauerlicherweise noch nicht wisse, welche Art von Veränderungen solche Kuren in dem menschlichen Körper hervorriefen, weshalb es sehr darauf ankomme, durch viele Beobachtungen zu einem äusserst wahrscheinlichen und begreiflichen Schluss in dieser Sache zu kommen und dieses auch wegen der studierenden Jugend, die sich dieser Wissenschaft zuzuwenden gedenke.

Dies war Anregung genug für seinen Schüler *Christian Gottlieb Kratzenstein,* der nur wenig später auf einen Lehrstuhl für Medizin und Physik an die Universität Kopenhagen berufen worden war, sich begeisternd für die Elektrizität einzusetzen und eine im Jahre 1744 erschienene Abhandlung vom Nutzen der Elektrizität in der Arzneiwissenschaft zu verfassen, in der es heisst [3]:

«Weil nun diese subtile electrische Materie fast in einem Augenblick durch den gantzen menschlichen Cörper dringet, welches keine andre Artzney vermögend ist, so wird man auch in gewissen Kranckheiten derselben vor allen andern Artzneymitteln einen Vorzug zuschreiben müssen.»

Und weiter schrieb er, dass es kaum verwunderlich sein könne, wenn einem verdriesslichem Podagra ehestens beizukommen sei, denn schon hätte er einem gelehrten Mann das Vergnügen bereitet, nach einer einzigen Behandlung seiner zwei gelähmten Finger wieder Klavier spielen zu können und zudem eine Erleichterung aller Glieder mit einem sanften Schlafgefühl zu verspüren. Auch könne keine Art von Kopfschmerzen, Schnupfen oder Brustbeschwerden so hartnäckig sein, um letztlich nicht einer elektrischen Kur zu weichen. Schliesslich müssten sich noch die dicken Bäuche eine besondere Hilfe erwarten können, da die Kur alles Fett verjage und damit unaufhaltsam für ein Schmelzen des Leibes sorge.

Für die eigentliche Behandlung hat *Kratzenstein* die Empfehlung ausgesprochen, dass sich der zu behandelnde Kandidat entweder auf eine seidene Decke oder noch vorzüglicher, auf ein Isolierbett zu legen habe, das auf gläsernen Gefässen ruhe, so dass dieser mit samt dem Bett mit elektrischem Fluidum versehen werden könne. Aber gerade diese Art des Kurierens werde – so schrieb er – von allen denjenigen als angenehm empfunden, die Pulver und Pillen unüberwindlich verabscheuten.

In Ansehung solchen Beginnens ist bald danach auch andernorts die Elektrizität als probates Heilmittel appliziert worden, so in Bologna, Turin, Paris, Montpellier und nicht zuletzt in Genf, wo *Louis Jallabert* als professoraler Experte wirkte und in seinen «Expériences sur l'Electricité» des Jahres 1748 manch Erfahrenswertes darüber berichtete. Vorzugsweise habe er bei seinen elektrischen Versuchen beobachtet, dass sich der Pulsschlag merklich steigere, und im Falle eines gesunden und des elektrischen Feuers gewohnten Kandidaten von dreissig Jahren sei ihm klar geworden, dass das Aderlassen mit Elektrizität sehr viel schneller und wirkungsvoller vonstatten gehe, als dies gemeiniglich zu geschehen pflege [6], denn

«le jet de sang étoit vif, dilaté et s'étendoit assés loin».

Begreiflicher ist diese medizinale Prozedur aus einer gelungenen Darstellung jener Zeit erkennbar (Fig. 3), die den

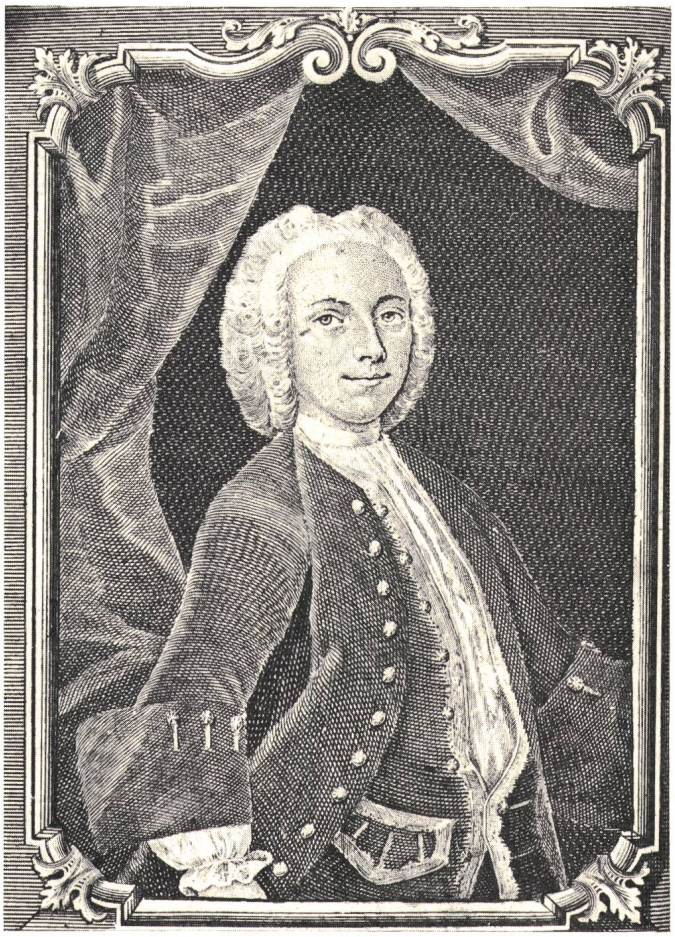


Fig. 2 Johann Gottlob Krüger 1715–1759 [5]

dans le corps humain peut être utilisé pour rétablir la santé perdue ou maintenir en santé, si l'on s'en sert à temps voulu et au bon endroit. Par conséquent, l'électrification pourrait être un nouveau moyen de guérison.»

Il ajoutait toutefois que l'on ignorait malheureusement quel genre de modifications ces cures provoqueraient dans le corps humain, de sorte qu'il importait de faire de nombreuses observations, de façon à parvenir à des conclusions très vraisemblables et compréhensibles à ce sujet, cela également pour les étudiants qui auraient l'intention de se consacrer à cette science.

Cela fut une incitation suffisante pour son élève *Christian Gottlieb Kratzenstein,* qui fut appelé peu après à une chaire de médecine et de physique à l'Université de Copenhague, où il s'occupa avec ardeur de l'électricité. En 1744, il publia une dissertation sur l'utilité de l'électricité en pharmacologie, où il est écrit [3]:

«Weil nun diese subtile electrische Materie fast in einem Augenblick durch den gantzen menschlichen Cörper dringet, welches keine andre Artzney vermögend ist, so wird man auch in gewissen Kranckheiten derselben vor allen andern Artzneymitteln einen Vorzug zuschreiben müssen.»

et dont voici une traduction:

«Etant donné que cette subtile matière électrique traverse presque instantanément tout le corps humain, ce dont aucun autre médicament n'est capable, on devra la prescrire de préférence avant tout autre médicament, pour certaines maladies.»

Il écrivait en outre qu'il n'était pas étonnant que l'on puisse ainsi guérir une podagre gênante, car il avait déjà donné la satisfaction à un homme de pouvoir de nouveau

traktierten Kandidaten – um gleichsam dem elektrischen Fluidum näher zu sein – auf einem hohen Stuhl sitzend zeigt und den Operateur stehend in gespannter Erwartung des Effektes.

Sehr viel weniger aufregend musste dagegen das von dem Amsterdamer Apotheker *Willem van Barneveld* vorgeschlagene elektrische Bad gewesen sein, in dessen Verlauf der isoliert postierte Kandidat lediglich das ihn umgebende elektrische Fluidum zu geniessen hatte, sei es in positiver Qualität bei zu wenig vorhandener Elektrizität oder in negativer Qualität bei derem Übermass [19]. Amüsanterweise glaubte *Barneveld,* dass ein solches Bad ebenso Betrunkene nüchtern machen könne, nachdem er im L'Esprit des Journaux des Jahres 1783 gelesen hatte, dass die Trunkenheit lediglich die Folge eines Zuviel an elektrischem Fluidum sein könne, das dem einverleibten Wein innewohne [17], denn

«L'ivresse n'est peut-être que l'effet de l'exaltation du sang imprégné d'une plus grande quantité de fluide électrique émané du vin que l'on a bu»,

weshalb ein negatives Bad zu applizieren sei. Mit einem stärkeren Bad müsse naturgemäss bei spirituosen Likören gerechnet werden.

Gemeinnützliche elektrische Kräfte

Vergleichsweise mit sehr viel weniger Aufmerksamkeit ist die Elektrizität im Bereiche ihrer gemeinnützlichen Kräfte bedacht worden. So ist in einem Elaborat über den Nutzen der elektrischen Kraft in der Wirtschaft, das im 106. Stück der Leipziger Sammlungen des Jahres 1753 veröffentlicht worden ist, zu lesen, dass durch die vielen Versuche nichts als ein angenehmes Spiel der Sinne vorgestellt werden könne, und es demzufolge erwünscht sei, dass Gelehrte und naturforschende Wirtschaftsverständige entweder ihr schon erlangtes Wissen im nutzbaren Gebrauch der elektrischen Kraft gütigst zu erkennen geben sollten oder sich doch noch darum sonderlich bekümmerten [8].

Doch erst zwei Jahrzehnte später ist eine vermerkliche Anwendung dieser gemeinnützlichen Kräfte zu verzeichnen: Aus dieser Zeit wird nämlich berichtet [41], dass der aus Genf stammende Mathematiklehrer *George Louis Lesage* im Jahre 1774 einen ersten elektrischen Telegraphen gebaut ha-

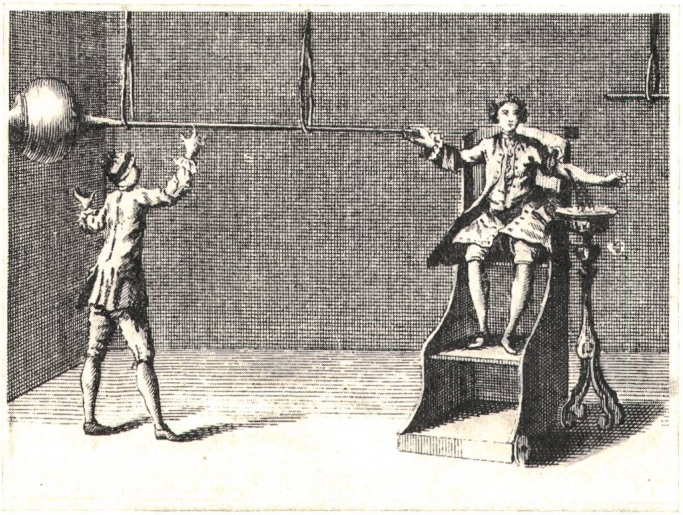


Fig. 3 1753: Saignée Electrique nach Savérien [9]
1753: Saignée Electrique selon Savérien [9]

jouer du piano, après un unique traitement de ses deux doigts paralysés, et de ressentir un allègement de tous les membres, avec un doux sentiment de sommeil. De même, aucune migraine, aucun rhume de cerveau ou aucune oppression de poitrine, aussi tenaces soient-ils, ne résistent finalement à une cure électrique. Et les personnes bedonnantes pourraient être particulièrement aidées, car la cure fait fondre toute graisse.

Pour le traitement proprement dit, *Kratzenstein* recommandait que le patient soit couché sur une couverture de soie ou, mieux encore, sur un lit isolant, reposant sur des récipients en verre, afin que le patient et tout le lit puissent recevoir le fluide électrique. Ce genre de cure – écrivait-il – est surtout agréablement ressenti par les personnes qui détestaient les poudres et les pilules.

Vu ce début prometteur, l'électricité fut bientôt appliquée également ailleurs comme remède éprouvé, notamment à Bologne, Turin, Paris, Montpellier, de même qu'à Genève, où *Louis Jallabert,* professeur, donna à ce sujet maints renseignements dans ses «Expériences sur l'Electricité» en 1748. Il avait notamment observé que la pulsation augmentait nettement et que, dans le cas d'un candidat d'une trentaine d'années, en bonne santé et habitué au feu électrique, il était évident que la saignée avait lieu beaucoup plus rapidement et plus efficacement que d'ordinaire [6], car

«le jet de sang étoit vif, dilaté et s'étendoit assés loin.»

Cette procédure médicinale est bien reconnaissable sur un dessin de cette époque (fig. 3), qui montre le patient assis sur une haute chaise – pour être plus rapproché du fluide électrique – et l'opérateur debout, attendant l'effet avec curiosité.

Le bain électrique proposé par le pharmacien *Willem van Barneveld,* à Amsterdam, était beaucoup moins excitant, car le patient placé d'une façon isolée avait simplement à subir le fluide électrique qui l'entourait, soit d'une qualité positive par insuffisance d'électricité, soit d'une qualité négative par trop forte électricité [19]. *Barneveld* croyait, ce qui est amusant, qu'un bain de ce genre pouvait également dégriser, car il avait lu dans L'Esprit des Journaux de 1783 que l'ivresse est simplement la conséquence d'une trop grande quantité de fluide électrique dans le vin [17]:

«L'ivresse n'est peut-être que l'effet de l'exaltation du sang imprégné d'une plus grande quantité de fluide électrique émané du vin que l'on a bu»,

de sorte qu'il y avait lieu d'appliquer un bain négatif. Il fallait naturellement avoir recours à un bain plus fort, si l'ivresse provenait de spiritueux.

Forces électriques d'utilité publique

L'intérêt porté aux forces d'utilité publique de l'électricité était beaucoup moins grand. Dans un communiqué sur l'utilisation de la force électrique dans l'économie, publié dans la 106e pièce des Collections de Leipzig, en 1753, on lit que les nombreux essais ne sont rien d'autre qu'un jeu agréable et qu'il serait par conséquent désirable que les savants et les naturalistes fassent connaître ce qu'ils savent déjà d'un emploi utile de la force électrique, ou s'en occupent plus particulièrement [8].

Ce ne fut toutefois que 20 ans plus tard qu'une application notable de ces forces électriques d'utilité publique eut lieu: Dans [41], il est mentionné qu'en 1774 un professeur de mathématiques genevois, *George Louis Lesage,* aurait cons-

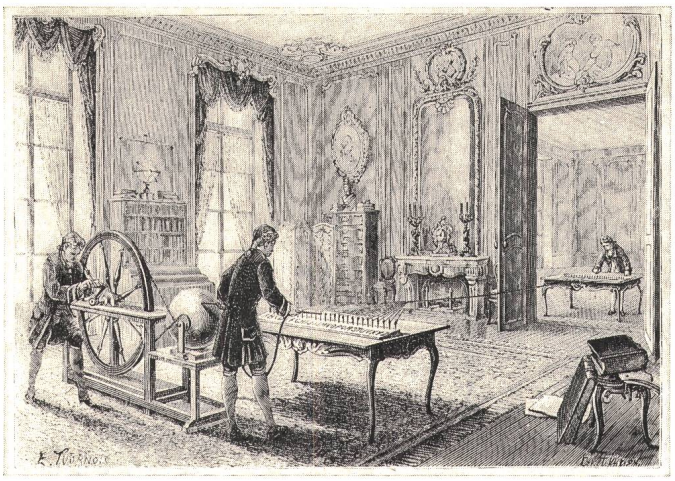


Fig. 4 1774: Der erste elektrische Telegraph nach Lesage [41]
1774: Le premier télégraphe électrique selon Lesage [41]

ben soll, der aus 24 voneinander isolierten Messingdrähten bestanden hatte, deren Enden nach der Manier des Alphabetes durch Cembalotasten gekennzeichnet waren (Fig. 4). Für einen zu depeschierenden Text mussten dann lediglich die Drahtenden in der textlichen Buchstabenfolge mit elektrischem Fluidum umgeben werden, um gleichzeitig an ihren anderen Enden die durch Kommunikation übertragene gemeinnützliche elektrische Kraft mit Hilfe von Goldplättchen in der gleichen Buchstabenfolge sichtbar und damit aufschreibbar zu machen. Bezüglich der Isolation der einzelnen Drähte hatte sich *Lesage* schon damals vorgestellt, ein unterirdisches Tonrohr zu verlegen, in dessen Innerem im Abstand von jeweils 2 Metern Isolierscheiben mit Perforationen eingesetzt sein sollten, in die dann die einzelnen Drähte hätten eingezogen werden können.

Zu einer technischen Ausführung dieses Telegraphen ist es allerdings niemals gekommen, obwohl sich *Lesage* sogar mit einem persönlichen Sendschreiben an *Friedrich II.* gewandt hatte. Vermutlich ist es vor allem die Unzuverlässigkeit der damals bekannten Elektrisiermaschinen gewesen, die das Vorhaben von vorneherein zunichte gemacht hat, denn

«L'emploi d'un agent si inconstant, si capricieux, si inégal, si pénible à engendrer, si difficile à contenir, est réellement presque impossible, au moins pour un service régulier»,

wie der Literat *François Moigno* später einmal gemeint hatte [38]. Auch das unzureichende Isoliervermögen der damals bekannten Stoffe musste eine Rolle gespielt haben.

Vier «chymische» Traktate

Dergleichen ebenso wenig nützliche Anwendung ist in bezug auf die chemischen Wirkungen der Elektrizität zu erkennen gewesen, wenngleich die naturkundlichen Erfahrungen jener Zeit durch vier bedeutende chymische Traktate bereichert werden konnten, die eine spätere Denkweise in nicht unerheblichem Masse beeinflusst haben.

Ein erstes Traktat solcher Art wird immer mit dem Namen eines *Giacomo Battista Beccaria* verbunden bleiben, der einstmals als berühmter Professor der Experimentalphysik an der Universität Turin wirkte und insbesondere durch seine Schriften über die Luftelektrizität bekannt geworden war. In seinem im Jahre 1758 erschienenen Buche «Dell'Elettruit un premier télégraphe électrique, constitué par 24 fils de laiton isolés les uns des autres et dont les extrémités étaient désignées, de la manière de l'alphabet, par des touches de clavecin (fig. 4). Pour transmettre une dépêche, il suffisait d'entourer de fluide électrique les extrémités, suivant les lettres du texte, pour qu'à leurs autres extrémités, la force électrique, transmise par communication soit rendue visible et par conséquent enregistrable, dans le même ordre des lettres, à l'aide de plaquettes d'or. Pour l'isolement des fils, *Lesage* avait déjà prévu d'enterrer un tuyau en terre cuite, à l'intérieur duquel seraient placés tous les 2 mètres des disques isolants perforés, par lesquels les fils pourraient être tirés.

Une exécution technique de ce télégraphe ne fut toutefois jamais réalisée, bien que *Lesage* se soit même adressé par une lettre ouverte personnelle à *Frédéric II.* Il est probable que ce projet était d'emblée irréalisable, surtout parce que l'on ne pouvait guère se fier aux machines d'électrisation de cette époque, car

«l'emploi d'un agent si inconstant, si capricieux, si inégal, si pénible à engendrer, si difficile à contenir, est réellement presque impossible, au moins pour un service régulier»,

comme l'écrivit plus tard le littérateur *François Moigno* [38]. Le pouvoir isolant insuffisant des matières que l'on connaissait alors a certainement dû jouer un rôle.

Quatre traités de chimie

De même, on ne reconnaissait que peu d'emplois utiles des effets chimiques de l'électricité, bien que les expériences en sciences naturelles de cette époque aient pu être enrichies par quatre importants traités de chimie, qui influencèrent par la suite considérablement la manière de penser.

Un premier traité de ce genre demeurera lié au nom de *Giacomo Battista Beccaria,* professeur de physique expérimentale à l'Université de Turin, qui était déjà connu par ses écrits sur l'électricité atmosphérique. Dans son livre «Dell'Elettricismo», paru en 1758, il y a à la page 282 une remarque selon laquelle il serait parvenu, à l'aide d'une étincelle électrique, à transformer en un grand nombre de très petites gouttelettes de mercure, un petit échantillon de cinabre enfermé dans un tube de verre, de sorte que «una scintilla elettrica ravviva il mercurio», comme il le pensait lui-même [10]. *Beccaria* avait donc réalisé le premier processus électrochimique, sous forme d'une réduction de métal par étincelage. Il ajoutait que le même effet s'observait également à d'autres combinaisons de mercure et que le feu électrique se comporte à ce sujet exactement comme le feu élémentaire que l'on connaissait.

Quinze ans plus tard, *Joseph Priestley,* précepteur comtal, qui s'intéressait aussi bien à la chimie, qu'à l'électricité, procéda dans son cabinet d'expérimentation (fig. 5) à de vastes essais sur le comportement de différentes sortes d'air vis-à-vis des étincelles électriques, dont il rendit compte dans le premier tome de ses œuvres complètes [14]. Ce faisant, il put surtout constater que les couleurs des étincelles électriques étaient extrêmement différentes, allant du blanc éblouissant au rouge pourpre. Il fit en outre l'observation remarquable que l'étincelle électrique peut décomposer l'air et qu'il se dépose alors quelque chose analogue à de l'acide, sans toutefois en reconnaître clairement la nature.

tricismo» findet sich auf Pagina 282 ein Vermerk derart, dass es ihm mit einem elektrischen Funken gelungen sei, eine kleine Probe Zinnober, die in einem Glasröhrchen eingeschlossen gewesen war, in viele kleinste Quecksilbertröpfchen zu verwandeln, so dass gleichsam

«una scintilla elettrica ravviva il mercurio»,

wie er selbst meinte [10]. Damit hatte *Beccaria* den ersten elektrochemischen Prozess in Form einer funkenden Metallreduktion verwirklicht. Ergänzend fügte er hinzu, dass der gleiche Effekt auch an anderen Quecksilberverbindungen beobachtbar sei und dass sich im übrigen das elektrische Feuer in dieser Hinsicht genau so verhalte wie das bisher bekannte Elementarfeuer.

Eineinhalb Jahrzehnte später war es dann *Joseph Priestley,* gräflicher Hauslehrer, als an der Chemie und Elektrizität gleichermassen interessiert, der in seinem einstigen Experimentierkabinett (Fig. 5) umfangreiche Versuche über das Verhalten verschiedener Luftgattungen gegenüber einer funkenden Elektrizität erprobte, worüber er in dem ersten Band seiner gesammelten Schriften berichtet hat [14]. Dabei konnte er vor allem sehen, wie ausnehmend verschieden die Farbe des elektrischen Funkens ist, von strahlendem Weiss zu purpurfarbenem Rot. Ausserdem hat er die bemerkenswerte Beobachtung gemacht, dass der elektrische Funke die Luft zu zerlegen vermag und daraus etwas Säureähnliches niederschlägt, ohne allerdings dessen Art klar zu erkennen.

So konnte es sein, dass die Rolle einer überzeugenden Analyse dieses Niederschlages dem in England lebenden Privatgelehrten *Henry Cavendish* zugefallen ist, der sich in höchster Gründlichkeit mit den wirksamen Effekten einer funkenden Elektrizität auf die Luft auseinandergesetzt und dabei herausgefunden hat, dass diese weder auf phlogistizierte Luft – wie der Stickstoff damals genannt worden ist – noch auf dephlogistizierte Luft – den Sauerstoff – einzuwirken imstande ist und dass aber bei einem Gemisch der beiden Luftgattungen eine chemische Verbindung entsteht, die von ihm als Salpetersäure erkannt worden ist. In der Originalarbeit des Jahres 1784 steht nämlich [18]:

«No diminution of air is produced when the electric spark is passed either through pure dephlogisticated air, or through perfectly phlogisticated air, which indicates the necessity of a combination of those two airs to produce the acid»,

wobei sinngemäss «nitrous acid» gemeint gewesen war. Damit hatte *Cavendish* erstmals eine elektrochemische Reaktion stoffverbindender Art demonstriert.

Schliesslich waren es die beiden Holländer *van Troostwyk* und *Deiman,* die erstmals den umgekehrten Prozess einer Stoffzerlegung eindeutig vorstellten, indem sie mit Hilfe elektrischer Funken einer Leydener Flaschenbatterie destilliertes Wasser in brennbare Luft als dem damaligen Wasserstoff und in Lebensluft – wie der Sauerstoff nach Abkehr von der unhaltbar gewordenen Phlogistontheorie genannt wurde – zerlegen konnten. So heisst es im Journal de Physique des Jahres 1789 [21]:

«Nous croyons que nos expériences sont complettement décisives pour établir que l'eau est composée des bases de l'air inflammable (hydrogène) et de l'air vital (oxygène).»

In allem eine erstaunliche Gedankenleistung damaliger Bemühungen, die Wirkungen der Elektrizität verständlicher und damit auch nützlicher zu machen.

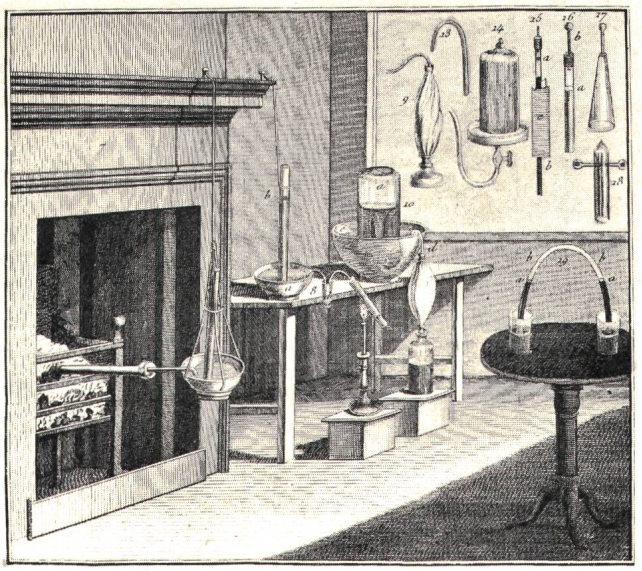


Fig. 5 1772: Joseph Priestley's Experimentierkabinett [11]
1772: Cabinet d'expérimentation de Joseph Priestley [11]

Une analyse convaincante de cette précipitation fut faite par un chercheur indépendant anglais, *Henry Cavendish,* qui s'occupa avec une extrême minutie des effets de l'étincelle électrique sur l'air et découvrit que celle-ci ne pouvait pas agir sur l'air phlogistiqué – comme l'azote était appelé à cette époque –, ni sur l'air déphlogistiqué – l'oxygène–, mais que dans le cas d'un mélange de ces deux genres d'air, il en résultait une combinaison chimique, qu'il reconnut être de l'acide nitrique. Dans un manuscrit de 1784, on lit notamment [10]:

«No diminution of air is produced when the electric spark is passed either through pure dephlogisticated air, or through perfectly phlogisticated air, which indicates the necessity of a combination of those two airs to produce the acid»,

ce qui signifiait acide nitrique. *Cavendish* avait ainsi démontré pour la première fois une réaction électrochimique donnant lieu à une combinaison de substances.

Ce furent finalement les deux Hollandais *Van Troostwyk* et *Deiman* qui démontrèrent pour la première fois le processus inverse d'une décomposition de substance, en pouvant décomposer, à l'aide d'une étincelle électrique provenant d'une batterie de bouteilles de Leyde, de l'eau distillée dans de l'air inflammable (hydrogène) et de l'air vital (comme on désignait alors l'oxygène, après avoir renoncé à l'intenable théorie phlogistique). Dans le Journal de Physique de 1789 [21], on peut lire:

«Nous croyons que nos expériences sont complettement décisives pour établir que l'eau est composée des bases de l'air inflammable (hydrogène) et de l'air vital (oxygène).»

Tout cela représente un remarquable raisonnement dans le but de rendre compréhensible les effets de l'électricité et de les rendre également utiles.

Effets lumineux

Les effets lumineux furent de natures très diverses et souvent démontrés à titre d'amusement. On notera à ce sujet un dispositif conçu par le médecin hollandais *Jan Ingen-Housz,* qui fut honoré du titre de médecin attitré impérial-autrichien.

Leuchteffekte

Mancherlei Art sind die Leuchteffekte gewesen, die oftmals mehr zu belustigendem Vergnügen vorgestellt worden sind. In diesem Zusammenhang möge einer Vorrichtung gedacht sein, die sich der holländische Arzt *Jan Ingen-Housz* – einst mit dem Titel eines kaiserlich-österreichischen Leibarztes geehrt – zurechtgelegt hatte. Diese bestand aus einer abgeschlossenen zylindrischen Glasflasche mit einer darin befindlichen Drahtschnecke (Fig. 6), die auf dazu geeignete Weise in einen leuchtenden Zustand versetzt werden konnte. Hierzu war es lediglich notwendig, die Flasche mit «Lebensluft» zu füllen und danach zwischen dem unteren Ende der Drahtschnecke und dem höckerartigen Metallboden mit Hilfe einer mittelmässigen Leydener Flasche einen Funken zur Entzündung zu bringen. Die dadurch einmal erweckte Flamme lief dann auf der Schnecke allmählich fort, bis sie entweder ganz verzehrt oder aber die Lebensluft unfähig geworden war, die Flamme länger zu unterhalten. In der Dunkelheit des Abends konnte das flammende Schauspiel nach Meinung seines Erfinders in einem noch vorteilhafteren Licht erscheinen, da es ein grosses Zimmer zu beleuchten vermochte; alle jene, die es selbst gesehen haben, hätten sich über seine bezaubernde Schönheit nicht genug erstaunen können [16].

Elektrokulturen

Es musste wohl aus Gründen bekundeter Neugierde naheliegend gewesen sein, die Frage nach der Nützlichkeit der Elektrizität gleichermassen auf ihre mögliche Beeinflussbarkeit des Wachstums von Pflanzen auszudehnen. Die ersten Überlegungen solcher Art gehen auf *Jean Antoine Nollet* zurück, ein notabler französischer Gelehrter aus jener Zeit, der bereits im Jahre 1747 eine grössere Anzahl von Senfkörnern mit und ohne elektrisches Fluidum kultivierte und auf Grund von Vergleichsergebnissen zu der Überzeugung gekommen war [7],

«que l'électricité avoit accéleré véritablement la végétation et l'accroissement».

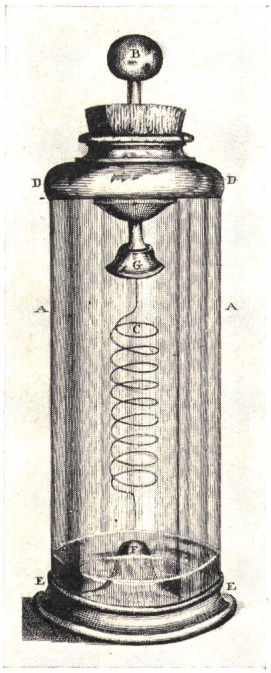


Fig. 6

1782: Leuchtexperiment [16]

A	zylindrische Gasflasche
B	Metallkugel
C	Drahtschnecke
D	Deckel mit Korkstopfen
E, F	metallener Boden mit Höcker
G	Schutz des Korkstopfens

1782: Expérience lumineuse [16]

A	Bouteille cylindrique en verre
B	Sphère métallique
C	Boudin en fil de fer
D	Couvercle avec bouchon de liège
E, F	Fond métallique, avec bosse
G	Protection du bouchon de liège

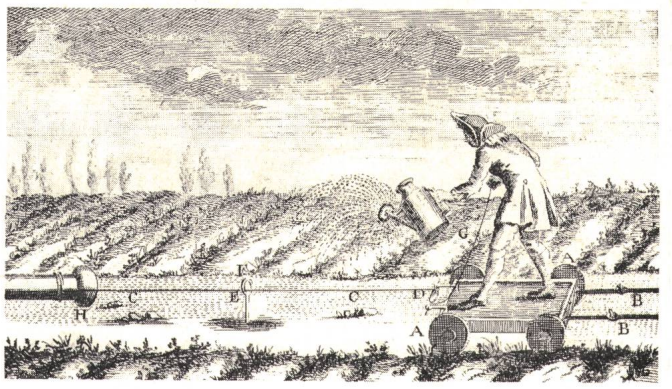


Fig. 7 **1785: Elektrischer Regen [20]**

A isolierendes Gestell	*D* Spule
B Ziehseile	*E* Isolierstütze
C metallene Schnur	*H* Konduktor

1785: Pluie électrique [20]

A Bâti isolant	*D* Bobine
B Câbles de traction	*E* Support isolant
C Cordon métallique	*H* Conducteur

Il s'agissait d'une bouteille cylindrique en verre, renfermant un fil boudiné (fig. 6) qui pouvait être rendu lumineux. Pour cela, il suffisait de remplir la bouteille avec «de l'air vital», puis d'amorcer une étincelle à l'aide d'une bouteille de Leyde de moyenne puissance, entre l'extrémité inférieure du boudin et le fond métallique en forme de bosse. La flamme amorcée se propageait le long du boudin, jusqu'à ce qu'elle soit complètement consumée ou que l'air vital soit devenu incapable de l'entretenir plus longtemps. L'inventeur estimait que ce jeu de flamme était encore plus impressionnant à la nuit tombée, car cela permettait d'éclairer une grande chambre; tous les spectateurs étaient fascinés par sa beauté [16].

Electrocultures

Il était évident que les chercheurs devaient également s'occuper de la question de l'utilité de l'électricité pour influencer la croissance des plantes. Les premières considérations de ce genre le furent par *Jean-Antoine Nollet,* physicien français, qui, en 1747 déjà, cultiva un grand nombre de grains de moutarde, avec et sans fluide électrique. D'après les résultats comparatifs, il avait acquis la certitude [7],

«que l'électricité avoit accéléré véritablement la végétation et l'accroissement».

A la même époque, *Jalabert,* à Genève, obtint des résultats analogues avec des bulbes de jacinthes et de narcisses. Il constata que les feuilles de la culture électrisée devenaient plus grandes et que la floraison était plus rapide [6].

Par la suite, *Bertholon de Saint-Lazarre,* à Montpellier, observa que le fluide électrique permettait également d'accélérer le moment où les fleurs et les fruits commencent à sentir et pouvait nettement influencer la force de leur odeur, même à une grande distance. Il croyait en outre avoir reconnu que les fruits électrisés ont une bien meilleure saveur et qu'ils donnent une impression plus agréable que ceux qui ne sont pas électrisés. Il proposa donc d'arroser les plantes et les arbres avec de l'eau électrisée. Dans ce but, on pourrait utiliser un bâti roulant isolant (fig. 7), qui serait déplacé devant les plantes à arroser, le jardinier tenant d'une main l'arrosoir et, de l'autre, le cordon métallique constamment en

Um die gleiche Zeit kommt *Jallabert* in Genf durch Versuche an Hyazinthen- und Narzissenzwiebeln zu Resultaten ähnlicher Art, indem er nämlich feststellen konnte, dass die Blätter der elektrisierten Kultur sich weiter ausgebreitet hatten und ihre Blüten geschwinder aufgegangen sind [6].

Später beobachtete *Bertholon de St. Lazarre* aus Montpellier, dass das elektrische Fluidum auch die Zeit, in der Blumen und Früchte zu riechen beginnen, zu beschleunigen vermöge und ebenso die Stärke ihres Geruches selbst in grössere Entfernung merklich beeinflussen könne. Ausserdem glaubte er erkannt zu haben, dass elektrisierte Früchte einen weitaus besseren Geschmack haben und eine angenehmere Empfindung verursachen als die nicht elektrisierten. Danach machte er den Vorschlag, Pflanzen und Bäume mit elektrisiertem Wasser zu begiessen, wozu man sich – wie *Bertholon* meinte – eines fahrbaren Isoliergestelles bedienen könne (Fig. 7), das an den zu beregnenden Pflanzen mit samt dem Gärtner vorbeizuziehen sei, der mit der einen Hand die Giesskanne und mit der anderen die metallene Schnur zu halten habe, die mit dem Konduktor in ständiger Berührung bleibe. Dadurch könne sich die Elektrizität den Wasserteilchen und von dort den betreffenden Pflanzen mitteilen [20]. Kaum glaublich soll diese Verfahrensart auch angewandt worden sein, obwohl mancherlei Bedenken wegen ihrer Nützlichkeit geltend gemacht worden sind.

contact avec le conducteur. Cela devait communiquer l'électricité aux particules d'eau et, de là, aux plantes arrosées [20]. Il paraît même que ce procédé a été effectivement appliqué, quoique l'on doutât de son utilité.

Inventaire de jeux

Nonobstant le sérieux avec lequel tous les effets possibles de l'électricité furent essayés, on cherchait également à en mettre en évidence les aspects amusants, ce qui contribua certainement à montrer au public que l'électricité est un fluide agréable et plaisant. Pour cela, il fallait toutefois que sa facilité d'emploi soit démontrée par des expériences bien conçues et instructives, ainsi que par des essais prouvant la nécessité de s'occuper à fond de l'électricité et de ses effets. C'est ainsi qu'en France, *Guyot,* de Besançon, publia, en 1773 et 1775, les «Nouvelles récréations physiques et mathématiques», une collection unique en son genre de jeux et passe-temps amusants dans le domaine de l'électricité [12]. En Angleterre parut l'œuvre de Mister *Hooper,* sous le titre de «Rational recreations» [13], où l'on trouve dans le troisième tome une collection analogue de jeux amusants, avec explications et l'appareillage nécessaire. D'autres publications de ce genre parurent également par la suite, pour représenter l'utilité de l'électricité destinée à des jeux (fig. 8), et qui contribuèrent à son développement sérieux.

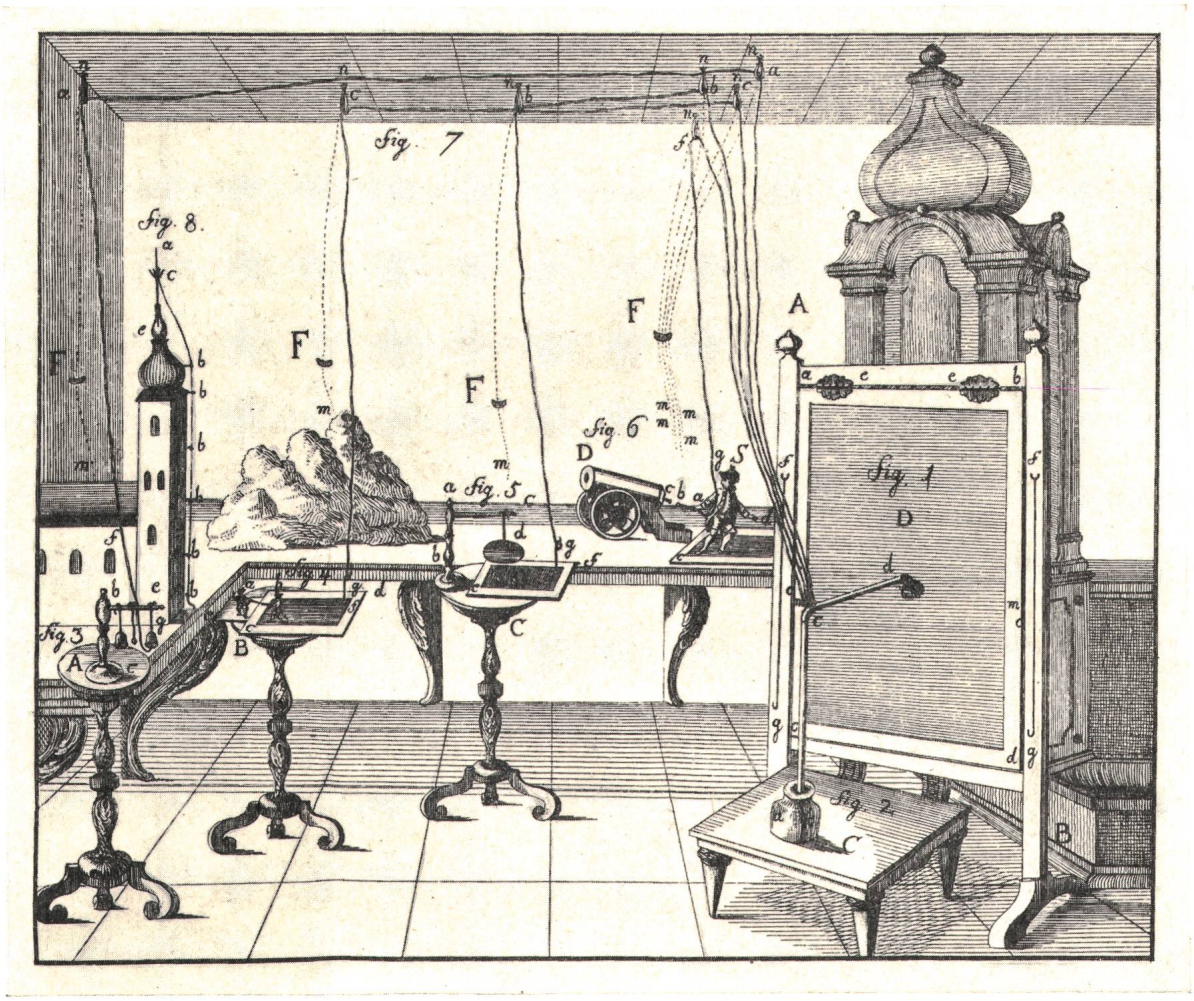


Fig. 8 **1779: Spielerisches Inventarium [15]**

1 Luftelektrophor
2 Leydener Flasche
3 Glockenspiel
4 Franklinsche Tafel
5 Figurentanz
6 elektrische Kanone
7 Zuleitungen
8 Turm mit Blitzableiter

1779: Inventaire de jeux [15]

1 Electrophore à air
2 Bouteille de Leyde
3 Carillon
4 Table de Franklin
5 Danse de figurines
6 Canon électrique
7 Amenée de courant
8 Tour avec paratonnerre

Spielerisches Inventarium

Bei aller Ernsthaftigkeit, mit der die Elektrizität in der damaligen Zeit auf ihre denkbaren Wirksamkeiten erprobt worden ist, sind erstaunliche Anstrengungen zu verzeichnen gewesen, ebenso ihre belustigenden Aspekte herauszustellen, was sicherlich wesentlich dazu beigetragen hatte, die Elektrizität gemeiniglich als angenehmes und sinnenfreundliches Medium erscheinen zu lassen. Dazu war allerdings erforderlich, ihre vorzügliche Hantierbarkeit in Form wohlabgewogener und belehrender Experimente zu erschliessen und anhand geeigneter Versuche darzutun, wie sehr es nützlich ist, sich mit der Elektrizität und ihren effektvollen Erscheinungen gründlicher zu befassen. In solchem Bemühen ist vor allem in Frankreich ein Monsieur *Guyot* aus Besançon aufgetreten, dessen «Nouvelles récréations physiques et mathématiques» der Jahre 1773 und 1775 eine wohl einzigartige Sammlung amüsanter und zeitvertreibender Spielwerke aus dem Gebiete der Elektrizität enthält [12]. Gleichzeitig ist in England das Werk eines Mister *Hooper* unter dem Titel «Rational recreations» erschienen [13], das in seinem dritten Band eine ähnliche Kollektion belustigender Spiele mit einer Erläuterung des dazu erforderlichen Inventariums enthält. Später sind dann auch anderswo Schriften solcher Art herausgekommen, in denen die Elektrizität in ihrer spielerischen Nützlichkeit dargestellt worden ist (Fig. 8), was umgekehrt mit dazu beitragen konnte, ihrer ernsthaften Entwicklung förderlich zu sein.

Medizinales Galvanisieren

Um die Wende des 18. Jahrhunderts hat *Alessandro Volta*, als Ordinarius für Physik an der Universität Pavia lehrend, durch die Erfindung seiner nach ihm benannten Säule einen neuen Zeitabschnitt in der Geschichte der Elektrizität eingeleitet, da es nunmehr möglich geworden war, mit stetig fliessenden Strömen selbst beachtenswerter Stärke umzugehen. Nachdem man in jener Zeit geglaubt hatte, dass die galvanische Elektrizität eine andere Art von elektrischem Fluidum darstelle – nämlich das galvanische Fluidum – als die bis dahin bekannte gewöhnliche Elektrizität – wie die Reibungselektrizität damals genannt wurde –, so wird verständlich, dass man zunächst versucht hatte, die Eigenschaften dieser neuen Elektrizitätsart herauszufinden und danach ihre möglichen Nützlichkeiten zu erproben.

Wie auch in der zurückliegenden Zeit eines ersten Applizierens von gewöhnlicher Elektrizität hatte sich die Arzneikunst gleichermassen von einer galvanischen Elektrizität heilsame Wirkungen insofern versprochen, als nunmehr der menschliche Körper beliebig lang mit fein dosierbarer Elektrizität durchströmt werden konnte. Aus den mannigfaltigen Versuchen, die damals zunächst in Form von Selbstexperimenten – wie sie sich bis auf den heutigen Tag dank eines ungeschriebenen Kodex erhalten haben – und dann an geduldsamen Patienten praktiziert worden sind, ist sehr bald erkennbar gewesen, dass diese Elektrizitätsart auf den Organismus stark reizend, erschütternd und belebend zugleich einwirkt. Ebenso wird aber von nachhaltigeren Schmerzhaftigkeiten berichtet [32], die oftmals von heftigen Konvulsionen der respektiven Muskelpartien begleitet waren. Besonders empfindsame Reaktionen in Form eines deutlichen Brennens und Zusammenschnürens sind bei zweihändischem

Galvanisation médicinale

Vers la fin du 18e siècle, *Alessandro Volta,* professeur titulaire de physique à l'Université de Pavie, amorça, par la pile qui porte son nom, une nouvelle période de l'histoire de l'électricité, car il devenait ainsi possible de travailler avec des courants continus d'une intensité considérable. Etant donné que l'on croyait à cette époque que l'électricité galvanique était un autre genre de fluide électrique (le fluide galvanique) que l'électricité ordinaire bien connue (triboélectricité), il allait de soi que l'on chercha tout d'abord à découvrir les propriétés de ce nouveau genre d'électricité et d'en examiner les emplois possibles.

Comme autrefois avec l'électricité ordinaire, la médecine s'intéressa aux effets salutaires de l'électricité galvanique, avec laquelle le corps humain pouvait désormais être parcouru, pendant une durée quelconque, par de l'électricité finement dosable. D'après les multiples essais, tout d'abord sous forme d'expériences sur soi-même, puis avec des patients, on reconnu bientôt que ce genre d'électricité agit sur l'organisme d'une façon très excitante, bouleversante et activante, mais pouvant aussi provoquer des douleurs tenaces [32], souvent accompagnées de violentes contractions musculaires. On observa des réactions particulièrement sensibles, sous forme d'une nette brûlure et de contractions, lors de courants traversant par les deux mains, dans le domaine du pôle en zinc positif, tandis que dans celui du pôle en cuivre négatif on ressentait du froid, accompagné d'une sensation de lourdeur et d'immobilisation dans tout le bras, que ne cessait qu'au bout de plusieurs heures. Ce comportement polaire se manifestait également dans des parties du visage, notamment dans les yeux, sous forme plutôt d'éclairs dans le cas du pôle positif et plutôt de voile d'un pourpre foncé dans le cas du pôle négatif. Lorsque le passage du courant était long, on voyait les objets plus petits et plus distinctement, alors qu'après changement de polarité ces objets paraissaient

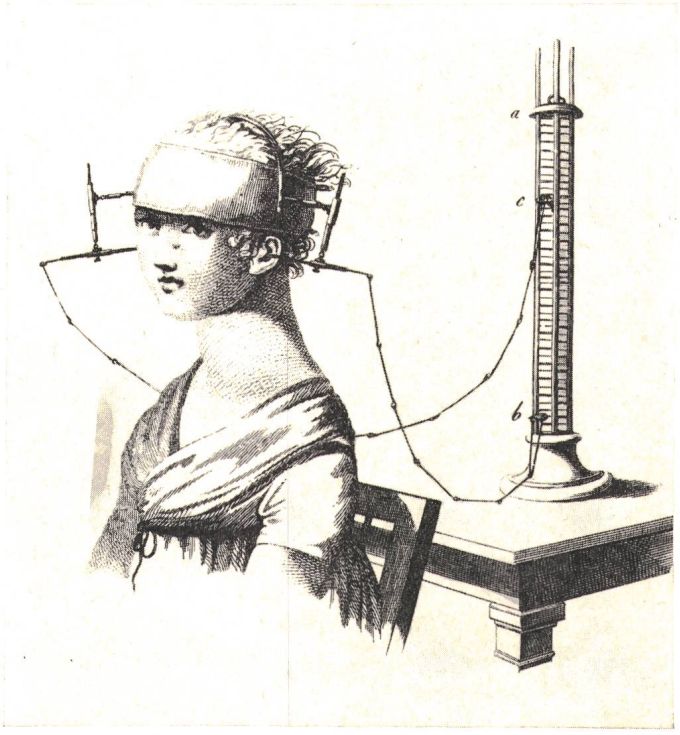


Fig. 9 1803: Galvanische Operation von Taubheit [24]
1803: Opération galvanique de la surdité [24]

Durchströmen im Bereiche des positiven Zinkpols beobachtet worden, wohingegen im Bereiche des negativen Kupferpols ein Kältereiz mit einem begleitenden Gefühl der Schwere und Unbeweglichkeit über den ganzen Arm hinweg verspürbar war, der erst nach Stunden zum Abklingen kam. Dieses polare Verhalten hat sich ebenso in den Gesichtspartien geäussert, so in den Augen, einmal als mehr lichtblitzhafte Erscheinung bei positivem Pol und als mehr dunkelpurpurfarbiger Schimmer bei negativem Pol. Im Falle eines längeren Verweilens in der Durchströmung sind sichtbare Objekte kleiner und deutlicher wahrnehmbar gewesen, dagegen nach Polwechsel grösser und verschwommener. Schliesslich wird noch erwähnt, dass die negative Elektrizität im Bereiche der Nasenhöhlen einen lebhaften Reiz zum Niesen bewirke, der jedoch augenblicklich gestillt werden könne, wenn an ihre Stelle eine solche positiver Art gesetzt werde.

In wohlabgewogener Stärke dagegen ist die galvanische Elektrizität in mancherlei Weise zu Heilzwecken herangezogen worden, insbesondere im Falle von Schwerhörigkeit und Taubheit, deren Operation nach Art der Sprengerschen Gehörgebekunst oftmals mit erstaunlichem Erfolg geglückt ist [23]. Als Vorrichtung dazu wurde eine um den Kopf zu schnallende lederne Binde verwendet mit zwei daran befestigbaren Zuleitungen, die das galvanische Fluidum ein- oder auch beidseitig in den Gehörgang einzuflössen hatten (Fig. 9). Dabei musste der Operierte im Verlaufe seiner Behandlung allerlei schmerzhafte Schläge ertragen, die zumeist noch von krachendem und brausendem Getöse begleitet waren.

Noch in ganz anderer Hinsicht ist die galvanische Elektrizität einem nützlichen Zweck zugeführt worden, nämlich als effizientes Erweckungsmittel im Falle eines Scheintodes, wofür sich der Wiener Arzt *Johann Anton Heidmann* eine zuverlässige Verfahrensart ausgedacht hatte, um die Menschen von dem erschreckenden Vorkommnis eines Lebendigbegrabens mit Sicherheit zu bewahren. Demzufolge sollte dabei so vorgegangen werden, dass die zwischen Auge und Mund gelegenen Gesichtsmuskeln wiederholten Reizimpulsen einer voltaschen Säule auszusetzen waren (Fig. 10). Sofern dann zum Zeitpunkt des Schliessens der so gebildeten galvanischen Kette noch der geringste Grad an Irritabilität vorhanden war, hat sich dieser durch ein Zusammenziehen vor allem der Schliessmuskeln der Lippen und Augen zu erkennen gegeben. Dann ist noch Leben vorhanden gewesen, so dass an eine schleunigste Hilfeleistung gedacht werden musste mit allen jenen Mitteln, die zur Wiederbelebung am vorzüglichsten wirksam waren [25]. In ähnlicher Weise konnte der später vorgeschlagene Lebensprüfer des Görlitzer Medikus *Christoph August Struve* verwendet werden [27].

Nutzung bekannter Effekte

Es gab kaum Naheliegenderes, als bei der Frage nach anderweitigen Nutzungsmöglichkeiten galvanischer Elektrizität auf bekannte Effekte der gewöhnlichen Elektrizität zurückzugreifen, wie beispielhaft auf die Wasserzersetzung, die den in Frankfurt am Main tätigen Arzt *Samuel Thomas Soemmerring* dazu bewogen haben musste, einen galvanischen Telegraphen der Art auszudenken (Fig. 11), dass im Boden eines Wasserbehälters 35 goldene Spitzen zu befestigen waren, die paarweise über ebenso viele Kommunikaplus grands et flous. On indiquait encore que l'électricité négative provoquait dans les narines une forte tendance à éternuer, ce qui cessait immédiatement quand l'électricité devenait positive.

Avec une intensité bien dosée, l'électricité galvanique fut utilisée de maintes façons à des fins thérapeutiques, en particulier dans des cas de surdité, dont l'opération donna souvent des résultats spectaculaires, suivant la méthode de *Sprenger* [23]. L'équipement consistait en un bandeau en cuir insérant la tête et auquel pouvaient être raccordés deux conducteurs destinés à amener le fluide galvanique dans l'un des conduits auditifs ou dans les deux (fig. 9). Durant ce traitement, l'opéré devait supporter de douloureux chocs, généralement accompagnés de claquements et de bourdonnements.

Dans un tout autre domaine, l'électricité galvanique fut utilisée comme moyen efficace de contrôle dans le cas de léthargies, suivant un procédé conçu par le médecin viennois *Johann Anton Heidmann,* dans le but d'éviter avec certitude qu'une personne ne risque d'être enterrée vivante. Dans ce but, on soumettait les muscles du visage entre œil et bouche à une série d'impulsions provenant d'une pile voltaïque (fig. 10). Si, à l'instant de la fermeture de la chaîne galvanique ainsi constituée, il restait un degré d'irritabilité, même très faible, cela se reconnaissait alors à une contraction des muscles des lèvres et de l'œil, ce qui signifiait que la personne était encore vivante et qu'il fallait procéder au plus vite à une tentative de réanimation [25]. Le contrôleur de vie proposé par la suite par *Christoph August Struve,* médecin à Görlitz, était utilisé d'une manière analogue [27].

Utilisation d'effets connus

Une question qui se posait immédiatement était de trouver encore d'autres possibilités d'utilisation de l'électricité galvanique pour les mêmes effets que ceux de l'électricité ordinaire, comme par exemple pour la décomposition de l'eau, ce qui amena *Samuel Thomas Soemmerring,* médecin à

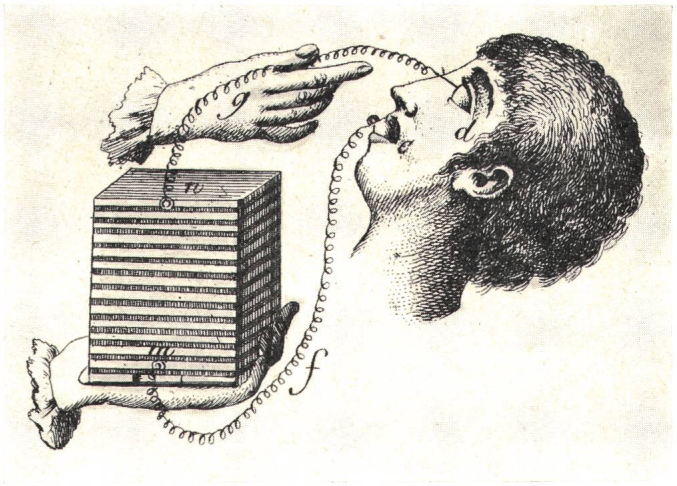


Fig. 10 **1804: Galvanische Prüfung auf Scheintod [25]**
c, d Kontaktstellen
f, g Drahtspiralen
m, n Anschlussösen der Voltaschen Säule

1804: Contrôle galvanique de léthargie [25]
c, d Endroits de contact
f, g Fils boudinés
m, n Œillets de raccordement de la pile voltaïque

tionsschnüre mit einer voltaschen Säule verbunden werden konnten, etwa die beiden Spitzen der Buchstaben I und T, an denen dann eine Gasentwicklung beobachtbar war. Damit konnte jede beliebige Buchstaben- und Ziffernkombination zu Telegraphierzwecken ausgenutzt werden [28]. Obgleich die gesamte Ausrüstung im Jahre 1809 anlässlich einer Sitzung der Königlichen Akademie der Wissenschaften zu München vorgestellt worden ist, hat sich der Soemmerringsche Telegraph nicht durchsetzen können und hat damit das gleiche Schicksal erfahren, wie einstmals der Lesagesche. Einleuchtend musste aber auch die gedankliche Äquivalenz gewesen sein, indem einfach die mechanische Kraft durch eine solche chemischer Art und die Reibungselektrisiermaschine durch eine galvanische Säule ersetzt worden ist.

Um die gleiche Zeit hat der in London lebende Meteorologe *Francis Ronalds* eine galvanische Uhr entwickelt, die die kaum veränderliche elektrische Kraftwirkung einer voltaschen Säule als Triebkraft auszunutzen hatte. Diese Uhr bestand aus sechs in Reihe geschalteten galvanischen Glassäulen (Fig. 12), deren positiver Pol über das Zifferblatt mit einem Stahldrahtpendel und einer daran befindlichen vergoldeten Korkkugel verbunden war und der negative Pol mit einem Federkontakt, dessen Lage durch Anstellstifte fixiert werden konnte. Es ist leicht einzusehen, dass die Bewegung des Pendels und damit des Uhrwerkes durch eine gleichmässige Folge von Lade- und Entladeimpulsen der Kugel zustande kommen musste, was eine genaue Ablesung der Zeit in Stunden und Minuten ermöglichte [30].

Brugnatelli's vergoldete Silbermedaillen

Im Verlaufe eines geschickten Ergründens der Wirkungsarten galvanischer Elektrizität sind überraschenderweise auch neuartige Effekte beobachtet worden, die für das spätere Erkennen nützlicher Anwendbarkeiten von entscheidender Bedeutung geworden sind, und zwar ein Effekt von *Brugnatelli* in Pavia, ein zweiter von *Davy* in London und ein dritter von *Oerstedt* in Kopenhagen. Der erste dieser Überraschungseffekte hat sich im Bereiche der chemischen Wirkungen zugetragen, die stets im Vordergrund des Interesses gestanden haben, zumal schon immer Wechselwirkungen zwischen der Elektrizität als der subtilsten aller Medien einerseits und den beobachteten chemischen Strukturveränderungen andererseits vermutet worden waren. In dieser gedanklichen Auseinandersetzung konnte sich vor allem der professorale *Lodovigo Gasparo Brugnatelli*, ein gelehriger Schüler von *Volta* und dann Ordinarius für Chemie an seiner einstigen Alma Mater, auszeichnen, wovon seine zahlreichen und von hohem Niveau gekennzeichneten Schriften zeugen. So geschah es im Laufe des Jahres 1802, als sich *Brugnatelli* erneut mit der Frage einer möglichen Reduktion von Metalloxyden zu beschäftigen hatte, dass er zwei Platindrähte in eine ammoniakalische Lösung von Quecksilber eintauchte und einige Minuten nach dem Anschliessen einer voltaschen Säule den negativen Platindraht sich mit Quecksilberkügelchen bedecken sah, und wenn er ebenso ammoniakalische Lösungen von Kupfer, oder Kobalt oder Arsen verwendete, er in gleicher Weise Abscheidungen dieser Metalle beobachten konnte. In den Annali di Chimica des Jahres 1802 heisst es dazu [22]:

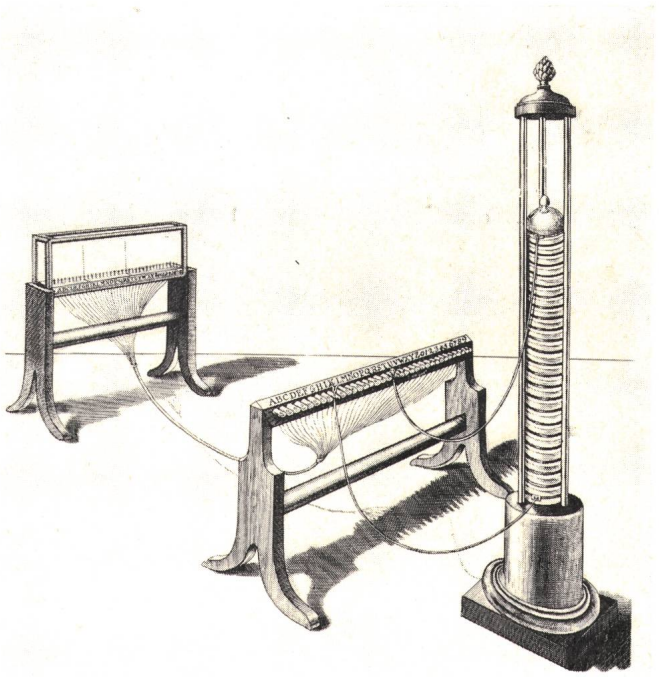


Fig. 11 1809: Galvanischer Telegraph von Soemmerring [28]
1809: Télégraphe galvanique de Soemmerring [28]

Francfort-sur-le-Main, à imaginer un télégraphe galvanique (fig. 11), qui consistait en un récipient d'eau au fond duquel étaient fixées 35 pointes dorées, qui pouvaient être raccordées deux par deux à une pile voltaïque, à l'aide de cordons de communications, par exemple les deux pointes des lettres I et T, où l'on observait alors un dégagement de gaz. Cela permettait d'employer des combinaisons quelconques de lettres et de chiffres pour une télégraphie [28]. Mais, comme dans le cas du télégraphe de *Lesage,* celui de *Soemmerring* ne parvint pas à s'imposer, malgré le fait que tout l'équipement ait été présenté à l'Académie Royale des Sciences de Munich, lors d'une séance en 1809. Il restait cependant l'idée fondamentale qu'une force mécanique avait été remplacée par une force chimique et la machine tribo-électrique par une pile voltaïque.

A cette même époque, *Francis Ronalds,* météorologue à Londres, avait conçu une horloge galvanique utilisant la force électrique à peine variable d'une pile voltaïque pour son actionnement. Cette horloge consistait en six colonnes galvaniques en verre, couplées en série (fig. 12), dont le pôle positif était relié, devant le cadran, à un pendule en fil d'acier à sphère en liège doré, tandis que le pôle négatif était relié à un contact à ressort, dont la position pouvait être fixée par des broches d'ajustage. Le mouvement du pendule et, par conséquent, celui du mécanisme d'horlogerie, provenait d'une succession uniforme d'impulsions de charge et de décharge de la sphère, ce qui permettait une lecture précise du temps, en heures et en minutes [30].

Les médailles d'argent dorées de Brugnatelli

Au cours d'une recherche habile des effets de l'électricité galvanique, on en observa également de nouveaux, qui furent d'une importance décisive pour reconnaître par la suite des emplois d'une grande utilité. L'un d'eux fut observé par

«Così facendo partire dai due poli positivo e negativo della pila due fili di platino i quali colle loro estremità vadino a pescare nell'ammoniuro di mercurio, dopo alcuni minuti vedesi il polo negativo coperto di goccioline di mercurio, di rame se era ammoniuro di rame, di cobalto se quello di cobalto, d'arsenico se era d'arsenico.»

Und ebenso gelang es ihm, unter Verwendung zweier Silberdrähte metallisches Gold abzuscheiden, zu dessen Beweis er zwei grosse Silbermedaillen vergoldet und dazu seinem belgischen Freund und Kollegen *Jean Baptiste van Mons* in einem Briefe wie folgt berichtete [26]:

«J'ai dernièrement doré, d'une manière parfaite, deux grandes médailles d'argent en les faisant communiquer, à l'aide d'un fil d'acier, avec le pôle négatif d'une pile de Volta et en les tenant, l'une après l'autre, plongées dans de l'ammoniure d'or nouvellement faite et bien saturée.»

Die hervorragende Bedeutung dieser experimentellen Erkenntnis wird besonders klar, wenn man bedenkt, dass bis dahin ein Vergolden von Gegenständen nur auf sehr viel mühsamere Weise erreicht werden konnte, sei es entweder durch mechanisches Aufdrücken von Blattgold oder durch Einbrennen von Goldamalgam, das bereits im Altertum als Feuervergolden bekannt gewesen war.

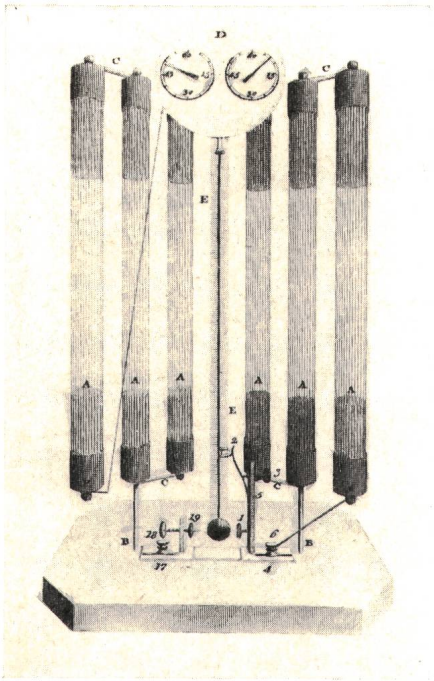


Fig. 12 1815: Galvanische Uhr nach Ronalds [30]

A	galvanische Glassäulen
B	Halterungen
C	Metallverbindungen
D	Zifferblatt
E	Stahldrahtpendel mit vergoldeter Korkkugel
N	negativer Pol in Verbindung mit Federkontakt
2, 3, 19	Einstellschrauben
P	positiver Pol in Verbindung mit Stacheldraht (über Zifferblatt)

1815: Horloge galvanique selon Ronalds [30]

A	Colonnes galvaniques en verre
B	Supports
C	Connexions métalliques
D	Cadran
E	Pendule en fil d'acier, avec sphère de liège doré
N	Pôle négatif, relié au contact à ressort
2, 3, 19	Vis d'ajustage
P	Pôle positif, relié au fil d'acier (devant le cadran)

Brugnatelli, à Pavie, un deuxième par *Davy,* à Londres, et un troisième par *Oerstedt,* à Copenhague.

Le premier de ces nouveaux effets était de nature chimique, ce qui demeurait toujours au premier plan de l'intérêt, d'autant plus que l'on supposait depuis longtemps déjà des interactions entre l'électricité, le plus subtile des fluides, et les modifications de structures chimiques observées. Ces considérations préoccupaient surtout *Lodovigo Gasparo Brugnatelli,* professeur attitré de chimie, ancien élève attentif de *Volta,* à l'Université de Pavie, comme le prouvent ses nombreuses publications d'un niveau élevé. En 1802, alors qu'il s'occupait de nouveau de la possibilité d'une réduction d'oxydes métalliques, en plongeant deux fils de platine dans une dissolution ammoniacale de mercure, il observa, quelques minutes après le raccordement d'une pile voltaïque, que le fil de platine négatif se recouvrait de gouttelettes de mercure; dans des dissolutions ammoniacales de cuivre, de cobald ou d'arsenic, il se produisait également des séparations analogues de ces métaux. Dans les Annali di Chimica de 1802, il nota à ce propos [22]:

«Così facendo partire dai due poli positivo e negativo della pila due fili di platino i quali colle loro estremità vadino a pescare nell'ammoniuro di mercurio, dopo alcuni minuti vedesi il polo negativo coperto di goccioline di mercurio, di rame se era ammoniuro di rame, di cobalto se quello di cobalto, d'arsenico se era d'arsenico.»

Et il parvint également à séparer de l'or métallique, en utilisant deux fils d'argent, et en apportant la preuve en dorant deux grandes médailles d'argent, ce qu'il écrivit à son ami et collègue belge *Jean Baptiste van Mons* [16]:

«J'ai dernièrement doré, d'une manière parfaite, deux grandes médailles d'argent en les faisant communiquer, à l'aide d'un fil d'acier, avec le pôle négatif d'une pile de Volta et en les tenant, l'une après l'autre, plongées dans de l'ammoniure d'or nouvellement faite et bien saturée.»

L'importance considérable de cette connaissance expérimentale est particulièrement claire, si l'on songe que le dorage d'objets n'était jusqu'alors possible que d'une façon beaucoup plus malaisée, soit en appliquant mécaniquement de la feuille d'or, soit par brûlage d'amalgame d'or, procédé de dorage à chaud connu depuis l'Antiquité.

Brugnatelli avait ainsi indiqué le principe d'un procédé qui devait devenir par la suite la base de la galvanotechnique, même s'il fallut plus d'une trentaine d'années pour que la valeur technologique de cet effet surprenant soit reconnue et appliquée utilement, par exemple pour argenter les couverts en laiton devenus usuels, comme le fit *Charles Christofle,* fabricant parisien de bijouterie, ce qui enthousiasma ses clients. Le principe du procédé de *Brugnatelli* contribua au raffinage du cuivre et d'autres métaux.

Il faut également signaler, à ce propos, les remarquables travaux de *Moritz Hermann Jacobi,* de l'Université de Dorpat, qui put prouver, au printemps de 1837, qu'une couche métallique galvanique est capable d'épouser exactement les contours d'un objet d'une forme quelconque, de sorte qu'il devenait technologiquement possible de produire, au moyen d'une matrice métallique ou rendue conductrice, une image fidèle de la structure réelle de la surface d'un objet. Plus tard, à Saint-Pétersbourg, *Jacobi* donna des renseignements détaillés sur ses expériences à ce sujet, établissant ainsi les bases de la galvanoplastie moderne [37].

Damit hatte *Brugnatelli* das Prinzip eines Verfahrens angegeben, das zur Grundlage einer späteren Galvanotechnik werden sollte, wenngleich es über drei Jahrzehnte dauerte, bis der technologische Wert dieses Überraschungseffektes erkannt und damit einem nützlichen Zweck zugeführt werden konnte, um beispielhaft die damals üblich gewesenen Messingbestecke nach der Art des Pariser Bijouteriefabrikanten *Charles Christofle* mit einem silberglänzenden Überzug zu versehen – ganz zum Entzücken ihrer einstigen Benutzer. Aber auch für das später praktizierte Raffinieren von Kupfer und anderer Metalle sollte das Prinzip des Brugnatellischen Verfahrens zum Tragen kommen.

In diesem Zusammenhang möge noch der ausgezeichneten Arbeiten eines *Moritz Hermann Jacobi* gedacht sein, der im Frühjahr 1837 – also noch während seines Wirkens an der Universität Dorpat – durch Versuche nachweisen konnte, dass eine galvanische Metallschicht die Konturen eines beliebig geformten Objektes minuziös nachzubilden vermag, so dass es technologisch denkbar geworden war, über den Umweg einer metallischen oder leitend gemachten Matrize eine getreue Abbildung der tatsächlichen Oberflächenstruktur des betreffenden Objektes zustande zu bringen. In seiner späteren Petersburger Zeit hat *Jacobi* eingehend über seine diesbezüglichen Erfahrungen berichtet und damit die Grundlagen einer heutigen Galvanoplastik geschaffen [37].

Davy's galvanischer Lichtbogen

Zu nicht minderer Bedeutsamkeit sollte sich ein zweiter Überraschungseffekt auswirken, der die strahlenden und schmelzenden Wirkungen einer galvanischen Elektrizität zum Gegenstand hatte und aus der Sicht einer sinnvollen Nutzung von zunehmender Aufmerksamkeit bedacht worden war. Diesmal ist es der berühmte englische Chemiker *Humphrey Davy* gewesen, der an der Londoner Royal Institution wirkte und durch seine brillanten Experimental-Vorlesungen allseits grosses Interesse erregte, zumal er es stets verstanden hatte, seine Zuhörer durch neuerdachte Künste zu erfreuen. Für seine wissenschaftlichen Versuche stand ihm eine Voltasche Batterie mit 2000 Zellen zur Verfügung, die – von Gönnern gestiftet – mit zu den grössten Batterien jener Zeit gehörte und demzufolge Ströme beachtlicher Stärke abzugeben vermochte. So berichtete *Davy* davon, dass es ihm gelungen sei, zwischen zwei Stäben von Holzkohle einen hellglänzenden Lichtbogen von etwa 10 cm Länge zu erzeugen, sobald er die Stäbe nach vorausgegangener Berührung langsam voneinander entfernte:

«... by withdrawing the points from each other a constant discharge took place through the heated air, in a space equal at least to four inches, producing a most brilliant ascending arch of light, broad, and conical in form in the middle»,

wie *Davy* in einer zusammenfassenden Darstellung des Jahres 1812 unter Beifügung einer Skizze (Fig. 13) selbst vermerkte [29]. In diesem Zusammenhang stellte er des weiteren fest, dass in den Lichtbogen eingebrachte Substanzen augenblicklich glühend werden oder zum Fliessen kommen, wie Quarz, Saphir, Talk oder auch Kalkstein, und dass sich Stücke von Diamant, Kohle oder Graphit in dem Feuer ehestens zu verflüchtigen scheinen.

Damit hatte *Davy* wohl die wesentlichen Merkmale eines elektrischen Lichtbogens erkannt, der in der Bogenlampe

L'arc galvanique de Davy

Un autre effet surprenant, d'une importance tout aussi grande, fut celui de l'arc provoqué par de l'électricité galvanique, et auquel on apporta de plus en plus d'attention, en vue d'une utilisation judicieuse. Le chimiste anglais *Humphrey Davy,* de la London Royal Institution, était réputé pour ses cours agrémentés de très intéressantes démonstrations, car il savait tenir en haleine ses auditeurs par de

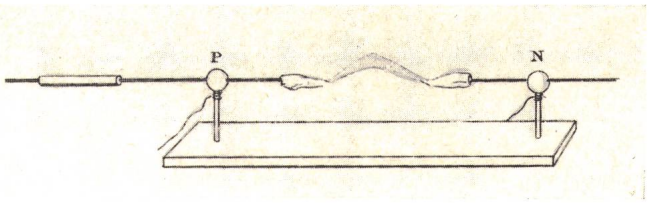


Fig. 13 1812: Davy'scher Lichtbogen [29]
1812: Arc de Davy [29]

nouvelles surprises. Pour ses essais scientifiques, il disposait d'une batterie de 2000 piles voltaïques, don de mécènes, l'une des plus puissantes de l'époque et qui permettait de délivrer des courants d'une intensité considérable. *Davy,* communiqua qu'il était parvenu à produire un arc éblouissant d'une longueur d'environ 10 cm, entre deux barreaux en charbon de bois, dès qu'il en écartait lentement les pointes qui se touchaient:

«... by withdrawing the points from each other a constant discharge took place through the heated air, in a space equal at least to four inches, producing a most brillant ascending arch of light, broad, and conical in form in the middle»,

comme il le nota dans une description résumée, en 1812, accompagnée d'un croquis (fig. 13) [29]. Il ajoutait que des substances introduites dans l'arc devenaient instantanément incandescentes ou fondaient, notamment du quartz, du saphir, du talc ou du calcaire, et que des morceaux de diamant, de charbon ou de graphite paraissaient plutôt se volatiliser dans le feu.

Davy avait ainsi reconnu les caractéristiques essentielles d'un arc électrique, qui trouva par la suite une application très variée dans la lampe à arc, surtout pour les phares et les scènes de théâtres. De même, l'effet de fusion est appliqué dans le four à arc, ainsi qu'en technique du soudage. Dans un exposé paru ultérieurement [33], *Davy* indiquait qu'il avait déjà examiné le comportement de décharges électriques dans le vide et constaté qu'un arc dans de la vapeur de mercure brûle avec une grande intensité, car il écrivait: «...great brilliance of the electrical light in pure dense vapour of mercury», ce qui donna lieu, plus tard, à la lampe à vapeur de mercure.

Le conflit électrique d'Oerstedt

Un troisième effet étonnant, d'une très grande portée, résultait des brillants travaux scientifiques de *Hermann Christian Oerstedt,* professeur de physique à l'Université de Copenhague. En juillet 1820, *Oerstedt* observa qu'une aiguille aimantée orientée nord-sud était déviée par un courant galvanique, le sens de la déviation s'inversant dès que le sens du courant était modifié. Convaincu de l'importance de son observation, *Oerstedt* rédigea en latin un article portant comme titre «Experimenta circa effectum conflictus electrici

späterer Jahrzehnte vielseitige Anwendung gefunden hat, vor allem für Leuchttürme und Theaterbühnen. Ebenso finden sich die schmelzenden Wirkungen im Lichtbogenofen sowie in der Schweisstechnik wieder. Bemerkenswerterweise hat *Davy,* wenn auch in einer späteren Arbeit [33], bereits das Verhalten elektrischer Entladungen unter Vakuum untersucht und herausgefunden, dass ein Lichtbogen in Quecksilberdampf besonders intensiv brennt, als er von einer «...great brilliance of the electrical light in pure dense vapour of mercury» spricht. Dies sollte späterhin zum beginnenden Bemühen um eine brauchbare Quecksilberdampflampe werden.

Oerstedts elektrischer Konflikt

Von allergrösster Tragweite sollte schliesslich ein dritter Überraschungseffekt werden, der auf die glänzenden wissenschaftlichen Arbeiten eines *Hermann Christian Oerstedt,* Professor der Physik an der Universität Kopenhagen, zurückgeht. Im Juli des Jahres 1820 machte *Oerstedt* nämlich die Beobachtung, dass eine in Nord-Süd-Richtung orientierte Magnetnadel von einem galvanischen Strom abgelenkt wird und dass sich die Richtung der Ablenkung umkehrt, sobald die Richtung des Stromes geändert wird. Von der Wichtigkeit seiner Beobachtung überzeugt, verfasste *Oerstedt* eine in lateinischer Sprache geschriebene Schrift mit dem Titel «Experimenta circa effectum conflictus electrici in acum magneticum», datiert vom 21. Juli 1820 [31], worin er in kurzgefasster Form die wesentlichen Ergebnisse seiner Versuche mitteilte. Offenkundig war der elektrische Konflikt, wie *Oerstedt* die Ablenkung der Magnetnadel im Hinblick auf seine früheren Studien nannte, nur so erklärbar, dass der den stromdurchflossenen Leiter umgebende Raum von einem magnetischen Fluidum durchdrungen gewesen sein musste, was ihn letztlich in seiner schon früher vorgetragenen Auffassung bestärkte, dass zwischen Elektrizität und Magnetismus ein enger Zusammenhang bestehen müsse, worüber *Oerstedt* und mit ihm seine damaligen Fachkollegen sehr beglückt gewesen sein mussten. Zugleich war mit dieser Erkenntnis der entscheidende Schritt zu allen jenen galvanomagnetischen Erscheinungen getan worden – elektromagnetisch würde man heute sagen –, mit deren Hilfe zum ersten Male in der Geschichte der Elektrizität mechanische Kräfte fast beliebiger Grösse und Richtung, und zudem bequem regulierbar, erzeugt werden konnten, die im Nachrichtenbereich in der elektrischen Telegraphie und später auch als Membranschwingungen eines elektrischen Telephons weltweite Anwendung gefunden haben und im Bereiche des Starkstroms als elektrische Hubmagnete und Triebwerke. Offenkundig deutet sich hier erstmalig eine Pendantstellung zwischen einer nützlichen Elektrizität in der Nachrichtentechnik und einer solchen in der Starkstromtechnik an.

Was zunächst eine Anwendung des Oerstedtschen Konfliktes im Nachrichtenbereich anbelangt, so waren es wiederum professorale Gelehrte, die erste Schritte in dieser Richtung unternommen haben, dieses Mal in Göttingen, wo an der dortigen Universität die beiden Professoren *Carl Friedrich Gauss,* der berühmte Mathematiker, und *Eduard Wilhelm Weber,* der nicht minder berühmte Physiker, wirkten und im Jahre 1833 eine erste galvano-magnetische Telegraphenanlage über eine Strecke von rund einem Kilometer

in acum magneticum», en date du 21 juillet 1820 [31], où il indiquait brièvement les résultats essentiels de ses essais. Le conflit électrique, ainsi que *Oerstedt* désignait la déviation de l'aiguille aimantée, ne pouvait manifestement s'expliquer que par le fait que l'espace autour du conducteur parcouru par le courant devait être chargé d'un fluide magnétique, ce qui renforçait la conviction d'*Oerstedt* qu'un rapport étroit devait exister entre l'électricité et le magnétisme. Cette connaissance fut le premier pas décisif vers tous les phénomènes galvanomagnétiques – on dirait aujourd'hui électromagnétiques – qui permirent, pour la première fois dans l'histoire de l'électricité, de produire des forces mécaniques de grandeurs et sens presque quelconques et trouvèrent des applications mondiales en télégraphie électrique, puis sous forme des vibrations de membrane d'un téléphone électrique, de même que d'électro-aimants de levage et d'organes d'entraînement. Il s'agissait manifestement de la première analogie entre une électricité utile en technique des télécommunications et une en technique des courants forts.

L'application du conflit d'Oerstedt en télécommunications fut derechef trouvée tout d'abord par des professeurs, cette fois de l'Université de Göttingen, le mathématicien *Carl Friedrich Gauss* et le physicien *Eduard Wilhelm Weber,* qui aménagèrent en 1833 une première installation télégraphique galvanomagnétique, sur une distance d'environ un kilomètre. *Weber* fit tirer deux fils de cuivre depuis son cabinet de physique – le poste télégraphiant – par dessus les maisons et les tours de Göttingen, jusqu'à l'observatoire de son collègue – le poste d'observation –, tandis que *Gauss* s'occupait de l'appareillage, qui comprenait, dans les deux postes, un galvanomagnétomètre avec lecture par lunette d'approche, afin de pouvoir mieux observer les déviations des aimants, ainsi qu'un simple accessoire permettant d'inverser instantanément le sens du courant et que *Gauss* désignait par commutateur. Avec cette installation, les deux professeurs télégraphièrent entre eux. Dans une Revue des savants de 1834 [34], il était écrit:

«Die Leichtigkeit und Sicherheit, womit man durch den Commutator die Richtung des Stroms und die davon abhängige Bewegung der Nadel beherrscht, hatte schon im vorigen Jahre Versuche einer Anwendung zu telegraphischen Signalisierungen veranlasst, die auch mit ganzen Wörtern und kleinen Phrasen auf das vollkommenste gelangen.»

Fig. 14 1837: Erster galvano-magnetischer Schreibtelegraph nach Steinheil

1837: Premier télégraphe enregistreur galvanomagnétique selon Steinheil

einrichteten. Zu diesem Zweck liess *Weber* von seinem physikalischen Kabinett – der telegraphierenden Station – über die Häuser und Türme von Göttingen hinweg in die Sternwarte seines Kollegen – der Beobachtungsstation – zwei Kupferdrähte ziehen, während sich *Gauss* um die apparative Zurüstung zu bekümmern hatte. Diese bestand für jede der beiden Stationen aus einem Galvano-Magnetometer mit Fernrohrablesung, um die Ausschläge des Magneten besser beobachten zu können, sowie aus einem einfachen Zubehör, mit dem die Richtung des Stromes augenblicklich umgekehrt werden konnte und das *Gauss* einen Kommutator nannte. Mit dieser so ausgestatteten Anlage haben die beiden Professoren miteinander telegraphiert, wozu es in einem Gelehrtenanzeiger des Jahres 1834 heisst [34]:

«Die Leichtigkeit und Sicherheit, womit man durch den Commutator die Richtung des Stroms und die davon abhängige Bewegung der Nadel beherrscht, hatte schon im vorigen Jahre Versuche einer Anwendung zu telegraphischen Signalisierungen veranlasst, die auch mit ganzen Wörtern und kleinen Phrasen auf das vollkommenste gelangen.»

Der Kommentator fügte hinzu, dass es auf ähnliche Weise möglich sein müsste, eine unmittelbare telegraphische Verbindung über eine beträchtliche Anzahl von Meilen hinweg einzurichten, womit er auch recht behalten sollte, denn bereits im Jahre 1837 konnte der Münchener Universitätsprofessor *Carl August Steinheil,* dem die Wissenschaft auch sonst viel zu verdanken hat, zwischen der Münchner Akademie der Wissenschaften und der fünf Kilometer davon entfernten Sternwarte in Bogenhausen den ersten galvanomagnetischen Schreibtelegraphen (Fig. 14) in Betrieb nehmen [36], der im Bahnbetriebsdienst jener Zeit nützliche Verwendung gefunden hat.

Im Bereiche des Starkstroms hat der Oerstedtsche Konflikt im Zusammenhang mit dem Bau grösserer galvanomagnetischer Maschinen bedeutsame Anwendung gefunden. Hier war es *Jacobi,* von dem bereits die Rede war, der sich eine solche Maschine ausgedacht hatte, um damit eine ständig wirkende Triebkraft von etwa einer Pferdestärke hervorzurufen. Diese Maschine bestand dem Prinzip nach aus einem System beweglicher Elektromagnete, die an einem feststehenden Magnetsystem dergestalt vorbeigeführt werden mussten, dass durch einen sich ständig wiederholenden Polwechsel ein immerwährender Umlauf zustande kommen konnte (Fig. 15). Für das Umpolen verwendete *Jacobi* einen ebenfalls von ihm erdachten Kommutator [35], der jeweils zum richtigen Zeitpunkt die anziehende Triebkraft in eine abstossende umzuwandeln hatte. Es wird davon berichtet, dass *Jacobi* diese Maschine dazu benutzt hat, in Petersburg auf der Newa mit einem 12 Personen fassenden Boot spazieren zu fahren – allerdings nicht mit dem erwarteten Nutzeffekt, nachdem sich die eingebaute Batterie viel zu schnell verbraucht hatte, so dass allein aus ökonomischen Gründen die gleiche Triebkraft mit einer Dampfmaschine viel wohlfeiler hätte erreicht werden können. Immerhin – der Anfang war gemacht!

Magneto-Elektrizität

Seitdem sich *Michael Faraday* gründlicher mit Elektrizität befasst hatte, beschäftigte ihn mehr und mehr der Gedanke, dass es irgendwie möglich sein müsste, mit Hilfe von Magne-

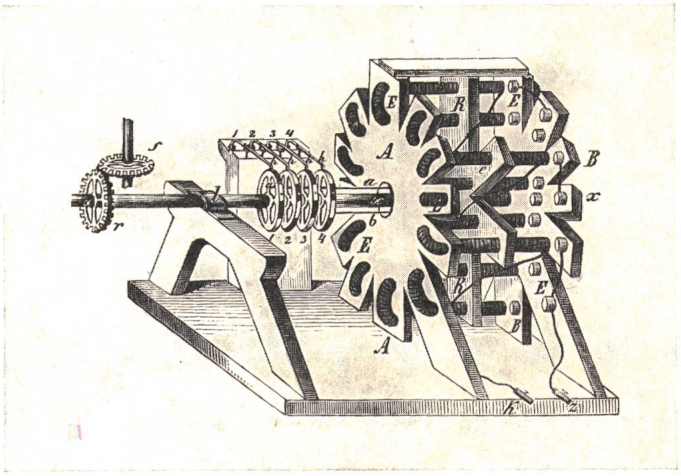


Fig. 15 **1838: Jacobi's erster Elektromotor [39]**

A, B feststehende Holzscheiben mit hufeisenförmigen Elektromagneten *E*
R hölzernes Rad mit stabförmigen Elektromagneten *e*
1...4 Kommutator
k, z Anschluss für die Voltasche Batterie

1838: Premier moteur électrique de Jacobi [39]

A, B Disques en bois, fixes, avec électro-aimants *E* en fer à cheval
R Roue en bois, avec électro-aimants *e* en forme de barreaux
1...4 Commutateur
k, z Raccordement pour la batterie voltaïque

et dont voici une traduction:

La facilité et la sûreté avec laquelle le commutateur commande le sens du courant et le mouvement de l'aiguille qui en dépend, avait déjà donné lieu, l'année passée à des essais d'un emploi pour des signalisations télégraphiques, pleinement réussies avec des mots entiers et de petites phrases.»

Le commentateur ajoutait qu'il devrait être possible, d'une façon analogue, d'aménager une liaison télégraphique directe sur une distance d'un grand nombre de milles. Il avait parfaitement raison, car, déjà en 1837, *Carl August Steinheil,* professeur à l'Université de Munich, put mettre en service, entre l'Académie des Sciences de Munich et l'observatoire de Bogenhausen, distant de cinq kilomètres, le premier télégraphe imprimeur galvanomagnétique (fig. 14) [36], qui trouva un emploi utile dans le service d'exploitation de chemins de fer.

En courant fort, le conflit d'*Oerstedt* fut appliqué en relation avec la construction de grandes machines galvanomagnétiques. C'est *Jacobi,* dont il a déjà été question, qui conçu une machine de ce genre, afin de produire une force d'entraînement constante d'environ un cheval-vapeur. Cette machine consistait, en principe, en un système d'électroaimants mobiles, qu devaient passer devant des aimants fixes, de sorte qu'il en résultait une rotation continue par suite de la répétition constante de changements de polarité (fig. 15). Pour l'inversion de celle-ci, *Jacobi* utilisait un commutateur de sa conception [35], qui commutait, à l'instant correct, la force d'attraction en une force de répulsion. *Jacobi* utilisa cette machine pour transporter une douzaine de personnes dans un bateau sur la Néva, à Saint-Petersbourg – à vrai dire sans atteindre l'effet utile espéré, car la batterie installée fut très rapidement épuisée, de sorte qu'une machine à vapeur aurait mieux réussi. Néanmoins – le commencement avait été fait!

tismus Elektrizität zu erzeugen, nachdem es *Oerstedt* umgekehrt gelungen war, mit Hilfe von Elektrizität Magnetismus zu erzeugen. Seine im Laufe des Jahres 1831 durchgeführten Experimente haben seiner Auffassung recht gegeben, denn am 24. September konnte er in seinem Tagebuch vermerken:

«Hence here distinct conversion of Magnetism into Electricity.»

Damit hat *Faraday* einen weiteren neuen Abschnitt in der Geschichte der Elektrizität eingeleitet, da es nunmehr möglich geworden war, zunächst mit magnetelektrischen Maschinen und später mit solchen dynamoelektrischer Art, sehr viel mehr Elektrizität nützlichen Zwecken zuzuführen, als dies mit den bisherigen Voltaschen Batterien der Fall gewesen war.

Doch erst durch den Bau elektrischer Kraftwerke ist es nach und nach möglich geworden, die überall verlangte Elektrizität in wünschenswerter Menge bereitzustellen. Eine entscheidende Initiative in dieser Richtung verbindet sich mit dem Namen eines *Thomas Alva Edison,* der mitten in New York ein erstes elektrisches Kraftwerk mit sechs Dynamomaschinen einrichtete, von denen jede 1200 sechzehnkerzige Glühlampen zu versorgen hatte, was einer Gesamtleistung von rund 300 kW entsprochen haben musste (Fig. 16). Und neun Jahre später ist die erste Kraftübertragung mit hochgespanntem Drehstrom von 15 000 V über eine Entfernung von 175 km verwirklicht worden.

Strahlen elektrischer Kraft

Um die gleiche Zeit, in der sich eine Starkstromtechnik heutiger Vorstellung zu entwickeln beginnt und hochgespannte Übertragungssysteme dazu verwendet werden, Elektrizität zu verteilen, gelingt es dem Karlsruher Physiker und

Magnéto-électricité

Michel Faraday, qui s'était occupé à fond de l'électricité, eut de plus en plus l'idée qu'il devrait être possible, d'une façon ou d'une autre, de produire de l'électricité à l'aide du magnétisme, puisque *Oerstedt* était parvenu, inversement, à produire du magnétisme à l'aide de l'électricité. Ses expériences faites en 1831 lui donnèrent raison, car il put noter dans son journal, le 24 septembre:

«Hence here distinct conversion of Magnetism into Electricity.»

Faraday avait ainsi amorcé une nouvelle période de l'histoire de l'électricité, car il était désormais devenu possible tout d'abord avec des machines magnéto-électriques, puis avec des machines dynamo-électriques, de fournir beaucoup plus d'électricité pour des emplois utiles, que cela n'était le cas avec les piles voltaïques.

Mais ce ne fut que par la construction d'usines génératrices qu'il devint peu à peu possible de disposer en quantité voulue de l'électricité réclamée de toute part. Une initiative décisive dans ce sens fut celle de *Thomas Alva Edison,* qui aménagea au centre de New York une première usine génératrice avec six dynamos, chacune destinée à alimenter en électricité 1200 lampes à incandescence de 16 bougies, ce qui devait correspondre à une puissance totale d'environ 300 kW (fig. 16). Et, neuf années plus tard, le premier transport de courant triphasé de 15 000 V était réalisé sur une distance de 175 km.

Rayons de force électrique

A la même époque, où commençait à se développer une technique des courants forts selon la conception actuelle et où des systèmes de transport d'énergie à haute tension étaient utilisés dans le but de distribuer l'électricité, *Heinrich Ru-*

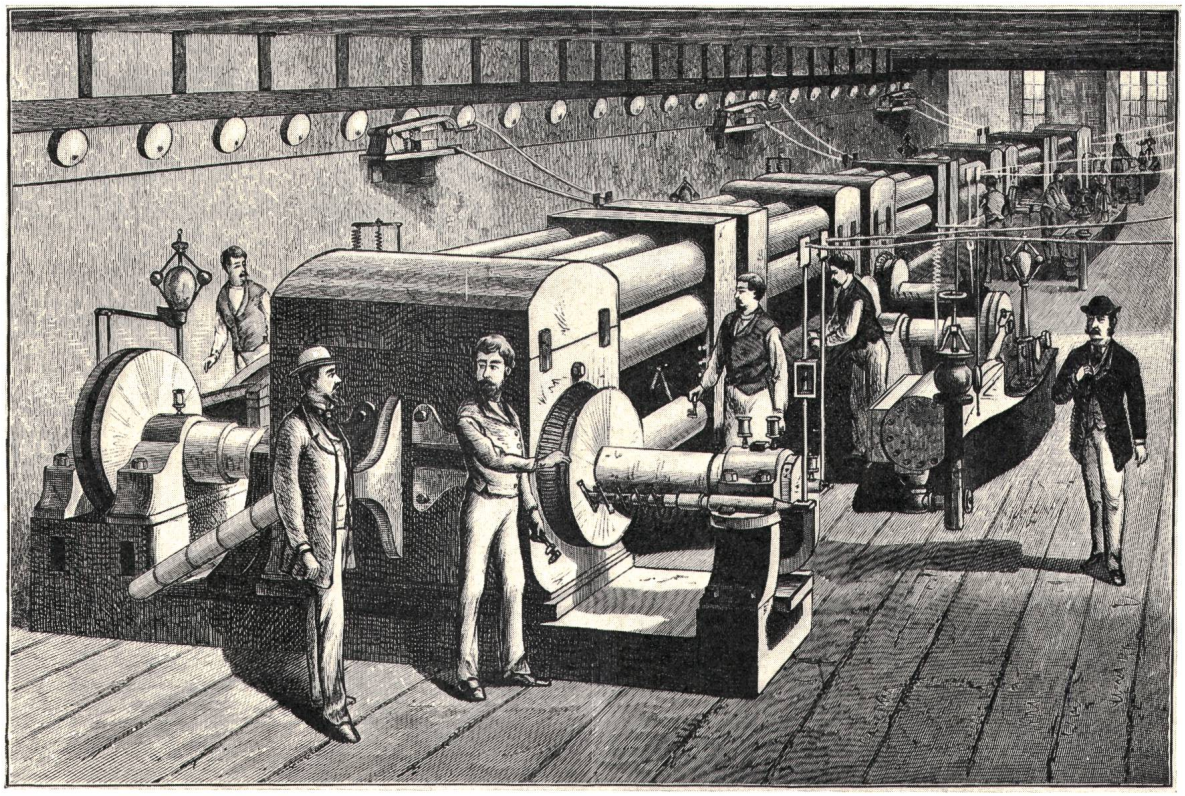


Fig. 16 1882: Edisons erstes elektrisches Kraftwerk in New York [40]
1882: Première usine électrique génératrice d'Edison, à New York [40]

Fig. 17

1888: Hertz'sches Experiment zum Nachweis von Strahlen elektrischer Kraft im Raume [42]

«*Fig. 1*» gebender Parabolspiegel mit Primärfunkenstrecke

«*Fig. 2a*» Primärfunkenstrecke vergrössert

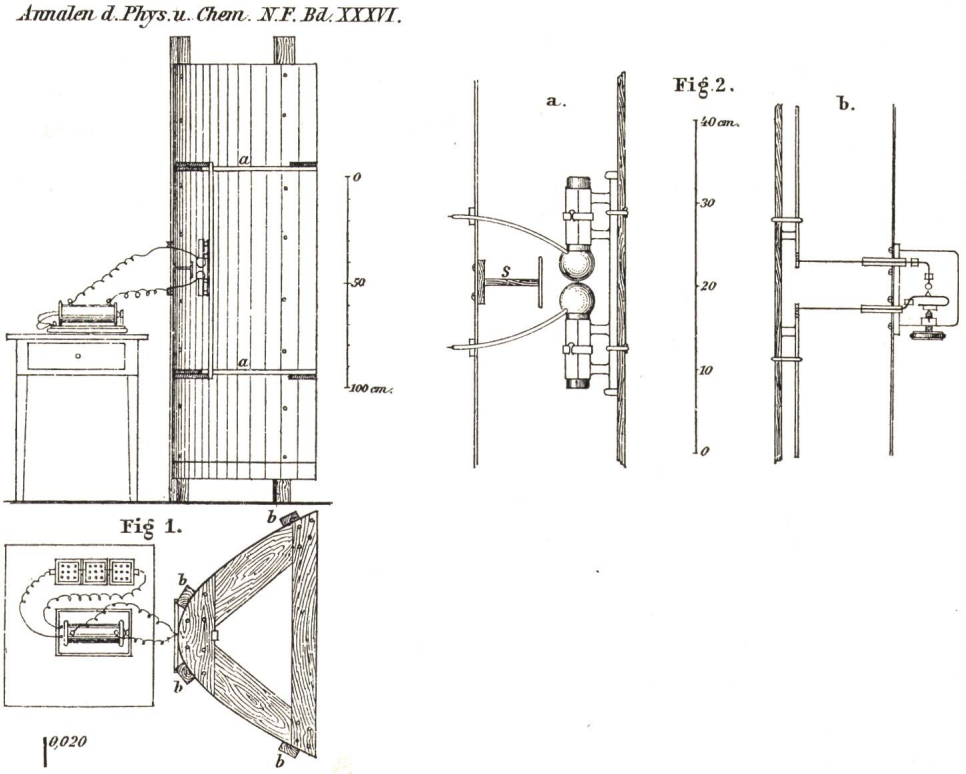
«*Fig. 2b*» Empfangender Parabolspiegel mit Sekundärfunkenstrecke

1888: Expérience de Hertz pour prouver la présence de rayons de force électrique dans l'espace [42]

«*Fig. 1*» Miroir parabolique émetteur, avec éclateur primaire

«*Fig. 2a*» Vue agrandie de l'éclateur primaire

«*Fig. 2b*» Miroir parabolique récepteur, avec éclateur secondaire



Professor *Heinrich Rudolph Hertz* durch wohlüberlegtes Experimentieren nachzuweisen, dass sich hochfrequente Elektrizität in Form von Wellen im Raume auszubreiten vermag und ihre Wirkung durch zwei Parabolspiegel als «deutliche Strahlen electrischer Kraft» beobachtbar ist [42]. Für die Erzeugung der Strahlen hat *Hertz* eine kleine induktorerregte Primärfunkenstrecke verwendet, die in dem gebenden Parabolspiegel eingebaut gewesen war (Fig. 17) und für den Nachweis ihrer Kraft eine kleine Sekundärfunkenstrecke des empfangenden Spiegels. Mit dieser Vorrichtung konnte er erstmals auf drahtlosem Wege die Wirkungen einer funkenden Elektrizität bis auf Entfernungen von nahezu 20 m übertragen. Damit hatte *Hertz* ein elektrisches Phänomen entdeckt, das eine Zeit höchst universeller Nützlichkeit von Elektrizität eingeleitet und in vielseitiger Weise Anwendung gefunden hat.

dolph Hertz, physicien et professeur à Carlsruhe, parvint à prouver, par des expérimentations judicieuses, que l'électricité à haute fréquence peut se transmettre dans l'espace, sous forme d'ondes et que son effet est nettement observable entre deux miroirs paraboliques, sous forme de «rayons de force électrique» [42]. Pour produire ces rayons, *Hertz* utilisa un petit éclateur primaire excité par un inducteur et logé dans le miroir parabolique émetteur (fig. 17). Pour apporter la preuve de la force, un petit éclateur secondaire se trouvait dans le miroir récepteur. Avec ce dispositif il put transmettre sans fil, à des distances jusqu'à près de 20 m, les effets d'une électricité irradiante. *Hertz* avait ainsi découvert un phénomène électrique qui fut à l'origine d'une époque d'emploi tout à fait universel de l'électricité et dont les manifestations visibles trouvèrent de multiples applications.

Elektrizität von heute

Heute ist die Elektrizität zu einem nicht mehr wegdenkbaren Agens technischen Geschehens geworden, das in zunehmendem Masse die kaum glaublichen Ansprüche einer sich mehr und mehr technisierenden Gesellschaft zu befriedigen hat. Sie ist elegant unterteilbar, leicht messbar, bequem steuer- und regulierbar und beliebig konzentrierbar und zudem am Orte ihrer Nutzung mit wirtschaftlichen Mitteln in die jeweils wünschenswerte Gebrauchsenergie umwandelbar, sei es als mechanische Kraft, als Wärme, als chemische Energie oder als Strahlung und im Bereiche der Elektromedizin als physiologisches Wirkungsvermögen. In jüngster Zeit ist die Nutzung ihrer extrem schnellen Reaktionsfähigkeit in Verbindung mit winzigen Schaltkreiselementen hinzugekommen, die in immer kleiner werdenden Rechenautomaten ihren sichtbaren Ausdruck gefunden hat. In diesem Sinne ist uns die Elektrizität gleichsam zur Selbstverständlichkeit geworden, deren unschätzbaren Wert wir erst in dem Augenblick erkennen, in dem sie uns nicht zur Verfügung steht.

Electricité d'aujourd'hui

De nos jours, l'électricité est devenue un agent technique, dont on se saurait plus se passer et qui doit satisfaire aux exigences de plus en plus grandes et plus sévères d'une société de plus en plus technique. Elle est répartissable, aisément mesurable, commodément réglable, concentrable à volonté et, en outre, transformable en énergie requise, à l'endroit de son utilisation, par des moyens économiques, soit sous forme de force mécanique, de chaleur, d'énergie chimique ou de rayonnement et, en électromédecine, sous forme d'effets physiologiques. Ces derniers temps, on utilise son extrême rapidité de réaction, conjointement avec de minuscules éléments de couplage, dans des ordinateurs de plus en plus petits. Pour nous, l'électricité va tellement de soi, que l'on ne se rend compte de son inestimable valeur qu'au moment où elle ne nous est pas disponible.

Il est donc compréhensible que le besoin en électricité ait augmenté d'une façon incroyable au cours des années, à tel point qu'en 1970 il a fallu produire, dans le monde entier, 5

Fig. 18

1970: Weltstromverbrauch in Billionen Kilowattstunden

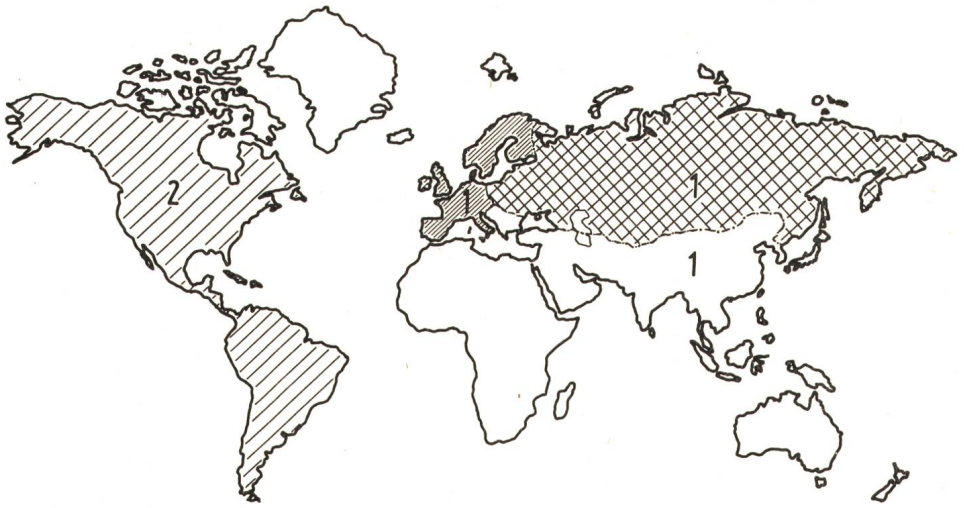
1970: Consommation mondiale d'électricité, en billions de kWh

Westeuropa
l'Europe occidentale

COMECON

Amerikanischer Kontinent
Nouveau continent

unschraffiert: Übrige Welt
Non hachuré: reste du monde



Aus einem solchen Nützlichkeitsdenken wird verständlich, dass der Bedarf an Elektrizität im Laufe der Zeit unvorstellbar gewachsen ist, so dass im Jahre 1970 von dieser hochwertigsten aller Energieformen in der ganzen Welt insgesamt 5 Billionen Kilowattstunden bereitgestellt werden mussten – das sind rund 10 Prozent des Rohenergieverbrauches des Welt –, wovon rund zwei Billionen auf den amerikanischen Kontinent und je eine Billion auf Westeuropa, Comecon und die übrige Welt entfallen sind (Fig. 18).

Elektrizität von morgen

Vielleicht mag in diesem Zusammenhang die Frage interessieren, in welcher Weise sich aller Voraussicht nach der zukünftige Bedarf an Elektrizität entwickeln wird und welche Bedarfsschwerpunkte dann möglicherweise erwartet werden können.

In dieser Hinsicht lassen weltweite Prospektierungen erwarten, dass sich der Elektrizitätsbedarf in allen hochindustrialisierten Ländern auch weiterhin im Zehnjahresrhythmus verdoppeln wird, und dass sogar in manchen Ländern mit einer Verdreifachung gerechnet werden muss, was einer Verdoppelung bereits innerhalb eines Siebenjahreszyklus entspricht, so dass im Jahre 2000 sicherlich mit einem Vielfachen des bisherigen Bedarfs gerechnet werden muss. Eine vorsichtige Schätzung sollte etwa 25 Billionen Kilowattstunden im Weltbedarf erwarten lassen, was dann rund 25 Prozent in bezug auf den gesamten Rohenergieverbrauch entspricht, da sich dieser nach den bisherigen Erfahrungen nur etwa alle 30 Jahre verdoppelt.

Natürlich erhebt sich dabei die Frage, inwieweit solche Prospektierungen als realistisch angesehen werden können. Mit den folgenden Betrachtungen sei es dem Verfasser erlaubt, einige Gedanken hierzu vorzutragen.

Wie auch schon bisher, wird sich durch die fortschreitende Automation ein spürbarer Mehrbedarf an Elektrizität bemerkbar machen. Diese Entwicklung scheint kaum aufhaltbar zu sein, nachdem sich der Mangel an Personal aller Art immer fühlbarer bemerkbar macht und sich in manchen Industrien bereits wenig erfreulich auswirken konnte. Demnach wird auch weiterhin versucht werden müssen, mit weniger Personal mehr Güter zu erzeugen.

Ein weiterer Zuwachsanteil wird auf das stete Expansionsbestreben fast aller industrieller Betätigung abzubuchen

billions de kilowattheures de cette forme d'énergie la plus précieuse de toutes – c'est-à-dire environ 10 % de la consommation mondiale d'énergie brute, dont 2 billions sur le continent américain et 1 billion en Europe occidentale, au Comecon et dans le reste du monde, respectivement (fig. 18).

Electricité de demain

On peut se poser la question de savoir comment le besoin futur en électricité évoluera probablement et quels seront les principaux besoins.

Des enquêtes mondiales laissent entrevoir que le besoin en électricité continuera à doubler tous les dix ans dans les pays fortement industrialisés et même triplera dans certains pays, de sorte qu'en l'an 2000, la consommation mondiale atteindra au moin 25 billions de kilowattheures annuellement, ce qui correspond à environ 25 % de la consommation totale d'énergie brute, celle-ci ne doublant que tous les 30 ans.

On peut naturellement se demander à quel point ces prévisions sont réalistiques. Dans ce qui suit, l'auteur se permet d'exprimer quelques observations à ce sujet.

Comme déjà par le passé, les progrès de l'automatisation exigeront des besoins nettement plus grands en électricité. Cette évolution paraît devoir être impérieuse, car le manque de personnel de tout genre est de plus en plus notable, ce qui a déjà occasionné maintes difficultés dans certaines industries. On devra donc chercher à produire plus, avec moins de personnel.

Une autre cause d'accroissement est celle de la tendance constante d'extension de presque toutes les activités industrielles, surtout dans les groupes de consommateurs qui requièrent le plus d'énergie électrique, notamment dans l'électrochimie.

Il faudra également une plus grande quantité d'électricité pour pouvoir satisfaire aux exigences accrues d'une société de consommation. Dans ce sens, le besoin en électricité d'un pays est une bonne indication de sa productivité industrielle et par conséquent du niveau de vie de ses habitants.

Les expériences récentes montrent qu'il devient de plus en plus urgent, surtout pour les grandes villes, de disposer d'eau pure en quantité suffisante. Il convient donc de s'occuper plus attentivement d'un traitement électrique de l'eau, notamment du dessalement d'eau de mer, comme cela se fait

sein, vorzugsweise in den stromintensiven Verbrauchergruppen, wozu vor allem die Elektrochemie gezählt werden muss.

Mehr elektrische Energie wird auch notwendig sein, um die steigenden Lebensansprüche in Form eines sich mehrenden Güterkonsums befriedigen zu können. In diesem Sinne ist der Elektrizitätsbedarf eines Landes ein gutes Mass seiner industriellen Produktivität und damit auch für den Lebensstandard seiner Menschen.

Die Erfahrungen der jüngsten Zeit lassen erkennen, dass es immer vordringlicher wird, vor allem Großstädte in ausreichendem Masse mit reinem Wasser zu versorgen. Deshalb wird es notwendig sein, einer elektrischen Wasseraufbereitung erhöhte Aufmerksamkeit zu schenken und darüber hinaus Meerwasser zu entsalzen, wie es in einigen Ländern bereits geschieht, wozu rund 200 MW für eine Tagesproduktion von einer Million Kubikmeter Süsswasser erforderlich sind, was dem Verbrauch einer Millionenstadt entspricht.

Wachsende Schwierigkeiten im Mittelstrecken-Flugverkehr lassen es notwendig erscheinen, der Entwicklung eines zukünftigen Schnellbahnnetzes mehr Aufmerksamkeit zuzuwenden. In dieser Hinsicht haben die Japaner bereits vor zehn Jahren mit ihren bis zu 210 km/h fahrenden Hikari-Expresszügen Vorbildliches geleistet. Dazu musste aber die damals geplante Strecke bereits für eine Einspeiseleistung von 1,5 MVA/km ausgelegt werden, um vor allem die nicht unerheblichen Anfahrspitzen aufnehmen zu können. Es ist klar, dass mit einer weiteren Steigerung der Fahrgeschwindigkeit auch die Einspeiseleistung entsprechend zunehmen muss, da die Schubkraft mit der dritten Potenz der Geschwindigkeit wächst. Bei einem realistischen Schnellverkehr schienengebundener Art von 300 km/h würden dann schon 5 MVA/km notwendig sein und bei einem Schwebezug von 400 km/h rund 10 MVA/km.

Aus der Sicht eines möglichen Anhebens des zukünftigen Elektrizitätsbedarfes nicht minder interessant scheint die Beheizung von Strassen und Autobahnen zu sein, um vor allem verkehrsgefährdende Vereisungen und Schneeverwehungen wirkungsvoll zu entschärfen, wozu etwa 4 MW/km notwendig sein sollten, zugleich unter Einbeziehung einer Streckenbeleuchtung, die für einen sicheren Nachtverkehr immer vordringlicher wird.

Ein erheblicher Mehrbedarf an Elektrizität wird ohne Zweifel auf den Substitionseffekt entfallen müssen, worunter jene Mehrung an Elektrizität zu verstehen ist, die durch die

déjà dans quelques pays, ce qui nécessite environ 200 MW pour une production journalière d'un million de mètres cubes d'eau douce, correspondant à la consommation d'une ville d'un million d'habitants.

Des difficultés accrues dans le trafic aérien sur des distances moyennes laissent entrevoir la nécessité de s'occuper plus activement du développement d'un réseau ferroviaire à grande vitesse. Il y a déjà dix ans que les Japonais disposent de trains circulant à 210 km/h sur la ligne du Hikari. Pour cette ligne, il a fallu prévoir une puissance d'alimentation de 1,6 MVA/km, principalement pour absorber les pointes de démarrage. Pour augmenter encore les vitesses de marche, la puissance d'alimentation devra naturellement être plus grande, car l'effort de traction croît avec la puissance trois de la vitesse. Pour un trafic rapide sur voie ferrée, de l'ordre de 300 km/h, il faut déjà 5 MVA/km et, pour un convoi sur coussin d'air, circulant à 400 km/h, la puissance requise est de quelques 10 MVA/km.

Un autre accroissement de la consommation d'électricité proviendra du chauffage de rues et d'autoroutes, pour éviter les risques d'accidents dus au verglas et aux congères, ce qui exigerait environ 4 MW/km, compte tenu de l'éclairage de plus en plus nécessaire pour une circulation plus sûre de nuit.

Un net besoin supplémentaire en électricité résultera sans doute de l'effet de substitution, c'est-à-dire du remplacement progressif des besoins en énergie brute, ceux-ci croissant plus lentement que le besoin en électricité.

On ne s'est pas encore occupé beaucoup de la question de l'élimination des déchets par transformation chimique de substances et groupes de substances ayant déjà rempli leur but. Il est probable que cette transformation nécessitera également de l'énergie électrique.

Besoin des grandes agglomérations en électricité

Un problème particulièrement urgent, mais très complexe, est celui de la couverture du besoin en énergie des grandes agglomérations. Maintenant qu'il existe dans le monde 92 villes de plus d'un million d'habitants (fig. 19), totalisant près de 250 millions de personnes, il vaut la peine d'étudier attentivement les solutions possibles pour assurer cette couverture.

Jusqu'ici, l'alimentation en énergie d'une grande agglomération s'opérait en y amenant individuellement les porteurs d'énergie – charbon, combustibles liquides, gaz et électricité

Fig. 19

Die 92 Städte mit mehr als einer Million Einwohnern

Les 92 villes de plus d'un million d'habitants

stetige Übernahme von Energie aus dem Rohenergiebedarf zustande kommt, der, wie schon erwähnt, erheblich langsamer zunimmt als der Bedarf an Elektrizität.

Nur wenig Gedankengut ist bisher zu der Frage einer Abfallbeseitigung im Sinne einer chemischen Rücktransformation von Stoffen und Stoffgruppen eingebracht worden, die ihren Zweck bereits erfüllt haben. Es ist zu vermuten, dass zur technischen Erschliessung solcher Prozesse auch Elektrizität notwendig sein wird.

Elektrizitätsbedarf von Ballungsräumen

Eine Problematik besonders vordringlicher und zugleich aber auch sehr komplexer Art stellt sich im Zusammenhang mit der Deckung des Energiebedarfes von Ballungsräumen. Nachdem es in der ganzen Welt 92 Städte gibt, in denen mehr als eine Million Menschen leben (Fig. 19), die zusammengezählt rund 250 Millionen ergeben, sollte es sich lohnen, gründlicher darüber nachzudenken, welche Lösungen sich in dieser Hinsicht anbieten.

Bisher hat sich die Energieversorgung eines Ballungsraumes in der Weise vollzogen, dass die Rohenergieträger Kohle, Öl und Gas und auch Elektrizität in den zu versorgenden Raum hereingeführt worden sind – gleichsam in Form einer Mehrschienigkeit (Fig. 20). Damit werden aber auch die umweltbelastenden Energieträger, wozu vor allem die Kohle und das Öl zu rechnen sind, über den gesamten Ballungsraum verteilt und dann in subtilstem Zustande, etwa über Hauskamine und Fabrikschlote hinweg, in Form von Russ, Rauch und Qualm wirksam werden können. Für die Zukunft wird deshalb anzustreben sein, die konventionelle Mehrschienigkeit durch eine fortschrittliche Einschienigkeit zu ersetzen, die davon ausgeht, dass alle Rohenergie ausserhalb des Ballungsraumes umgesetzt und nur Elektrizität in diesen hereingeführt wird. Ein solches Konzept würde natürlich voraussetzen, dass sich vor allem die Haushalte nach und nach auf eine allelektrische Versorgung – unter Einbeziehung von Elektrobeheizung und Klimatisierung – umstellten, was eine merkliche Zunahme des Haushaltsstromverbrauches zur Folge haben würde.

Noch in anderer Hinsicht könnte die Elektrizität einem Ballungsraum nützlich sein, nämlich als Antriebsmittel von Fahrzeugen. In dieser Beziehung sollte man sich klar machen, dass die mit Benzin und Dieselöl betriebenen Kraftfahrzeuge zugleich Erzeuger hochtoxischer Stoffe sind, unter denen sich auch solche kanzerogener Art befinden. Eine befriedigende Lösung dieser lufthygienischen Misere ist auf lange Sicht nur durch das Elektromobil erreichbar, das lärm- und abgasfrei und bei Verwendung einer modernen Thyristorsteuerung ohne Getriebe und zugleich mit Nutzbremsung betrieben werden kann. Wenngleich das Speichervermögen der auf dem Markt befindlichen Batterien noch keineswegs als zufriedenstellend angesehen werden kann, so bringt doch der günstigere Wirkungsgrad des Elektromobils eine willkommene Verbesserung. Der durch den Einsatz von Elektromobilen verursachte Mehrbedarf an Elektrizität wird auf rund 10 Milliarden Kilowattstunden je Million Elektromobile geschätzt.

In diesem modernen Konzept einer einschienigen Versorgung wird die Quantelung von Elektrizität eine sehr bedeutsame Rolle insofern zu spielen haben, als in einem Megalo-

(fig. 20). Les porteurs d'énergie polluants, surtout le charbon et les combustibles liquides, sont ainsi distribués dans toute l'agglomération, où ils produisent de la suie, de la fumée et des gaz délétères. A l'avenir, il faudra donc chercher à remplacer ces amenées individuelles par une amenée unique, toute l'énergie brute étant transformée en dehors de l'agglomération et seule l'électricité étant introduite dans celle-ci. Cela exigerait, bien entendu, que les ménages soient peu à peu convertis intégralement à l'électricité, y compris le chauffage et la climatisation, ce qui donnerait lieu à un accroissement considérable de la consommation d'électricité par ménage.

Dans une grande agglomération, l'électricité pourrait en outre être utile comme moyen d'entraînement de véhicules. Ceux à essence et à moteurs Diesel produisent des gaz extrêmement toxiques, notamment cancérogènes. A longue échéance, une solution satisfaisante de cette pollution de l'air

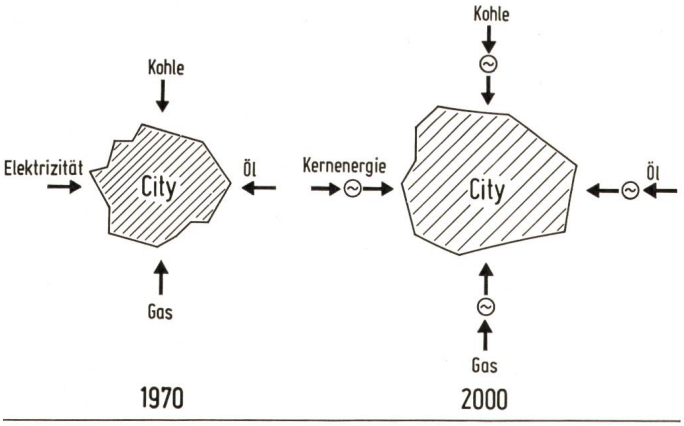


Fig. 20 **Energieversorgung von Ballungsräumen in den Jahren 1970 und 2000**

Alimentation en énergie de grandes agglomérations en 1970 et 2000

ne sera possible que par les véhicules électriques, silencieux, sans gaz d'échappement et pouvant même fonctionner sans engrenages, grâce à une commande par thyristors, et avec freinage par récupération. Quoique le pouvoir d'accumulation des batteries actuelles soit encore loin d'être satisfaisant, le rendement plus favorable du véhicule électrique représente une amélioration sensible. On estime que le besoin supplémentaire en électricité, dû à l'emploi de véhicules électriques, serait de l'ordre de 10 milliards de kWh par million de véhicules.

Dans cette conception moderne d'une amenée unique, la quantification de l'électricité aura à jouer un rôle très important, en ce sens que, dans une mégalopolis de l'an 2000 il faut compter avec des densités moyennes de 100 MW/km² – correspondant à 100 W/m² de surface utile –, ce qui n'est réalisable que par des réseaux de distribution puissants dans tous les stades, le réseau à basse tension classique n'ayant simplement qu'à satisfaire à des tâches de raccordement. Cela exige une soigneuse planification à longue échéance, dont il conviendrait de s'occuper dès maintenant.

Limites d'une couverture des besoins

Les problèmes qui viennent d'être mentionnés montrent que la question de l'utilité de l'électricité s'écarte de plus en

polis des Jahres 2000 mit mittleren Lastdichten von 100 MW/km² – entsprechend 100 W/m² Nutzfläche – gerechnet werden muss, die nur mit Hilfe leistungsfähiger Verteilungsnetze über alle Netzebenen hinweg verwirklichbar sind, wobei dann das konventionelle Niederspannungsnetz lediglich noch Anschlussaufgaben zu erfüllen haben wird. Dies bedarf einer wohlüberlegten langfristigen Planung, mit der bereits heute begonnen werden sollte.

Grenzen einer Bedarfsdeckung

Die zuletzt angeschnittenen Probleme lassen erkennen, dass sich die Frage nach der Nützlichkeit von Elektrizität mehr und mehr aus dem singulären Bereich ihrer Anwendbarkeit herauslöst und in einen globalen Bereich des Verteilens und nicht zuletzt auch des Erzeugens von Elektrizität verschiebt, so dass die möglichen Grenzen einer Bedarfsdeckung aus dieser Perspektive gesehen werden müssen.

Was die Elektrizitätsverteilung anbelangt, so bestehen in dieser Hinsicht noch gute Aussichten, sofern im Verlaufe der kommenden Jahrzehnte den bestehenden 400-, 500- und 700-kV-Netzen Ultrahochvoltnetze im Spannungsniveau von 1000/1500 kV überlagert werden. Die natürliche Leistung beispielsweise einer 1500-kV-Drehstromleitung liegt bei rund 10 000 MW, so dass damit fünfzehn 400-kV-Leitungen oder fünf 700-kV-Leitungen ersetzt werden können. Zur Verringerung der Bauhöhe von UHV-Leitungen ist in jüngster Zeit von amerikanischer Seite eine Art Korridorsystem vorgeschlagen worden (Fig. 21), das jedoch kreuzende Verkehrswege und Eisenbahnstrecken in konventioneller Weise überspannen müsste [45]. Was die Versorgung von Ballungsräumen anbelangt, so bietet sich ebenso eine Hochleistungsübertragung auf unterirdischem Wege an, wobei jedoch neben den Risiken einer noch zu verwirklichenden neuen Technologie als Kryo- oder Suprakabel die Kostenmehrung nicht übersehen werden sollten.

Im Bereiche der Elektrizitätserzeugung sind, soweit es sich um den Bau von Grenzleistungsmaschinen handelt, vorerst noch Reserven vorhanden, besonders da man mit einer kommenden Kryogentechnik hofft, die derzeit mögliche Grenzleistung von Turbogeneratoren auf 4000 bis 5000 MVA anheben zu können. Schwierigkeiten sind dagegen in jüngster Zeit im Zusammenhang mit der Errichtung von Kernkraftwerken aufgetreten, nachdem sich die Öffentlichkeit ihrem Bau aus oftmals nicht verständlichen Gründen widersetzt und die sicherheitstechnischen Auflagen so erschwerend geworden sind, dass mit einer Baugenehmigung erst nach Ablauf von Jahren gerechnet werden kann. Es muss deshalb befürchtet werden, dass das erforderliche Mehr an Elektrizität nicht rechtzeitig verfügbar ist mit den sich hieraus möglicherweise ergebenden Brownouts. In Amerika trägt man sich dieserwegen neuerdings mit dem Gedanken, Kernkraftwerke in Zukunft als Schwimmkraftwerke, einige Kilometer von der Küste entfernt, zu betreiben und die dort erzeugbare Elektrizität über eine Seekabelverbindung an eine Landstation zu übertragen (Fig. 22). Es ist beabsichtigt, eine erste Anlage dieser Art 19 km nordöstlich von Atlantic City für eine Gesamtleistung von 2300 MW auszulegen. Wegen des unerlässlichen Wellenschutzes setzt diese Lösung dafür geeignete Küstenstreifen mit einer Wassertiefe von 14 bis 21 m voraus, die jedoch längs der 9200 km langen amerikaplus du domaine particulier de son utilisation, pour passer dans un domaine global de la distribution et, par conséquent, de la production d'électricité, de sorte que les limites possibles d'une couverture des besoins doivent être considérées sous cet aspect.

En ce qui concerne la distribution, les perspectives demeurent bonnes, à condition qu'au cours de ces prochaines décennies les réseaux actuels à 400, 500 et 700 kV soient remplacés par des réseaux à 1000/1500 kV. La puissance naturelle d'une ligne triphasée à 1500 kV, par exemple, est d'environ 10 000 MW, ce qui permet de remplacer quinze lignes à 400 kV ou cinq à 700 kV. Afin de réduire la hauteur de ces lignes à très haute tension, les Américains ont récemment proposé une sorte de système à corridor (fig. 21) qui devrait cependant passer en dessus des routes et des voies ferrées [45]. Quant à l'alimentation des grandes agglomération, le transport de l'électricité de grande puissance peut se faire souterrainement, ce qui présente toutefois certains risques. En outre, le coût d'une nouvelle technologie de câbles cryogéniques ou supraconducteurs ne peut pas encore être évalué.

Dans le secteur de la production de l'électricité, on dispose de réserves pour la construction de très grandes ma-

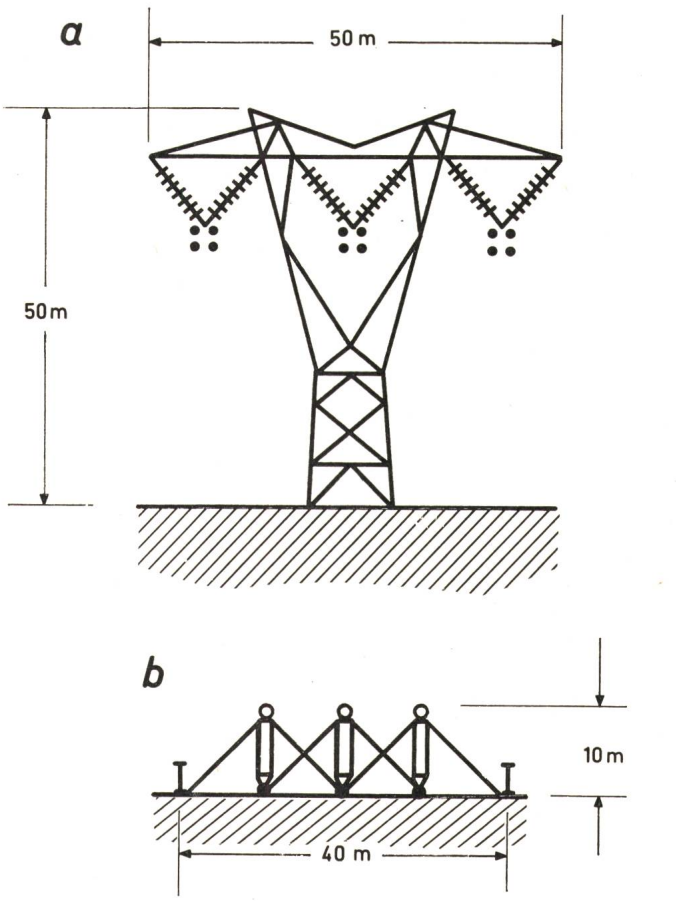


Fig. 21 **1050-kV-Korridorleitung im Vergleich zur konventionellen Technik [45]**
a Mast mit Bündelleitern
b Korridorleitung mit Rohrleitern

Ligne à 1050 kV en corridor, comparée à la technique classique [45]
a Mât avec conducteurs en faisceau
b Ligne en corridor avec conducteurs cylindriques

nischen Küste in ausreichender Zahl vorhanden sein sollen [44]. Es wäre interessant ehestens herauszufinden, welche Möglichkeiten die mindestens doppelt so lange europäische Küste in dieser Beziehung zu bieten vermag.

Für eine Elektrizitätsversorgung der nächsten Zukunft bleibt uneinkalkulierbar das visionäre Fusionskraftwerk, um dessen Verwirklichung weltweite Anstrengungen gemacht werden. Obwohl in diesem Bemühen bereits Temperaturen von vielen Millionen Grad erreicht worden sind, konnte die Problematik des magnetischen Einschlusses von Plasmen bisher nicht befriedigend gelöst werden. Aus diesem Grunde wird neuerdings versucht, die Plasmaerhitzung durch gebündelte Laserstrahlen zu verwirklichen. Zugleich sollte aber daran gedacht werden, die Solarenergie weit mehr als bisher in eine zukünftige Strategie einzubeziehen, zumal eine abschätzende Berechnung zeigt, dass ein Gebiet von weniger als 2 Promille der gesamten Wüstenfläche der Erde genügen würde, um den derzeitigen Weltstromverbrauch aus Solarzellen abzudecken. Demzufolge scheint in absehbarer Zeit keine Notwendigkeit zu bestehen, die Energieumsetzung in einem erdfernen Satellitenkraftwerk vorzunehmen, wie es in einem jüngst vorgetragenen Projekt eines 10 000-MW-Solarsystems geschehen ist, das mit seinen 25 000 t in einer Entfernung von 35 800 km über dem Äquator synchron mit der Erde umlaufen und die aufgenommene Sonnenenergie in Form von Mikrowellen auf die Erde einstrahlen soll (Fig. 23) [46]. Dazu kommt, dass der bestechende Vorteil einer Satellitenanlage, mit einer wesentlich kleineren Solarfläche auszukommen und nahezu das ganze Jahr der Sonne ausgesetzt zu sein, durch die zusätzlich notwendige Mikrowellenübertragung mit ihren noch ungelösten biologischen Problemen und nicht zuletzt durch die Erschwernis einer wartungsfreien Gerätetechnik hoher Lebensdauer und geringer Ausfallwahrscheinlichkeit reichlich ausgewogen wird.

Bei der Dynamik, mit der das jetzige und noch mehr das zukünftige Zeitgeschehen voranschreitet, könnte es aber auch sein, dass eines Tages der Bedarfsdeckung an Elektrizität aus rein ökologischen Gründen eine Schranke gesetzt wird. In diesem Zusammenhang sei auf einen vor kurzem veröffentlichten Bericht des Club of Rome hingewiesen, in dem die immer dringlicher und kritischer werdenden Umweltprobleme in überzeugender Weise behandelt werden [43]. Es wäre denkbar, dass der dann unausbleiblich werdende Verzicht auf eine unermessliche Gütermehrung durch den unmerklichen Übergang in eine neue Geisteshaltung in Verbindung mit der Verkündung neuer Lebensziele vollzogen werden müsste.

Nachwort

Nach allem muss angenommen werden, dass vor allem in den zuletzt angesprochenen Themen eine Fülle von Aufgaben zu lösen sein werden, an denen mitzuwirken alle wissenschaftlichen Institutionen als ihre vornehmste Aufgabe betrachten sollten. Aber auch für eine jüngere Generation bieten sich bestechende Möglichkeiten an, für die es sich einzusetzen lohnt. Nicht minder wichtig wird es aber sein, der Öffentlichkeit weit mehr als bisher Einblick in die wissenschaftlichen Geschehnisse unserer Zeit zu gewähren und sie damit auf kommende Situationen besser vorzubereiten. In dieser Hinsicht wird vor allem den technischen Museen eine

chines, surtout parce que la technique cryologique devrait permettre de porter de 4000 à 5000 MVA la puissance limite possible actuelle des turbo-alternateurs. Des difficultés se sont récemment présentées dans la construction de centrales nucléaires, le public s'y opposant souvent pour des motifs incompréhensibles, et les prescriptions relatives à la sécurité étant devenues particulièrement sévères, de sorte que l'autorisation de construire ne peut être donnée qu'au bout de plusieurs années. Il est donc à craindre que l'accroissement nécessaire de la production d'électricité ne soit pas disponible à temps, en raison de toutes ces difficultés. Aux Etats-Unis, on songe à aménager des centrales nucléaires flottantes, disposées à quelques kilomètres du rivage, l'électricité produite étant amenée par câbles sous-marins à un poste sur terre (fig. 22). On a l'intention d'aménager une première installation de ce genre à 19 km au nord-est d'Atlantic City, pour une puissance totale de 2300 MW. A cause de la protection indispensable contre les vagues, cette solution exige un rivage présentant une profondeur d'eau de 14 à 21 m, ce qui est le cas le long des rivages des Etats-Unis, dont la longueur atteint 9200 km [44]. Il serait intéressant de savoir quelles sont les possibilités à ce sujet pour les côtes européennes, qui sont au moins deux fois plus longues.

Pour une alimentation en électricité dans le proche avenir on pourrait avoir recours aux centrales à fusion nucléaire, dont la réalisation fait actuellement l'objet de recherches mondiales. On a déjà obtenu des températures de plusieurs millions de degrés, mais le problème de l'inclusion magnétique de plasma n'est toujours pas résolu. Pour cette raison, on tente maintenant d'obtenir l'échauffement du plasma par des rayons laser. On devrait toutefois envisager en outre d'introduire plus largement l'énergie solaire dans une stratégie future, car un calcul estimatif montre qu'une étendue de moins de 2 pour mille de toute la surface désertique de la Terre suffirait pour couvrir, au moyen de cellules solaires, la consommation mondiale actuelle en énergie électrique. De ce fait, il semble qu'il ne serait pas nécessaire, dans un avenir prochain, de procéder à la conversion d'énergie dans une

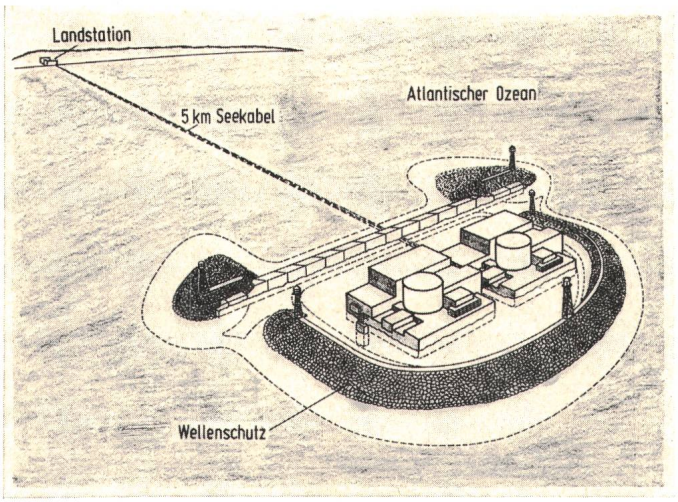


Fig. 22 Schwimmkraftwerk nach Friedlander [44]

Centrale flottante selon Friedlander [44]

Atlantischer Ozean = Océan Atlantique
Wellenschutz = Protection contre les vagues
Landstation = Poste de terre
5 km Seekabel = Câble sous-marin de 5 km

bedeutende und verantwortungsvolle Aufgabe zufallen, mit dem Ziel, die wissenschaftlichen Grundprinzipien einer voraussehbaren Entwicklung verständlich und für jedermann überschaubar darzustellen. Dabei sollte nicht übersehen werden, bemerkenswerte geschichtliche Ereignisse voranzustellen, um die jeweilige Gesamtheit nicht zu stören.

Wie immer aber die Entwicklung sich vollziehen mag, so wird sie ganz sicher von mehr Elektrizität durchdrungen sein, von deren Nützlichkeit mancher Arzneigelehrte einer weit zurückliegenden Zeit bereits überzeugt gewesen war.

Literatur – Bibliographie

[1] *J. G. Krüger:* Naturlehre. Halle, Hemmerde, 1740.
[2] *J. G. Krüger:* Zuschrift an seine Zuhörer, worinnen er ihnen seine Gedanken von der Electricität mittheilet. Halle, Hemmerde, 1744.
[3] *C. G. Kratzenstein:* Abhandlung von dem Nutzen der Electricität in der Artzneywissenschaft. Halle, 1745.
[4] *G. Pivati:* Nuovo dizinario scientifico e curioso sacro-profano. Tomo terzo. Venezia 1746.
[5] *J. G. Krüger:* Naturlehre. Band 1...3. Halle, Hemmerde, 1748...1755.
[6] *L. Jallabert:* Expériences sur l'électricité avec quelques conjectures sur la cause de ses effets. Genève, Barillot et fils, 1748.
[7] *J. A. Nollet:* Recherches sur les causes particulières des phénomènes électriques et sur les effets nuisibles ou avantageux qu'on peut en attendre. Paris, Guérin, 1749.
[8] Von dem Nutzen der Elektrischen Kraft in der Wirtschaft. Leipziger Sammlungen von Wirtschafftlichen, Policey-Cammer und Finantz-Sachen 8(1753)106, S. 888...894.
[9] *A. Savérien:* Dictionnaire universel de mathématique et de physique. Tome 1/2. Paris, J. Rollin et C.-A. Jombert, 1753.
[10] *G. B. Beccaria:* Dell'elettricismo. Edizione seconda. Bologna, Colle Ameno, 1758.
[11] *J. Priestley:* Expériences et observations sur différentes d'espèces d'air. Paris, 1772.
[12] *M. Guyot:* Nouvelles récréations physiques et mathématiques. Nouvelle édition corrigés et considérablement augmentée. Tome II et IV. Paris, Gueffier 1773 et 1775.
[13] *W. Hooper:* Rational recreations. Vol. 3. London, L. Davis, 1774.
[14] *J. Priestley:* Experiments and observations on different kinds of air. Second edition. Vol 1. London, Johnson, 1775.
[15] *J. Weber:* Abhandlungen von dem Luftelektrophor. 2. Auflage. Ulm, Wohler, 1779.
[16] *J. Ingen-Housz:* Vermischte Schriften physisch-medizinischen Inhalts. Wien, J. P. Krauss, 1782.
[17] *N. Retz:* Des fragments sur l'électricité appliquée à la médecine. Troisième partie. L'Esprit des Journaux 12(1783)5, p. 334...343.
[18] *H. Cavendish:* Experiments on air. Philosophical Transactions 75(1785), p. 372...384.
[19] *W. van Barneveld:* Geneeskundige Electriciteit Amsterdam, J. Elwe en D. M. Langeveld, 1785.
[20] *P. Bertholon de St. Lazare:* Über die Elektricität in Beziehung auf die Pflanzen. Leipzig, Schwickert, 1785.
[21] *P. van Troostwyk* et J. R. Daiman: Sur une manière de décomposer l'eau en air inflammable et en air vital. Journal de Physique 35(1789), p. 369...378.
[22] *L. G. Brugnatelli:* Fenomeni osservati colla pila voltiana. Annali di Chimica e Storia Naturale, Pavia 31(1802), p. 143...148.
[23] *J. J. A. Sprenger:* Anwendungsart der Galvani-Voltaischen Metall-Electricität zur Abhelfung der Taubheit und Harthörigkeit. Annalen der Physik 11(1802), S. 354...366.
[24] *P. F. Walther:* Über die therapeutische Indication und den Technicismus der galvanischen Operation. Wien, Camesina, 1803.
[25] *J. A. Heidmann:* Zuverlässiges Prüfungsmittel zur Bestimmung des wahren von dem Scheintod. Wien, Beck, 1804.
[26] *L. G. Brugnatelli:* Extrait d'une lettre. Van Mons Journal de Chimie et de Physique 5(1804), p. 357...358.
[27] *C. A. Struve:* Der Lebensprüfer oder Anwendung des von mir erfundenen Galvanodesmus zur Bestimmung des wahren von dem Scheintode, um das Lebendigbegraben zu verhüten. Hannover, Hahn, 1805.
[28] *S. T. Soemmering:* Über einen elektrischen Telegraphen. Denkschriften der Königlichen Akademie der Wissenschaften zu München 2(1809/1810), S. 401...414.
[29] *H. Davy:* Elements of chemical philosophy. London, J. Johnson, 1812.
[30] *F. Ronalds:* On electro-galvanic agency employed as a moving power with a description of a galvanic clock. Philosophical Magazine 45(1815), p. 261...264.
[31] *J. C. Oersted:* Experimenta circa effectum conflictus electrici in acum magneticum. Kopenhagen, 1820.
[32] *K. Sundelin:* Anleitung zur medizinischen Anwendung der Elektrizität und des Galvanismus. Berlin, Reimer 1822.
[33] *H. Davy:* On the electrical phenomena exhibited in vacuo. Philosophical Transactions -(1822), p. 64...75.
[34] Wir verdanken der Huld unserer Regierung ein neues, einem wichtigen Theile der Naturwissenschaften gewidmetes Institut, ein eignes für die magnetischen Beobachtungen und Messungen errichtets Observatorium. Göttingische gelehrte Anzeigen 2(1834)128, S. 1265...1274.
[35] Jacobis Commutator. Annalen der Physik und Chemie 36(1835)3, S. 366...369.
[36] *C. A. Steinheil:* Über Telegraphie, insbesondere durch galvanische Kräfte. München, Carl Wolf, 1838.
[37] *M. H. Jacobi:* Die Galvanoplastik. St. Petersburg, Eggers, 1840.
[38] *F. Moigno:* Traité de télégraphie électrique. Second édition. Paris, A. Franck, 1852.

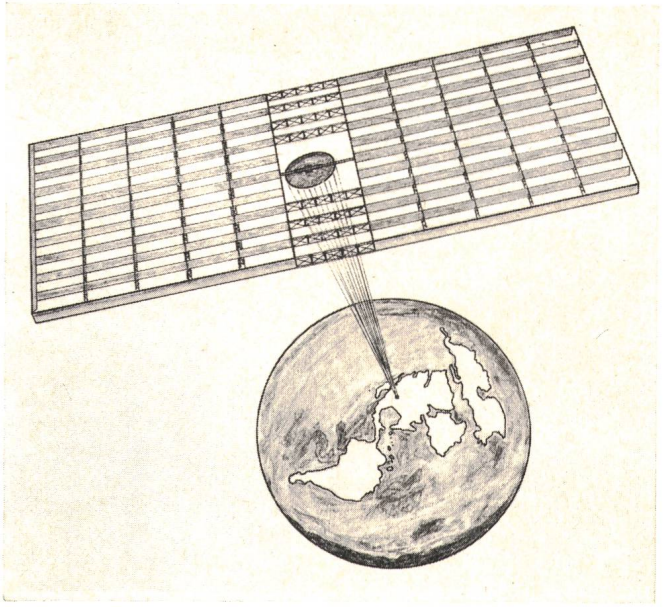


Fig. 23 **10 000-MW-Satellitenkraftwerk nach Brown [46]**

Flügelfläche	97 km²
Solarzellenfläche	32 km²
Sendeantenne	1 km Durchmesser
Empfangsantenne	7,4 km Durchmesser

Centrale satellisée de 10 000 MW, d'après Brown [46]

Surface des panneaux	97 km²
Surface des cellules solaires	32 km²
Antenne d'émission	1 km de diamètre
Antenne de réception	7,4 km de diamètre

centrale satellisée à une certaine distance de notre globe, comme le prévoit un récent projet de 10 000 MW par un satellite de 25 000 t tournant à une distance de 35 800 km au-dessus de l'Equateur, en synchronisme avec la Terre, l'énergie solaire captée étant rayonnée sur le sol sous forme d'ondes micrométriques (fig. 23) [46]. A l'avantage évident d'une telle installation satellisée, d'une surface nettement plus petite à exposer aux rayons solaires, cela durant presque toute l'année, s'opposent toutefois la transmission nécessaire par ondes micrométriques, qui présente des problèmes biologiques non encore résolus, ainsi que la difficulté d'un appareillage exempt d'entretien, d'une longue durée de vie et d'un faible risque de défaillance.

Vu les progrès dynamiques des événements actuels et surtout des événements futurs, il se pourrait qu'un beau jour la couverture des besoins en électricité soit limitée pour des raisons purement écologiques. Rappelons à ce propos un rapport récent du Club de Rome, où les problèmes de l'environnement de plus en plus urgents et critiques sont traités d'une façon convaincante [43]. Le renoncement inéluctable à un accroissement infini des biens de consommation pourrait être réalisé par la transition insensible à une mentalité nouvelle, conjointement avec la proclamation de nouveaux buts de l'existence.

Epilogue

Après tout cela, il faut admettre que, surtout pour les thèmes mentionnés en dernier lieu, de multiples tâches devront être résolues, à la collaboration desquelles toutes les institutions scientifiques devraient activement participer. Pour la jeune génération également, s'offrent des possibilités séduisantes, dont il vaut la peine de s'occuper. Mais il est

[39] *J. F. Hessler:* Lehrbuch der Physik. 2. Auflage. Wien, Braunmüller, 1854.
[40] The Edison electric lighting station. Scientific American 47(1882)9, p. 127 + 130.
[41] *A. Guerout:* L'historique de la télégraphie électrique. La Lumière Electrique 8(1883)9, p. 257...264.
[42] *H. Hertz:* Über Strahlen electrischer Kraft. Annalen der Physik und Chemie, Neue Folge 36(1889)4, S. 769...783.
[43] *L. Meadows:* Die Grenzen des Wachstums. Stuttgart, Deutsche Verlagsanstalt, 1972.
[44] *G. D. Friedlander:* Floating reactor crisis solution. IEEE Spectrum 10(1973)2, p. 44...51.
[45] *F. Reggiani:* Etude de lignes non-classiques de dimensions extrêmement réduites. Electra -(1973)27, p. 25...34.
[46] *W. C. Brown:* Satellite power stations: a new source of energy. IEEE Spectrum 10(1973)3, p. 38...47.

tout aussi important que le public puisse se rendre beaucoup mieux compte des événements scientifiques de notre époque, afin d'être mieux préparé aux situations à venir. Les musées techniques ont ainsi une tâche importante à accomplir, en exposant d'une façon bien compréhensible pour chacun les principes scientifiques fondamentaux d'un développement prévisible, sans oublier les événements historiques les plus notables.

Quelle que soit l'évolution, il est certain qu'elle exigera toujours plus d'électricité, dont maints savants des anciens temps étaient déjà convaincus de l'utilité.

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

Adresse de l'auteur:
Dr *Hans Prinz,* professeur, directeur de l'Institut de technique de la haute tension et des installations, de l'Université Technique de Munich, Arcisstrasse 21, D-8 Munich 2.

Johannes I. Bernoulli 1667–1748

225 Jahre sind seit dem Tod des grossen Mathematikers Johannes I. Bernoulli verflossen. Er war am 27. Juli 1667 als das zehnte Kind des Ratsherrn Bernoulli in Basel zur Welt gekommen. Johannes I. durchlief Basels Schulen, weilte für ein Jahr in Neuchâtel und wurde 1685 Magister der Philosophie.

Schon während des Studiums führte ihn sein 13 Jahre älterer Bruder Jakob in die Mathematik ein, wobei Johannes überraschende Fortschritte machte. 1684 war den beiden die Schrift von *Leibniz* in die Hände gekommen, in der dieser die von ihm begründete Differentialrechnung in knappster Form andeutete (unabhängig von *Leibniz* hatte auch *Newton* die gleichen Überlegungen angestellt). Schon nach wenigen Tagen hatten die Bernoulli die Sache erfasst. Johannes kam dabei auf den Gedanken, «eine Methode zu ersinnen, die unendlich kleinen Elemente zum Endlichen zusammenzufügen» und gab diesem Rechenverfahren den Namen «Integralrechnung».

1690 bis 1692 hielt er sich in Genf und Paris auf, wo er viele Mathematiker mit den neuen Methoden bekannt machte. Einem von ihnen, dem Marquis *de l'Hôpital,* schrieb er das Rechnungsverfahren auf und musste später feststellen, dass dieser die Arbeit unter seinem Namen publizierte.

Nach Basel zurückgekehrt, bestand er das Doktorexamen als Mediziner und heiratete 1693 Dorothe Falkner.

1695 wurde er auf den Lehrstuhl für Mathematik der Universität Groningen berufen, wo er bis 1705 wirkte, nicht nur als Mathematiker, sondern auch als Physiker.

Fünf Söhne und vier Töchter wurden dem Paar geschenkt, von denen vier bzw. zwei am Leben blieben. Drei Söhne zählen wieder zu den grossen Mathematikern, nämlich Johannes II., Niklaus II. und Daniel.

Bibliothek ETH Zürich

In die Groningerzeit fallen die Ernennungen zu Mitgliedern der Akademien von Paris 1699, Berlin 1701 und St. Petersburg sowie der Royal Society. Nur ungern liess man ihn von Groningen weg, als er 1705 auf Wunsch seines Schwiegervaters nach Basel zurückkehrte. Auch Utrecht warb um ihn. Auf dem Heimweg erfuhr er in Amsterdam, dass sein Bruder Jakob, mit dem er sich wegen einer Preisfrage überworfen hatte, gestorben sei.

In Basel angelangt, bot ihm der akademische Senat den verwaisten Lehrstuhl seines Bruders an, den er bis 1745 innehatte.

Johannes Bernoulli und seine Söhne gewannen zahlreiche Preisausschreiben der Académie des Sciences über Astronomie und Mechanik. Obwohl ein guter Familienvater, schätzte er die Konkurrenz seiner Söhne nicht, denn er war ein rechthaberischer und sehr ehrgeiziger Mann.

Zu seinen Schülern zählten neben seinen Söhnen *Cramer, Gessner, Haller, Lesage* und *Leonhard Euler,* der einzige, auf den er stolz war.

Grossen Kummer bereitete ihm der frühe Tod (1726) seines Sohnes Niklaus II., den *Zar Peter* der Grosse im Jahr zuvor zusammen mit Daniel nach St. Petersburg geholt hatte.

Neben seinen Pflichten an der Universität hatte Johannes I. eine Schulreform durchzuführen. 1742 veröffentlichte der Genfer Professor *Gabriel Cramer,* einer seiner Schüler, sein mathematisches Werk, die Opera omnia. Neben reiner und angewandter Mathematik umfasst es auch naturwissenschaftliche Probleme. Johannes Bernoullis Hauptverdienst ist es, die Differential- und Integralrechnung allgemein bekanntgemacht zu haben.

Voltaire steuerte zur Opera omnia folgenden Vers bei:

Son esprit vit la vérité
et son cœur connut la justice;
il a fait l'honneur de la Suisse
et celui de l'humanité.

Johannes I. Bernoulli starb am 1. Januar 1748 in seiner Vaterstadt.

H. Wüger