

**Zeitschrift:** Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins  
**Herausgeber:** Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätswerke  
**Band:** 64 (1973)  
**Heft:** 15  
  
**Artikel:** Las-Vegas-Konferenz über Blitz- und Statikelektrizität  
**Autor:** Prinz, H.  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-915582>

### **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:** 21.02.2026

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

16...20 \$/U<sub>3</sub>O<sub>8</sub> nicht übersteigen; Fortschritte in der Kernreakorteknik können diese Grenze nach oben verschieben. Dazu können die Reaktorbauarten beitragen, welche einen grösseren Anteil des Uranisotops U<sup>238</sup> in einen neuen Kernenergieträger – Plutonium (Pu<sup>239</sup>) – umwandeln, d. h. einen hohen Brutfaktor (*b*) aufweisen; die Reaktoren mit *b* > 1,0 werden Brutreaktoren genannt. Um die Knappheit an Kernenergiequellen abzuwenden, wird z. Z. an der Entwicklung von Brutreaktoren eifrig gearbeitet. Da dieses technisch recht schwierige Problem gewisse Zeit beanspruchen wird, schätzt man, dass diese Reaktorbauart nur nach 1985 einen wesentlichen Einfluss auf die Energieversorgung ausüben wird. Die Brutreaktoren werden die Primärenergiegrundlage der Kernkraftwerke vielfach vergrössern, und den Kernenergieanlagen die Möglichkeit geben zum Grundstein der Energieversorgung zu werden. Dazu muss aber noch ein ziemlich langer Weg der technischen Entwicklungsarbeit gegangen werden.

#### Literatur

- [1] H. Steiner: Grundlagen, Möglichkeiten und Grenzen der Zukunftsforschung für die Wirtschaft. ÖZE 24(1971)11, S. 473...482.
- [2] A. Kroms: Zu den Prognosen des Energiebedarfs. Ihre Zwecke und Glaubwürdigkeit. Bull. SEV 62(1971)10, S. 508...515.

- [3] The 1970 national power survey. Part I, II, III and IV. Washington, D. C., Federal Power Commission, U. S. Government Printing Office, 1970.
- [4] F. A. Ritching: Trends in energy needs. ASME-Paper 71-Wa/Ener. 3. New York, American Society of Mechanical Engineers, 1971.
- [5] A. Kroms: Die Weltproduktion der elektrischen Energie. Techn. Rdsch. 63(1971)52, S. 1...3, 7 + 15.
- [6] A. Kroms: Stromversorgung der Welt. Elektrizitätswirtsch. 68(1969)11, S. 367...375.
- [7] F. Felix: Annual growth rate on downward trends Electr. Wld. 174 (1970)1, p. 30.
- [8] F. Felix: Energy use: Basic to economic growth. Electr. Wld. 175(1971)2, p. 36...37 + 41.
- [9] A. Kroms: Die Brennstoffbilanz der amerikanischen Kraftwerkwirtschaft. Energie 24(1972)5, p. 121...128.
- [10] Civilian nuclear power. Potential nuclear power growth patterns. Washington, United States Atomic Energy Commission, 1970.
- [11] The nuclear industry, Washington, United States Atomic Energy Commission, 1970.
- [12] A. Kroms: Kernenergie in der Energieversorgung der USA. Atom und Strom 18(1972)3/4, S. 50...58.
- [13] Forecast of growth of nuclear power. Washington, United States Atomic Energy Commission, 1971.
- [14] Nuclear reactors built, being built or planned in the USA. Washington, United States Atomic Energy Commission, 1971.
- [15] 51st semi-annual electric power survey. New York, Edison Electric Institute, 1972.
- [16] A. Kroms: Kernenergie in der Energieversorgung Grossbritanniens. Bull. SEV 59(1968)23, S. 1079...1090.
- [17] A. Reichl: Aspekte des Kernbrennstoffkreislaufes in Europa. ÖZE 24(1971)1, S. 78...85.
- [18] J. A. Patterson: Outlook for nuclear fuel. ASME-Publication, 70-Pwr-10. New York, American Society of Mechanical Engineers, 1970.

#### Adresse des Autors:

A. Kroms, 30, Rockland Ave. Malden, Ma. 02148, USA.

## Las-Vegas-Konferenz über Blitz- und Statikelektrizität

Von H. Prinz

Inmitten einer landschaftlich bizarren Gegend, die alten Berichten zufolge schon Ende des 16. Jahrhunderts den Spaniern wegen ihrer heissen Quellen bekannt gewesen war und auf ihrem beschwerlichen Weg von Santa Fé nach der pazifischen Küste stets als willkommenen Ruheplatz diente, fand in der Zeit vom 12. bis 15. Dezember 1972 die von der Society of Automotive Engineers (SAE) und dem Air Force Avionics Laboratory (AFSC) veranstaltete dritte Lightning and Static Electricity Conference statt, die – wie auch in den beiden vorausgegangenen Konferenzen der Jahre 1968 in Miami Beach und 1970 in San Diego – einen ausgezeichneten Überblick über alle jene Probleme vermittelte, die mit den Einwirkungen externer Elektrizität im Bereich der Luft- und Raumfahrt in Zusammenhang stehen, und die rund 300 Delegierte, vornehmlich aus den USA, zu nützlichen Gesprächen in die Konferenzräume des behaglichen Sahara-Hotels zusammenführte.

Im Verlaufe des Eröffnungszeremoniells wurde auf die umfassende Bedeutung dieser Probleme für die Sicherheit aller Luft- und Raumfahrzeuge hingewiesen und insbesondere hervorgehoben, wie bedeutsam in dieser Hinsicht eine koordinierende Zusammenarbeit zwischen Industrie, Universitäten und staatlichen Behörden ist, um auf diese Weise einen möglichst umfassenden Erfahrungsaustausch für die jeweils vorliegende Aufgabe zu erreichen – and to close the gap to knowledge and technology. Obwohl, wie betont wurde, in den vergangenen Jahren manches Problem gelöst werden konnte, so seien doch unter Berücksichtigung des weiter zunehmenden Flugverkehrs bei seinem Mehr an Allwetterflügen und der noch bevorstehenden Aufgaben in der Raumfahrt erhebliche Anstrengungen erforderlich, um den Flugkörper mit seiner Crew und seinen Passagieren noch besser und wirkungsvoller gegen mögliche Einwirkungen statischer Elektrizität und die Folgeschäden nicht abwendbarer Blitzeinschläge zu schützen. Ein solches Vorgehen sei vor allem auch wegen der beabsichtigten Verwendung neuer Verbundwerkstoffe anstelle des bewährten Aluminiums als Leit- und Tragwerkstoff geboten, die zwar eine höhere mechanische Festigkeit zugleich mit einer Gewichtsersparnis einbrächten, aber andererseits die Schutzwirkung der als Faradayscher Käfig wirkenden Metallhaut völlig zunichte machten, und dies bei einer immer empfindlicher wer-

551.594.221 : 537.2  
denden Halbleiteravionik, die in zunehmendem Masse für eine On-line-Automatik eingesetzt wird. In dieser Beziehung sei ohne Zweifel die allergrösste Vorsicht geboten.

#### 50 Referate

Dank der Umsicht der beiden Chairmen J. L. Moe und C. E. Seth konnten unter Mitwirkung der Session Chairmen für die in einem Konferenzband von 670 Seiten zusammengefassten 50 Referate hervorragende Fachvertreter aus der amerikanischen Luftfahrtindustrie gewonnen werden, die sich durch Namen wie Boeing, McDonnell, Douglas und Lockheed einen weltweiten Ruf geschaffen hat. Eben solche Experten sind von seiten einiger amerikanischer Universitäten und wissenschaftlicher Institutionen sowie der teilnehmenden Aufsichtsbehörden delegiert worden, was mit dazu beigetragen hat, dass den Konferenzteilnehmern ein hohes Mass wohl abgewogener Darstellung geboten werden konnte. Naturgemäss lag der Schwerpunkt der Beteiligung bei der Industrie mit 23 Referaten im Vergleich zu den 16, die von den wissenschaftlichen Institutionen, und den 9, die von den staatlichen Behörden vorgelegt worden sind.

In Anbetracht der Fülle des abzuhandelnden Stoffes wurden die einzelnen Referate in acht Themengruppen aufgeteilt, wovon fünf fast ausschliesslich elektrostatischen Problemen gewidmet waren, die oftmals aus Unkenntnis übersehen und damit zu einer echten Gefahr werden können. Mit den folgenden Betrachtungen soll versucht werden, dem interessierten Leser einen kurzgefassten Überblick über die einzelnen Themengruppen zu vermitteln, mit Hinweisen wichtiger Art und ergänzenden Bemerkungen, wo dies zum besseren Verständnis notwendig erschien.

#### Grundlegendes über den Blitz

Zunächst wurde in der Themengruppe I – Fundamental Aspects of Lightning – eine zusammenfassende Darstellung der Wirkungen und Erscheinungsformen des Blitzphänomens gegeben, wozu recht geschickt ein von der American Meteorological Society geförderter Film des Themas «Atmospheric Electricity» nützlich war. Daran anknüpfend haben vier amerikanische Experten, die sich auf dem Gebiete der Blitzforschung einen ausgezeichneten Namen gemacht haben, die vielgestaltige Problematik



einer modernen Blitzforschung erläuternd vorgetragen. Damit war ein guter Ausgangspunkt zum besseren Verstehen der nachfolgenden Referate geschaffen worden.

#### Grundlegendes über statische Elektrizität

In der Themengruppe II – Fundamental Aspects of Static Electricity – wurde zunächst in zwei einleitenden Referaten dargestellt, unter welchen Umständen statische Elektrizität überhaupt entstehen kann und welche Vorstellungen die moderne Wissenschaft mit ihrer Verursachung verbindet. Dazu gab Professor G. A. Dawson der University of Arizona, Tucson, ein Resümee über die verschiedenen Effekte, die beim Zusammenstossen von Eiskristallen vermutlich zu einer Ladungstrennung führen und in irgendwelchen Kombinationen auch bei der Bildung von Gewitterelektrizität eine Rolle spielen können. Darnach erläuterte Professor J. J. Inculet der University of Western Ontario, London (Kanada), dass bei der Entstehung von Berührungs- und Reibungselektrizität nur extrem kleine Ladungsmengen in der Grössenordnung von Mikrocoulomb beteiligt sind, im Vergleich zu den vielen Hundert und Tausend Coulomb je Gramm Metall und etwa 53 000 Coulomb je Gramm Wasser. Die bei ganz reiner Oberfläche beobachteten Gesetzmässigkeiten seien – so führte Professor Inculet weiter aus – im Falle von Verunreinigungen und beim Hinzukommen von Feuchtigkeit nicht mehr gültig, so dass dann lediglich Aussagen über die statistische Verteilung der zu erwartenden Ladungsmengen und ihrer Polarität gemacht werden könnten.

Das mit am interessanteste Referat in dieser Themengruppe wurde von T. A. Ellison der Martin Marietta Aerospace, Denver, geboten, das einen ausgezeichneten Einblick in die mannigfachen Wirkungen statischer Elektrizität geboten hat, angefangen bei Aufladeeffekten durch strömende Flüssigkeiten und dem vorzeitigen Zünden brennbarer Gasgemische bis zur Beeinflussung logischer Schaltkreise und der Explosion von Superöltankern. Es versteht sich von selbst, dass derartige Effekte statischer Elektrizität aus der Sicht der Praxis von eminenter Bedeutung geworden sind, vor allem im Hinblick auf ihre katastrophalen Folgen, wozu die nachstehenden Beispiele eine Vorstellung geben sollen: In einer Anlage haben sich Isolierschläuche beim Hindurchströmen von Flüssigkeit bis auf 60 kV aufgeladen, wonach es im Laufe der Zeit wegen nicht ausreichender elektrischer Festigkeit des Schlauchmaterials zu einem Durchschlag gekommen ist, der schliesslich zu einer folgenschweren Leckage geführt hat. In einem anderen Fall ist durch das Bewegen einer staubschützenden Plastikdecke die Rakete eines Satelliten vorzeitig gezündet worden. In einem weiteren Beispiel wird davon berichtet, dass eine computergesteuerte Rakete von ihrer vorgeschriebenen Bahn ausgelenkt worden war, einfach deshalb, weil der steuernde Logikkreis infolge statischer Aufladung einen Fehlimpuls ausgelöst hat, wozu, wie durch Testmessungen später festgestellt werden konnte, bereits Energiemengen in der Grössenordnung von 0,05 mWs ausreichend sind. In einem letzten Beispiel wird davon berichtet, dass beim Reinigen grosser Öltanks durch ein Abspritzen mit Wasser erhebliche statische Aufladungen verursacht wor-

den sind, die im Falle von drei Superöltankern vor einigen Jahren zu schweren Explosionen geführt haben. Einer der Tanker ist dabei gesunken.

#### Störende Aufladungen

In der Themengruppe III – Electrification and Operational Problems – wurde in einer Reihe von Referaten erneut die Thematik der störenden Aufladungen angesprochen, die sich als Folge von Koronaentladungen an den Kanten und Spitzen des Flugkörpers einstellen, sobald dieser eine Spannung von einigen 100 kV erreicht hat. Dabei entstehen bekanntlich extrem kurzzeitige Impulse im Nanosekundenbereich, die Störungen innerhalb eines breiten Frequenzbandes bis zu 100 MHz zur Folge haben und sich durch einen erhöhten Rauschpegel bemerkbar machen, der sowohl die Navigation als auch den Funksprechverkehr nicht unerheblich zu behindern vermag. Als wirksame Gegenmassnahme haben sich rauscharme Entlader bewährt, die durch ihre Spitzenwirkung in Verbindung mit einem hochohmigen Widerstand von 10 bis 100 M $\Omega$  die angesammelte Ladung des Flugkörpers störungsfrei an die umgebende Atmosphäre abgeben. Auch an den unvermeidbaren Durchbrechungen der Metallhaut des Flugzeuges in Form von Isolierflächen – sei es als Radome oder als Frontscheiben von Cockpits – können solche störenden Entladungen auftreten, die im allgemeinen durch leitende Überzüge unwirksam gemacht werden können. Dem Prinzip nach handelt es sich dabei immer darum, den spezifischen Isolationswiderstand der Isolierfläche so weit abzusenken, dass eine ungehinderte Ladungsabfuhr zustande kommen kann.

#### Raketen und Raumfahrt

Die Themengruppe IV – Missiles and Spacecraft – war ausschliesslich der Raumfahrt gewidmet, mit ihren überraschenden Aufladeeffekten, wie sie bei den meisten Raumflügen beobachtet worden waren. Dabei hat sich sehr deutlich gezeigt, wie wichtig die statische Elektrizität für eine Planung von Raumfahrzeugen inzwischen geworden ist. In diesem Zusammenhang ist berichtenswert, dass an einer im Frühjahr 1971 abgeschossenen Titan-Rakete durch eine angebaute Feldmühle bereits kurz nach dem Start eine Negativspannung von rund 200 kV registriert wurde, die dann mit zunehmender Höhe langsam wieder abgeklungen ist. Der aus dem Registrierstreifen entnehmbar gewesene Spannungsanstieg von rund 100 kV/s würde bei einer angenommenen Eigenkapazität der Rakete von etwa 1000 pF einen eingepprägten Ladestrom von 100  $\mu$ A ergeben haben, was durchaus möglich erscheint. Interessanterweise sind auch an Grossflugzeugen Spannungen der gleichen Grössenordnung gemessen worden.

Aber auch innerhalb von Raumflugkörpern sind elektrostatische Aufladungen festgestellt worden, wie Astronauten des Apollo-Programmes nach wiederholt empfungenen Erschütterungen berichtet haben. Eine daraufhin veranlasste Untersuchung hat ergeben, dass beim Tragen von Raumanzügen Spannungen bis zu 4 kV auftreten können, woraus sich bei einer gemessenen Eigenkapazität von rund 200 pF eine Energie von 1,6 mWs errechnen lässt, die bereits über dem Schwellwert einer nachweis-

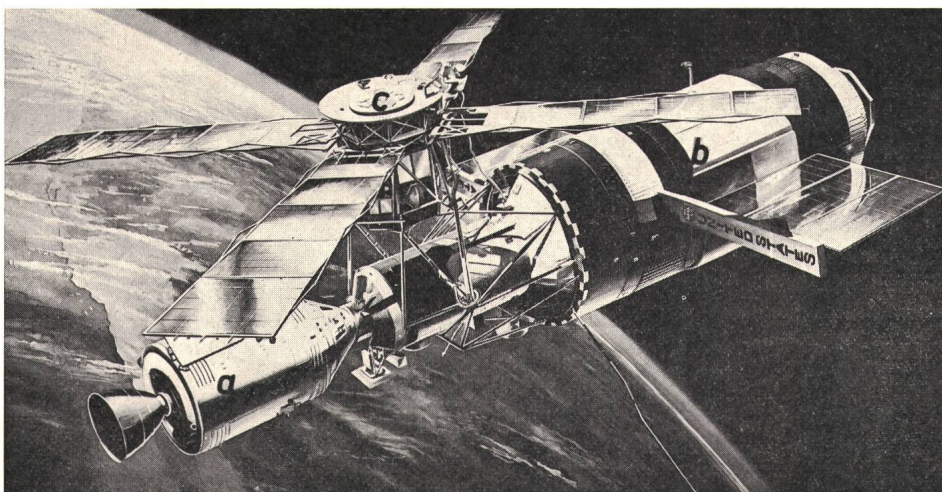


Fig. 1  
Erste Raumstation des amerikanischen Skylab-Programms

- a Kommandokapsel
- b Arbeitskapsel mit Solarzellen
- c Sonnentteleskop mit Solarzellen



baren Muskelreizung von 1 mWs liegt, so dass die schlagversetzenden Wirkungen durchaus erklärlich sind.

Aufladeeffekte ähnlicher Art werden übrigens im Rahmen des in diesem Frühjahr anlaufenden amerikanischen Skylab-Programms der National Aeronautics and Space Administration zu erwarten sein, in dessen Verlauf eine 100 t schwere Experimentier-Raumstation mit 390 m<sup>3</sup> Volumen (Fig. 1) für die Dauer von 8 Monaten in rund 375 km Höhe Dreiviertel der Erdoberfläche überfliegen wird, und zwar zunächst mit einer ersten Dreiermannschaft für die Dauer von 28 Tagen, dann mit einer zweiten und dritten für jeweils 56 Tage mit dazwischenliegenden Pausen von je einem Monat. Nach dem vorgetragenen Referat zu schliessen, muss damit gerechnet werden, dass durch den Mannschaftswechsel Fremdkörper in die Raumstation eingeschleust werden, die zu störenden elektrostatischen Aufladungen mit denkbaren Behinderungen eines umfangreichen Experimentalprogramms führen können, das Aufgaben aus der Astronomie und Geophysik, der Hämatologie und Neurophysiologie sowie einer Neutechnologie der Schwerelosigkeit umfassen wird, um einige zu benennen.

Zur Abrundung dieser zweifellos sehr spektakulären Thematik sei noch hinzugefügt, dass, seltsam genug, auf dem Mond sehr störend wirkende Aufladungen festgestellt worden sind, die nicht nur die kantigen Stellen der Mondfähre mit Staub besetzt haben, wie man zunächst meinen möchte, sondern auch die senkrechten Wandflächen, wie aus Fig. 2 zu erkennen ist, vermutlich als Folge des sehr viel geringeren Gravitationsfeldes. Dadurch ist es zu Störungen der angebauten Sensoren sowie zu einer Minderung der Leistungsfähigkeit der Solarzellen gekommen.

Abschliessend sei noch vermerkt, dass ebenso an Satelliten elektrostatische Aufladungen beobachtet worden sind, die Spannungen bis zu 10 kV ergeben haben und möglicherweise zu einer echten Störungsquelle des eingebauten empfindlichen Instrumentariums werden können.

#### *Flugzeug, Teil I*

In der Themengruppe V – Aircraft I – ist eine erste Reihe von Referaten behandelt worden, die sich mit dem interessanten und

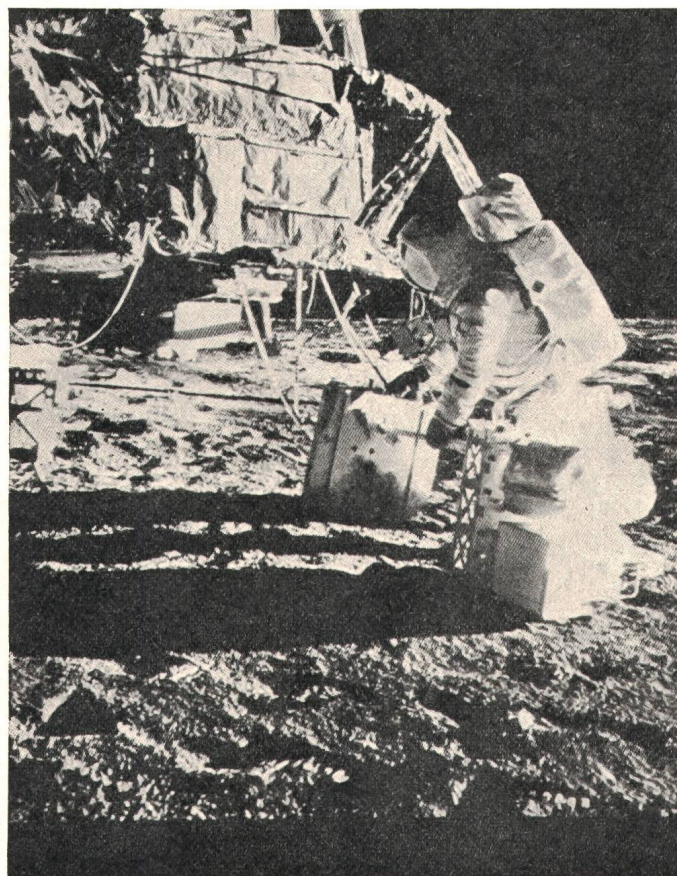


Fig. 2  
Staub auf der Mondfähre Alsep  
(NASA Photo, Courtesy H. Callicott, R. Ellison)

zugleich sehr schwierigen Thema der Blitzgefährdung von Flugzeugen und den damit verbundenen Folgewirkungen zu befassen hatte.

Oftmals wird die Meinung vertreten, dass Flugzeuge nur sehr selten vom Blitz getroffen würden und dass beim Eintreten eines solchen Ereignisses keinerlei Schäden zu erwarten seien. Tatsache ist dagegen, dass jedes Flugzeug einmal im Jahr vom Blitz getroffen wird und dass etwa zwei Drittel aller Einschläge zu Schäden führen. Soweit aus einer von J. A. Plumer vorgelegten neueren Statistik hervorgeht, die in Zusammenarbeit mit fünf grossen amerikanischen Luftfahrtgesellschaften erstellt worden ist, sind in einem Zeitraum von 17 Monaten an den im Einsatz gewesenen neun Flugzeugtypen – einschliesslich der Boeing 747 und der DC 10 – insgesamt 102 Einschläge registriert worden, von denen 78 Einschläge nachweisbare Schäden verursacht haben, vorzugsweise am Radom, den Entladern, der Instrumentierung und der Avionik. In einigen Fällen hat der Einschlag zu Einbrennungen in der äusseren Metallhaut des Flugzeuges sowie zu einem Ausblasen der Antennenableiter geführt. Diese Schadensstatistik deckt sich hinsichtlich ihrer Ausfallrate sehr gut mit einer früheren, vom British Air Registration Board veranlassten Schadensanalyse, die erkennen lässt, dass 72 % der insgesamt registrierten 456 Einschläge zu Folgeschäden geführt haben. Aus der gleichen Statistik ist übrigens auch erkennbar, dass 65 % aller Einschläge innerhalb eines Temperaturbereiches von –5 bis +5 °C und 73 % unterhalb einer Höhe von 3000 m zustande gekommen sind.

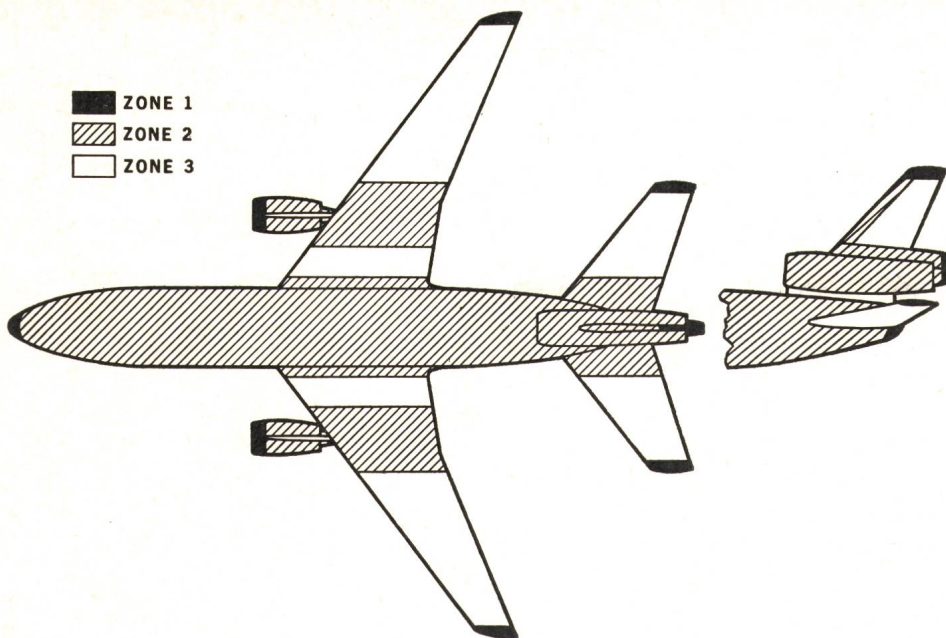
In diesem Zusammenhang mag noch die Frage interessieren, in welcher Weise sich die einzelnen Einschläge in etwa auf die Oberfläche des Flugzeuges aufteilen. Soweit sich dazu Informationen aus einer von der Federal Aviation Administration (FAA) veranlassten Untersuchung der Jahre 1965/66 entnehmen lassen, in deren Ablauf an 17 verschiedenen Flugzeugtypen zusammen 945 Einschläge beobachtet werden konnten, so sind auf den Rumpf 20 %, auf die Höhen- und Seitenleitwerke 18 %, auf die Tragflächen 17 % und auf Radome 14 % entfallen, was rund 70 % aller Einschläge ausmacht.

Bei dieser Situation hat sich im Laufe der Jahre mehr und mehr die Meinung durchgesetzt, von vornherein mit Einschlägen zu rechnen und das Flugzeug von Anbeginn seiner Konstruktion hinsichtlich aller seiner Zonen und Systeme auf eine mögliche Einschlaggefährdung hin zu analysieren, mit dem Ziel, sich hieraus ergebende Schutzmassnahmen ableiten zu können. Für eine derartige Analyse hat sich eine seit längerer Zeit geübte Einteilung in drei Zonen bewährt, wie dies aus Fig. 3 zu erkennen ist. Hierbei wird zwischen einer ausgesprochen einschlaggefährdeten Zone 1 der offenkundig am stärksten exponierten Partien unterschieden, dann einer Zone 2, in der der Blitzstrahl durch den mit Fluggeschwindigkeit vorbeiziehenden Luftstrom mitgenommen und als «swept stroke» – was vielleicht mit Gleitstrahl übersetzt werden könnte – grössere Flächenpartien des Flugzeuges beansprucht, und schliesslich einer praktisch einschlagfreien Zone 3. Um die in der Zone 1 häufig beobachteten Einbrennungen nach Möglichkeit zu vermeiden, wird neuerdings daran gedacht, das Aluminium mit seinem 660 °C-Schmelzpunkt durch das hitzebeständigere Titan mit 1675 °C Schmelztemperatur zu ersetzen. Im Bereich der Zone 2 befinden sich vor allem die Treibstofftanks, für deren Schutz verständlicherweise ganz besondere Vorkehrungen getroffen werden müssen, um Entladungen innerhalb der Tankbereiche einschliesslich ihrer Zuleitungen unter allen Umständen zu vermeiden. In dieser Beziehung wird das Schutzproblem zu einer Existenzfrage des Flugzeuges überhaupt, wie bittere Erfahrungen vergangener Jahre tatsächlich gelehrt haben. Dazu sei an das am 8. Dezember 1963 registrierte tragische Unglück in Elkton (Maryland) erinnert, bei dem eine grosse Passagiermaschine dadurch verlorengegangen ist, dass in einem der Reservetanks eine Explosion mit sich anschliessendem Brand durch Blitzeinwirkung zustande gekommen war, soweit anhand einer nachträglichen Untersuchung an Wrackteilen festgestellt werden konnte.

Bei näheren Betrachtungen der exponierten Partien der Zone 1 drängt sich einem Hochspannungstechniker unwillkürlich die Frage auf, ob nicht ein innerhalb eines Gewitterfeldes befindliches Flugzeug infolge der dort auftretenden hohen elektrischen



Fig. 3  
Gefahrenzonen eines Flugzeuges



Feldstärken einen Blitzstrahl zu triggern imstande sei. Soweit einem zu diesem Thema vorgelegten Referat von J. F. Shaefer zu entnehmen ist, wird diese Frage sehr pronunziert bejaht, sofern die Maschine geladene Wolkenschichten durchfliegt, die als Quellen eines Raumladungsfeldes betrachtet werden können. Zudem muss im Zonenbereich 1 mit erheblichen Feldintensivierungen im Vergleich zu dem extern wirkenden Gewitterfeld gerechnet werden, die als «Field Intensification Factors» das 10- bis 20fache und an der Spitze eines Pitotrohres sogar das 75fache erreichen können; Werte, die mittels eines dafür geeigneten Digitalprogramms nach der Harringtonschen Momentenmethode – jedoch nicht mit Flächenladungen, sondern mit diskreten Punktladungen wie beim Steinbiglerschen Ladungsverfahren – ermittelt worden sind. Darüber hinaus war der Referent der Meinung, dass die aus den Triebwerken abströmenden Brenngase keinen bedeutsamen Einfluss auf die mögliche Verursachung eines Blitzschlages durch den Flugkörper selbst haben könne.

Nicht unerwähnt sollte in diesem Zusammenhang bleiben, dass sich für ein gestrecktes Ellipsoid von der Form der Apollo-Rakete 12, die bekanntlich kurz nach ihrem Start zweimal vom Blitz getroffen worden ist, eine Feldintensivierung von etwa dem 150fachen des umgebenden Feldes errechnen lässt, so dass heute mit Sicherheit angenommen wird, dass die Rakete ihre beiden Einschläge selbst ausgelöst hat. Aber auch die im Einsatz befindlichen Grossflugzeuge haben in ihren Linearabmessungen die Grösse dieser Rakete erreicht, so dass eine Triggerung aus dieser Sicht durchaus im Bereich des Möglichen liegt.

#### Verbundwerkstoffe

In einer Themengruppe VI – Advanced Composites, Materials and Structures – wurde mit mehreren Referaten das schon einleitend angedeutete Problem einer beabsichtigten Verwendung von Verbundwerkstoffen angesprochen. Dem Prinzip nach handelt es sich dabei im wesentlichen um zwei Arten, nämlich einer ersten, bei der auf dünnste Wolframfäden mit Hilfe eines chemischen Verfahrens feinste Borschichten aufgebracht werden, wonach die einzelnen Wolfram-Bor-Filamente in Epoxyharz eingebettet werden. Auf diese Weise entsteht ein Bor-Epoxy-Verbundmaterial mit etwa 50 % Faseranteil. In einer zweiten Art werden homogene Graphitfilamente in Epoxyharz eingebettet, so dass nunmehr ein Verbundmaterial auf Graphit/Epoxy-Basis mit etwa gleichem Faseranteil wie vorher entsteht. Den Anreiz, solche Verbundwerkstoffe zu verwenden, sieht die Flugzeugindustrie darin, dass sich mit ihnen im Vergleich zu Aluminium ein etwa 60 % niedriger liegendes spezifisches Gewicht bei rund 65 % höherer Zugfestigkeit erreichen lässt. Da die einzelnen Filamente bei beiden Verbundwerkstoffen durch das isolierende Epoxyharz elektrisch voneinander getrennt sind, handelt es sich bei diesen Stoffen um ausgesprochen schlechte Leiter mit einem mehrere Zehnerpotenzen höheren Widerstand im Vergleich zu Alu-

minium, so dass sie für sich allein nicht in der Lage sind, die bei Blitzeinschlägen zu erwartenden hohen Ströme bis zu 200 kA gefahrlos aufzunehmen und durch den Flugkörper hindurchzuleiten, was nach wie vor Aufgabe der bisher verwendeten 2 mm starken Aluminiumhaut des Flugkörpers sein muss. Demzufolge wird es notwendig sein, noch zusätzliche Leitmaterialien auf der Oberfläche des Verbundwerkstoffes aufzubringen, die diese Aufgabe übernehmen können, wie beispielsweise Aluminiumfolien oder -streifen oder dünnsschichtig aufgedampft Aluminium oder auch reine Aluminiumgitter, und dies um so mehr, als daran gedacht ist, die Verbundwerkstoffe im Zonenbereich 2 der Gleitstrahlen einzusetzen. Die bisher vorliegenden Versuchsergebnisse lassen jedoch erkennen, dass auf diese Weise kein befriedigendes Hindurchleiten des Blitzstromes erreicht werden kann, ganz zu schweigen davon, dass die dünnen Metallschichten bereits nach einer stärkeren Blitzstromeinwirkung völlig verdampfen, so dass für einen möglichen Folgeblitz keine schützende Metallschicht mehr vorhanden ist. Aber selbst wenn diese Aufgabe in irgendeiner Form befriedigend gelöst sein sollte, bleibt als entscheidender Nachteil, dass diese Werkstoffe keinerlei abschirmende Wirkung gegenüber elektromagnetischen Feldern besitzen, wie durch Messungen überzeugend nachgewiesen werden konnte. In dieser Hinsicht wird eben eine Verbundhaut niemals eine Metallhaut ersetzen können! Der Fortschritt also, den man einstmals beim Übergang von Holz zu Aluminium erreicht hatte, wird durch den Übergang von Aluminium zum Verbundwerkstoff wieder zunichte gemacht. Dieser Umstand sollte ernstlich zu bedenken geben, vor allem auch deshalb, weil in Zukunft mit noch empfindlicheren Avionikelementen gerechnet werden muss, worauf einleitend hingewiesen wurde. Ohne Zweifel werden in dieser Beziehung noch grosse Schwierigkeiten zu überwinden sein, bis dem Flugzeugkonstrukteur absolut betriebssichere Lösungen vorliegen.

#### Treibstoffanlagen

In Weiterführung der elektrostatischen Themengruppen wurden in der Guppe VII – Electrostatics in Aviation Fuel Systems – die mit dem Betrieb von Treibstoffanlagen zusammenhängenden Probleme elektrostatischer Natur angesprochen, die auch für den Flugverkehr von allergrösster Bedeutung sind. Diese Problematik ist erstmalig im Jahre 1954 aktuell geworden, als sich beim Füllen eines Naphthatanks einer grossen Raffinerie – 40 Minuten nach dem Einschalten der Pumpen – eine Explosion ereignet hatte, die zu einem sich anschliessenden Brand führte. Nachdem es merkwürdigerweise am darauffolgenden Tag zu einer neuerlichen Explosion gekommen war, wurde eine umfangreiche wissenschaftliche Recherche eingeleitet, in deren Verlauf A. Klinkenberg und J. L. van der Minne die Bedingungen herausgefunden haben, unter denen bei strömenden Flüssigkeiten eine Trennung von Ladungsträgern möglich und denkbar ist, so dass es nach genügender Ladungsanreicherung zu einer Funkenbil-



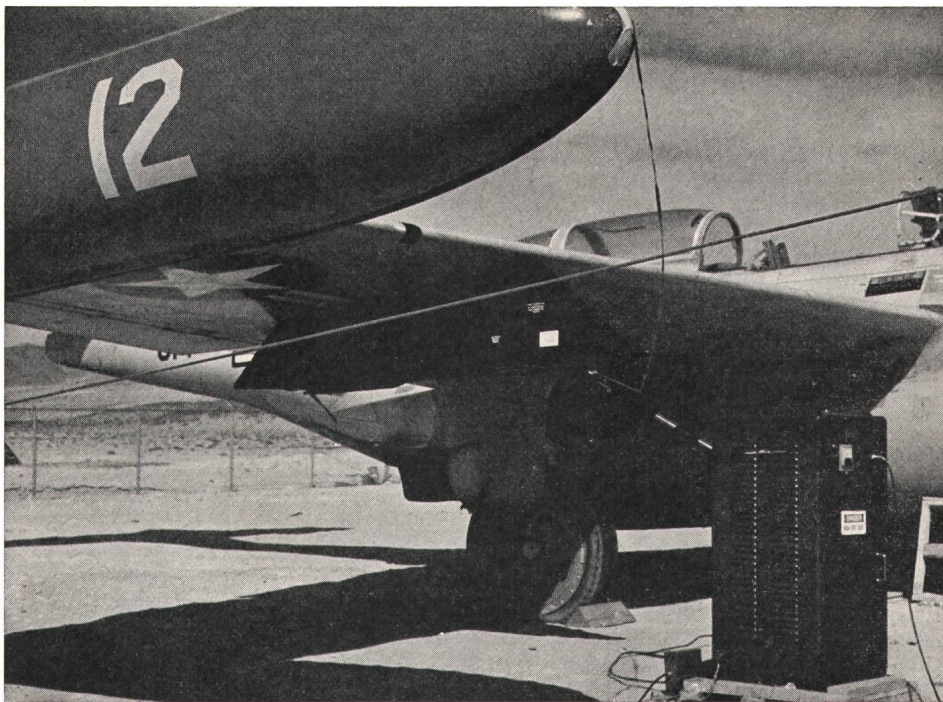


Fig. 4  
Transient-Analysator  
zum Testen von Flugzeugen

dung mit anschliessender Entzündung explosibler Gas-Luft-Gemische kommen kann. Sobald jedoch die Leitfähigkeit der betreffenden Flüssigkeit über  $100 \text{ pS/m}$  – entsprechend einem Isolationswiderstand von unter  $10^{12} \Omega \text{ cm}$  – gesteigert wurde, war keine gefährlich werdende Ladungsbildung mehr feststellbar.

Im weiteren Ablauf der Dinge hat diese Erkenntnis schliesslich dazu geführt, dem Treibstoff so viel leitfähige Anteile in Form geeigneter Antistatika beizumengen, dass seine Leitfähigkeit mit Sicherheit über dem genannten Grenzwert zu liegen kommt. Wie A. Lewis und J. G. Kirtley dazu berichten, genügt bei Verwendung des von der Shell entwickelten ASA-3, einem 3-Komponenten-Antistaticum, ein Zusatz von  $0,5 \text{ ppm}$  – also  $0,5 \text{ parts per million}$  Gewichtsanteile –, was einem Zusatz von  $0,5 \text{ g}$  je Tonne Treibstoff entspricht. In diesem Zusammenhang mag interessieren, dass seit Anbeginn dieser Entwicklung bisher 74 Millionen Tonnen an ASA-3 gedoptem Flugtreibstoff in nahezu die ganze Welt geliefert worden sind. Heute werden rund 200 Flugplätze – Zürich seit 1967 und Genf seit 1970 – mit jährlich rund 30 Millionen Tonnen versorgt, was etwa  $20\%$  des derzeitigen Weltbedarfs entspricht.

Im Vergleich dazu sind die sonst denkbaren Massnahmen, die Ladungstrennung so klein wie möglich zu halten, von nicht allzu grosser Bedeutung geblieben, wenngleich der Einbau von absaugenden Entladern oder von ladungsarmen Filtern fallweise durchaus gerechtfertigt sein mag. In dem Masse aber, wie das Metallrohr aus dem Tankanlagenbau verdrängt und durch Kunststoffrohre ersetzt wird, glaubt man in Zukunft auf Filter verzichten zu können.

Abschliessend sei noch erwähnt, dass Flugplätze in zunehmendem Masse über kontinentale Transfersysteme versorgt werden sollen, an dessen Zapfstellen die erforderlichen Treibstoffmengen entnehmbar sind. Damit könnte vermutlich auch die Anzahl der Schadensfälle vermindert werden, die sich beim Auf- und Umtanken im Laufe der Jahre ereignet haben. Nach einer vorgelegten Statistik waren dies allein in den USA in den abgelaufenen 11 Jahren insgesamt 172 Fälle.

#### Flugzeuge, Teil II

In einer letzten Themengruppe VIII – Aircraft II – wurde in einem bemerkenswerten Beitrag das Eindringen elektromagnetischer Felder in das Innere eines Flugkörpers näher untersucht und mit Hilfe eines vereinfachten Modells die auftretenden Überspannungen rechnerisch bestimmt. Damit scheint ein erster Schritt getan worden zu sein, die elektromagnetische Kompatibilität eines Flugkörpersystems sinnvoll anzusteuern, woraus sich später einmal Möglichkeiten einer Optimierung ableiten lassen sollten. In diesem Zusammenhang zeigte sich sehr überzeugend,

dass das Flugzeug mit seiner komplexen Struktur stets als geschlossenes Ganzes betrachtet werden muss und dass es aus diesem Grunde wenig sinnvoll ist, nur Teilprobleme anzugehen.

In Würdigung dieser Überlegungen hat die General Electric in jüngster Zeit einen fahrbaren  $50\text{-kV}$ -Transient-Analysator für einen Energiebereich von  $0,6\ldots 2,5 \text{ kW}$ s entwickelt, mit dessen Hilfe Flugzeuge mit Stromsteilheiten bis zu  $2 \text{ kA}/\mu\text{s}$  getestet werden können (Fig. 4), ohne dass es dabei zu ernstlichen Schäden kommen kann. Eine Umrechnung der dabei gemessenen Überspannungen auf die bei Blitzeinschlägen vorkommenden Steilheiten von  $10\ldots 100 \text{ kA}/\mu\text{s}$  ist dann leicht möglich.

Im Hinblick auf die Wichtigkeit solcher Prüfungen geht die amerikanische Luftfahrtindustrie mehr und mehr dazu über, sich eigene Prüfanlagen ein-

zurichten, um damit unabhängig zu sein. In dieser Art von Bemühungen wird die McDonnell Aircraft Co. in St. Louis in Kürze ein Prüffeld in Betrieb nehmen, das für vier Stoßspannungsgeneratoren – einer davon für  $5 \text{ MV}$  und  $40 \text{ kW}$ s – und drei Stoßstromgeneratoren – einer davon für  $250 \text{ kV}$  und  $600 \text{ kW}$ s – eingerichtet sein wird.

In der gleichen Themengruppe wurde auch kurz auf den Helikopter eingegangen, nachdem vor einigen Jahren zwei Schadensfälle bekannt geworden sind. Besonders gefährdet sind naturgemäss die aus Kunststoff bestehenden Rotorflügel, und bei Lasthelikoptern sind es vor allem die statischen Aufladungen auf einige  $100 \text{ kV}$ , die ein Arbeiten bei Lastmanövern gefährlich machen können, sofern nicht vor jeder Arbeitsphase an ein konsequentes Erden gedacht wird.

Im Anschluss an die acht Themengruppen fand noch eine kurze Aussprache zur Frage einer sinnvollen Spezifikation simulierbarer Blitzströme statt, ohne allerdings zu einem konkreten Ergebnis zu kommen, was bei der Schwierigkeit der zu lösenden Aufgabe durchaus verständlich ist. Immerhin hat sich aber gezeigt, dass mit Testwerten von  $200 \text{ kA}$  Maximalwert,  $100 \text{ kA}/\mu\text{s}$  Stromsteilheit und  $500 \text{ C}$  Ladungstransfer gerechnet werden sollte.

#### Schlussbemerkungen

Rückschauend werden wohl alle Konferenzteilnehmer zu der Meinung gekommen sein, dass ihnen eine Fülle von Informationsmaterial zugänglich gemacht worden ist, dessen Bereitstellung aus naheliegenden Gründen grossen Mühen und sicherlich auch besonderer Anstrengungen bedurfte. In dieser Hinsicht ist auch Professor M. M. Newman als Direktor des Lightning and Oceanics Institute, Miami Beach, wirksam gewesen, der schon vor über 20 Jahren die glückliche Idee hatte, derartige Konferenzen zu veranstalten, um darin ein möglichst breites Spektrum an Erfahrungen und Erkenntnissen einzubringen. Ansonsten ist es zu begrüssen, dass das nächste Treffen dieser Art im Juni 1975 in England stattfinden wird, wohl aus der Sicht, dem Teilnehmerkreis in Zukunft etwas internationales Kolorit zu geben.

Von dieser Warte betrachtet, hat die Konferenz einen guten Ausklang gefunden, vielleicht ein wenig mitgetragen von dem Spielerischen einer Stadt, in der Zufall und Glück entscheiden und die Zeit keine Rolle spielt. Wer könnte da verstehen, dass das Blitzgeschehen in Millionstelsekunden abläuft und diese Zeit sogar gemessen werden kann?

#### Adresse des Autors:

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