Kugelblitztheorien und ihre Beziehung zu Leuchterscheinungen bei UFOs

H. Beck

1. Einleitung

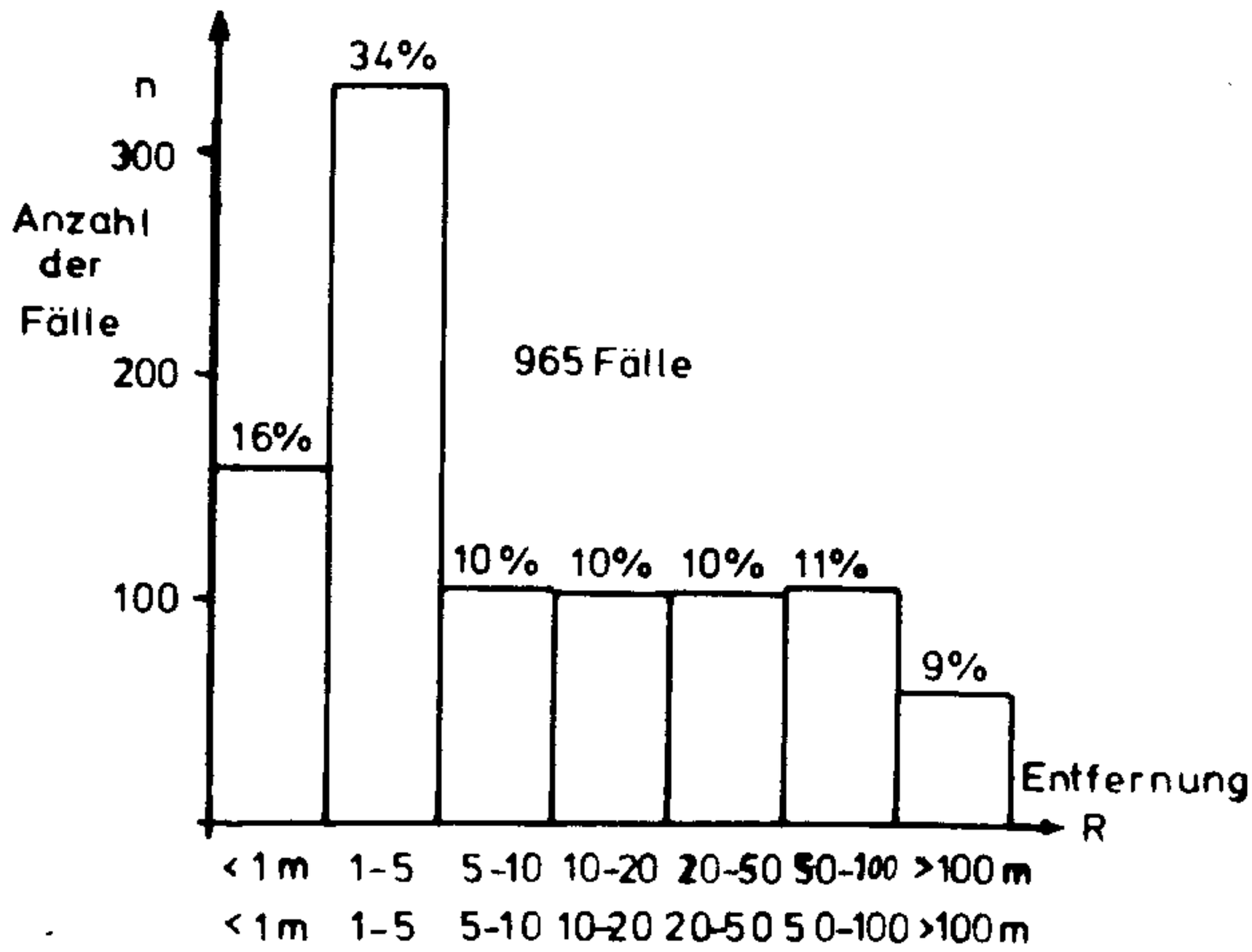
Kugelblitze gehören zu den wenigen Erscheinungen, die bis heute keine befriedigende Erklärung gefunden haben. Einige Forscher gehen sogar so weit, die Realität von Kugelblitzen zu bestreiten und die Beobachtungen als rein psychologisches Phänomen zu erklären. Die überwiegende Mehrzahl der Wissenschaftler befürwortet aber die Existenz von Kugelblitzen.

Zweifellos kommt es hin und wieder zu einer Verwechslung von Kugelblitzen mit UFOs, aber das Verhalten und Aussehen der beiden Erscheinungen ist so verschieden, daß die Zahl solcher Irrtümer viel zu gering sein dürfte, um als "natürliche" Erklärung von UFOs dienen zu können. Physikalisch haben UFOs und Kugelblitze nur eins gemeinsam: beide werden von oft intensiver Lichtemission begleitet.

Es ist durchaus möglich, daß Kugelblitze und UFOs aus ganz verschiedenen Gründen leuchten und daß nur eine fortgeschrittene Theorie, wie die von B. Heim (1980), das Leuchten von UFOs erklären kann. Will man aber versuchen, das Leuchten mittels konventioneller Theorien zu beschreiben, so erweist es sich als nützlich, Kugelblitztheorien etwas eingehender zu studieren, da sich einige von ihnen ganz gut auf UFOs übertragen lassen.

Der vorliegende Artikel soll dem Leser einerseits einen kurzen Überblick über das Gebiet der Kugelblitzforschung vermitteln und ihn andererseits mit ein paar ausgewählten Kugelblitzmodellen vertraut machen. Das Schwergewicht soll dabei auf letztere gelegt werden, weil die meisten Theorien doch recht kompliziert sind und in einer Übersicht, die viele Theorien nur streift, nicht verständlich genug erklärt werden können. Zum Schluß soll gezeigt werden, wie sich diese Theorien auf UFOs anwenden lassen.
Die Gliederung des Artikels folgt weitgehend der Arbeit von W.N. Charman (1978), die dem Leser als Quelle zusätzlicher Information über Kugelblitze sehr empfohlen werden kann. Weitere Zusammenfassungen sind von J.R. McNally (1966), W.D. Rayle (1966) und S. Singer (1971) (1977) veröffentlicht worden.

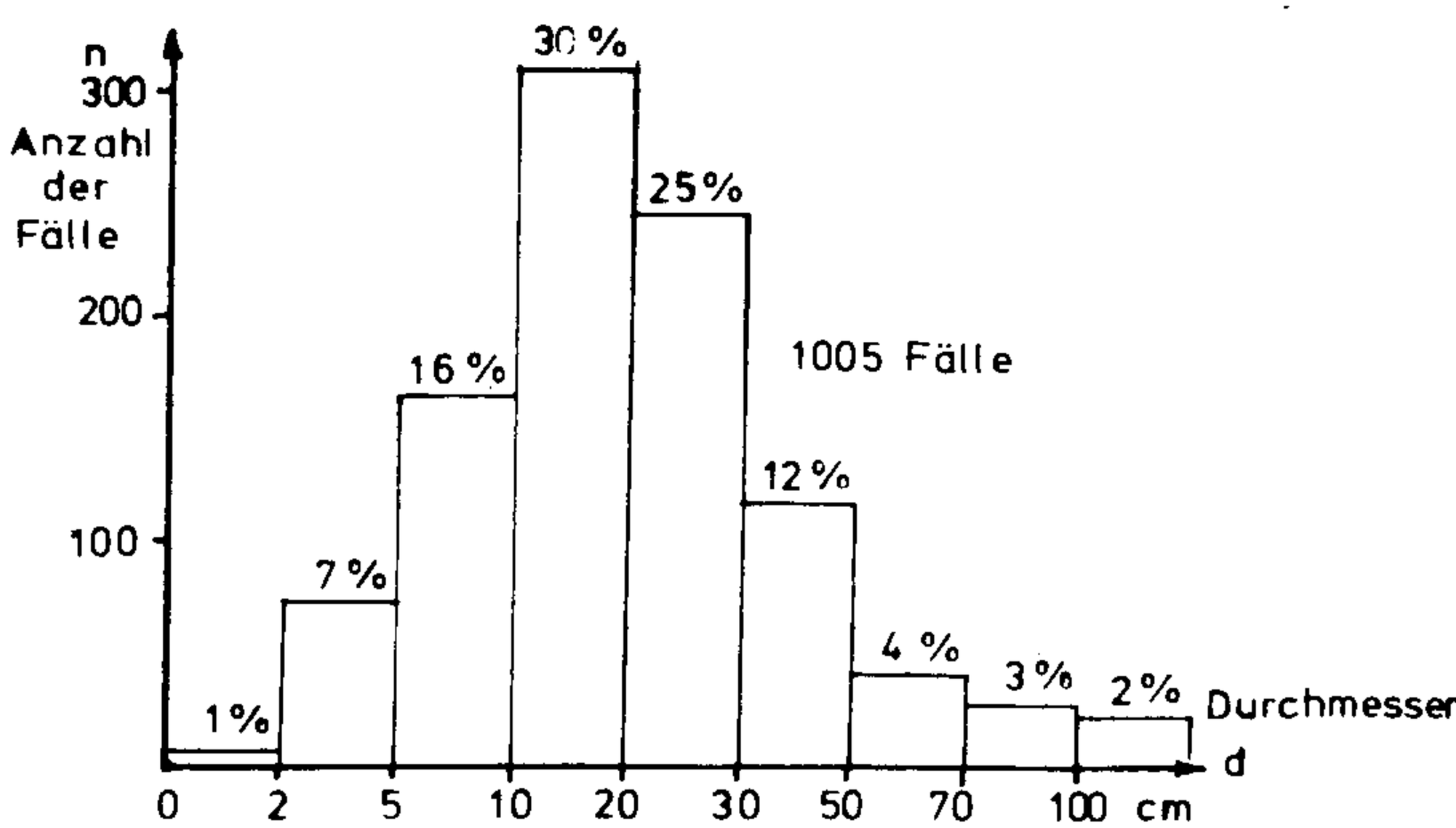
Aus Platzgründen muß hier auf eine Aufzählung von Beobachtungen verzichtet werden, von denen über 1000 in der Literatur verzeichnet sind. Interessenten wird empfohlen, die Zusammenfassungen von W. Brand (1923), E.M. Dewan (1964), R.A. Leonov (1965), W. Corliss (1977) und I. Brand (1977) zu lesen.



2. Eigenschaften der Kugelblitze

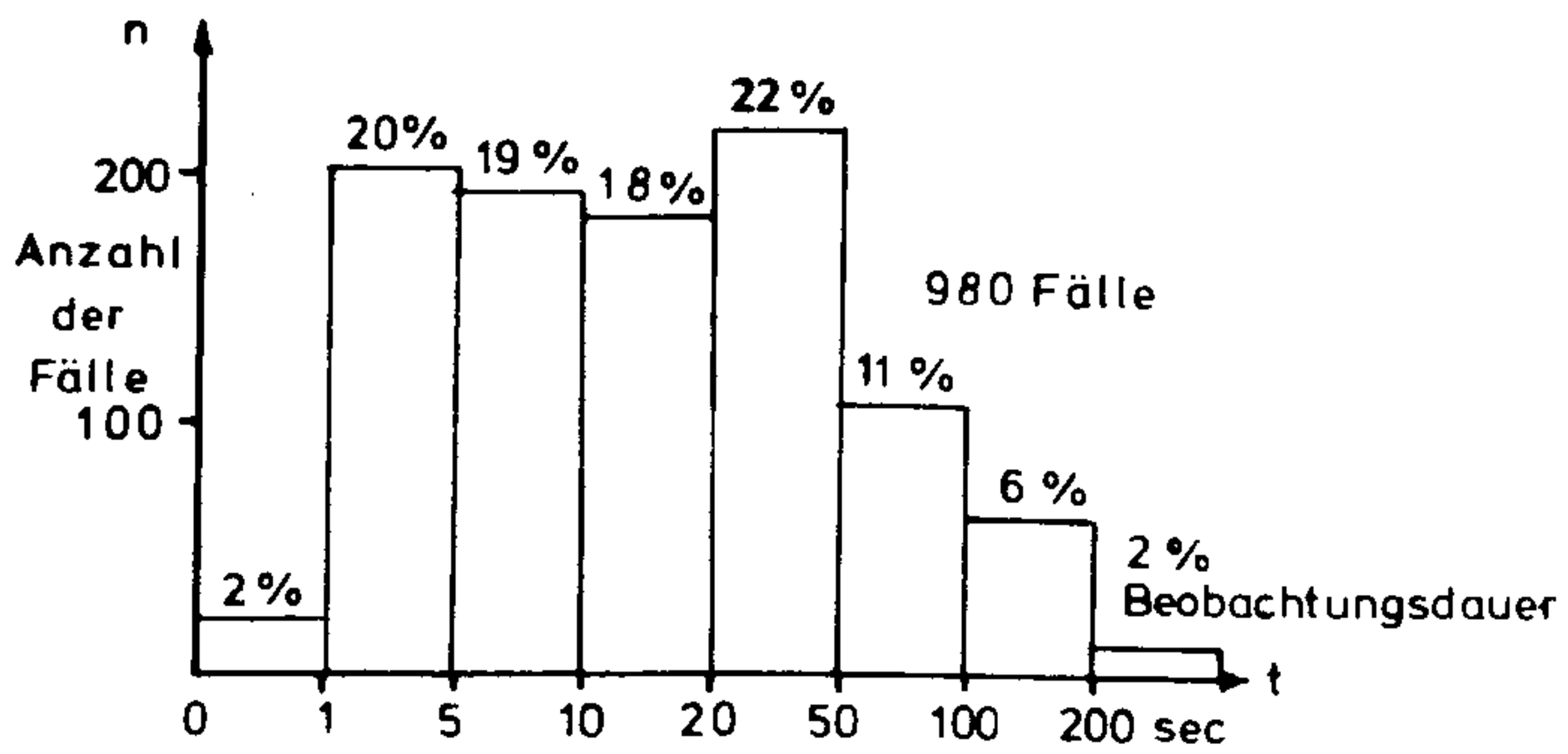
Obwohl Kugelblitze ein selten beobachtetes Phänomen sind, kennt man ihre Eigenschaften doch recht gut. Sie sind im folgenden kurz zusammengestellt:

1) Durchmesser:
Typische Kugelblitze sind sphärisch und haben einen Durchmesser von 20-40 cm, aber auch viel kleinere und viel größere sind beobachtet worden. Insgesamt variiert der Durchmesser zwischen 1 und 150 cm.



2) Lebensdauer:

Die Lebensdauer schwankt zwischen 1 Sekunde (s) und 15 Minuten, mit einem Häufigkeitsmaximum bei 5-10 s. Dies ist bedeutend länger als die Lebensdauer aller natürlichen lichterzeugenden Prozesse in der Luft und stellt daher eines der Hauptprobleme dar, die es zu lösen gilt.



3) Bewegung:

Die meisten Kugelblitze schweben mehr oder weniger parallel zum Erdboden ohne stetig zu steigen. Kugelblitze, die in großer Höhe entstehen, fallen oft senkrecht herunter, halten kurz über dem Boden an, um dann horizontal weiterzuschweben. Manchmal schwebt die Erscheinung an einer Stelle. Einige Kugelblitze beschreiben eine rotierende Bewegung oder rollen auf der Erde oder entlang von Drähten und anderen Gegenständen.

4) Helligkeit:

Kugelblitze strahlen mit konstanter Helligkeit, von leichten Schwankungen abgesehen.

5) Leuchtkraft:

Die Leuchtkraft von Kugelblitzen ist sehr unterschiedlich und reicht von kaum sichtbar bis zu blendend hell. Im Durchschnitt entspricht sie der Helligkeit etwa einer 60 Watt Lampe.

6) Farbe:

Es gibt kaum eine Spektralfarbe, in der Kugelblitze nicht leuchten können, aber die häufigsten Farben sind rötlich-gelb und bläulich-weiß.

7) Temperatur:

Über die ausgestrahlte Hitze gibt es widersprüchliche Meldungen. Manche sprechen von beträchtlicher Hitzeentwicklung, aber die meisten Beobachter scheinen keine Hitze verspürt zu haben, selbst wenn der Kugelblitz nahe an ihnen vorbeischwebte.

8) Geräusch, Geruch:

Kugelblitze machen oft ein knisterndes Geräusch, versprühen Funken und hinterlassen eine scharf riechende, sichtbare Rauchspur.

9) Energieinhalt:

Die im Kugelblitz gespeicherte Energie hat man aufgrund einiger Fälle berechnen können. In einem derartigen Fall verschwand der Kugelblitz in einer mit Wasser gefüllten Wanne und brachte das Wasser zum Sieden (W. Morris 1936). In einem anderen Fall fielen mehrere Kugelblitze auf eine Straße und schmolzen den Asphalt an den Aufschlagstellen (A. Wittmann 1971).
Aus diesen und anderen Beobachtungen hat man einen Energiegehalt von 10^3-10^7 Joule (J) errechnet.

10) Verlöschen:

Der Kugelblitz beendet sein Leben entweder lautlos oder mit einer lautstarken Explosion, die beachtlichen Schaden anrichten kann.

11) Elektrische Eigenschaften:

Diese können eine ernste Gefährdung darstellen und es ist daher nicht empfehlenswert, einen Kugelblitz zu berühren. G.W. Richman, ein Wissenschaftler, der 1753 als einer der ersten Experimente an Blitzen vorgenommen hatte, wurde von einem Kugelblitz getötet (R.A. Leonov 1965).
Elektrische Schläge sind von Personen verspürt worden, die auf dem Boden standen, auf den ein Kugelblitz aufprallte (W.N. Charman 1978).

12) Eindringen in Häuser:

Es ist eine bekannte Tatsache, daß Kugelblitze in Häuser eindringen können, wobei sie meistens durch offene Fenster oder Türen, manchmal auch durch den Kamin hereinkommen. Oft schweben sie durch die gleiche Öffnung auch wieder hinaus.

13) Durchdringung von Fenstern und Wänden:

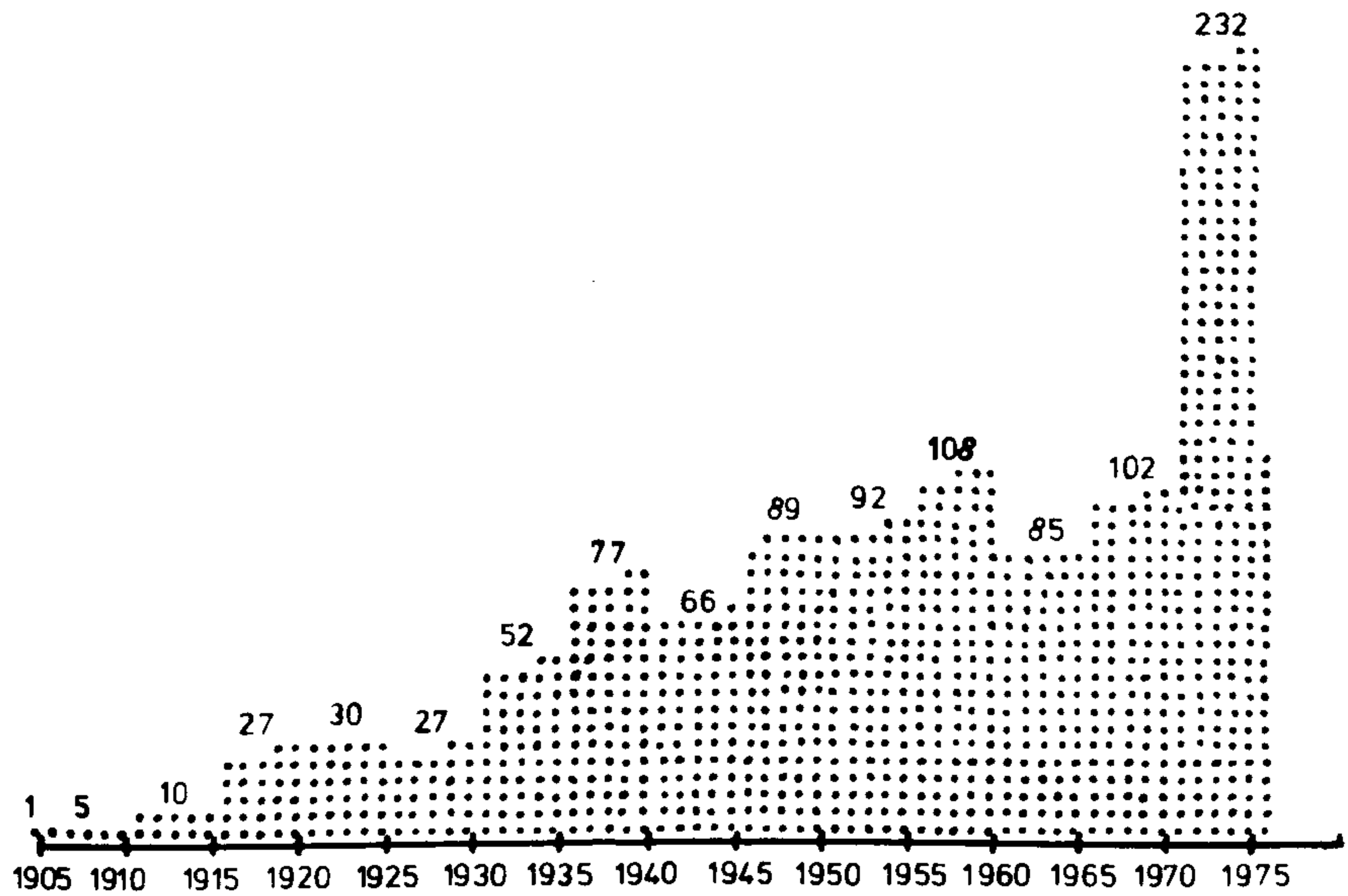
Eine der merkwürdigsten Eigenschaften von Kugelblitzen ist die Fähigkeit einiger von ihnen, Wände und geschlossene Fenster zu durchdringen. Dabei wird oft, aber nicht immer, ein Loch ins Fenster oder in die Wand gebrannt.

14) Verhalten bei Wind:

Sehr interessant ist die oft gemachte Feststellung, daß sich Kugelblitze von Luftbewegungen nicht beeinflussen lassen. Sie bewegen sich z.B. gegen den Wind oder in einem Winkel dazu.

15) Eindringen in Flugzeuge:

Das Eindringen von Kugelblitzen in ein in der Luft befindliches Flugzeug ist mehrmals beobachtet worden (R.C. Jennison 1969). Die Tatsache, daß im Innern eines Flugzeugs kein elektrostatisches Feld existieren kann, erschwert die Erklärung eines solchen Vorgangs erheblich.



Alle Theorien können Punkte 1 - 10 einigermaßen erklären. Die Punkte 11 und 14 werden ebenfalls von den meisten richtig dargestellt. Bei Punkt 12 treten dagegen ernsthafte Schwierigkeiten auf und die Punkte 13 und 15 werden von den meisten Theorien überhaupt nicht beschrieben.
Es ist aber auch nicht erwiesen, daß jeder Kugelblitz alle 15 Eigenschaften besitzen muß, so daß Theorien, die in einigen Punkten versagen, nicht unbedingt falsch sein müssen.

3. Das Perlschnurphänomen (M.A. Uman 1969, R. Fieux et al.1975)

Ungefähr 90 % aller beobachteten Kugelblitze sind kurz vor, während, oder kurz nach einem Gewitter aufgetreten. Eine definitive Korrelation zwischen einem regulären Blitz und einem Kugelblitz konnte bisher allerdings nicht nachgewiesen werden. Dagegen hat man öfters eine Erscheinung beobachtet, die vielleicht ein Zwischending zwischen Blitz und Kugelblitz ist. Es kommt nämlich vor, daß sich ein Blitz vor dem Verlöschen in eine Kette leuchtender Kugeln auflöst, die den Blitzkanal füllen, wie in Bild 1 dargestellt. Diese Erscheinung ist unter dem Namen "Perlschnurphänomen" bekannt.

Die leuchtenden Kugeln haben eine Lebensdauer von ca. 0,3 s, was sehr lang gegenüber der Zeit ist, in der Elektronen und Ionen in einem Plasma normalerweise rekombinieren und wieder neutrale Atome bilden.
Am stärksten Knick im Blitz können sich größere Kugeln bilden, die langsam nach oben schweben, während die anderen erlöschen, so daß es sich hier offenbar um ein erhitztes Luftvolumen handelt.

Obwohl beim Perlschnurphänomen eindeutig keine echten Kugelblitze entstehen, zeigt es doch, daß der Blitz imstande ist, sphärische, ionisierte Luftvolumen zu erzeugen, also Luftmassen, in denen freie Elektronen und freie, positiv geladene Ionen vorkommen. Auch die sehr starken elektrischen Felder, die während eines Gewitters auftreten, vermögen die Luft zu ionisieren. Die bekannteste Erscheinung dieser Art ist das (St.) Elmsfeuer.
Luftionisation und dünne Plasmen spielen eine wichtige Rolle in fast allen Kugelblitzmodellen.

4. Kugelblitztheorien

In den folgenden Kapiteln soll ein Überblick über Kugelblitztheorien nach der Einteilung von Charman (1978) gegeben werden, der die Modelle in verschiedene Kategorien unterteilt. Von diesen sind 6 in diesem Artikel übernommen worden. In jeder Kategorie werden ein paar Theorien kurz und mindestens eine ausführlich beschrieben.

Außer den hier besprochenen gibt es noch eine beachtliche Anzahl anderer Theorien, die nicht allzu plausibel klingen und daher aus Platzgründen weggelassen wurden. Wenn man bedenkt, daß bisher mehr als 500 Arbeiten über Kugelblitze in der Fachliteratur erschienen sind, kann man ermessen, welche Fülle von Ideen im Laufe der Jahre in die Lösung dieses Problems hineingesteckt wurde. Trotzdem hat keine der Theorien volle Anerkennung gefunden. Das mag zum Teil von der Kompliziertheit des Problems herrühren, dessen Lösung genaue Rechnungen praktisch ausschließt, so daß alle Autoren bisher nur von Teilrechnungen unterstützte Abschätzungen vornehmen konnten, die nicht die gleiche Überzeugungskraft besitzen wie vollständig durchgerechnete Modelle.

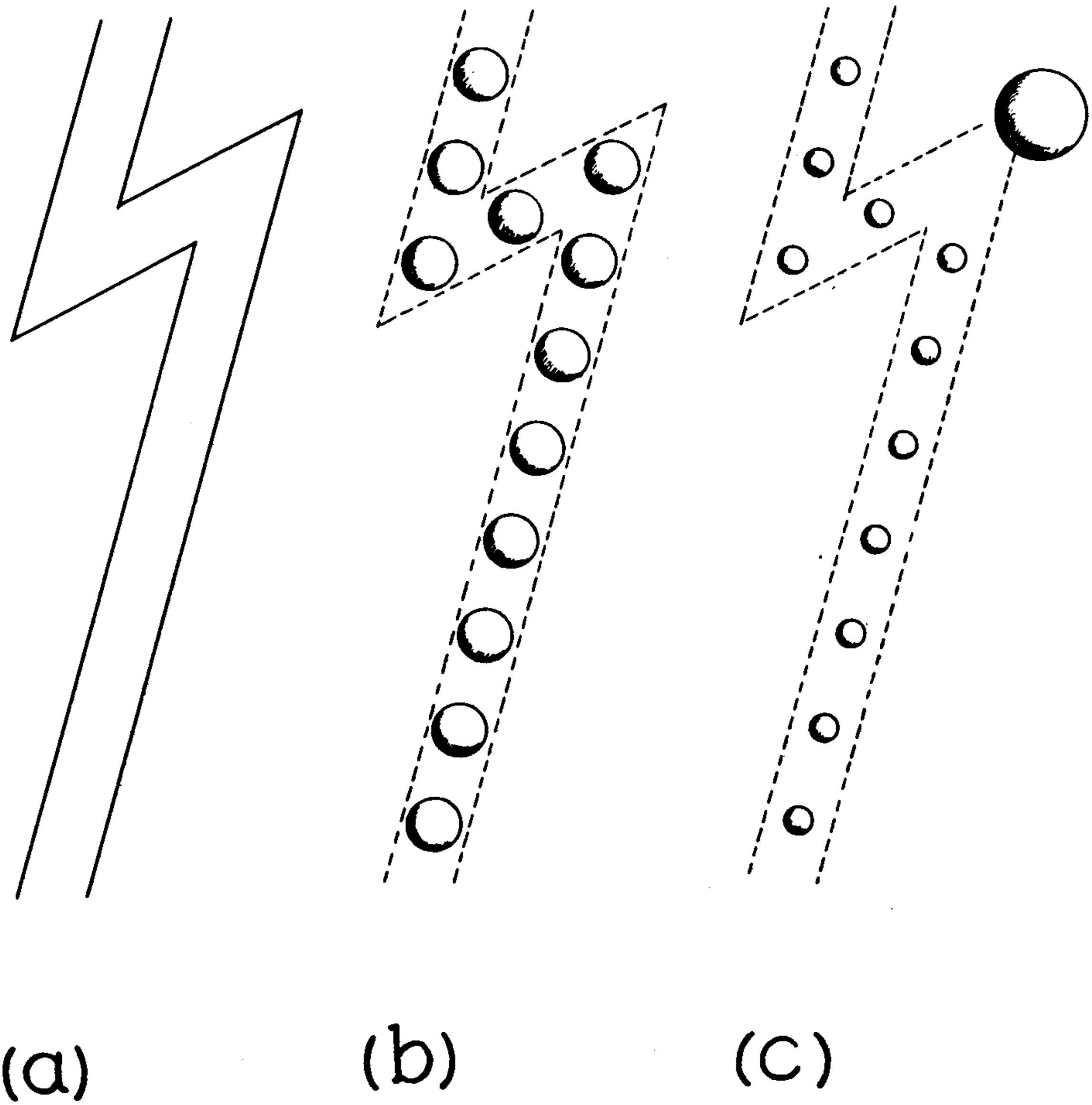


Bild 1: Schematisierte Darstellung des Perlschnurphänomens.

(a) Blitz

(b) Der Blitz zerfällt in einzelne leuchtende Volumen

(c) Am stärksten Knick im Blitzkanal steigt eine Leuchtkugel empor, während die anderen verlöschen.

4.1 Kugelblitze ohne äußere Energiequellen

Die Vorteile einer Theorie, die den Kugelblitz als abgeschlossene Einheit darstellt, die ihre eigene Energiequelle mit sich führt, liegen auf der Hand. Leider sind die Probleme hier besonders groß, weil es Schwierigkeiten bereitet, die lange Lebensdauer zu erklären. M.T. Dmitriev (1969) nimmt an, daß die Rekombinationsrate, die angibt, wie schnell freie Elektronen und Ionen in einem Plasma sich zu neutralen Atomen wiedervereinigen, bei hohen Temperaturen sehr stark reduziert ist. Andere Modelle betrachten Kugelblitze als ionisiertes Luftvolumen, in dem Volumen- und Oberflächenströme zirkulieren. Im Modell von G.A. Dawson und R.C. Jones (1969) wird ein hochfrequentes Mikrowellenfeld von einer gut leitenden Plasmaschale eingeschlossen. Trotz aller Bemühungen führen diese Modelle zu verhältnismäßig kurzen Lebensdauern und zu einem niedrigen Energiegehalt. Das Modell von Dawson und Jones sowie dasjenige von Dmitriev sollen im folgenden eingehender erläutert werden.

4.1.1 Theorie von Dawson und Jones (1969)

Diese beiden Autoren nehmen an, daß ein heißes und daher stark verdünntes Volumen aus teilweise ionisierter Luft von einer dünnen Kugelschale aus vollständig ionisierter Luft, also einer Plasmaschale, umgeben wird (Bild 2). Ein solches Plasma leitet bekanntlich gut, so daß die elektrischen Eigenschaften einer Plasmaschale ungefähr die gleichen sind wie z.B. diejenigen einer gut leitenden Kupferschale.

Zusätzlich wird angenommen, daß sich ein hochfrequentes, elektromagnetisches Feld im Innern befindet. Auf dieses Feld wirkt die äußere Schale, dank ihrer Leitfähigkeit, wie ein Reflektor. Wenn Wellenlänge und Kugeldurchmesser aufeinander abgestimmt sind, können sich stehende Wellen bilden. Das elektrische Feld einer dieser möglichen sog. Hohlraumresonanzen ist in Bild 2 abgebildet, die entsprechende Wellenlänge λ beträgt 22,9 cm.

Das elektromagnetische Feld übt einen Strahlendruck auf die äußere Schale aus und es wird verlangt, daß dieser Druck den atmosphärischen Druck von außen gerade kompensiert. Anderenfalls würde das Gebilde in sich zusammenfallen. Bei einem Kugeldurchmesser von 20 cm führt das zu dem außerordentlich starken Feld von 3×10^8 V/m.

Im Innern des Modells wird die verdünnte Luft durch das starke elektrische Feld ionisiert. Dieser Vorgang verbraucht Energie, die dem Feld entnommen wird. Nach einer gewissen Zeit verbindet sich ein freigesetztes Elektron wieder mit einem Ion zu einem neutralen Atom und emittiert dabei Energie in Form eines Lichtstrahls. Dieses Licht, das für das Leuchten der Kugel verantwortlich ist, durchdringt die Plasmaschale und geht mitsamt seiner Energie verloren. Die neutralen Atome werden vom elektrischen Feld von neuem ionisiert und der ganze Vorgang wiederholt sich. Auf diese Weise wird dem elektrischen Feld durch Lichtausstrahlung dauernd Energie entzogen, bis es entweder plötzlich mit einem Knall, oder allmählich und lautlos in sich zusammenfällt.

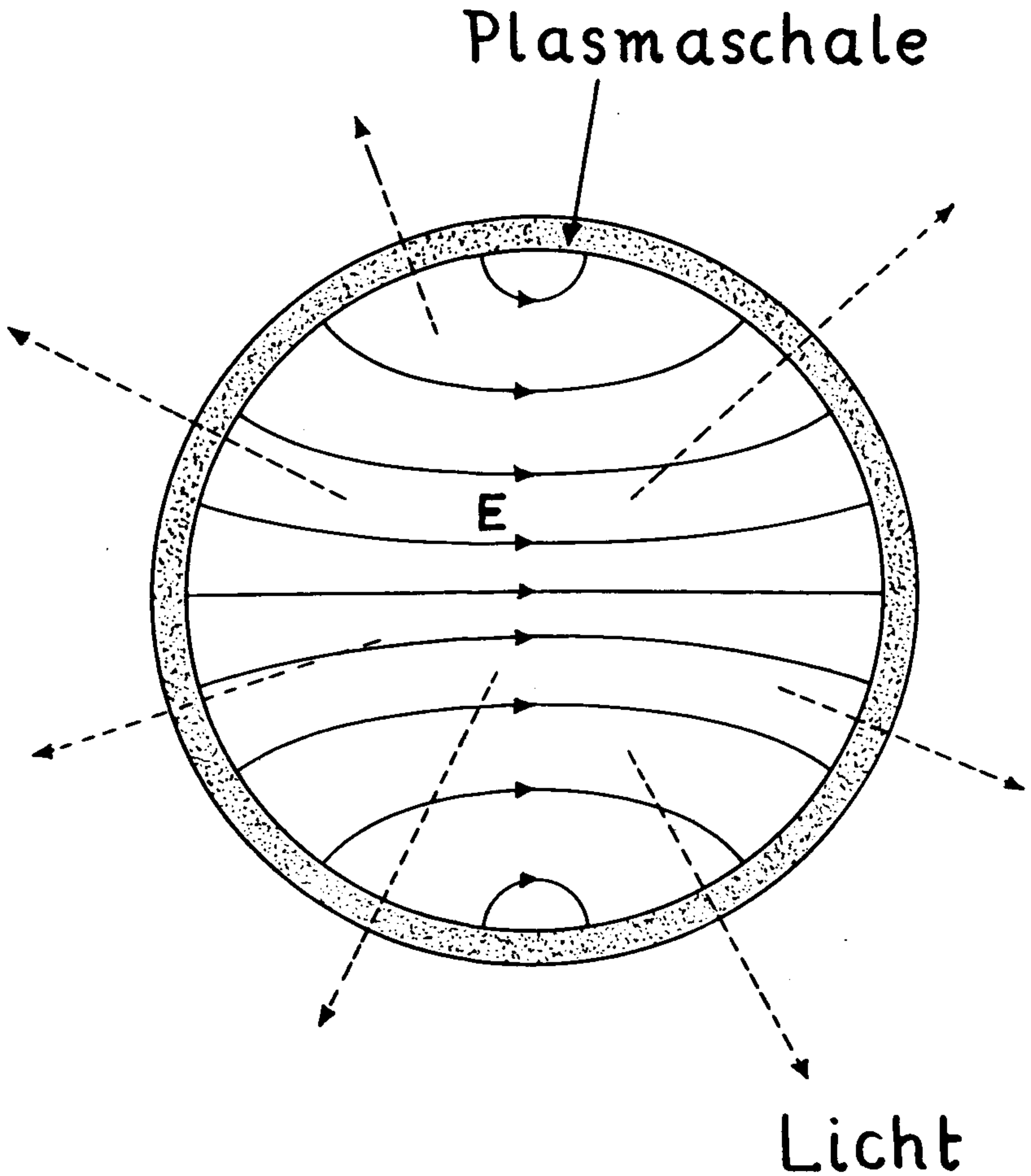


Bild 2: Hohlraumresonatortheorie von Dawson und Jones.
E = Feldlinien des elektrischen Feldes im Innern der Plasmakugel. Kugeldurchmesser = 20 cm, λ = 22,9 cm.

Das Hauptargument der Autoren ist, daß die Ionisations- und Rekombinationsraten niedrig sind, weil das Gas im Innern stark verdünnt ist, d.h. es dauert lange, bis ein Elektron ein Ion gefunden hat, mit dem es sich verbinden kann, weil die dünne Luft nur wenig Ionen enthält. Die Autoren errechnen einen Energieinhalt ihres Modells von 400 J, was sehr niedrig ist, und eine Verlustrate von 40 Watt. Ein Zehntel der Energie geht also pro Sekunde verloren und daher ist anzunehmen, daß die Lebensdauer immerhin einige Sekunden beträgt.

Das Modell ist in erster Linie auf eine Erklärung der langen Lebensdauer ausgerichtet und nimmt dafür einige Schönheitsfehler in Kauf. Wie kommt die Plasmaschale zustande? Woher kommt das elektromagnetische Feld? Da das Volumen leichter ist als Luft, müßte es steigen, was Kugelblitze aber nur sehr selten tun (Punkt 3). Diese Fragen werden von den Autoren unbeantwortet gelassen, haben aber später eine wenigstens teilweise Erklärung gefunden. So sind hochfrequente, kurzlebige Felder tatsächlich in Blitzkanälen nachgewiesen worden und könnten evtl. in einer Plasmaschale eingeschlossen werden.

4.1.2 Theorie von Dmitriev (1969)

Von diesem Autor stammt das einzige Experiment, das je an einem natürlichen Kugelblitz ausgeführt wurde. Die Beobachtung wurde am Onegafluß in Rußland gemacht. Ein Kugelblitz von ca. 13 cm Durchmesser erschien nach einem kräfigen Blitzschlag zuerst über dem Wasser, bewegte sich dann unter Knistern und Funkensprühen in einem Winkel zum Wind auf das Ufer zu und verlöschte dort lautlos nach 80 s. Er bestand aus einem sehr hellen zentralen Kern, umgeben von einer violett leuchtenden Schale, die ihrerseits von einer bläulich leuchtenden Region umgeben war. Zurück blieb eine stechende, deutlich sichtbare Rauchspur.

Dmitriev gelang es, vier Rauchproben entlang der Route in evakuierte Flaschen abzufüllen und im Laboratorium zu untersuchen. Es zeigte sich, daß die Proben 50 mal mehr Ozon und 100 mal mehr Stickstoffdioxid als normale Luft enthielten.

Ausgehend von dieser Beobachtung entwickelte Dmitriev sein Modell (Bild 3). Aufgrund seiner visuellen Beobachtung und durch Vergleich mit Lichtbögen schätzt Dmitriev die zentrale Temperatur auf 14 000 K. Das Innere muß also partiell ionisiert sein und freie Elektronen sowie Ionen enthalten. Wie bereits erwähnt, reduziert sich die Rekombinationsrate bei hohen Temperaturen beträchtlich. Dmitriev nimmt an, allerdings ohne Beweis, daß die Rekombinationsrate bei 14 000 K stark genug reduziert ist, um eine Lebensdauer von 80 s zu gewährleisten.

Elektronen sind rund 10 000 mal leichter als Luftionen und daher viel beweglicher. Viele Elektronen werden daher von der hohen Temperatur veranlaßt nach außen zu strömen, ohne daß die Ionen sofort folgen können. Dadurch bleibt eine positive Nettoladung zurück. Sobald ein Elektron die Hochtemperaturzone verlassen hat, lagert es sich an ein Sauerstoffmolekül

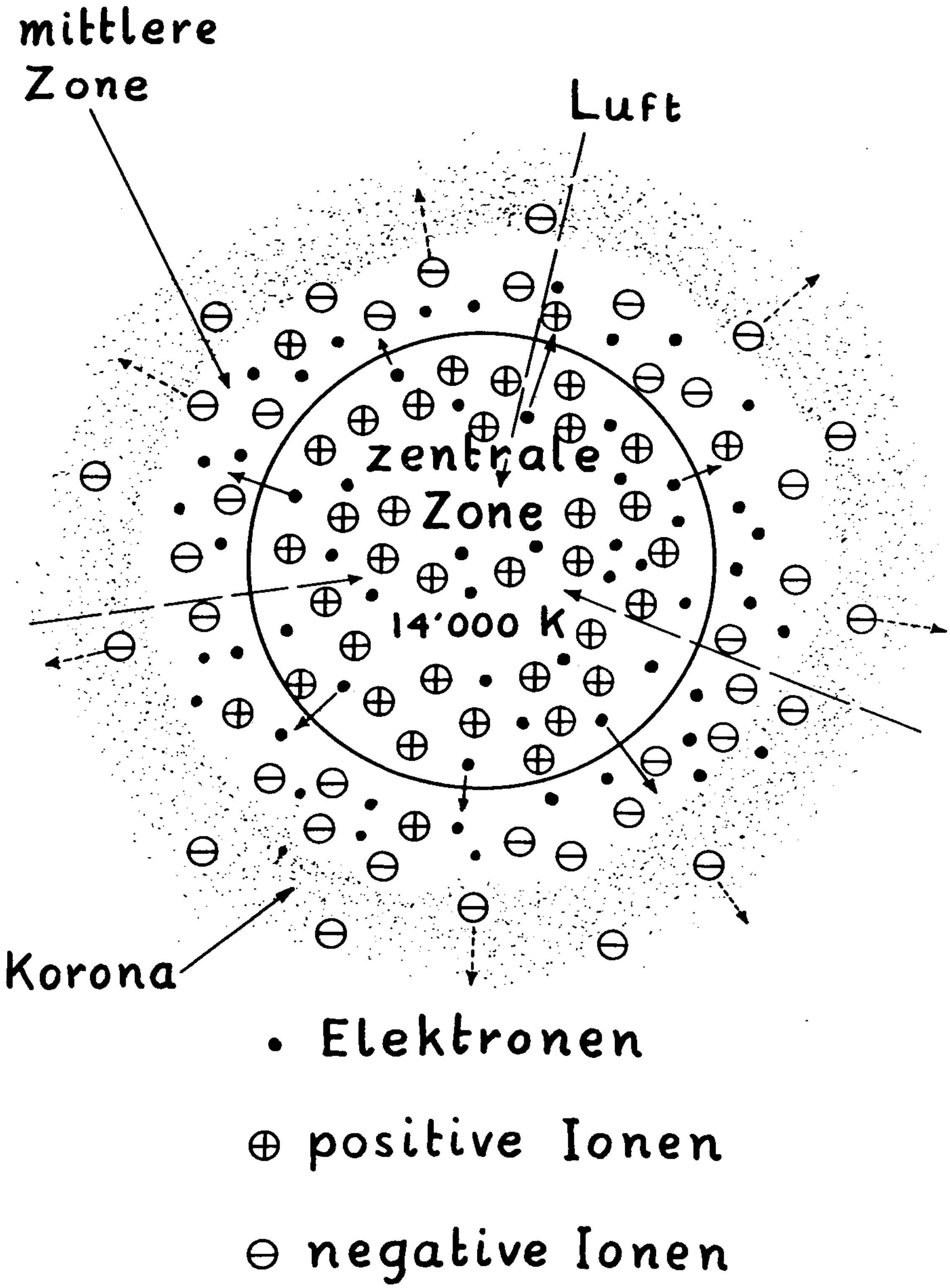


Bild 3: Dreizonentheorie von Dmitriev. Innere ionisierte Hochtemperaturzone. Mittlere Zone, durch ausströmende Elektronen negativ geladen und zum Leuchten angeregt. Äussere Korona (ionisierte, leuchtende Luft) durch das elektrische Feld der beiden inneren Zonen hervorgerufen.

an und bildet ein negatives Ion. Das heiße Zentrum wird also von einer negativ geladenen Kugelschale umgeben, die ständig von Elektronen aus der Innenzone beschossen wird und daher leuchtet. Kugelschale und Innenzone erzeugen ein elektrisches Feld, das die äußere Luft ionisiert. Die ionisierte Luft tritt in Form einer bläulich leuchtenden Korona in Erscheinung. Damit wären die beobachteten drei Regionen erklärt.

Während die Ionen in der negativ geladenen Schale allmählich nach außen wandern, angedeutet durch die gestrichelten Pfeile in Bild 3, und sich neutralisieren, diffundieren neutrale Luftmoleküle ins Innere und werden durch die dort herrschende hohe Temperatur ionisiert. Die Abhängigkeit der Rekombinationsrate von der Temperatur bewirkt, daß sich das ganze Gebilde im Gleichgewicht hält. Nur wenn die Oberfläche zerstört und das Zentrum plötzlich abgekühlt wird, kann es dank der emporschnellenden Rekombinationsrate zu einer Explosion kommen.

Eine Schwäche dieses Modells ist die unsichere Temperaturabschätzung und die Annahme einer außergewöhnlich stark reduzierten Rekombinationsrate bei 14 000 K. Der Energieinhalt des Modells liegt mit 530 J etwas unterhalb der geschätzten unteren Grenze von 1000 J. Im übrigen enthält der Artikel von Dmitriev nur sehr wenig Rechenergebnisse, so daß es nicht klar ist, ob das Modell überhaupt durchgerechnet wurde.

4.2 Theorien, die von einem Blitzschlag ausgehen

Ein hoher Prozentsatz der Beobachtungen weist auf die nahe Verwandtschaft zwischen Blitz und Kugelblitz hin und es ist daher naheliegend anzunehmen, daß der Einschlag eines Blitzes und die daraus entstehenden heißen und zum Teil ionisierten Gase zur Bildung von Kugelblitzen führen können. Glühende, höchstwahrscheinlich aus Metalldämpfen bestehende Bälle, sind nach Blitzschlägen oder nach starken Entladungen zwischen Kupferelektroden beobachtet worden. J.J. Lowke und Mitarbeiter (1969) haben die Lebensdauer von Luftgemischen mit Kohlenstoff und mit Metallgasen berechnet. A.M.Andrianov und V.I. Sinitsyn (1977) haben vermutet, daß Kugelblitze nach einem Blitzschlag in Sand auftreten können und haben entsprechende Experimente gemacht, in denen sich tatsächlich leuchtende Luftvolumen bildeten, die aber nur eine Lebensdauer von 0,1 s hatten. Als illustratives Beispiel dieser Klasse von Theorien soll das Modell von Lowke dienen:

4.2.1 Theorie von Lowke, Uman und Liebermann (1969)

In einem normalen Blitz treten sehr hohe Temperaturen von ca. 25 000 K auf. Wenn ein Blitz daher einen Baum oder eine Hochspannungsleitung trifft, wird ein Teil des Materials verdampft und bildet eine Wolke aus heißem Gas vermischt mit Luft. Lowke und Mitarbeiter haben nun untersucht, ob eine Wolke aus erhitzter Luft allein, oder mit Kohlenstoff oder Kupferdampf vermischt, evtl. als Kugelblitz in Erscheinung treten kann.

Dieses Modell, das recht sorgfältig durchgerechnet wurde, führt leider zu einem negativen Ergebnis. Das Hauptproblem ist, eine Erklärung für die konstante Helligkeit eines Kugelblitzes zu finden. Die Autoren nehmen zuerst die Existenz eines sphärischen Volumens aus reiner Luft an, mit einer zentralen Temperatur von 10 000°K, das etwa so hell wie eine 400 Watt Lampe leuchtet. Sie berechnen sodann, wie schnell Temperatur und Leuchtkraft sinken, wenn Temperaturverluste durch Wärmeaustausch mit der umgebenden Luft und Strahlungsverluste berücksichtigt werden (Bild 4).

Es zeigt sich, daß es immerhin 6 s dauert, bis die zentrale Temperatur einer 40 cm Kugel von 10 000°K auf 3 000°K gesunken ist. Leider sinkt die Leuchtkraft viel schneller als die Temperatur. Nach 6 s ist die Erscheinung nur noch ein Zehntel so hell wie am Anfang, leuchtet also nur noch wie eine 40 Watt Birne. Diese starke Helligkeitsabnahme steht im Widerspruch zu allen Beobachtungen (Punkt 4). Außerdem sollte das aus heißer Luft bestehende Volumen emporsteigen, was Kugelblitze nur äußerst selten tun (Punkt 3).

Wird nun die Luft stark mit Kohlenstoff oder Kupferdampf vermischt, so ändert sich das Verhalten. Bei 10 000 K ist das Material zwar gasförmig, aber nicht mehr durchsichtig, so daß die im Innern entstehende Strahlung absorbiert wird, bevor sie an die Oberfläche gelangen kann. Als Resultat sinkt die zentrale Temperatur etwas langsamer als im Fall von reiner Luft und liegt nach 6 s zwischen 3000 und 4000°K. Da das Licht aus dem Innern nicht heraus kann, sehen wir nur die leuchtende Oberfläche. Diese kühlt sich aber besonders schnell ab, weil sie ja in direktem Kontakt mit der Außenluft steht. Nach nur einer Zehntelsekunde hat sich die Oberfläche bereits auf rund 450° C abgekühlt, Kohlenstoff und Kupferdampf sublimieren, und die ganze Erscheinung erlöscht.

Trotz der extrem kurzen Lebensdauer, die im Widerspruch zur Beobachtung steht, hat das Modell doch gewisse Vorzüge. So muß die Bildung einer Wolke aus Luft und Material nach einem Blitzschlag mit Sicherheit stattfinden. Außerdem sind Kohlenstoff und Kupferdampf schwer, die Kugel würde also nicht emporsteigen. Um das Modell zu retten, könnte man z.B. annehmen, daß sich die leuchtenden Teilchen im Innern ständig mit den nichtleuchtenden der Oberfläche vermischen. Das würde zu einer langsameren, aber immer noch deutlich sichtbaren Abnahme der Leuchtkraft mit der Zeit führen. Durch Oxidation von Kohlenstoff und Kupfer an der Oberfläche wird Energie frei, und auch diese könnte evtl. die Leuchtkraft verlängern. Solche Berechnungen sind aber bisher nicht angestellt worden.

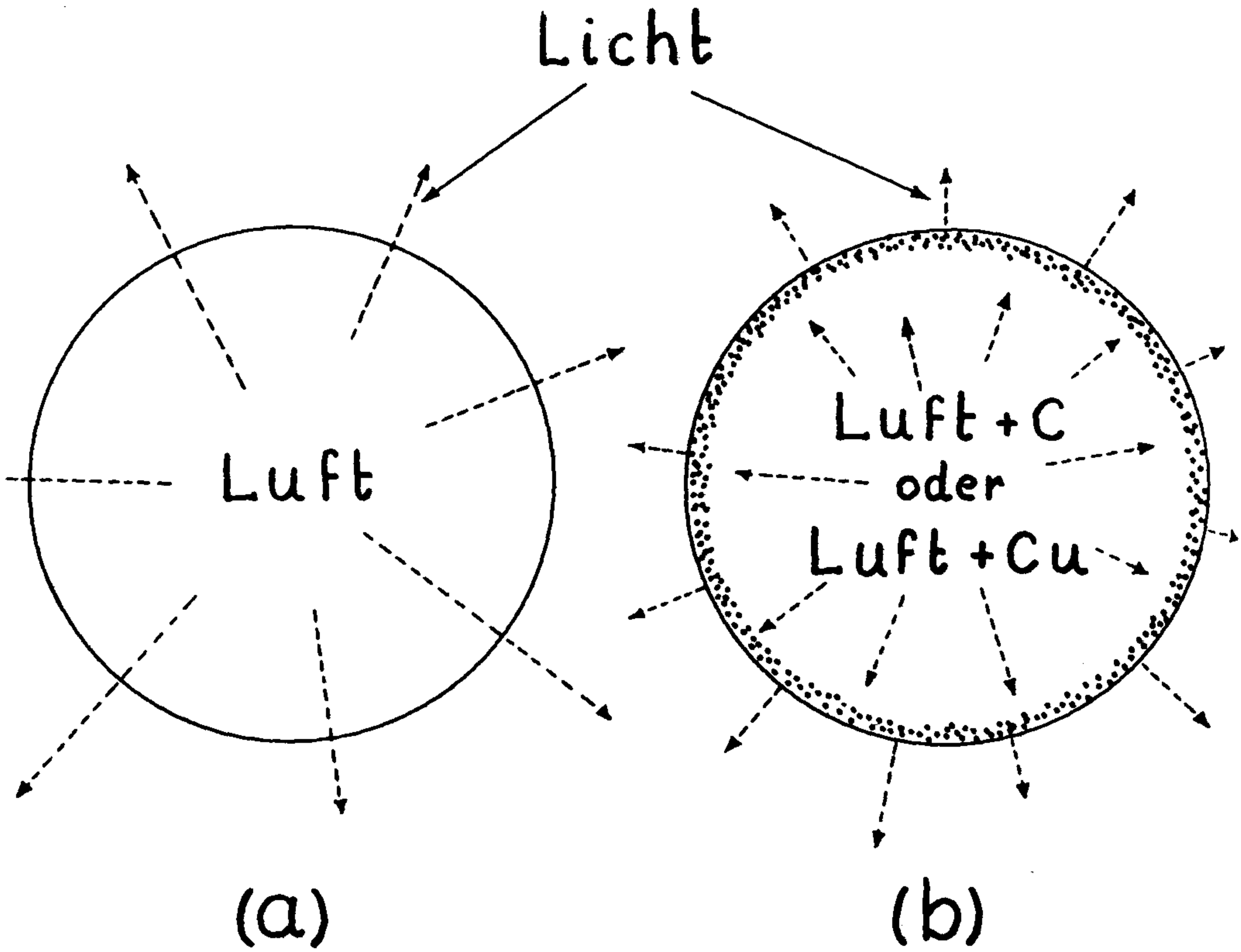


Bild 4: Hochtemperaturtheorie von Lowke, Uman und Liebermann.

(a) Erhitztes Luftvolumen.

Zentrale Temperatur: 10 000°K am Anfang

3 000°K nach 6 s

(b) Erhitztes Gemisch aus Luft und Kohlenstoff oder Kupferdampf.

Zentrale Temperatur: 10 000°K am Anfang

3-4 000°K nach 6 s

Oberflächentemperatur: 450° C nach 0,15 s, strahlt nur noch im infraroten Bereich.

4.3 Theorien mit ionisierten Molekülen

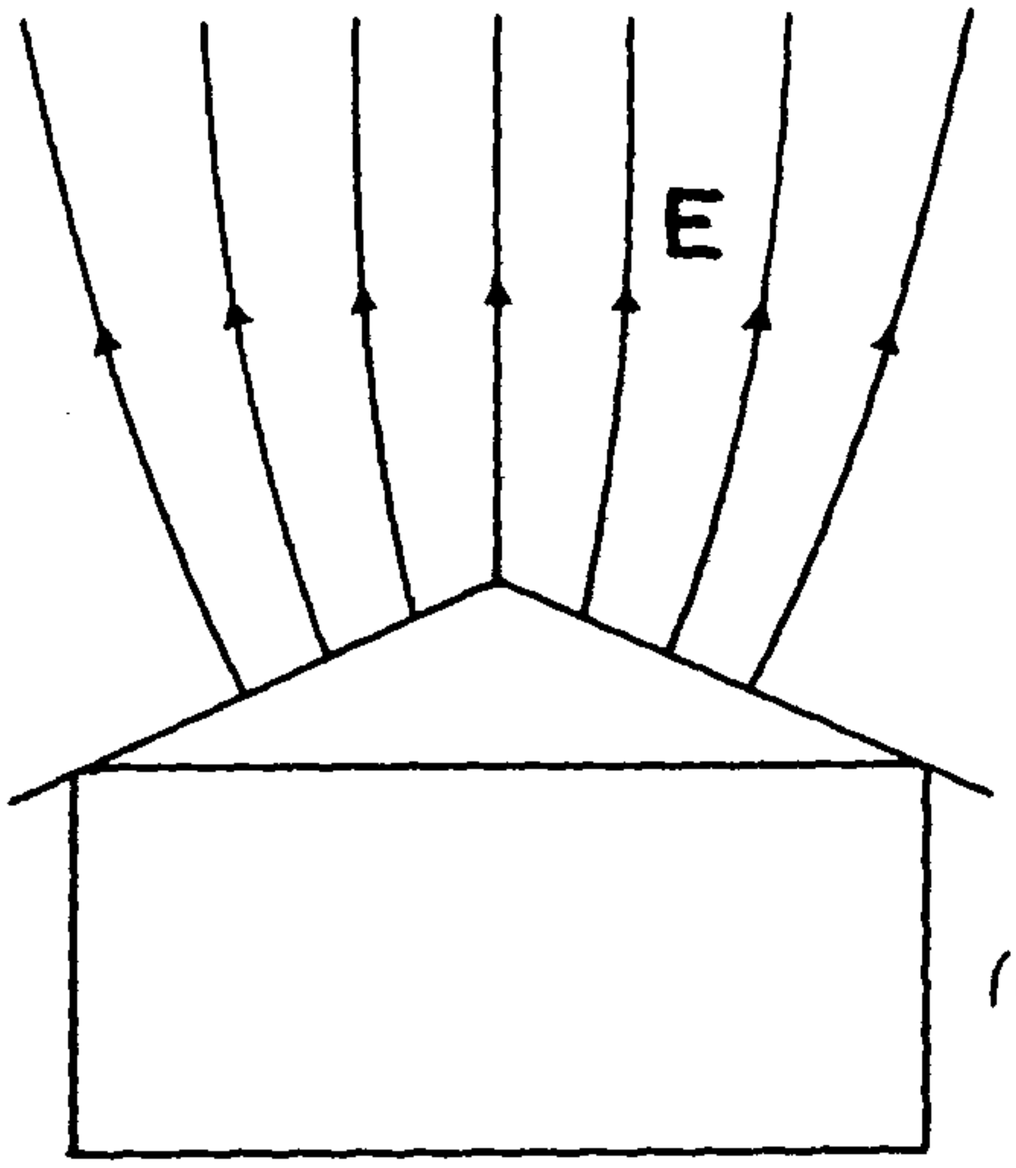
Verschiedene Vorschläge befassen sich mit der Möglichkeit, kugelförmige Volumen aus ionisierten Molekülen oder geladenen Staubteilchen oder Wassertröpfchen zu bilden, ohne das Vorhandensein freier Elektronen. Die Anfangsionisation könnte von einem Blitz herrühren. Um die lange Lebensdauer zu erklären, sind Inhomogenitäten in Form von lokalen Ladungswolken vorgeschlagen worden, deren Anwesenheit die Rekombinationsrate herabsetzen würde. Solche Inhomogenitäten könnten sich aus geladenen Wassertröpfchen bilden, die zuerst schalenförmig um den Blitzkanal herum kondeniseren und sich dann zu Regionen erhöhter Ladungsdichte zusammenballen. Koronaeffekte würden für das Leuchten sorgen.

P. Brovetto und Mitarbeiter (1976) haben die Bildung einer dünnen Kugelschale aus ionisiertem Material untersucht, das durch ein starkes elektrisches Feld aus einem vorstehenden Gegenstand herausgezogen wurde. Im Innern befindet sich ein Vakuum, das aber durch eindringende Luft langsam aufgefüllt wird. Auch hier käme die Helligkeit durch Koronaentladung zustande. Diese Theorie soll im folgenden näher besprochen werden.

4.3.1 Theorie von Brovetto, Maxia und Bussetti (1976)

Die Theorie macht von der Tatsache Gebrauch, daß starke elektrostatische Felder bei Gewittern auftreten, die - wie die Autoren meinen -, bis zu 10^6 V/m erreichen können. Vorstehende Objekte wie Bäume, Telegrafenstangen, spitze Dächer, Kirchtürme usw., übrigens auch Wassertropfen, vermögen diese Felder noch beträchtlich zu verstärken, bis zu 10^{10} V/m. Derart starke Felder sind imstande, positive Ionen aus dem Material, aus dem das vorstehende Objekt besteht, herauszuziehen.
Durch Zusammenstöße mit anderen Molekülen bilden sich größere Teilchen von einigen 100 nm Durchmesser (1 nm = 10^{-9} m). Die durch das Feld stark beschleunigten Teilchen fegen die Luft vor sich her und bilden ein sphärisches Vakuum, wie in Bild 5, umgeben von einer dünnen Schicht positiv geladener Partikel, die sich, wie eine Seifenblase, loslöst und frei schwebt. Durch ihre positive Ladung erzeugt sie ein eigenes, ebenfalls sehr starkes Feld um sich herum, das die umgebende Luft ionisiert und zum Leuchten anregt (Bild 6). Das Feld erzeugt zudem einen elektrostatischen Druck und die Kugel wächst so lange, bis dieser Druck gleich dem Gegendruck der Atmosphäre ist.

Die so gebildete Kugelschale ist porös, d.h. sie setzt sich aus einzelnen, nicht miteinander verbundenen Teilchen zusammen, zwischen denen die Außenluft ins Innere diffundieren kann. Das Vakuum füllt sich also langsam auf, die Druckdifferenz zwischen außen und innen wird geringer, die Kugel wächst und verschwindet schließlich. Wie lange das dauert, hängt von der Größe der Teilchen ab. Bei einer Größe von 250 nm dauert es 11 s, bis sich eine Kugel von 20 cm Durchmesser um 10% vergrößert hat, bei doppelt so großen Partikeln sind es 43 s. Eine solche Größenzunahme würde kaum bemerkt werden. Die Lebensdauer ist also von der richtigen Größenordnung.



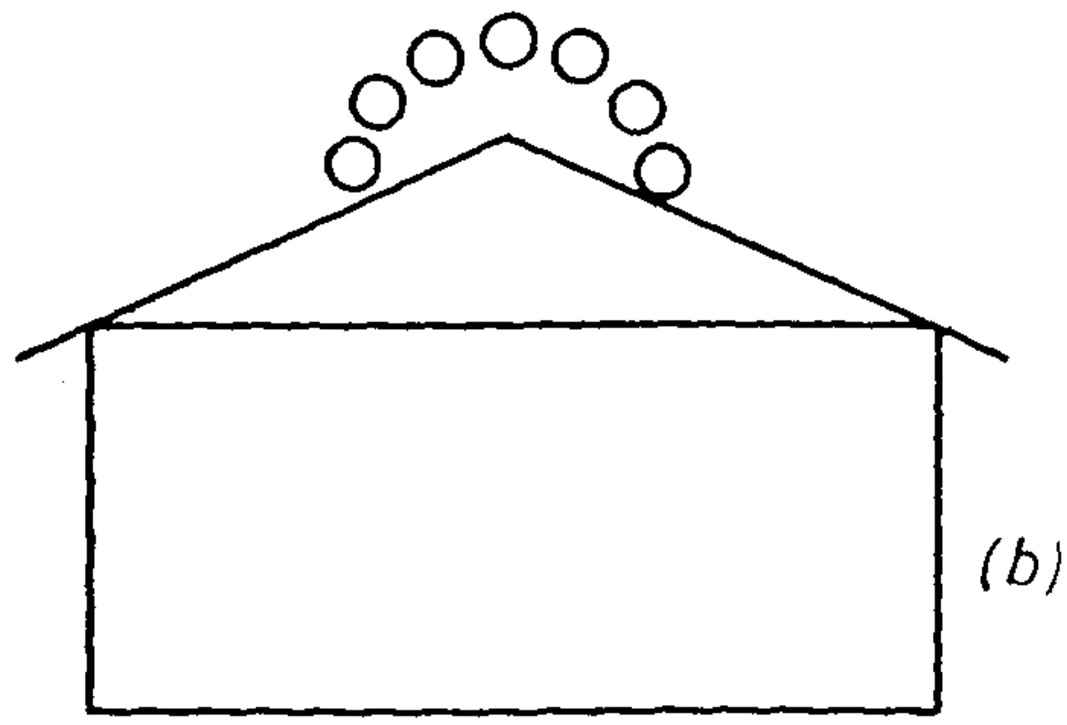
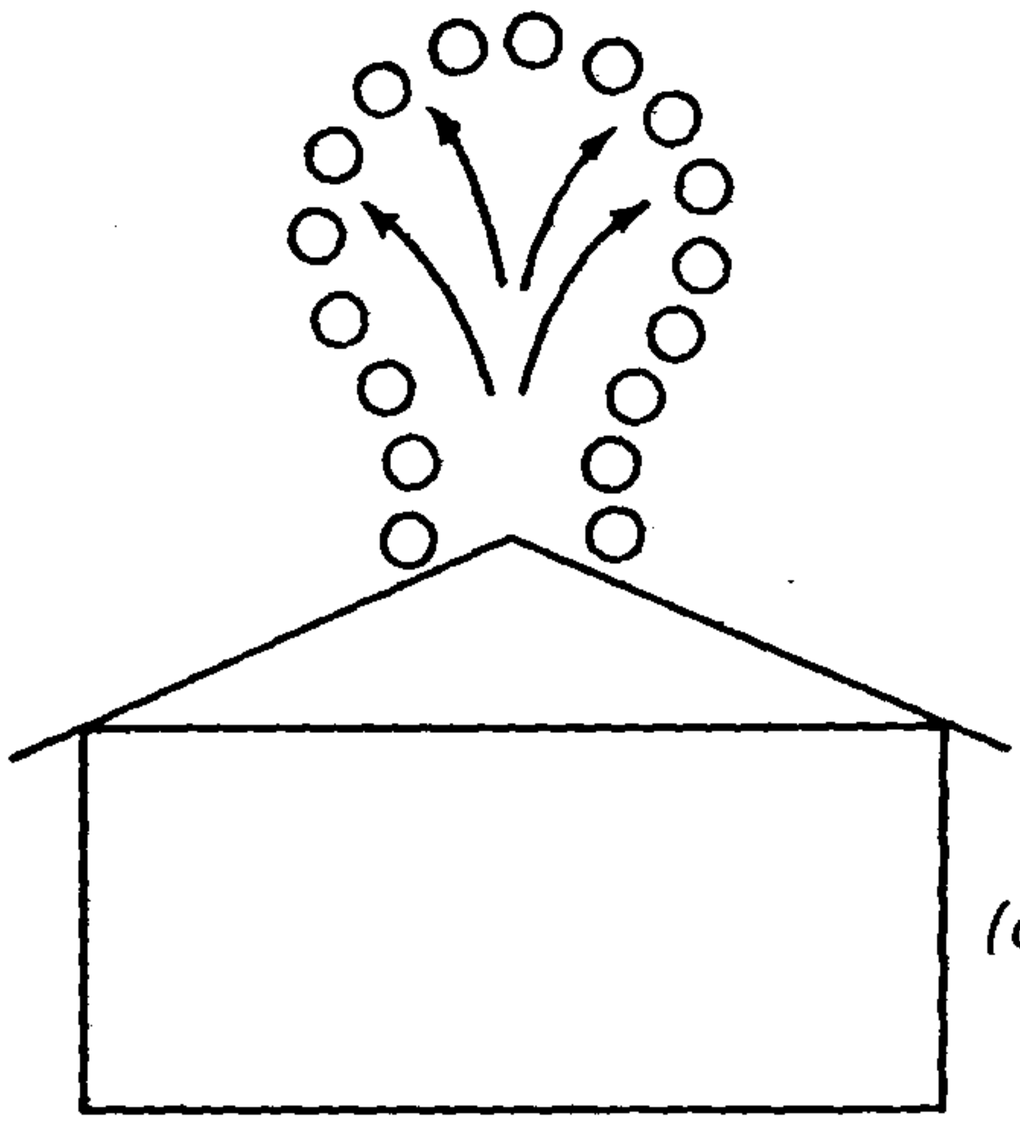
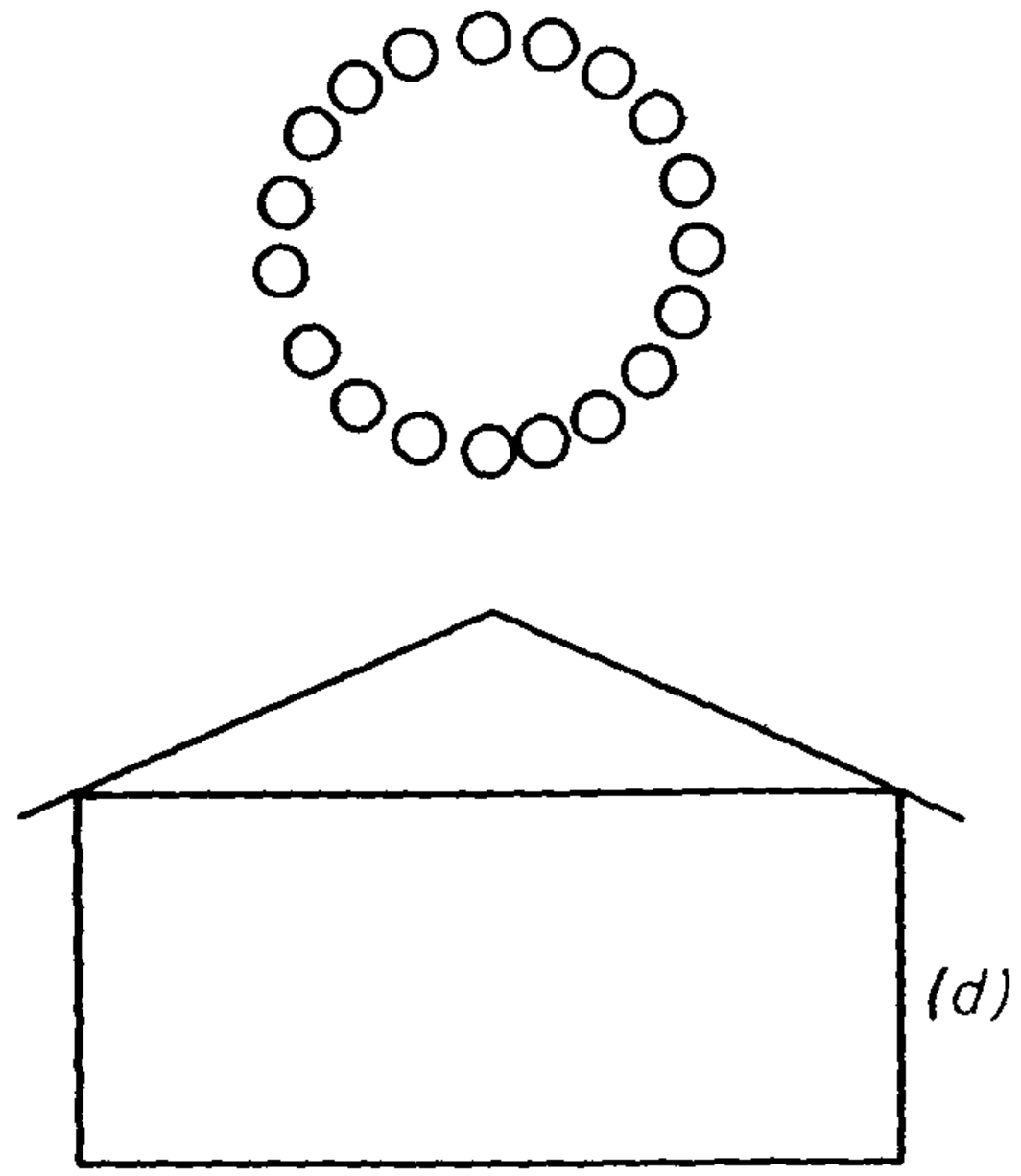


Bild 5: Bildung einer geladenen Kugelschale nach Brovetto, Maxia und Bussetti.

(a) E = äusseres elektrostatisches Feld von bis zu 10^{10} V/m.

(b) Das Feld zieht positive Ionen aus dem Dach.





(c) Die Ionen treiben Luft und grössere Teilchen vor sich her. Im Innern entsteht ein Vakuum.

(d) Die Kugelschale aus geladenen Teilchen schwebt frei.

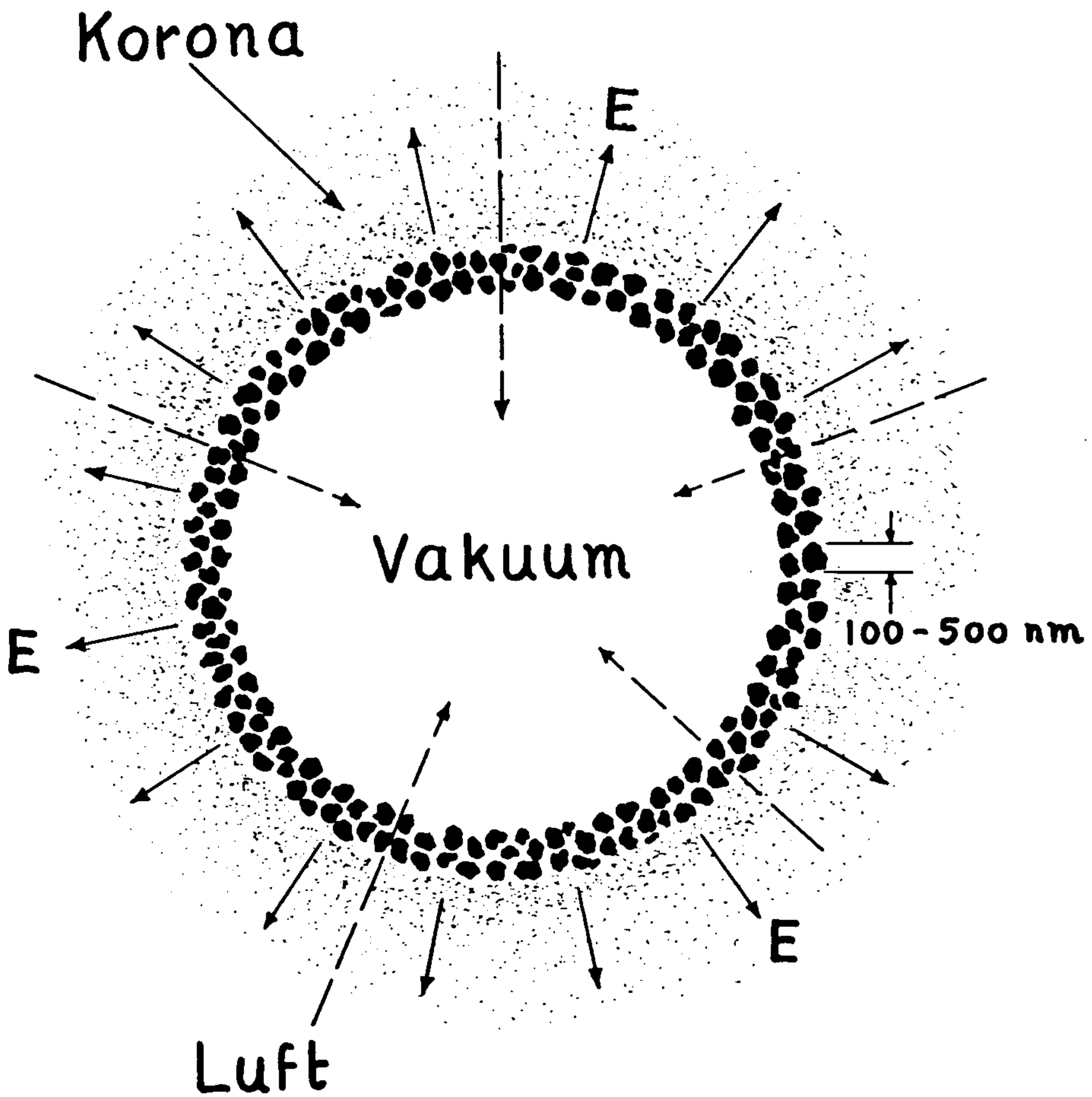


Bild 6: Die poröse Kugelschale von Brovetto, Maxia und Bussetti. Luft diffundiert ins Innere, das Vakuum füllt sich langsam auf. Teilchengrösse 100-500 nm. E = elektrisches Feld der Schale, das die Korona erzeugt.

Wird die Schale durch irgendeinen Vorgang verletzt, so dringt Luft schlagartig ins Vakuum ein und es erfolgt ein Knall. Weil die Teilchen, aus denen die Kugelschale besteht, schwerer sind als Luft, schwebt das Gebilde.

Die Autoren zeigen, daß die Kugelschale gegen elliptische Verformungen stabil ist. Das starke elektrische Eigenfeld sorgt nicht nur für die Ionisation der umgebenden Luft, sondern auch für die Produktion der scharf riechenden Gase Ozon und Stickstoffdioxid. Der öfter beobachtete blaue Rauch könnte, wie Zigarettenrauch, aus Teilchen von 250 nm Durchmesser bestehen, die aus der Kugelschale in die Luft diffundieren.

Dieses Modell, dem auch Berechnungen zugrunde liegen, stimmt mit der Beobachtung recht gut überein. Die Entstehung der Kugelschale klingt plausibel, ist aber nicht durchgerechnet worden. Man könnte versuchen, den Vorgang experimentell zu reproduzieren, aber auch das ist bisher nicht geschehen. Ob die enorm starken Felder, die in der Theorie vorausgesetzt werden, auch wirklich in der Natur vorkommen, ist eher fraglich.

4.4 Chemische Modelle

Eine beträchtliche Anzahl von Modellen basiert auf der Annahme, daß es sich bei Kugelblitzen um chemische Reaktionen in kugelförmigen Gasvolumen handelt. Gase, die dafür in Frage kämen, wären z.B. Stickstoffoxid, NO, das durch einen Blitz erzeugt wird und unter Lichtemission langsam zu Stickstoffdioxid, NO_2, oxidiert, oder Ozon, O_3, das zu O_2 zerfällt. Knallgasmischungen könnten durch einen Blitzschlag ins Wasser erzeugt werden.

Smirnov (1977) hat einen Prozeß untersucht, bei dem Ozon und NO_2 in einem starken elektrischen Feld entstehen. Der langsame Zerfall von Ozon regt andere, im Volumen vorhandene Substanzen zum Leuchten an.

Eine andere Möglichkeit ist die Entstehung leuchtender Phänomene in brennbaren Gasen wie Wasserstoff, Methan, Propan usw., die bereits in niedrigen Konzentrationen in der Luft vorhanden sind. Die Schwierigkeit liegt hier beim Auffinden plausibler Erklärungen für die verhältnismäßig hohen, streng lokalisierten Gaskonzentrationen, die für die Bildung eines Kugelblitzes erforderlich sind. Laboratoriumsversuche haben gezeigt, daß leuchtende Volumen aus Propan-Luftmischungen durch elektrische Entladungen zustande kommen können, doch sind Laboratoriumsbedingungen nicht ohne weiteres auf die Verhältnisse in der freien Natur übertragbar.
Als repräsentativ für chemische Theorien wählen wir das Modell von Smirnov.

4.4.1 Theorie von Smirnov (1977)

Aufgrund der bereits besprochenen Beobachtung von Dmitriev (1969) kann angenommen werden, daß Ozon, O_3, eine wichtige Rolle bei der Energieversorgung von Kugelblitzen spielt und daß Stickstoffdioxid, NO_2, ebenfalls daran beteiligt ist.

Ozon ist nur zu 10^{-5} bis 10^{-4}% in normaler Luft vorhanden. In einem elektrischen Feld kann sich das Sauerstoffmolekül aber durch Elektronenbeschuß spalten,

$$e + O_2 \rightarrow e + 2\,O$$

Die freien Sauerstoffatome verbinden sich daraufhin mit Sauerstoffmolekülen zu Ozon,

$$O + O_2 \rightarrow O_3 + 1{,}05\ eV$$

unter Abgabe von Energie.

Bei einer Lufttemperatur von 125° C bewirkt dieser Prozeß eine Ozonanreicherung bis zu 3%. Zu heiß darf die Luft aber nicht werden, sonst zerfällt das Ozon wieder und es kommt zu keiner Nettoanreicherung. Die Konzentration von NO_2 ist ungefähr um einen Faktor 10 niedriger.

Smirnov nimmt an, daß Ozon im Kugelblitz auf rund 1% und NO_2 auf 0,1% angereichert sind. Diese Anreicherung kommt entweder durch einen normalen Blitz zustande, oder durch Koronaentladungen in einem starken elektrischen Feld. Die Lufttemperatur liegt zwischen 25 und 125° C. Das Ozon zerfällt durch die Reaktion

$$\left.\begin{array}{l} 2O_3 + 2NO_2 \rightarrow 2O_2 + 2NO_3 \\ 2NO_3 \rightarrow 2NO_2 + O_2 \end{array}\right\} + 3{,}0\ eV$$

wobei also pro Ozonatom 1,5 eV an Energie freigesetzt werden, die zur Erhaltung der Leuchtkraft zur Verfügung stehen.

Der zeitliche Ablauf des Ozonzerfalls bestimmt die Lebensdauer der Erscheinung und ist von Smirnov berechnet worden. Durch den Zerfall steigt die Temperatur, was wiederum den Zerfall beschleunigt. Die Zerfallsrate hängt überdies noch von der Anfangstemperatur und der Anfangskonzentration des Ozons ab. Je nach Anfangsbedingungen erhält Smirnov eine Lebensdauer von einigen Sekunden bis zu einigen Minuten.

Die so berechneten Lebensdauern sind fast etwas zu lang. Smirnov nimmt daher an, daß noch andere Substanzen im Innern vorhanden sind, die den Zerfall beschleunigen und außerdem für das Leuchten sorgen, denn der Ozonzerfall selbst erzeugt kein sichtbares Licht. Leider wird nicht gesagt, was das für Substanzen sein könnten.

Da Ozon schwerer ist als Luft, würde die Kugel schweben. Eine Explosion würde stattfinden, wenn der Ozonzerfall aus irgendeinem Grunde plötzlich sehr viel schneller ablaufen würde.

Gegen dieses Modell ist einzuwenden, daß der Leuchtmechanismus nur unzureichend erklärt wird. Auch über die Art, wie sich das ursprüngliche, mit O_3 und NO_2 angereicherte sphärische Volumen bildet, werden keine Angaben gemacht.

4.5 Stehende Wellen

Mehrere Autoren haben schon früh auf stehende Wellen als mögliche Ursache für die Entstehung von Kugelblitzen hingewiesen, aber der erste, der diese Möglichkeit eingehender untersuchte, war P.L. Kapiza (1955). Er setzt die Existenz einer kleinen, evtl. vom Blitz erzeugten, schwach ionisierten Region voraus, die durch Absorption von radiofrequenter Strahlung wächst und gleichzeitig stärker ionisiert wird. Parallel zur Erdoberfläche liegende Interferenzmaxima der elektromagnetischen Strahlung wären bevorzugte Orte, an denen Kugelblitze entstehen und sich parallel zur Erde weiterbewegen würden. Mehrere Varianten dieser Theorie sind seither entwickelt worden und gleichzeitig wurden Experimente mit RF-Feldern unternommen, die zu leuchtenden Luftvolumen führten. Powell (1969) produzierte Kugeln aus Luft oder NO_2, die bis zu einer Sekunde lang leuchteten, nachdem das RF-Feld abgestellt war. Dieses Experiment wird unter 4.6.1 noch ausführlicher besprochen werden, an dieser Stelle wollen wir die Theorie von Kapiza bringen.

4.5.1 Kapizas Theorie (1955)

Es ist bekannt, daß eine Plasmakugel, die also ganz aus freien Elektronen und Ionen besteht, aus einem elektromagnetischen Radiofrequenzfeld Energie absorbieren kann. Wirkungsvoll wird dieser Prozeß aber erst, wenn der Durchmesser D der Kugel in einem bestimmten Verhältnis zur Wellenlänge λ steht. Dieses Verhältnis ist

$$D = \frac{\lambda}{3,65}$$

für ein vollständig ionisiertes Gas. Ist das Gas nur partiell ionisiert, so ist der wirksame Durchmesser kleiner als D, wir nennen ihn daher d und es ist

$$d < \frac{\lambda}{3,65}$$

Die Existenz einer Quelle elektromagnetischer Strahlung mit einer Wellenlänge zwischen 35 und 100 cm muß vorausgesetzt werden. Irgendein Volumen vom Durchmesser $d < \lambda/3,65$ sei durch Blitzschlag oder Koronaentladung schwach ionisiert. Dann absorbiert dieses Volumen Energie aus dem Feld und wird dadurch stärker ionisiert. Dabei erhöht sich die Temperatur und das Volumen

dehnt sich aus. Ein stärker ionisiertes Gas absorbiert Energie bei einem größeren Durchmesser, die Kugel kann also weiter wachsen. Durch diesen Prozeß wird sie immer stärker ionisiert und erhitzt und wächst so lange, bis ihre Ionisation vollständig ist und ihr Durchmesser die Relation $D = \lambda/3{,}65$ exakt erfüllt. Bei diesem Durchmesser, welcher der Größe eines Kugelblitzes entsprechen muß, stabilisiert sie sich.

Normale elektromagnetische Felder sind zu schwach, um das eben beschriebene Phänomen auszulösen. Kapiza postuliert daher stehende Wellen (Bild 7). Eine solche stehende Welle kann, wie im Bild gezeigt wird, durch Reflektion einer ebenen Welle am Boden entstehen. Sie hat Maxima bei $(1{,}4)\lambda$, $(3/4)\lambda$, $(5/4)\lambda$ usw. über dem Boden. An diesen Stellen verstärken sich die einfallenden und reflektierten Wellen, und wenn es überhaupt zur Bildung eines Kugelblitzes kommt, dann in einer dieser Ebenen. Er würde sich dann entlang seiner Ebene und parallel zurm Erdboden bewegen, was er - den Beobachtungen zufolge (Punkt 3) - meistens auch tut. Da er vom Feld geführt wird, wäre er unabhängig von der Windrichtung. Verschwindet das Erregerfeld plötzlich, so kühlt sich die Kugel so schnell ab, daß sie implodiert.

Kapizas Theorie ist durchaus attraktiv und, dank des Prestiges ihres Autors - Kapiza ist Nobelpreisträger - bildete sie die Grundlage für eine Reihe von Arbeiten. Leider hat man, trotz vieler Bemühungen, nie elektromagnetische Felder mit den nötigen Charakteristiken bei Gewittern feststellen können. Die Anforderungen an das Erregerfeld sind: eine Wellenlänge von 35-100 cm bzw. eine Frequenz von 300-900 MHz, eine Stärke von ca. 10^5 V/m, eine Dauer von mehreren Sekunden bis zu mehreren Minuten und ein hoher Grad an Stabilität. Diese Anforderungen sind von keinem der bisher bei Gewittern gemessenen Feldern erfüllt worden.

4.6 Stromtheorien

Die starken elektrischen Felder, die während eines Gewitters auftreten, bilden den Ausgangspunkt einer Reihe von Theorien, in denen hohe elektrische Ströme in begrenzten Volumina entstehen und Leuchterscheinungen hervorrufen.

Frühe Theorien benutzten die in den Wolken gespeicherte Ladung, oder Ströme im Blitzkanal, der auch nach Durchgang eines Blitzes noch leitet, um leuchtende Luftvolumina zu erzeugen. Spätere Theorien machten dagegen von elektrostatischen Feldern in der Atmosphäre Gebrauch. Eine begrenzte Region höherer Leitfähigkeit kann, z.B., zu einer lokalen Konzentration der Feldlinien und der Stromdichte führen und diese kann das Volumen durch Ionisation zum Leuchten anregen. Powell und Finkelstein (1969) zeigen aufgrund des Experiments von Powell, daß ein ionisiertes Volumen, das vom Blitz erzeugt wird, eine Lebensdauer von höchstens 1 s haben kann und entwickeln eine Theorie, in der diese Lebensdauer durch ein- und ausströmende Elektronen und Ionen beträchtlich verlängert wird.

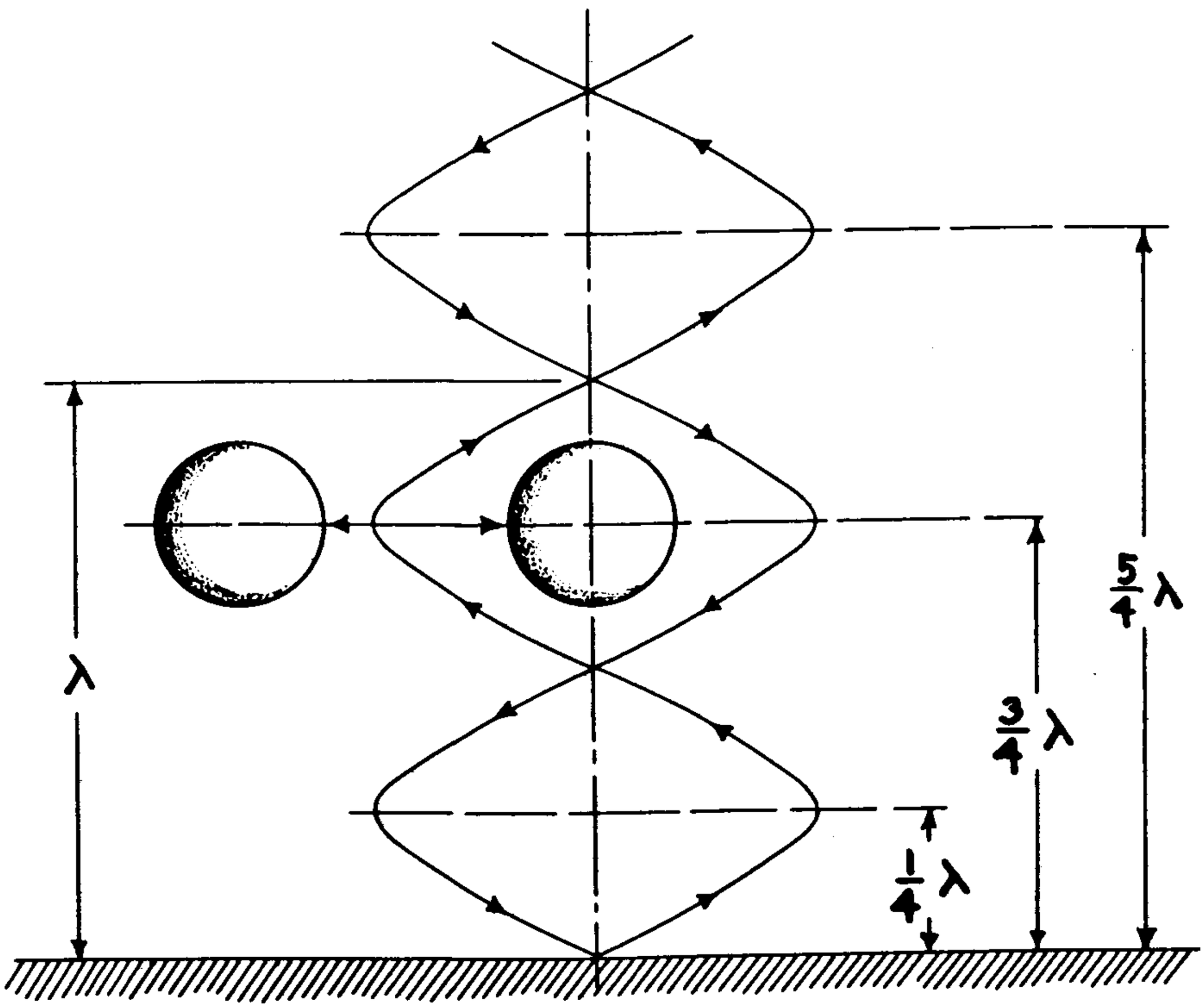


Bild 7: Kugelblitzbildung nach Kapiza. Eine einfallende elektromagnetische Welle wird am Boden reflektiert. Stellen, an denen sich einfallende und reflektierte Wellen verstärken, liegen $\frac{1}{4}\lambda$, $\frac{3}{4}\lambda$, $\frac{5}{4}\lambda$ u.s.w. über dem Boden. An einem dieser Maxima entsteht ein Kugelblitz und bewegt sich parallel zur Erde.

Eine Variante dieser Theorie befaßt sich mit der Möglichkeit, Metall- oder Ascheteilchen im ionisierten Volumen aufgrund ihres Widerstandes vom durchfließenden Strom zum Glühen anregen zu lassen. Die Theorie von Powell und Finkelstein stützt sich zum Teil auf Experimente und besitzt auch sonst einen verhältnismäßig hohen Grad an Glaubwürdigkeit. Sie soll im folgenden daher ausführlicher beschrieben werden.

4.6.1 Theorie von Powell und Finkelstein (1969)

Ausgangspunkt der Theorie ist ein Experiment, das bereits mehrmals erwähnt wurde. In einem geschlossenen, mit Luft gefüllten Glasbehälter, in Bild 8 schematisch dargestellt, befinden sich eine feste und eine bewegliche Elektrode, die an einen 30 kW, 75 MHz Oszillator angeschlossen sind. Wird die bewegliche Elektrode zurückgezogen, so bildet sich zuerst ein Lichtbogen und dann, bei weiterem Zurückziehen, eine hohe, unregelmäßige Plasmasäule. Sobald der Oszillator abgestellt wird, zieht sich die Plasmasäule zu einem gelblich-weiß leuchtenden Ball zusammen, der in die Höhe schwebt und nach ca. 1 s verschwindet. Wird das obere Fenster geöffnet, so reduziert sich die Leuchtdauer auf 0,3 s.

Aufgrund des Spektrums der leuchtenden Kugel kommen die Autoren zu dem Schluß, daß zwei metastabile Zustände von Sauerstoff für die lange Lebensdauer verantwortlich sind. Ein metastabiler Zustand eines Atoms entsteht, wenn eines seiner Elektronen durch einen Stoß auf ein höher gelegenes Niveau gehoben wird, von dem es nicht wieder auf sein Grundniveau zurückkann, weil es sonst einen Erhaltungssatz verletzen würde.

Die beiden metastabilen Niveaus von Sauerstoff sind in Tabelle 1 zusammengestellt. Im Powellschen Experiment werden sie im Lichtbogen oder in der Plasmasäule angeregt. Die Lebensdauern in der Tabelle gelten für ungestörte Moleküle, aber in der Luft sind sie natürlich nicht ungestört, weil sie ständig mit anderen Molekülen zusammenstoßen. Diese Stöße vermögen die Elektronen von ihrem memetastabilen Niveau zu dislozieren und sie wieder auf ihr Grundniveau zurückfallen zu lassen, und zwar im Durchschnitt bereits nach einer Sekunde und nicht erst nach 45 Minuten.

Tabelle 1

Metastabile Niveaus von O_2

Niveau	Anregungsenergie (eV)	(ungestörte) Lebensdauer
$O_2(b_1\Sigma_g^+)$	1,63	8 s
$O_2(a_1\Delta_g)$	0,98	45 Min.

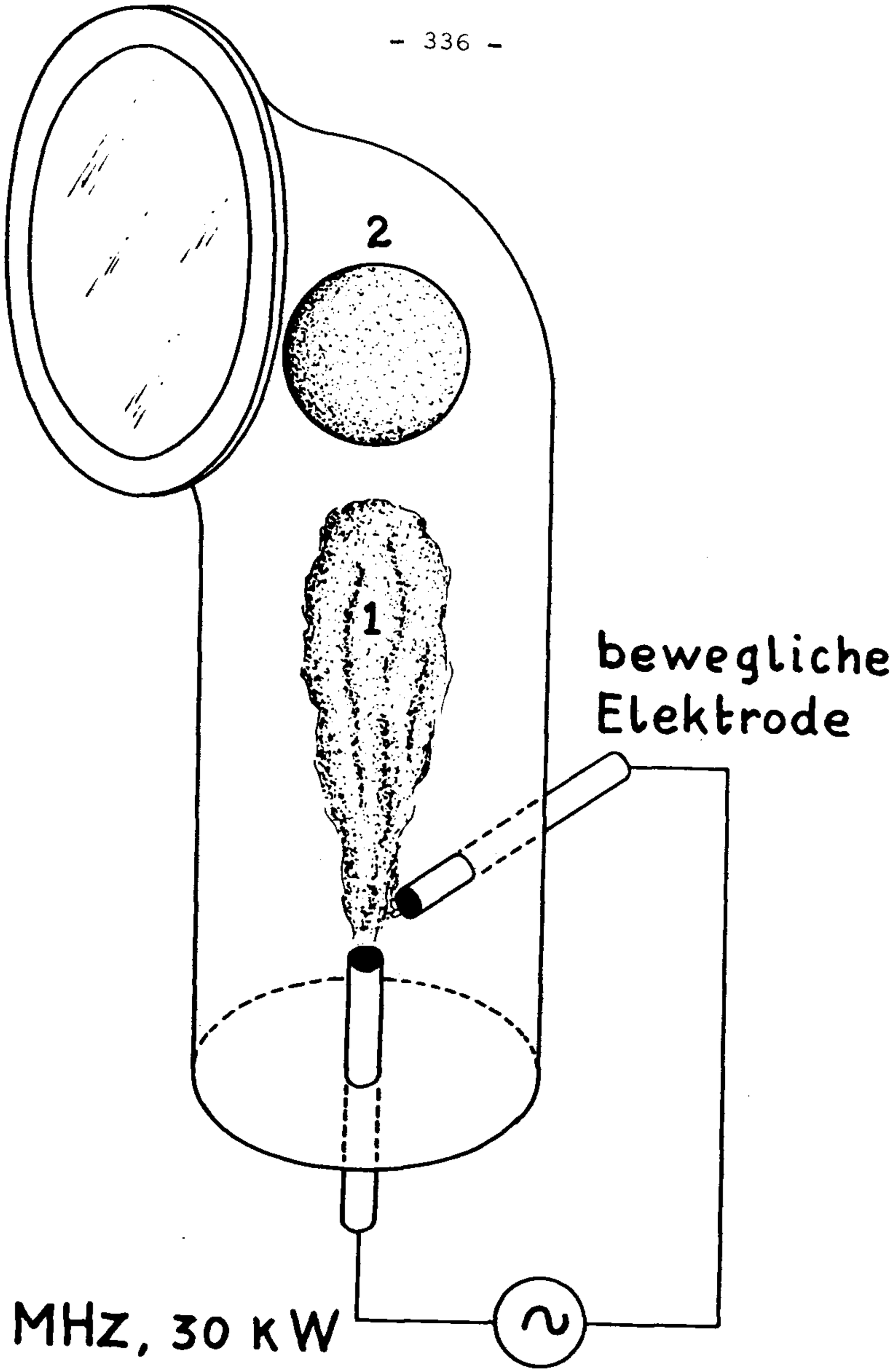


Bild 8: Das Experiment von Powell, nachdem der Lichtbogen durch Zurückziehen der beweglichen Elektrode unterbrochen ist.

(1) Die Plasmasäule

(2) Die Plasmasäule hat sich zu einer Kugel zusammengezogen und schwebt nach oben.

Die Anregungsenergie, die sie auf ihrem metastabilen Niveau hatten, teilen sie dabei den Molekülen mit, mit denen sie kollidieren. Diese werden dadurch selbst angeregt und emittieren die Anregungsenergie sehr schnell wieder in Form von Licht.

Die Autoren schließen hieraus, daß ein durch eine Entladung entstandener Kugelblitz normalerweise eine Lebensdauer von höchstens einer Sekunde haben kann. Verhalten und Lebensdauer der Leuchtkugel in ihrem Experiment erinnern stark an das anfangs besprochene Perlschnurphänomen, das durch das Experiment vielleicht erklärt wird.

Ein echter Kugelblitz lebt aber bedeutend länger als 1 s und daraus folgern die Autoren, daß ihm eine äußere Energiequelle zur Verfügung stehen muß. Sie entwickeln daher folgendes Modell (Bild 9): Durch Blitzschlag oder Koronaentladung bildet sich ein leuchtendes, partiell ionisiertes Luftvolumen. Ein äußeres, von der Wolke zur Erde gerichtetes elektrisches Feld E_o von ca. 10^5 V/m, wie es bei Gewittern auftreten kann, beschleunigt die freien Elektronen im inneren Volumen. Diese machen Kollisionen mit neutralen Luftmolekülen im Innern und erzeugen dabei weitere freie Elektronen und positive Ionen. Die Elektronen werden vom Feld nach oben beschleunigt, die Ionen nach unten. Da Elektronen aber viel beweglicher sind als Ionen, entweichen sie schneller und es bleibt eine positive Nettoladung im Innern zurück, ähnlich wie im Modell von Dmitriev.

Diese positive Ladung, zusammen mit den ausströmenden positiven Ionen und dem äußeren Feld, ziehen nun aus einem weiten Umkreis freie Elektronen und auch negative Ionen an und kanalisieren diesen Teilchenstrom durch das zentrale Volumen. Dort machen die negativen Teilchen Kollisionen und heizen die Luft auf, wie jeder Strom, der durch einen Widerstand fließt. Gleichzeitig werden in den Kollisionen wieder neue Elektronen und Ionen frei. Die Ionen fließen wieder nach unten, ziehen neue negative Teilchen an, usw., so daß sich der Zyklus ständig wiederholt. Auch in diesem Modell entstehen 3 Zonen, wie bei Dmitriev: eine innere Hochtemperaturzone, eine sie umgebende Region, in der die Temperatur nach außen hin abnimmt, und eine Korona.

Voraussetzung für das Funktionieren des Modells ist eine ausreichende Ionisationsrate im Innern. Sonst würde nämlich zu wenig Leistung und daher kein Licht erzeugt. Es genügt, wenn man von den vielen Prozessen, in denen Ionen und Elektronen freigesetzt werden, nur die sog. "Townsend Multiplikation" in Tabelle 2 betrachtet.

In jedem der in der Tabelle angeführten 4 Fälle trifft ein schnelles Elektron (e) auf ein neutrales Molekül (O_2, N_2 usw.) und entfernt ein Elektron aus der äußeren Elektronenschale. Nach dem Stoß fliegen daher 2 Elektronen weiter, das ursprüngliche und das neue, während ein positives Ion (O_2^+, N_2^+ usw.) zurückbleibt. Wie man aus der Tabelle erkennt, ist das NO-Molekül mit nur 9,25 eV am leichtesten zu ionisieren. Bei der hohen Temperatur von 2-3000°K, die im Innern herrscht, steigt der normalerweise sehr niedrige NO-Gehalt der Luft auf mehrere Prozent an, was eine sehr starke Erhöhung der Ionisationsrate zur Folge hat.

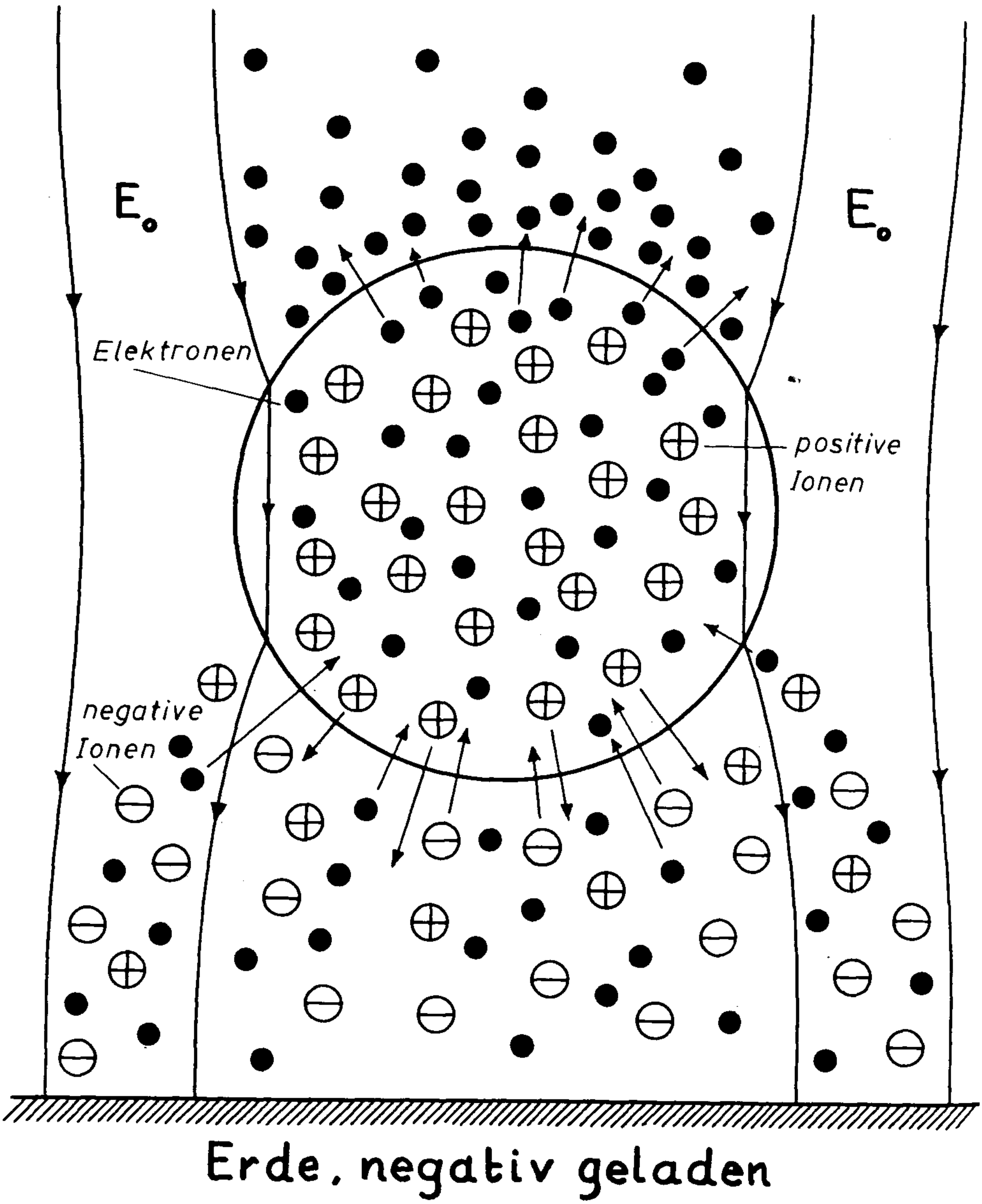


Bild 9: Theorie von Powell und Finkelstein. E_o = äusseres elektrostatisches Feld von ca. 10^5 V/m (nur wenige Feldlinien sind abgebildet). E_o beschleunigt Elektronen nach oben und positive Ionen nach unten. Negative Ionen und Elektronen werden aus einem weiten Umkreis ins innere Volumen geleitet.

Tabelle 2

Townsend Multiplikation

Reaktion	Ionisationspotential von
$e + O_2 \rightarrow O_2^+ + 2e$	O_2 = 12,062 eV
$e + N_2 \rightarrow N_2^+ + 2e$	N_2 = 15,576 eV
$e + O \rightarrow O^+ + 2e$	O = 13,614 eV
$e + NO \rightarrow NO^+ + 2e$	NO = 9,25 eV

Rechnungen ergeben, daß Townsend Multiplikation bei einem Kugeldurchmesser von 20 cm, einem äußeren Feld von $2x10^5$ V/m und einer Temperatur von 2000 K genügt, um eine ausreichende Ionisationsrate und Leistungsproduktion zu gewährleisten. Bei niedrigeren Temperaturen ist das nicht mehr der Fall, weil dann zu wenig NO zur Verfügung steht.

Die Leistung selbst hängt stark von der Zahl der negativen Teilchen ab, die von außen in das zentrale Volumen strömen. Es kann z.B. vorkommen, daß dieser Zustrom versiegt, weil sich keine negativ geladenen Teilchen mehr in der Umgebung befinden. Dann beschleunigt das äußere Feld nur noch Elektronen, die bereits im Innern vorhanden sind. Die entsprechende Leistungsproduktion ist bescheiden, nur 10 Watt werden in einer Kugel von 20 cm Durchmesser erzeugt. Stehen außerhalb der Kugel aber genügend negative Teilchen zur Verfügung, so steigt die Leistung auf 1000 Watt und darüber und die Kugel leuchtet entsprechend hell. Wenn sie einen Leiter berührt und zu viele Elektronen in sich hineinsaugt, kann die Leistungserzeugung plötzlich so stark anwachsen, daß die Kugel explodiert.

Rechnungen zeigen, daß die Kugel gegen Temperaturschwankungen und Änderungen im Radius stabil bleibt. Da das äußere Feld nach unten weist, zieht es die positiv geladene Kugel ebenfalls nach unten. Zwischen diesem Zug nach unten und dem natürlichen Auftrieb nach oben schwebt das Gebilde im Gleichgewicht. In seiner Bewegung folgt es dem äußeren Feld und nicht der Windrichtung. Das Feld kann die Erscheinung durch Öffnungen in ein Haus hineinleiten und sie könnte sogar durch ein geschlossenes Fenster dringen, wenn sie zuerst ein Loch hineinschmelzen würde, was ja tatsächlich beobachtet worden ist (Punkt 13).

Allerdings müßte sich das Feld in voller Stärke im Innern des Hauses fortsetzen. Verschwindet das äußere Feld, so hört die Ionenproduktion auf und nur die angeregten metastabilen Zustände von Sauerstoff erhalten die Leuchtkraft noch während ca. 1 s aufrecht.

5. Leuchterscheinungen bei UFOs

Wie aus den vorangegangenen Kapiteln ersichtlich ist, besteht die Hauptschwierigkeit bei den Erklärungsversuchen von Kugelblitzen in der Identifikation von Leuchtmechanismus und Energiequelle. Bei UFOs hat man es insofern leichter, als nicht lange nach einer Energiequelle gesucht werden muß. Eine solche ist mit großer Wahrscheinlichkeit in Form eines elektromagnetischen Feldes vorhanden. Statische Felder, wie sie bei Gewittern auftreten, kommen kaum in Frage, weil sie eine zu starke elektrische Ladung der UFOs voraussetzen würden (Beck 1977). Viel wahrscheinlicher sind hochfrequente Felder im Mikro- oder Kurzwellenbereich. McCampbell (1973) hat solche Felder bereits vor langem vorgeschlagen.

Der Mechanismus, der das Leuchten hervorruft, setzt, wie bei den Kugelblitzen, eine partielle, oder in einigen Fällen sogar vollständige Ionisierung der Luft voraus. Dafür sind allerdings sehr starke Felder von 10^5-10^6 V/m erforderlich, aber man kann nicht a priori ausschließen, daß UFOs so starke Felder erzeugen. Das Feld beschleunigt die durch Ionisation frei gewordenen Elektronen und diese wiederum stoßen, wie immer, mit Luftmolekülen zusammen, ionisieren sie und regen sie zum Leuchten an. Je stärker das elektrische Feld, umso stärker ist die Ionisation und umso heller strahlt das UFO.

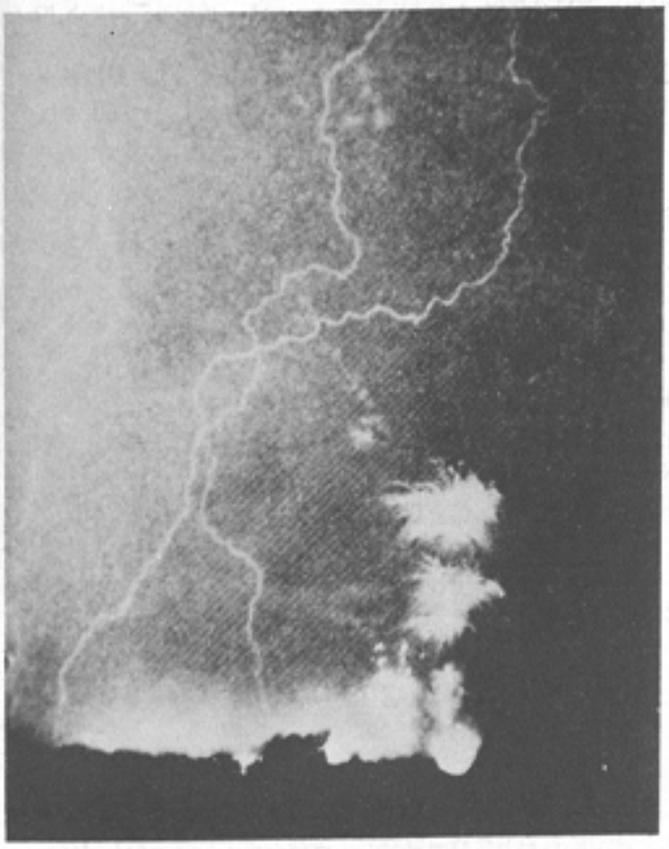
Die Farben, in denen UFOs oftmals leuchten, kommen möglicherweise nicht von der Luft selbst her. Stark beschleunigte Elektronen und Ionen prallen auch gegen die Außenwand des UFOs und lösen dort Atome heraus, die in die Luft eintreten und nun ihrerseits zum Leuchten angeregt werden. Es ist daher möglich, daß die beobachteten Farben der Spektralfarben dieser Verunreinigungen entsprechen. Bezeichnenderweise bestand das Spektrum der leuchtenden Kugel im Experiment von Powell ebenfalls zum größten Teil aus den Spektrallinien von Verunreinigungen.

An der Außenwand eines stark leuchtenden UFOs muß eine Temperatur von ein- bis mehreren tausend Grad herrschen, wenn dort die Luft stark ionisiert ist. Bei einem schwach leuchtenden UFO ist die Luft vermutlich nur schwach ionisiert, und in diesem Fall könnten die Elektronen zwar eine hohe Temperatur haben, aber die Temperatur der viel zahlreicher vorhandenen neutralen Luftmoleküle würde wesentlich darunter bleiben, besonders wenn die schnelle Bewegung des UFOs für eine gute Durchmischung mit der kühlen Außenluft sorgt.

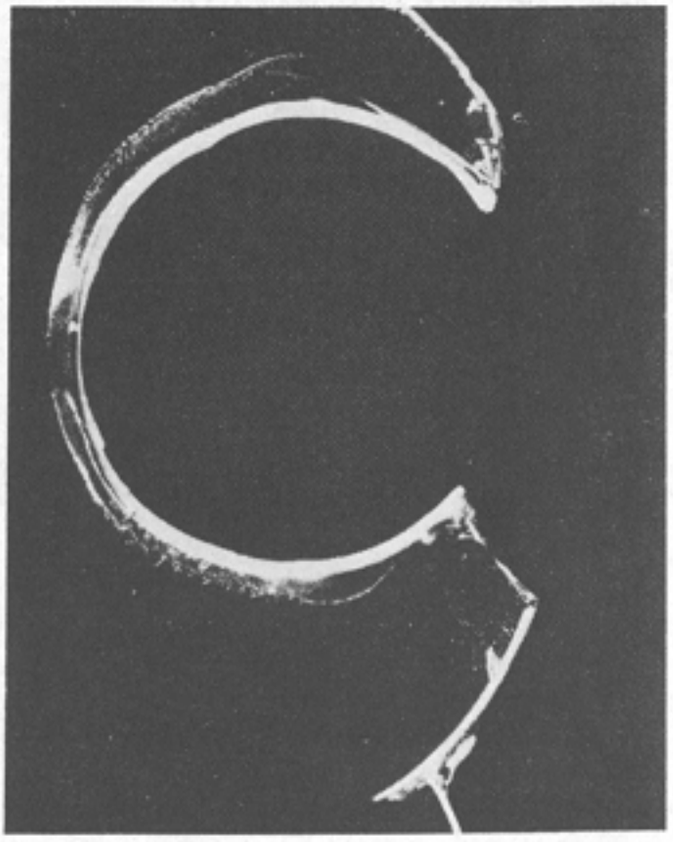
Im übrigen gibt es UFO-Beobachtungen sowohl mit deutlicher Hitzeausstrahlung wie auch solche, bei denen keine Wärme verspürt wurde. Das gleiche Phänomen hat man auch bei Kugelblitzen feststellen können (Punkt 7).

Hinter dem UFO bleiben die Ionisationsprodukte zurück. Zu diesen gehören, wie bei Kugelblitzen, in erster Linie Ozon und Stickstoffdioxid, sowie die beiden langlebigen metastabilen Zustände von Sauerstoff. Ein UFO sollte also eine Leucht- oder Rauchspur und einen scharfen Geruch hinterlassen, was vielfach auch bestätigt worden ist. Auch McCampbell hat bereits auf diesen Punkt hingewiesen.

Wie man erkennt, sind die verschiedenen Kugelblitztheorien zwar nicht unmittelbar auf das Leuchten von UFOs anwendbar, geben aber doch wertvolle Hinweise auf dessen mögliches Entstehen. Voraussetzung ist natürlich, daß konventionelle Theorien überhaupt auf UFO-Leuchterscheinungen anwendbar sind. Solange über diesen Punkt keine Klarheit herrscht, muß allen Erklärungsversuchen naturgemäß ein gewisses Maß an Willkür anhaften.



Kugelblitzaufnahmen von Prof. Jensen, 1933 (in: Photographs of the Unknown, von R. Rickard & R. Kelly, Book Club Ass., London, 1980)



In das Fenster des Edinburgher Universitäts-Instituts für Meteorologie wurde ein rundes Loch geschmolzen.
(in: A.C.Clarke: Mysterious World D, Welfare & Fairley, London, 1980)

LITERATURVERZEICHNIS:

Adrianov, A.M. & Sinitsyn, V.I., 1977: Sov. Phys. - Tech. Phys., 22, S. 1432.

Beck, H., 1977: in: Strahlenwirkungen in der Umgebung von UFOs, MUFON-CES-Tagungsband 3, Hrsg. I. Brand, Feldkirchen-Westerham, S. 335-348.

Brand, W., 1923: Der Kugelblitz, Henri Grand, Hamburg.

Brand, I., 1977: in: Strahlenwirkungen in der Umgebung von UFOs, MUFON-CES-Tagungsband 3, Hrsg. I. Brand, Feldkirchen-Westerham, S. 139-148.

Brovetto, P., Maxia, V., & Busetti, G., 1976: J. Atmos. Terr. Phys., 38, S. 921-934.

Charman, W.N., 1978: Physics Reports, 54, S. 261-306.

Corliss, W., 1977: Handbook of Unusual Natural Phenomena, Sourcebook Project, Glen Arm, Maryland, S. 69-82.

Dawson, G.A. & Jones, R.C., 1969: in: Planetary Electrodynamics, Vol. 2, Hrsg. J.C. Coroniti and J. Hughes, Gordon and Breach, N.Y., S. 193-198.

Dewan, E.M., 1964: Eye Witness Accounts of Kugelblitz, Microwave Physics Lab., Air Force Cambridge Research Laboratories CRD-125.

Dmitriev, M.T., 1969: Sov. Phys. - Tech. Phys.. 14, S. 284-289.

Fieux, R., Gary, C. & Hubert, P., 1975: Nature, 257, S. 212-214.

Heim, B., 1980: Elementarstrukturen der Materie, 1. Teil, Resch-Verlag, Innsbruck, Österreich. (2. Teil in Vorbereitung)

Kapiza, P.L., 1955: übers. in: Ball Lightning, Hrsg. D.J. Ritchie, Consultants Bureau, N.Y., 1961. S. 11-15.

Jennison, R.C., 1969: Nature, 224, S. 895.

Leonov, R.A., 1965: The Enigma of Ball Lightning, übers. TT 66-33253 Clearinghouse Fed. Sci. Tech. Inform., U.S. Dept. Commerce, Springfield, Virginia.

Lowke, J.J., Uman, M.A. & Liebermann, R.W., 1969: J. of Geophys. Research, 74, S. 6887-6898.

McCampbell, J.M., 1973: Ufology, Jaymac Co., Belmont, U.S.A.

McNally, J.R., 1966: Preliminary Report on Ball Lightning, Oak Ridge National Laboratory, Tenn., ORNL-3938.

Morris, W., 1936: Daily Mail, 5. Nov. 1936, Letter to the Editor.

Powell, J.R. & Finkelstein, D., 1969: in: Advances in Geophysics, Vol.13, Hrsg. H. Landsberg, Academic Press, London, S. 141-189.

Rayle, W.D., 1966: Ball Lightning Characteristics, National Aeronautics and Space Administration, Washington, D.C., NASA TN D-3188.

Singer, S., 1971: The Nature of Ball Lightning, Plenum Press, N.Y.

Singer, S., 1977: in: Lightning, Vol. 1, Hrsg. R.H. Golde, Academic Press, London, S. 409-436.

Smirnov, B.M., 1977: Sov. Phys.- Tech. Phys., 22, S. 488-492.

Uman, M.A., 1969: Lightning, McGraw Hill, N.Y.

Wittmann, A., 1971: Nature, 232, S. 625.