Lichterscheinungen und Plasmaphänomene in der Umgebung unbekannter Flugobjekte

H. Beck

1. Mögliche Ursachen der Leuchteffekte um unidentifizierbare Flugobjekte

Lichterscheinungen gehören zu den Phänomenen, die wohl am häufigsten mit UFOs in Zusammenhang gebracht werden, und die in den meisten Fällen die Beobachtung von UFOs, die ja vor allem nachts auftreten, überhaupt erst ermöglichen.

Hauptzweck der folgenden Ausführungen ist es, einen Überblick über die Prozesse zu geben, die für die Lichterscheinungen verantwortlich sein könnten. Wir wollen zu diesem Zweck annehmen, daß es sich beim UFO um einen materiellen Körper handelt, der ein Erregerfeld ausstrahlt, das die Lichterscheinungen vermutlich hervorruft. Da wir leider sehr wenig über dieses Erregerfeld wissen, muß jeder Versuch, die Leuchtphänomene zu erklären, eine gehörige Portion Spekulation enthalten und kann nicht zu einer eindeutigen, auf physikalischen Grundlagen basierenden Deutung der beobachteten Erscheinungen führen.

Wir wollen versuchen, eine Reihe von plausiblen Gründen für das Auftreten von Lichterscheinungen bei UFOs zusammenzustellen. Dabei muß man von terrestrischen Versuchen ausgehen, die ähnliche Phänomene hervorrufen, und diese auf UFOs extrapolieren. Eine derartige Extrapolation ohne sorgfältige Berechnung, die man sich in einer Privatuntersuchung ja nicht leisten kann, ist aber in der Physik immer gefährlich, besonders wenn es sich um verwickelte Vorgänge handelt, was hier leider der Fall zu sein scheint. Diese Abhandlung soll daher nur als Versuch einer Erklärung gewertet werden, die keinen Anspruch auf absolute Richtigkeit erhebt.

Wenn wir vom Licht absehen, das aus den Fenstern der UFOs dringt, oder manchmal von ihren Scheinwerfern ausgestrahlt wird, gibt es eigentlich nur zwei Möglichkeiten für den Ursprung der meisten Leuchtphänomene. Entweder ist es die metallische Außenwand der UFOs, die leuchtet, oder es ist die umgebende Luft, die vom UFO zum Leuchten angeregt wird.

Die Annahme, daß die Außenwand des UFOs leuchtet, ist nicht sehr attraktiv. Erstens müßte die leuchtende Form einen scharf begrenzten Umriß haben, während doch meistens ein diffuser Schein beobachtet wird. Zweitens kann die Außenhaut als Festkörper nur leuchten, wenn ihre Temperatur einige tausend Grad beträgt. Schließlich sind UFOs in allen Farben des Regenbogens beobachtet worden. Ein erhitzter Körper kann aber allenfalls rot leuchten. Bei noch höheren Temperaturen treten keine Farben mehr auf, weil die Spektrallinien im Festkörper so stark verbreitert sind und

weil so viele auftreten, daß nur noch eine Mischung aller Farben zustande kommt.

Wir wollen also annehmen, daß die beobachteten Leuchtphänomene nicht von der Hülle des UFOs, sondern zur Hauptsache von einem Feld herrühren, das die Luft durch irgendeinen Mechanismus zum Leuchten anregt. Dies ist die gleiche Hypothese, die bereits McCampbell in seinem bekannten Buch gemacht hat (McCampbell 1973).

Die nächste Frage ist dann offensichtlich, welcher Mechanismus für das Leuchten wohl verantwortlich sein kann. Hier fällt einem die Wahl nicht schwer, denn im Rahmen unserer heutigen Physik kommen nur elektrostatische oder elektromagnetische Felder in Betracht.

Es ist wenig wahrscheinlich, daß ein UFO elektrostatische Felder um sich herum erzeugt. Das wäre nur möglich, wenn sich ein Überschuß an positiver oder negativer Ladung an seiner Oberfläche ansammeln würde. Aus der Luft kann diese Ladung im allgemeinen nicht kommen, sie kann höchstens vom UFO selbst erzeugt werden. Da das UFO aber ursprünglich neutral war, muß sich eine gleich große Ladung mit entgegengesetztem Vorzeichen irgendwo im Innern des UFOs befinden. Dadurch entstünde im Innern ein starkes Feld und unter Umständen auch starke mechanische Spannungen, während das Außenfeld verhältnismäßig schwach wäre. Alle Beobachtungen weisen aber eher auf das Vorhandensein eines starken Außenfeldes hin. Alles in allem klingt die Hypothese eines elektrostatischen Feldes wenig plausibel und wir wollen sie daher fallen lassen und uns stattdessen den elektromagnetischen Feldern zuwenden. Die Möglichkeit, daß UFOs Ionenstrahlen aussenden, ist nicht von der Hand zu weisen, doch wollen wir uns in diesem Artikel auf elektromagnetische Strahlung beschränken.

Die Wechselwirkung zwischen Luft und elektromagnetischer Strahlung hängt sowohl von der Feldstärke wie auch von der Zeitabhängigkeit der Felder ab. Über beides wissen wir so gut wie gar nichts, und daher müssen wir versuchen, wenigstens indirekt eine Aussage über beide Punkte ableiten zu können.

Zuerst muß man sich wohl überlegen, warum ein UFO überhaupt elektromagnetische Wellen abstrahlt. Sie nützen ihm ja nichts, denn mit der Elektrotechnik sind wir vertraut genug um zu wissen, daß man mit elektromagnetischen Feldern allein nicht fliegen kann. Zwar hat Claude Poher einen magnetohydrodynamischen Mechanismus angegeben, der das Fliegen ermöglichen sollte, aber erstens ist die Methode unwirtschaftlich, und zweitens versagt sie im luftleeren Raum (Poher 1976).

Unsere Beobachtungen lassen darauf schließen, daß UFOs an direkten Kontakten mit den Menschen nicht sonderlich interessiert sind und lieber inkognito bleiben. Es muß daher einen Grund haben, wenn sie elektromagnetische Felder erzeugen, die ihnen beim Fliegen nicht helfen sondern nur bewirken, daß sie wie Lampions leuchtend, und für alle Welt sichtbar, über den Himmel ziehen.

Die wohl naheliegendste Annahme ist, die elektromagnetischen Felder als unvermeidbare Begleiterscheinung des wahren Antriebsfeldes zu betrachten, ohne ihnen eine primäre Funktion zuzuschreiben. Möglicherweise helfen sie bei der Dämpfung von Schockwellen in der Luft. Das Hauptantriebsfeld ist wahrscheinlich gravitativer Natur, jedenfalls in Erdnähe. Wie Illo Brand (1976) gezeigt hat, sind nach Heims Theorie Gravitationsfelder möglich, die in Wechselwirkung mit dem Gravitationsfeld der Erde Auftrieb erzeugen können. Im gleichen Artikel wird auch darauf hingewiesen, daß gravitative Felder imstande sind, elektromagnetische Felder zu induzieren.

Da die Induktionsgleichungen nicht publiziert sind, muß man versuchen, in Analogie zu den Maxwellschen Gleichungen auf das Induktionsgesetz zu schließen. Dort hängt das induzierte Feld immer von der ersten zeitlichen Ableitung des induzierenden Feldes ab. Wir schließen daraus, daß auch das induzierte elektromagnetische Feld von der ersten zeitlichen Ableitung des Gravitationsfeldes abhängt.

Danach induziert ein konstantes Gravitationsfeld, dessen zeitliche Ableitung ja null ist, überhaupt kein elektromagnetisches Feld, eine Tatsache, die wir ja auch auf der Erde beobachten.

Eine nicht verschwindende zeitliche Ableitung wäre vorhanden, wenn das gravitative Feld stärker oder schwächer wird, was sicher immer dann der Fall ist, wenn das UFO beschleunigt oder abgebremst wird. Daher müßte bei diesen Gelegenheiten auch jedesmal ein elektromagnetisches Feld auftreten. Leuchterscheinungen und Einwirkungen elektrischer Felder auf Autos sind aber auch bei schwebenden oder sogar gelandeten UFOs beobachtet worden, so daß das Gravitationsfeld auch in diesen Fällen zeitabhängig sein muß.

Es gibt hier zwei mögliche Zeitverhalten: Entweder ist das Gravitationsfeld gepulst, oder es alterniert. Letzteres ist unwahrscheinlich, denn ein alternierendes Gravitationsfeld kann nur bewirken, daß das UFO periodisch von der Erde angezogen und wieder abgestoßen wird. Im Mittel würde nur die Anziehungskraft der Erde auf das UFO wirken, das folglich zu Boden fallen müßte. Daher bleibt uns als weitere Arbeitshypothese nur die Annahme eines gepulsten Gravitationsfeldes.

Die zeitliche Ableitung eines gepulsten Feldes muß das Vorzeichen einmal bei jedem Puls wechseln. Das induzierte Feld muß daher sein Vorzeichen ebenfalls bei jedem Puls wechseln, d.h. das elektromagnetische Feld muß alternieren.

Über Form und Frequenz des elektromagnetischen Feldes gibt es nur sehr spärliche Angaben. McCampbell spricht von etwa 600 Pulsen pro Sekunde, die von der amerikanischen Luftwaffe in einem Fall gemessen wurden. Als Pulslänge nimmt er 10-30 Mikrosekunden an. Es ist aber sehr wahrscheinlich, wie McCampbell auch in seinem Buch bemerkt, daß diese Pulse nur Modulationen einer hochfrequenten Trägerwelle sind.

Wir müssen versuchen, etwas über die Frequenz der Trägerwelle zu erfahren, weil alle Phänomene sehr kritisch von dieser Frequenz abhängen.

Eine Überlegung, die uns hier etwas weiter hilft, ist folgende: Wenn das elektromagnetische Feld von einem gepulsten Gravitationsfeld herrührt, muß es mehr als nur eine einzige Frequenz haben. Seine Wellenform ist also nicht sinusförmig, sondern läßt sich durch Entwicklung in eine Fourierreihe als Überlagerung einer Grundwelle und Wellen aller höheren Frequenzen, den sog. Harmonischen, darstellen.

Die Amplituden der höheren Harmonischen sind umgekehrt proportional zu ihrer Ordnung, d.h. die Amplitude geht ungefähr wie 1/n, unabhängig von der Pulsform. Die Wirksamkeit, also die mittlere Energie, einer Harmonischen ist aber proportional zum Quadrat der Amplitude. Die Einwirkung der Harmonischen auf die Luft nimmt also mit steigender Frequenz schnell ab. Wir folgern daraus, daß das elektromagnetische Feld der UFOs effektiv aus einer möglicherweise hochfrequenten Grundwelle und einem schmalen Band höherer Frequenzen besteht. Die ganze Energie des Feldes ist also auf ein verhältnismäßig schmales Frequenzband beschränkt.
Im sichtbaren Bereich kann die Grundfrequenz nicht liegen, denn dann müßte man ein UFO auch am hellichten Tag als leuchtendes Objekt erkennen, während es in Wirklichkeit eine meist metallisch glänzende Oberfläche aufweist. Außerdem würde das Band ins ultraviolette Gebiet hineinreichen. Ultraviolette Strahlung ist aber für den Menschen schädlich, und das gleiche gilt sicher auch für die UFO-Insassen auf ihrem Heimplaneten. Es ist also zu erwarten, daß das Frequenzband in einem für die Menschen unschädlichen Bereich liegt. Wir wollen als Arbeitshypothese annehmen, daß sich die Grundwelle im Längenbereich zwischen 10^{-5} und 10^{-3} Metern befindet, also im Bereich zwischen Mikrowellen und infraroter Strahlung.
Es ist dann nicht ausgeschlossen, daß die hohen Harmonischen sichtbares Licht ausstrahlen, und daß dieses Licht wenigstens einen Teil der beobachteten Phänomene erklärt. Ein weiterer Beitrag käme aber sicher von der viel stärkeren Grundwelle, und diesen Beitrag wollen wir im folgenden eingehend besprechen.

2. Die elektrischen Eigenschaften der Luft

Da wir die Einwirkung elektromagnetischer Felder auf die Luft untersuchen wollen, ist es notwendig, ein paar Worte über die elektrischen Eigenschaften der Luft zu sagen.

Die Luft ist kein neutrales Gas sondern enthält stets eine gewisse Zahl geladener Teilchen, sog. Ionen. Diese haben verschiedene Entstehungsursachen.

In der Nähe des Erdbodens, also in den Luftschichten, die uns am meisten interessieren, werden die meisten Ionen durch radioaktive Strahlung der im Boden vorhandenen Elemente Uran, Thorium und radioaktivem Kalium erzeugt. Alphateilchen, also geladene Heliumkerne, die beim Zerfall dieser Substanzen entstehen, gelangen durch Erdspalte in die Luft. Elektronen, die ebenfalls emittiert werden, können dünne Bodenschichten durchdringen und in die Atmosphäre eintreten, um dort durch Stöße mit neutralen Atomen

weitere Elektronen und Ionen zu erzeugen. Schließlich entsenden alle radioaktiven Substanzen auch Gammastrahlen, die über den Photoeffekt Atome ionisieren können.

In der Luft befinden sich außerdem Spuren der radioaktiven Gase Radium-Emanation und Thorium-Emanation, die sehr wesentlich zur Ionisation beitragen. Auch radioaktiver Abfall von Atombombentests vermehrt die Ionisation der Luft.

Höhenstrahlen erzeugen in Erdbodennähe etwa 1/5 aller geladenen Teilchen. Die kosmische Strahlung besteht zum überwiegenden Teil aus sehr schnellen Protonen, die heftige Kernreaktionen auslösen, wenn sie auf einen Atomkern der Atmosphäre treffen. Es entstehen dabei unter anderem Gammastrahlen und schnelle geladene Teilchen, die wiederum Ionen und Elektronen entlang ihrer Flugbahn durch die Luft erzeugen.

Bei den meisten eben geschilderten Prozessen kollidiert ein schnelles Teilchen mit einem neutralen Atom in der Luft und befreit dabei eines der gebundenen Elektronen. Bei dem Stoß entstehen also ein freies Elektron und ein Ion, also ein Atom, das positiv geladen ist, weil ihm eine negative Ladung fehlt. Entsprechend der Zusammensetzung der Luft bestehen die meisten Ionen aus geladenen Atomen der Elemente Sauerstoff und Stickstoff. Genau derselbe Vorgang spielt sich ab, wenn ein energiereiches Gammaquant, ein sog. Photon, auf ein neutrales Atom fällt.

Es entstehen auf diese Weise im Mittel rund 10 Ionen pro cm^3 pro Sekunde und ebensoviele Elektronen. In den unteren Luftschichten bleiben Elektronen nicht lange frei. Sie lagern sich vielmehr innerhalb 1/1000 - 1/100 Sekunde an ein neutrales Molekül an. Wasserstoff, Sauerstoff, Kohlenstoff und andere Atome besitzen die Fähigkeit, ein überschüssiges Elektron an sich zu binden. Die Bindungsenergie ist allerdings um ein bis zwei Zehnerpotenzen niedriger als die der Elektronen im neutralen Atom.

Durch Anlagerung eines Elektrons an ein neutrales Molekül entsteht ein negatives Ion. Positive wie negative Ionen haben nun die Eigenschaft, Atome, die sich in ihrer Nähe befinden, zu polarisieren. Ein negatives Ion z.B. zieht die positiven Kerne eines Nachbarmoleküls an und stößt dessen negative Elektronen ab. Die Gesamtladung des Moleküls verschiebt sich und das Resultat ist eine gegenseitige Anziehung, worauf sich die beiden Moleküle aneinander anlagern. An dieses Paar lagern sich andere Moleküle an, und so entstehen mit der Zeit aus jeder Ionisierung zwei Molekülkomplexe, ein positiver und ein negativer, bestehend aus einer kleinen Anzahl von Molekülen. Man nennt diese Gruppe von vielleicht 4 bis 10 Molekülen Klein-Ionen. Ihr Durchmesser liegt zwischen 1 und 10 Ångström (10^{-10} - 10^{-9}m). In Bodennähe beträgt die Zahl der Klein-Ionen etwa 100 bis 1000 pro cm^3, ist also verschwindend klein verglichen mit der Zahl der neutralen Moleküle, von denen es rund $3x10^{19}$ in jedem Kubikzentimeter Luft gibt.

Klein-Ionen ihrerseits haben die Tendenz, sich an Kondensationskerne anzulagern und sog. Groß-Ionen zu bilden, die um mehrere Größenordnungen massiver sind als Klein-Ionen. Kondensationskerne sind immer in reichlichem Maß in der Atmosphäre vorhanden. Es sind kleine Teilchen von 10-1000Å Durchmesser, die von Auspuffgasen, Rauch von verbranntem Öl, Abfall oder Holz herrühren. Auch diese Kerne können geladen sein. Klein-Ionen und Kondensationskerne lagern sich an und bilden mit der Zeit Groß-Ionen, die aber meistens auch nur eine einzige Elementarladung tragen. Ihre Zahl ist viel größer als die der Klein-Ionen, besonders über Städten und Industriegebieten, und schwankt zwischen 1000 und 100'000 pro cm^3.

Wir sehen also, daß die freie Elektrizität in der Luft an verhältnismäßig sehr massive Teilchen mit nur einer Elementarladung gebunden ist, während die wirklichen Elementarladungen - nämlich die Elektronen - nur in geringer Zahl vorhanden sind, weil sie sich sehr schnell anlagern.

3. Der Mechanismus der Elektronenstoßionisation und -anregung

Nach diesem kurzen Abstecher in die Physik der Luftelektrizität kehren wir zur UFO-Strahlung und deren Wechselwirkung mit der Luft zurück. Wir haben gesehen, daß es sich um eine relativ starke Strahlung in einem nicht ganz klar definierbaren aber engen Frequenzbereich handeln muß. Diese Strahlung kann im Prinzip auf alle Komponenten der Luft einwirken, also auf die neutralen Moleküle, die Klein- und Groß-Ionen und auf die freien Elektronen.

Am einfachsten wären die beobachteten Phänomene zu erklären, wenn das elektromagnetische Feld der UFOs die verschiedenen Gase, aus denen sich die Luft zusammensetzt, direkt zum Leuchten anregen könnte. Im Prinzip wäre das durchaus möglich, der Vorgang läuft folgendermaßen ab: Ein Gasatom absorbiert ein Lichtquant, also ein Photon, wodurch eins seiner Elektronen von einer kernnahen Bahn auf eine kernfernere gehoben wird. Man spricht von einem angeregten Atom. Nach rund 10^{-8} Sekunden im ungestörten Fall kehrt das Elektron von seinem hohen Niveau entweder direkt, oder stufenweise über Zwischenniveaus, in seine ursprüngliche Bahn zurück. Dabei emittiert es Photonen, deren Energien den Energiedifferenzen der Stufen entsprechen, über die das Elektron in seinen Grundzustand zurückgekehrt ist.

Um sichtbares Licht ausstrahlen zu können, muß das Atom mindestens sichtbares Licht absorbiert haben. Bei allen atmosphärischen Gasen muß das absorbierte Photon aber in Wirklichkeit viel kurzwelliger sein, weil sichtbares Licht nur bei Übergängen von hohen Niveaus auf Zwischenniveaus ausgestrahlt wird. Wenn unsere Überlegungen richtig sind, enthält das Feld eines UFOs aber keine so hohen Frequenzen und kann daher die Luft auch nicht direkt zum Leuchten anregen.

Wir müssen uns also auf indirekte Effekte beschränken. Solche sind tatsächlich vorhanden, weil sich Ionen und Elektronen, die ja in der Luft vorkommen, vom elektromagnetischen

Feld beeinflussen lassen. Sie werden vom Feld beschleunigt und können, wenn ihre Geschwindigkeit hoch genug ist, Elektronen in neutralen Atomen durch Kollision auf höhere Niveaus heben, von denen sie dann unter Lichtemission in den Grundzustand zurückfallen. Eine sehr starke Kollision vermag ein Atom sogar zu ionisieren, denn dieser Prozeß ist es ja, der für die ursprüngliche Luftionisierung verantwortlich ist.

Die Klein- und Groß-Ionen, von denen wir vorhin sprachen, spielen bei den direkten Kollisionen aus zwei Gründen eine untergeordnete Rolle. Erstens sind sie viel zu schwer um dem hochfrequenten Feld folgen zu können, und zweitens ist ihre Zahl zu klein. Selbst wenn jedes einzelne der rund 100'000 Ionen pro cm^3 jede Sekunde eine Milliarde Atome zum Leuchten anregen würde, bliebe die Erscheinung völlig unsichtbar. Indirekt hingegen können sie eine Rolle spielen, weil das überschüssige Elektron negativer Ionen nur schwach gebunden ist.

Wir erkennen daraus, daß ein Multiplikationsprozeß notwendig ist, um die zum Teil recht lichtstarken Erscheinungen zu erklären. D.h., wir brauchen einen Mechanismus, der sich selber hochschaukelt und viel mehr geladene Teilchen produziert als ursprünglich in der Luft vorhanden sind.

Die einzigen Teilchen, die dafür in Frage kommen, sind die Elektronen und ein hochfrequentes Feld erweist sich in dieser Beziehung als außerordentlich wirksam.

Ein Elektron kann, seiner geringen Masse wegen, den Oszillationen des elektromagnetischen Feldes folgen. Im Vakuum würde es regelmäßig hin- und herschwingen. Zwischen seiner Geschwindigkeit und der Amplitude des Feldes bestünde eine Phasendifferenz von 90° und es würde im Mittel überhaupt keine Energie vom Feld absorbieren. In einem Gas ist die Situation aber anders, denn dort stößt das Elektron ständig mit neutralen Gasmolekülen zusammen und seine geordnete oszillatorische Bewegung wird in ungeordnete Bewegung umgesetzt. Im Mittel absorbiert das Elektron jetzt nach jedem Stoß Feldenergie, obwohl es sich manchmal mit dem Feld und manchmal dagegen bewegt, weil die absorbierte Energie proportional zum Quadrat der Feldamplitude und daher unabhängig von deren Vorzeichen ist. Auf diese Weise wächst die Energie des Elektrons ständig, bis es genug hat, um ein neutrales Atom bei einem Stoß anzuregen oder sogar zu ionisieren. Dabei verliert es zwar einen großen Teil seiner Energie, wird aber anschließend vom Feld wieder beschleunigt, bis es ein zweites Atom anregen oder ionisieren kann, usw.

Wenn die Feldfrequenz sehr hoch ist, führt das Elektron zwischen zwei Kollisionen viele Oszillationen aus, bei denen es keine Energie gewinnt. Umgekehrt, ist die Frequenz niedrig, macht es viele Kollisionen pro Oszillation und gibt bei jedem Zusammenstoß etwas Energie an das Molekül ab. Beide Situationen sind ungünstig; der optimale Fall tritt ein, wenn die Frequenz des Feldes ungefähr gleich der Stoßhäufigkeit der Elektronen mit neutralen Atomen ist. Bei atmosphärischem Druck liegt die entsprechende Frequenz ungefähr im Gigahertzgebiet, die Wellenlänge also im Millimeterbereich. Natürlich ist diese Abschätzung der Wellenlänge sehr unsicher, die wahre Wellenlänge

kann um Größenordnungen differieren. Sie zeigt immerhin, daß sehr hohe Frequenzen notwendig sind, um mit Feldern, die nicht enorm stark sind, Leuchterscheinungen in der Luft hervorzurufen.

Der Multiplikationsprozeß, den wir so dringend brauchen, kann stattfinden, wenn Elektronen ionisierende Kollisionen mit neutralen Atomen machen. Bei jeder Ionisation wird nämlich ein zusätzliches Elektron frei, das wiederum vom Feld beschleunigt wird, bis es seinerseits eine ionisierende Kollision macht. Auf diese Weise kann sich sehr schnell eine sog. Elektronenkaskade aufbauen, also eine hohe Elektronendichte, die unter Umständen zur vollständigen Ionisation der Luft führen kann. Allerdings sind hierfür sehr hohe Feldstärken erforderlich.

Der Extremfall völliger Luftionisation, bei dem sich die Luft in ein Plasma verwandelt, dürfte bei UFOs kaum je eintreten. Bevor wir daher auf das Plasma zu sprechen kommen, wollen wir den Fall untersuchen, bei dem die Luft nur unvollständig ionisiert wird. Ein schwach ionisiertes Gas wird häufig als "dünnes" Plasma bezeichnet.

Die vom Feld beschleunigten Elektronen haben immer eine Geschwindigkeitsverteilung und daher gibt es immer ein paar sehr schnelle unter ihnen, die genügend Energie für eine Ionisierung besitzen. Diese Elektronen sind hauptsächlich für die Elektronenmultiplikation durch Kaskadenbildung verantwortlich.

In der Kaskade gibt es sehr viele Elektronen, die zwar nicht genug Energie haben, um Atome zu ionisieren, aber genug, um sie anzuregen. Die Wahrscheinlichkeit einer Anregung ist stark energieabhängig und wird sehr groß, wenn das Elektron die gleiche Energie wie ein Anregungsniveau besitzt.

Viele Elektronen im niedrigen Bereich der Geschwindigkeitsverteilung haben auch für eine Anregung nicht genügend Energie. Sie machen elastische Stöße mit den Luftmolekülen und heizen das Gas dabei auf. Allerdings können sie negative Klein- und Groß-Ionen ionisieren, d.h. ihr überschüssiges, schwach gebundenes Elektron entfernen. Dazu ist viel weniger Energie erforderlich als für die Anregung selbst der niedrigsten Niveaus aller in der Luft vorhandenen Gase. Ganz langsame Elektronen lagern sich schließlich an neutrale Moleküle an, wie wir bereits gesehen haben.

Anregung und Ionisierung können auch stufenweise erfolgen. Ein Elektron kann z.B. ein Atom anregen. Bevor das Atom Zeit gefunden hat, in den Grundzustand zurückzufallen, bekommt es einen zweiten Stoß, der stark genug ist, um es zu ionisieren. Ein ganz ähnlicher Prozeß kann auch durch das elektromagnetische Feld hervorgerufen werden, indem ein gebundenes Elektron nacheinander mehrere Photonen absorbiert und schließlich genug Energie hat, um das Atom zu verlassen. Stufenweise Ionisierung ist natürlich energetisch viel günstiger als der direkte Prozeß, hat aber auch eine viel geringere Wahrscheinlichkeit.

Die Möglichkeiten zur Ionisierung sind vielfältig. Eine Reihe von Elementen besitzt z.B. metastabile Anregungszustände. Wenn ein Elektron auf ein metastabiles Niveau gehoben wird, fällt es nicht nach 10^{-8} Sekunden wieder zurück, sondern verweilt

viel länger. Das Atom hat also die Möglichkeit, viele Stöße in angeregtem Zustand zu machen. Es kann dabei ein anderes neutrales Atom, dessen Ionisationspotential niedriger als das metastabile Niveau ist, ionisieren. Die Edelgase Argon, Neon und Helium z.B., die in der Luft vorkommen, haben metastabile Zustände bei 15,8, 16,5 und 19,8 eV, während die Ionisationspotentiale von Sauerstoff und Stickstoff nur 13,55 und 14,48 eV betragen. Erstere können also letztere ionisieren.

Die Außenwand des UFOs besteht aller Wahrscheinlichkeit nach aus Metall. Metalle enthalten freie Elektronen und die Arbeit, die notwendig ist, um ein freies Elektron aus dem Innern zu entfernen, die sog. Austrittsarbeit, liegt bei den gebräuchlichen Metallen zwischen 4 und 5 eV. Es ist also ungefähr dreimal leichter, ein Elektron aus dem Metall zu befreien, als ein Gasatom zu ionisieren.

Das UFO ist dem ständigen Bombardement von neutralen Gasatomen, angeregten Atomen, Ionen, Elektronen und Photonen ausgesetzt. Letztere sind wahrscheinlich am wirksamsten, denn ultraviolette Photonen mit einer Energie von 4 bis 5 eV und mehr sind vorhanden. Beim Aufprall auf das UFO erzeugen sie über den Photoeffekt Sekundärelektronen. Diese werden vom starken Feld in unmittelbarer Nähe des UFOs beschleunigt und wirken bei der Kaskadenbildung mit.

Elektronen, die auf das UFO prallen, werden zum Teil absorbiert. Je nachdem, ob mehr Elektronen befreit oder eingefangen werden, lädt sich die Außenwand positiv oder negativ auf und zieht mehr Elektronen an oder stößt sie ab, bis sich ein Gleichgewicht einstellt.

Ist die Wandung negativ geladen, so driften positive Ionen auf sie zu und können beim Aufprall ebenfalls Elektronen aus dem Metall befreien. Auch metastabile Atome sind dazu imstande, denn ihre Lebensdauer ist lang genug um ihnen Gelegenheit zu geben, die Wand vor ihrer Rückkehr in den Grundzustand zu erreichen. Normal angeregte Atome fallen dagegen meist zu schnell in den Grundzustand zurück und erreichen die Wand als Atome, die nur noch thermische Bewegungsenergie besitzen. Diese reicht aber bei weitem nicht für die Produktion sekundärer Elektronen aus.

Dies ist ein kurzer Überblick über die Hauptursachen der Luftionisierung durch Elektronenkaskaden, die vom hochfrequenten Feld des UFOs ausgelöst werden. Wir wollen uns jetzt dem Problem der Leuchterscheinungen zuwenden, die dabei auftreten können. Alle Prozesse, die wir besprechen werden, kommen mit Sicherheit vor, aber die Frage, ob sie auch in dem beobachteten Ausmaß vorkommen, und ob sie die beobachteten Erscheinungen erklären können, kann nur durch Rechnung beantwortet werden und muß daher vorläufig offen bleiben.

4. Lichtemission durch Elektronen-Bremsstrahlung

Die erste Lichtentwicklung, die wir besprechen wollen, ist die sog. Bremsstrahlung. Wir gehen davon aus, daß sich die wenigen ursprünglich in der Luft vorhandenen freien Elektronen durch Einwirkung eines starken elektromagnetischen

Feldes lawinenartig vermehrt haben. Jedes freie Elektron hinterläßt ein positiv geladenes Ion. Kommt nun ein anderes Elektron in die Nähe des Ions, so wird es - seiner geringen Masse wegen - von diesem abgelenkt. Dabei strahlt es Licht ab, dessen Wellenlänge einer niedrigeren als der eigenen Energie entspricht. Man nennt diese Strahlung Bremsstrahlung, denn nach seinem Vorbeiflug hat das Elektron Geschwindigkeit verloren, es ist abgebremst worden. In einem dünnen Plasma, von dem hier die Rede ist, ist die Bremsstrahlung vernachlässigbar, in einem vollständigen Plasma ist sie dagegen von ausschlaggebender Bedeutung.

Der Hauptteil der Strahlung kommt sicher von Atomen, die durch Stöße mit energiereichen Elektronen angeregt werden. Wie schon erwähnt, bleibt das Atom für kurze Zeit im angeregten Zustand und begibt sich dann stufenweise wieder in seine Ausgangslage zurück. Bei jeder Stufe strahlt es Licht einer ganz bestimmten Wellenlänge aus, d.h. Licht einer ganz bestimmten Farbe. Die farbigen Lichterscheinungen könnten, unter anderem, von diesem Effekt herrühren, worauf McCampbell bereits hingewiesen hat.

Bei näherer Betrachtung erweist sich der Vorgang allerdings als recht verwickelt. Elektronen besitzen, wie wir ja schon gesehen haben, nicht nur eine einzige Geschwindigkeit, sondern eine ziemlich breite Geschwindigkeitsverteilung. Außerdem diffundieren sie langsam aus Gebieten hoher Elektronendichte in Gebiete niedriger Dichte. Sie besitzen daher auch eine räumliche Verteilung, die mit ihrer Geschwindigkeitsverteilung gekoppelt ist. Auch das Feld ist ortsabhängig und beeinflußt die räumliche Verteilung der Elektronen und Ionen. In verschiedenen Entfernungen vom UFO ist die Geschwindigkeitsverteilung daher unterschiedlich.

Eingebettet in diesen Elektronenstrom sind die neutralen Moleküle der Luft, die natürlich zum größten Teil aus den zweiatomigen Sauerstoff- und Stickstoffmolekülen bestehen, sowie aus geringen Beimischungen von Edelgasen, Wasserdampf, CO_2 und anderen Substanzen. Die Anregungsniveaus der verschiedenen Atome sind ungefähr von gleicher Größenordnung und liegen innerhalb der Geschwindigkeitsverteilung der Elektronen. Es werden daher nicht selektiv einzelne Niveaus bestimmter Gase angeregt, sondern viele Niveaus in allen Gasen gleichzeitig, aber nicht gleich stark. Die Stärke der Anregung, d.h. die Zahl der Atome eines bestimmten Gases, die auf ein gegebenes Niveau gehoben werden, richtet sich sehr wesentlich nach der Geschwindigkeitsverteilung, die wiederum von Ort zu Ort verschieden ist.

Es entsteht schließlich eine komplizierte, räumlich variierende Verteilung angeregter Atome, von denen jedes, kurz nachdem es durch einen Zusammenstoß mit einem Elektron in den angeregten Zustand versetzt wurde, unter Lichtemission in den Grundzustand zurückkehrt. Meistens sind gewisse Übergänge in den Grundzustand bevorzugt, so daß das emittierte Licht die Farbe dieser Spektrallinien hat.

In einem Gas bei atmosphärischem Druck und einer Temperatur von beispielsweise 1000°, werden die Anregungsniveaus durch Zusammenstöße der Atome unter sich gestört. Elektronen, die sich auf diesen Niveaus befinden, haben daher eine kürzere

Lebensdauer als im ungestörten angeregten Atom. In unserem Fall wird die Lebensdauer um rund einen Faktor 1000 kürzer. Da die Breite einer Spektrallinie umgekehrt proportional zur Lebensdauer ist, wird sie um das rund tausendfache verbreitert. Man nennt das die Druck- oder Kollisionsverbreiterung der Spektrallinien. Sie bewirkt, daß die Farbe einer Spektrallinie verwaschen erscheint.

Licht, das von einem Atom ausgestrahlt wird, liegt im richtigen Frequenzbereich und wird daher von einem Nachbaratom des gleichen Elements sofort verschluckt. Dieses bleibt 10^{-11} bis 10^{-8} Sekunden lang angeregt, bevor es das Licht wieder emittiert, das sofort wieder von einem anderen Atom absorbiert wird. Auf diese Weise diffundiert das Licht durch die Luft. Das ändert sich erst, wenn es von einem Elektron, das sich in der Nähe eines Ions befindet, gestreut wird. Dieser Prozeß ist gewissermaßen die Umkehrung des Bremsstrahlungseffektes, bei dem das Elektron gestreut wird und Licht emittiert, und heißt daher auch inverser Bremsstrahlungseffekt. Das gestreute Licht gibt etwas von seiner Energie an das Elektron ab, wodurch sich seine Wellenlänge vergrößert. Jetzt kann es nicht mehr absorbiert werden und hat keine Mühe mehr, die Luft zu durchdringen und unser Auge zu erreichen. Die Streuung hat aber eine weitere Verbreiterung der Spektrallinie bewirkt, die Farbe erscheint uns noch verschwommener.

Ultraviolettes Licht kann auf seinem Weg durch die Luft andere Atome ionisieren, wenn deren Ionisationspotentiale niedriger sind als die Energie des Photons. Dieser wichtige Prozeß, den wir noch nicht erwähnt haben, trägt ebenfalls zur Kaskadenbildung bei.

5. Rekombinationsleuchten

Elektronen, die auf positive Ionen stoßen, können diese, genau wie neutrale Atome, anregen oder sogar ionisieren. Da bei Ionen aber alle Niveaus höher liegen als beim neutralen Atom, sind diese Prozesse wenig wahrscheinlich. Viel häufiger dagegen ist die Absorption eines Elektrons von einem positiven Ion, das sich dadurch in ein neutrales Atom verwandelt. Das Elektron fällt dabei, wie immer, auf die stabile Bahn des Grundzustandes zurück und emittiert dabei Licht. Man nennt das den Rekombinationseffekt. Er ist proportional zum Produkt aus Elektronen- und Ionendichte und daher bei geringen Dichten vernachlässigbar. Er wächst mit sinkender Elektronengeschwindigkeit, ist also besonders bei langsamen Elektronen und höheren Dichten wichtig, wobei er allerdings in Konkurrenz zum Anlagerungseffekt steht.

Wir haben nun gesehen, wie die Beschleunigung der wenigen in der Luft vorhandenen Elektronen durch das elektromagnetische Feld zu einer Reihe von Prozessen führen kann, in denen sich die Elektronen lawinenartig vermehren und neutrale Atome zum Leuchten anregen oder ionisieren. Die Summe aller Spektrallinien, jede einzelne von ihnen verbreitert, erreicht schließlich unser Auge und wird als Lichterscheinung, die das UFO umgibt, wahrgenommen. Ob in diesem Strom von Lichtwellen eine bestimmte Farbe dominiert,

hängt von Stärke, Frequenz und räumlicher Verteilung des elektromagnetischen Feldes ab, die wir nicht kennen, aber es ist möglich, daß gewisse Spektrallinien bevorzugt ausgestrahlt werden. Unsicher ist, ob uns die Linienverbreiterung diese Farbe auch erkennen läßt. Im allgemeinen zeigt es sich bei Experimenten mit starken elektrischen Feldern, daß farbige Leuchterscheinungen nur bei sehr starker Luftverdünnung auftreten. Vielleicht unterscheidet sich das Feld der UFOs aber so stark von allen terrestrischen Feldern, daß man hieraus keine Schlüsse ziehen darf.

6. Erhöhung der Lufttemperatur in der Umgebung der UFOs

Ein Punkt, den wir bisher außer acht gelassen haben, betrifft die Temperatur der Luft. Als mittlere Energie der Elektronen kann man 3/10 der Ionisationsenergie von Sauerstoff annehmen. Das ergäbe rund 4 eV für die mittlere Elektronenenergie und entspräche einer Temperatur von 45'000°, wenn die Energieverteilung Maxwellsch wäre, was sie nicht unbedingt ist. Uns interessiert aber vor allem die Temperatur der Luft, also die mittlere Energie der Moleküle. Diese haben zuerst normale Außentemperatur und werden dann durch ständige Kollisionen mit den Elektronen aufgeheizt. Bei jeder Kollision wird nur sehr wenig Energie auf das Molekül übertragen, weil dieses viel massiver als das Elektron ist. Außerdem dürfen wir annehmen, daß sehr viel mehr Moleküle als Elektronen vorhanden sind. All das bedeutet, daß es lange dauern kann, bis ein thermisches Gleichgewicht zustande kommt.

Trotzdem muß sich dieses Gleichgewicht einmal einstellen. Die Gleichgewichtstemperatur hängt davon ab, wie weit sich die erhitzte Luft durch Konvektion oder Turbulenz mit der umgebenden Luft vermischt, wie hoch die Pulsrate des Feldes ist, und ob sich das UFO bewegt oder nicht. Es kann sein, daß die Lufttemperatur ziemlich stark ansteigt, wenn das UFO längere Zeit im Schwebezustand verharrt.

7. Zur Frage der zur Leuchtanregung notwendigen Elektronendichten

Bisher waren wir davon ausgegangen, daß die Kaskaden zwar sehr viele Elektronen und Ionen produzieren, aber lange nicht so viele, wie Gasmoleküle vorhanden sind. Wieviele Elektronen pro cm^3 notwendig sind, um die besprochenen Erscheinungen hervorzurufen, ist ohne Rechnung schwer abzuschätzen. In den geplanten Fusionsreaktoren rechnet man mit einer Dichte von 10^{14} Elektronen pro cm^3, allerdings bei sehr hoher Temperatur und im Vakuum. Diese Dichte ist immerhin um 5 Größenordnungen niedriger als die Luftdichte. Obwohl die Zahl 10^{14} für unsere Betrachtungen nicht maßgebend ist, zeigt sie doch, daß starke Effekte auch bei verhältnismäßig niedrigen Elektronendichten erreicht werden können.

Man kann übrigens leicht ausrechnen, daß Radarwellen vom Plasma nur reflektiert werden, wenn die Elektronendichte

geringer als 10^{13} pro cm^3 ist. Bei höheren Dichten reflektiert zwar immer noch das UFO selber, aber vielleicht ist diese Zahl dennoch ein Hinweis auf die Elektronendichte.

Es ist fragwürdig, ob ein UFO imstande ist, die Luft in ein vollständiges Plasma zu verwandeln. Bei einer vollständigen Ionisierung würde sich die Luft in weniger als einer Mikrosekunde auf zwischen 50- und 100'000° erhitzen und sich dabei explosionsartig ausdehnen. Der Hauptstrahlungsverlust im Plasma geschieht durch Bremsstrahlung. Wenn wir eine Lufttemperatur von 100'000° annehmen und eine entsprechend geringe Dichte, so würde jeder Kubikzentimeter rund 40'000 W abstrahlen, die vom UFO wieder ersetzt werden müßten. Das Bremsstrahlungsspektrum ist kontinuierlich, sein Maximum liegt im ultravioletten Bereich, aber ein großer Teil der Energie wird in Form von blendend weißem Licht im sichtbaren Bereich abgestrahlt. Die gleichen Erscheinungen, nur in proportional abgeschwächter Form, würden bei weniger vollständiger Luftionisation auftreten.

Tatsächlich sind UFOs beobachtet worden, die nach einer starken Detonation, begleitet von einem grellen Lichtblitz, davonflogen. Diese Erscheinung paßt gut zum Bild einer verhältnismäßig starken Luftionisation mit Bremsstrahlungsspektrum und sehr stark verbreiteter Spektrallinien angeregter Atome.

8. Voraussetzungen für eine analytische Behandlung der Leuchtanregungsprozesse

Zum Schluß noch ein paar Worte zur exakten Behandlung des Problems. Wie wir gesehen haben, ist das Strahlungsspektrum zu komplex um abzuschätzen, ob die beobachteten Leuchterscheinungen wirklich mit den besprochenen Vorgängen erklärt werden können. Nur eine mathematische Lösung des Problems kann hierüber Auskunft geben.

Das Problem kann ganz allgemein formuliert werden, fast ohne Bezugnahme auf UFOs. Nur bei der Angabe des Feldes müßte man von einem gravitationsinduzierten Feld ausgehen. Die zu beantwortende Frage lautet dann: Welche Einwirkungen hat das vorgegebene hochfrequente Feld auf die Luft, und welches Spektrum hat die emittierte Strahlung?

Ähnliche Probleme sind bereits untersucht worden, und die Resultate sind veröffentlicht. Die Verteilung aller Plasmakomponenten in Ort, Zeit, Energie und Winkel wird durch die Boltzmann- oder Transportgleichung bestimmt. Es entsteht ein gekoppeltes System von Transportgleichungen für Ionen, Elektronen und für den Strahlentransport. Da die Winkelverteilung aller Teilchen sowie des Lichts nur schwach anisotrop ist, können die Transportgleichungen durch Diffusionsnäherungen ersetzt werden, die viel einfacher zu lösen sind. Die Verteilung neutraler Atome kann als gegeben betrachtet werden.

Solange die Ionisation gering ist, kollidieren Elektronen nicht mit sich selber, während für Atome und Ionen eine

Maxwellsche Geschwindigkeitsverteilung angenommen werden kann, evtl. mit einer ortsabhängigen Temperatur. Dadurch wird das ursprünglich nichtlineare Problem linear, was wiederum eine wesentliche Erleichterung darstellt. Andererseits wird die Rechnung durch die Tatsache erschwert, daß Elektronen und Moleküle nicht im thermischen Gleichgewicht miteinander sind.

Das angelegte elektromagnetische Feld geht in die Transportgleichung der Elektronen und, viel schwächer, in diejenige der Ionen ein. Da das dünne Plasma elektrisch neutral und die Bewegung der Elektronen ungeordnet ist, erzeugen sie im Mittel kein eigenes Feld. Sollten die makroskopischen Bewegungen von Elektronen und Ionen Felder erzeugen, so wären diese über die Maxwellschen Gleichungen mit den Transportgleichungen für Elektronen und Ionen gekoppelt. Das wäre ein nichtlinearer Effekt, der die Rechnungen wieder erschweren würde.

Eine Durchrechnung des ganzen Problems der Leuchterscheinungen wäre sicher interessant, doch ist es fraglich, ob sich der Aufwand in Anbetracht unserer geringen Kenntnisse über die Natur der UFOs und ihrer Felder lohnen würde.

Literaturverzeichnis:

Brand, I. 1976: Ungewöhnliche Gravitations-Phänomene, Bericht von der Sommertagung 1975 in Icking der MUFON-CES, hrsg. von MUFON-CES, Feldkirchen-Westerham, S. 148-219.

McCampbell, J.M. 1973: UFOlogy - New Insights from Science and Common Sense, Jaymac-Hollmann, San Francisco.

Poher, C., Petit, J.P. & Viton, M. 1976: Proceedings of the 1976 CUFOS Conference, ed. by the Center for UFO Studies, Evanston, Ill., S. 201-200.