Zeitschrift: Prisma : illustrierte Monatsschrift für Natur, Forschung und Technik
Band: 3 (1948)
Heft: 6

Artikel: Kaltes Licht
Autor: Vatter, Hans
DOI: https://doi.org/10.5169/seals-653914

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

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

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

Download PDF: 13.07.2025

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

KALTES LICHT

Von Dr. Hans Vatter

Die moderne, mit Edelgasen gefüllte und mit einem Wolfram-Leuchtkörper versehene Glühlampe stellt in mancherlei Hinsicht eine ideale Lichtquelle dar. Vergleichen wir sie mit dem noch vor wenigen Jahren gebräuchlichen Gaslicht oder gar mit der vor hundert Jahren üblichen Rüböl-Lampe, so repräsentiert sie einen technischen Fortschritt, der, was Sauberkeit, Sicherheit und Einfachheit der Bedienung anbetrifft, kaum überboten werden kann. Und doch ist die Stellung der Glühlampe als gefährdet anzusehen. Im Leuchtstoffstrahler ist ihr ein scharfer Konkurrent erwachsen, der sie in wenigen Jahren aus weiten Gebieten ihrer technischen Anwendung verdrängen wird.

Neben vorzüglichen Gebrauchseigenschaften zeigt die Glühlampe in grundsätzlicher Hinsicht schwere Mängel. Ihr größter Fehler ist der geringe Wirkungsgrad, der bei den besten Modellen – der Kryptonlampe – knapp 4 Prozent beträgt. Aber auch hinsichtlich der Lichtfarbe kann die Glühlampe nicht mehr allen Ansprüchen genügen.

Daß sich der Wechsel vom Temperaturstrahler zum Lumineszenzstrahler gerade in unseren Tagen vollzieht, ist darauf zurückzuführen, daß wir durch die Fortschritte der Atomforschung und der Elektronik Kenntnisse erworben haben, die es angezeigt erscheinen lassen, das altertümliche Prinzip des Temperaturstrahlers zu verlassen, um uns dem atomistischen Prinzip des Lumineszenzstrahlers, der «kalten» Lichtquelle, zuzuwenden. Durch die Fortschritte auf dem Leuchtstoffgebiet sind uns neuartige Luminophore bekannt geworden, die als «Lichttransformatoren» geeignet sind, das in Gasentladungsröhren mit guter Ausbeute herstellbare ultraviolette Licht des Quecksilberdampfes in sichtbares Licht umzuformen.

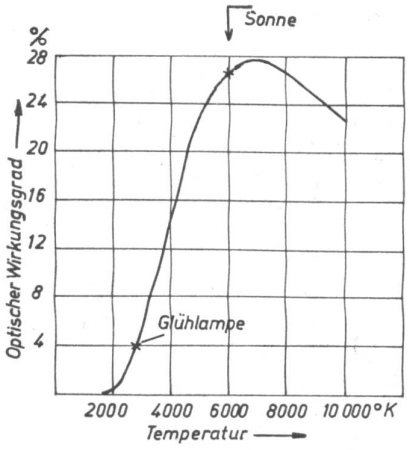

Bild 1: *Der optische Wirkungsgrad eines Temperaturstrahlers (Glühlampe, Sonne) in Abhängigkeit von der Temperatur. Der optische Wirkungsgrad der Sonne beträgt ungefähr 28 %, der einer bei 2900° K strahlenden Glühlampe ungefähr 4 %. Die Temperaturen sind in absoluten Einheiten (0° C = 273° Kelvin) aufgetragen.*

Vom Temperatur- zum Lumineszenzstrahler

Wir kennen *zwei* Arten der Lichterzeugung: Die *Temperaturstrahlung* und die *Lumineszenzstrahlung*. Der bekannteste Vertreter des Temperaturstrahlers, der das physikalische Prinzip in reinster Form zeigt, ist die *Glühlampe*. Bei ihr kommt das ausgesandte Licht ausschließlich durch die hohe Temperatur des Leuchtfadens zustande.

Typische Vertreter der Lumineszenzlichtquellen sind die gelb leuchtenden *Natriumdampflampen* und die grünlich-blau leuchtenden *Quecksilberdampfröhren*, wie man sie zur Beleuchtung von Autostraßen und zu vielen anderen technischen Zwecken verwendet. Bei diesen Lichtquellen ist die Temperatur in der Entladungsbahn von untergeordneter Bedeutung. Die Lichtemission ist eine Folge des Zusammenstoßes der in der Röhre beschleunigten Elektronen mit Metalldampfatomen des Natriums oder Quecksilbers und der dabei eintretenden Energieübertragung vom Elektron auf das Atom.

Der besondere Vorzug des Temperaturstrahlers gegenüber der Mehrzahl der Lumineszenzlichtquellen besteht darin, daß der Temperaturstrahler natürlich-«weißes» Licht – Glühlicht – aussendet, während das Licht der Lumineszenzstrahler meist eine charakteristische Färbung aufweist. Ein Mangel des Temperaturstrahlers ist sein geringer Wirkungsgrad, der bei den besten Modellen der Glühlampe knapp 4 Prozent beträgt. 96 Prozent der einer Glühlampe zugeführten elektrischen Energie gehen durch Wärmeleitung, Wärmeströmung und Wärmestrahlung verloren. Beim Lumineszenzstrahler dagegen lassen sich sehr hohe Ausbeuten erreichen. In einzelnen Fällen kann die Lichtausbeute bis zu 70 Prozent betragen. Diese hohe Lichtausbeute ist beim Temperaturstrahler auch unter den günstigsten Bedingungen unmöglich (Bild 1).

Der ideale Temperaturstrahler ist die *Sonne*. Das menschliche Auge hat sich während seiner langen Entwicklungsgeschichte *optimal* an die Sonnenstrahlung angepaßt. Diese Anpassung kommt darin zum Ausdruck, daß das Emissionsmaximum der Sonne mit dem Empfindlichkeitsmaximum des menschlichen Auges zusammenfällt (Bild 4).

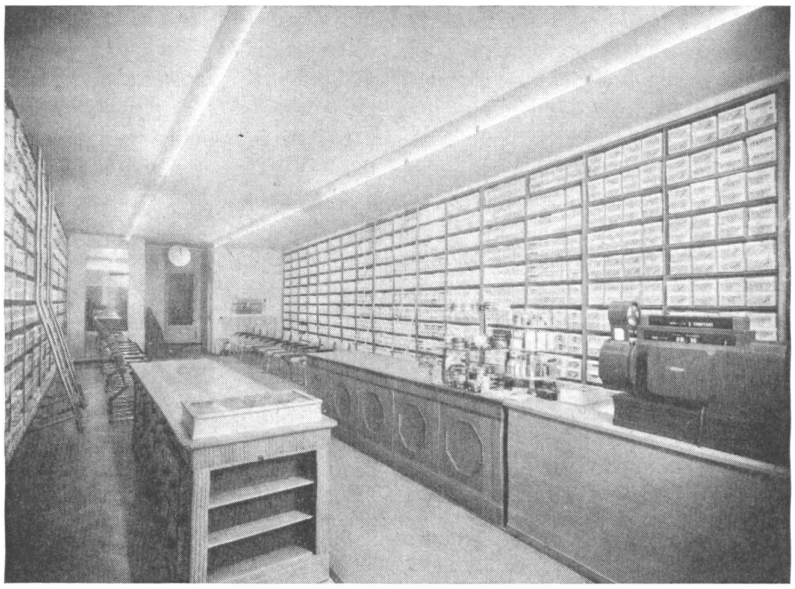

Bild 2: *Schuhgeschäft beleuchtet mit Fluoreszenzlampen*
(Photo Philips)

Wollen wir einen optimalen Temperaturstrahler bauen, dessen Licht mit dem der Sonne übereinstimmt, dann müssen wir einen Körper mit möglichst dunkler oder rauher Oberfläche – einen «schwarzen Körper» – auf Sonnentemperatur (5600° Celsius) erhitzen. Mit dieser Aufgabenstellung ist das Problem des Temperaturstrahlers umrissen. Leider stellen sich der Durchführung die größten Schwierigkeiten in den Weg.

Die höchstschmelzenden uns zur Verfügung stehenden Stoffe, Kohlenstoff (Schmelzpunkt ungefähr 4000° C) und Wolfram (Schmelzpunkt 3350° C) lassen sich auf die Dauer nur auf 2000° C (Kohlenfadenglühlampe) oder auf 2600° C (Wolframglühlampe) erhitzen. Bei höheren Temperaturen tritt so starke Verdampfung ein, daß sich die Lebensdauer der Lampen auf Stunden oder Minuten beschränkt.

Wegen der geringen zur Anwendung kommenden Temperatur ist der Wirkungsgrad der Glühlampe nur niedrig. Aber auch bei 5600° C könnten wir nur den optischen Wirkungsgrad der Sonne erreichen. Auch die Sonne stellt keine hundertprozentige Lichtquelle dar! Ein großer Teil ihrer Gesamtstrahlung wird in Form von unsichtbaren Wärmestrahlen und von ultraviolettem Licht ausgesandt. Nur etwa 28 Prozent der Gesamtemission der Sonne liegen in dem Wellenlängenbereich, den wir mit dem Auge als sichtbares Licht empfinden (400–750 mμ).

Der geringe optische Wirkungsgrad des Temperaturstrahlers rührt – wenn wir nach der Ursache fragen – davon her, daß die zur Speisung der Lichtquelle aufgewandte Energie zunächst in die Energieform der *Wärme* verwandelt wird und erst dann in Form von Lichtenergie zum Teil wieder zur Ausstrahlung kommt. Alle Umwandlungsprozesse, bei denen die Wärme als Zwischenenergieform eine Rolle spielt, verlaufen nach thermodynamischen Gesetzen mit ungünstigem Wirkungsgrad (vgl. Dampfmaschine).

Die modernen Gasentladungslampen (Bild 5) sind uns in Form der Neon-, Quecksilberdampf- und Natriumleichtröhren bekannt. In diesen Röhren werden mit Hilfe von Glühkathoden Elektronen verdampft und im elektrischen Feld beschleunigt. Treffen die Elektronen bei ihrem Fluge zur Anode mit neutralen Atomen des Füllgases (Neon, Quecksilberdampf) zusammen, so werden die Atome entweder «angeregt», das heißt ein Leucht- oder Valenzelektron wird aus seinem Grundzustand in eine höhere «Quantenbahn» gehoben, oder sie werden «ionisiert», sie verlieren ein Elektron und bewegen sich nun als «Ionen»,

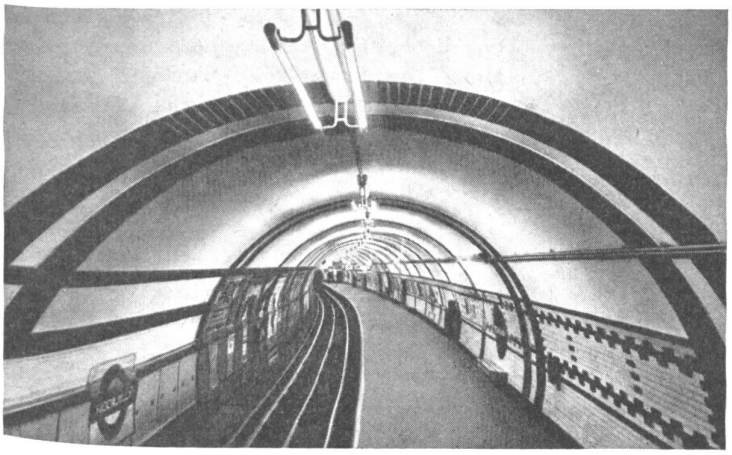

Bild 3: *Leuchtstofflampen im Piccadilly-Bahnhof der Londoner Untergrundbahn*

als positive Ladungsträger durch den Raum. Angeregte Atome kehren nach kurzer Verweilzeit des Elektrons auf der atomfernen Quantenbahn unter Aussendung eines Lichtquants wieder in den Normalzustand zurück, ionisierte Atome fangen ein in der Nähe befindliches freies Elektron ein und «rekombinieren» unter Lichtaussendung zu einem neutralen Gasatom. In beiden Fällen wird die kinetische Energie der Elektronen – ohne daß Bewegungsenergie (Wärme!) auf die Atome übertragen wird – zu 100 Prozent in Lichtenergie überführt (Elektronenstoßversuche von Franck und Hertz 1916).

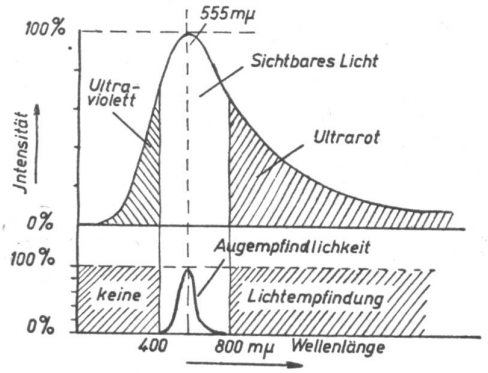

Bild 4: *Die Gesamtstrahlung der Sonne und die Empfindlichkeitskurve des menschlichen Auges. Die obere Kurve stellt die Strahlungsintensität eines bei 5900° K strahlenden Körpers (Sonne), die untere Kurve die Empfindlichkeit des menschlichen Auges in Abhängigkeit von der Wellenlänge dar. Das Emissionsmaximum der Sonne (555 mμ) fällt mit dem Empfindlichkeitsmaximum des Auges zusammen.*

Wenn alle Prozesse in der angegebenen Weise verliefen, dann wäre es möglich, mit einer Leuchtröhre elektrische Energie mit bestem Wirkungsgrad in Lichtenergie umzuformen. Es treten aber unvermeidliche Verluste ein. Ein Teil der Ladungsträger diffundiert nach der Wand und rekombiniert, ohne daß es zur Lichtaussendung kommt. Wegen dieser Verluste zeigen auch Leuchtröhren im Betrieb eine gewisse Erwärmung. Die Wärmebildung hat aber mit dem Akt der Lichterzeugung selbst nichts zu tun. Die Lichterzeugung würde auch dann eintreten, wenn keine Wärme gebildet würde. Trotz der Verluste kann man in Edelgas- und Metalldampfröhren unter optimalen Betriebsbedingungen eine Lichtausbeute zwischen 40 und 70 Prozent erreichen.

Metalldampf- und Edelgasleuchtröhren besitzen den Fehler, daß sie farbiges Licht aussenden. Bei den Reklameleuchtröhren macht man aus der Not eine Tugend und benützt sie als «Blickfang» und zur dekorativen Lichtarchitektonik. Für Beleuchtungszwecke ist aber das bunte Licht dieser Lichtquellen ungeeignet. Man kann zwar eine Natriumlampe mit einer Quecksilberlampe kombinieren und bekommt auf diese Weise eine wesentlich günstigere Lichtfarbe, da das gelbe Licht der Natriumlampe das vorwiegend blaugrüne Spektrum der Quecksilberlampe im gelben Teil «auffüllt». Nimmt man als Vorschaltwiderstand für die beiden Lumineszenzröhren eine Glühlampe, die «weißes» Licht spendet, so erhält man ein sehr gutes Mischlicht, das tageslichtähnlichen Charakter aufweist. Völlig befriedigen kann aber auch diese Lösung nicht, da die kombinierten Lichtquellen kompliziert und teuer sind und nur bei großen Lichtstärken wirtschaftlich arbeiten.

Auf der Suche nach einer «weiß» leuchtenden Gasentladungslampe kam man auf eine gute Idee, die in gewissem Sinne das «Ei des Kolumbus» darstellt. Diese Idee besteht in der Verwendung eines *Lichttransformators*, der Licht von unerwünschter Farbe in solches von erwünschter Farbe umformt. Als einen solchen Lichttransformator können wir zum Beispiel jeden Röntgenleuchtschirm auffassen; denn er formt unsichtbare Röntgenstrahlen in sichtbares Licht um. Nur auf diese Weise kann man Röntgenstrahlen wahrnehmen.

Die den Leuchtschirm bildenden Leuchtstoffe (Luminophore) sind Lumineszenzlichtquellen, die eingestrahlte kurzwellige Strahlung speichern und in Form von sichtbarem Licht wieder aussenden. Nach quantentheoretischen Gesetzen kann die Umformung nur in der Weise erfolgen, daß die Wellenlänge des ausgesandten Lichtes länger ist als die der absorbierten Strahlung (Stokes'sche Regel). Wir können mit einem Röntgenleuchtschirm niemals Röntgenstrahlen herstellen, wenn wir ihn mit sichtbarem Licht bestrahlen, sondern wir können umgekehrt nur sichtbares Licht gewinnen, wenn wir ihn mit Röntgenstrahlen «belichten».

Wollen wir also Leuchtstoffe in der Lichttechnik zur Umwandlung unerwünschter Lichtfarben benützen, so müssen wir eine Lichtquelle suchen, die besonders reich ist an kurzwelliger Strahlung. Das kurzwellige Licht kann dann mit Hilfe eines Lichttransformators in langwelliges umgeformt werden. Eine solche, mit hoher Ausbeute ultraviolettes Licht erzeugende Lichtquelle ist die Quecksilberdampf-Niederdruckentladung, die mild blau leuchtende Reklameleuchtröhre. Sie enthält zur Erleichterung des Zündens etwas Neon, das beim Einschalten rot leuchtet. Nun steigt die Temperatur, und einige Tropfen Quecksilber, die sich im Rohr befinden, verdampfen. Weil die Anregungsspannung des Quecksilberdampfes niedriger ist als die des Neons, werden jetzt vorwiegend die Quecksilber-

atome zum Leuchten angeregt und das Neonleuchten tritt in den Hintergrund.

Die Quecksilberdampf-Niederdruckentladung besitzt zwar nur geringen optischen Wirkungsgrad, erzeugt aber sehr viel kurzwellige Strahlung von der Wellenlänge 253,7 mμ (ultraviolett). Man nennt diese Strahlung das *Resonanzlicht* des Quecksilbers. Auf diese Wellenlänge ist das Quecksilberatom gewissermaßen «abgestimmt». Im normalen Leuchtröhrenbetrieb geht das Resonanzlicht verloren. Es kann, da es sehr kurzwellig ist, die Glaswand nicht durchdringen, es wird absorbiert und in Wärme verwandelt. Bringt man aber einen Leuchtstoff als Lichttransformator in das Innere der Röhre, so wird dieser vom Resonanzlicht erregt, er wandelt die kurzwellige Strahlung in sichtbares Licht um und dieses kann nun die Leuchtröhre verlassen. Verwendet man als Leuchtstoff Kadmiumborat, so leuchtet die Röhre rot, bei Magnesiumwolframat tritt eine blaue Färbung ein, und bei Zinksilikat (mit Kupfer aktiviert) leuchtet die Röhre grün. Bringt man alle drei Stoffe gleichzeitig und in guter Durchmischung in die Röhre, so leuchtet sie weiß. Das ist das Prinzip der modernen *Leuchtstoffröhre.*

Die Leuchtstoffe werden auf der Innenwand der Röhre in Gestalt eines milchglasähnlichen Belages niedergeschlagen. Da man nach den Gesetzen der Farbenlehre an Hand des Ostwaldschen Farbendreiecks aus den drei Grundfarben Blau-Grün-Rot jede andere Farbe mischen kann, ist es möglich, dem Licht der Leuchtstofflampe jede gewünschte Färbung zu geben. In der Praxis stellt man zur Zeit zwei Typen her, eine mit glühlampenähnlichem Licht und eine andere mit tageslichtähnlicher Färbung.

Die Röhren werden in Form von etwa 1 m langen, 35 mm weiten zylindrischen Leuchtstäben hergestellt. Sie lassen sich über ein Vorschaltgerät (Drosselspule und Zündhilfe) unmittelbar an das 220-Volt-Wechselstromnetz anschließen. Alle Gasentladungslampen besitzen «fallende Charakteristik», sie stellen einen negativen Widerstand dar und bedürfen daher einer äußeren Strombegrenzung (Drossel). Ein Nachteil der Leuchtstoffröhre besteht darin, daß sie einer kurzen Einbrennzeit bedarf, ehe sie ihre volle Lichtleistung entfaltet. Die Einbrennzeit ist nötig, um das Quecksilber auf den erforderlichen Dampfdruck zu bringen.

Der Gesamtlichtstrom einer Leuchtstoffröhre beträgt 1200 internationale Lumen pro Meter Rohrlänge. Dieser Lichtstrom entspricht nahezu der Lichtleistung einer 100-Watt-Glühlampe. Die Leuchtstoffröhre kommt zur Erzeugung dieses Lichtstromes mit einer Leistung von 25 Watt aus. Sie besitzt also eine drei- bis viermal so große Ausbeute wie die Glühlampe (40 Lumen pro Watt gegenüber 11 bis 15 Lumen/Watt bei der Glühlampe). Ein weiterer Vorzug der Leuchtstoffröhre ist ihre hohe Lebensdauer von über 2000 Stunden (Glühlampe im Mittel zirka 1000 Stunden).

In der Praxis wird die Leuchtstoffröhre wegen ihres angenehmen Lichtes und der mit ihr erzielbaren Stromeinsparung von nahezu 75 Prozent hoch geschätzt. Sie hat in den letzten Jahren die Glühlampe schon aus weiten Gebieten ihrer bisherigen Anwendung verdrängt, und es ist kein Zweifel daran möglich, daß auch in den kommenden Jahren das Feld der Raum- und Großraumbeleuchtung vorwiegend der Leuchtstoffröhre, dem modernen Lumineszenzstrahler, gehört.

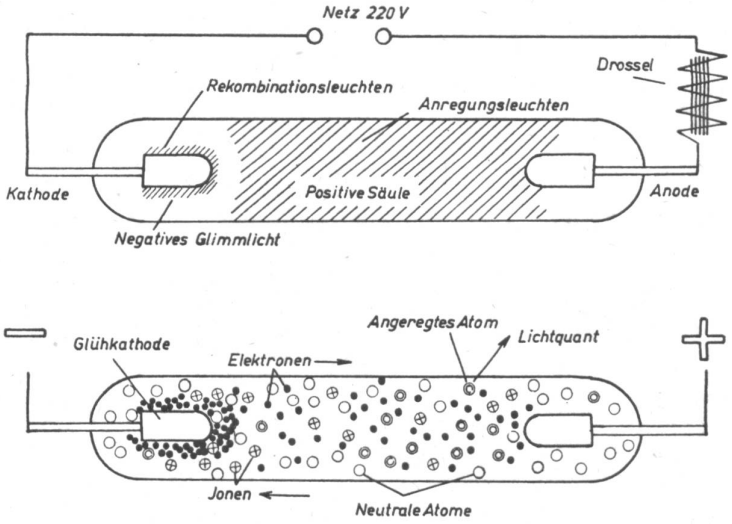

Bild 5: *Schematische Darstellung der sichtbaren Lichterscheinungen und der Verteilung der Elementarteilchen in einer Leuchtröhre. Bei den technischen Leuchtröhren wird das Licht der «Positiven Säule» ausgenützt. Bei Neon leuchtet die Positive Säule rot, bei Natrium gelb und bei Quecksilber grünlich-blau. Das untere Bild zeigt stark schematisiert eine «Momentaufnahme» der Entladungsbahn während des Stromdurchgangs. Die Dichte der Elektronen – schwarze Punkte – ist in der Nähe der Elektronenquelle, der Kathode, am größten. «Angeregte Atome» entstehen vorwiegend in der Positiven Säule. Sie kehren unter Lichtaussendung in den Normalzustand zurück. Positive Ionen wandern zur Kathode und erzeugen dort eine Raumladung. Durch Wiedervereinigung mit Elektronen erzeugen sie Rekombinationsleuchten.*