

# Mit „Blaulicht“ zur Lichtquelle des 21. Jahrhunderts

Dr. Michael Hampel,

Mitglied der Thematische Arbeitsgemeinschaft Technik und Naturwissenschaft e.V.

Licht veränderte das Leben der Menschheit. Es erhellt die Umgebung und schafft neue Sichten. „Wenn uns ein Licht aufgeht“ „wir etwas im rechten Lichte sehen“, „wir eine Erleuchtung haben“ so ist dies mehr als nur ein beleuchteter Raum; Licht bringt neue Erkenntnisse und Einsichten. Licht verändert das Leben der Menschen. „Wir können die Nacht zum Tage machen“ und uns scheinbar vom Einfluss der bedeutendsten Lichtquelle, der Sonne, entkoppeln.

Machen wir einen Schnelldurchlauf durch die Entwicklung der künstlichen Lichtquellen im Laufe der Menschheitsgeschichte. Die ältesten Lichtquellen beruhen allesamt auf dem Prinzip des Feuers und der Verbrennung organischer Materialien.

Da ist die ortsfeste **Feuerstelle** selbst, die Licht spendete und Wärme liefert. Hitze und Rauch halfen Nahrungsmittel zu garen und haltbar zu machen.

Da ist die **Fackel**, ein tragbares Feuer, bei der an einem Ende eines Stockes brennbaren Materialien, wie Pech, verdicktes Öl oder Wachs aufgebracht sind.

Da ist der **Kienspan**, gespaltene Stücke aus harzreichem Holz, besonders aus Kiefer. Der Kienspan war das verbreitetste Beleuchtungsmittel von der Altsteinzeit bis ins 19. Jahrhundert.

Da ist die **Kerze**, ein Wachskolben, in dessen Mitte ein nicht schmelzbarer Docht steckt, der das bei der Verbrennung schmelzende Wachs durch Kapillarwirkung ansaugt und zur Flamme transportiert. Kerzen wurden im Vorderen Orient bereits seit rund 5.000 Jahren verwendet.

Da ist die **Öllampe**, ein mit Tierfetten oder Pflanzenölen gefüllter Tonkörper mit Docht aus Pflanzenfasern, der bei den Römern zum Massenprodukt wurde, aber schon tausende Jahre vorher von anderen Völkern benutzt wurde Feuer wurde.



Feuer  
Gibraltar MI-Nr. 301



Fackel  
DDR MI-Nr. 2065



Kerze  
Berlin MI-Nr. 417



Öllampe  
Belgien MI-Nr. 1393

Da ist die **Petroleumlampe**, bestehend aus Tank, Docht, Brenner und Gaszylinder, die erst in Mode kam, als es gelang Erdöl durch Destillation in Fraktionen zu zerlegen. Der polnischen Chemiker *Ignacy Lukasiewicz* gilt als einer der Entwickler der Petroleumlampe.

Als ortsggebundene Beleuchtungsform ist die **Gasbeleuchtung** zu nennen, bei der Gas, das beim Erhitzen von Holz oder Kohle erzeugt wird, über ein Netz von Rohrleitungen an Gaslampen zur Beleuchtung von Fabriken und an Gaslaternen zur Straßenbeleuchtung weitergeleitet wird. Pioniere der Gasbeleuchtung waren *Philippe le Bon*, *William Murdoch*, *Johannes Minckeleers* und *Wilhelm A. Lampadius*.



Lukasiewicz  
Polen Mi-Nr. 2799



Petroleumlampe  
Polen Mi-Nr. 3486



Phillip le Bon  
Frankreich Mi-Nr. 1037



Minckelers  
Niederlande Mi-Nr.  
218



Lampadius und Gaslaterne  
BRD Mi-Nr. 1537-1538

Neben den Lichtquellen die Verbrennungsvorgänge als Energiequelle nutzen, kamen im 19. und 20. Jahrhundert Lichtquellen hinzu, die ihre Energie aus elektrischen Quellen schöpften.

Da ist die **Bogenlampe**, bei der ein Lichtbogen zwischen zwei Elektroden überschlägt. Die erste Kohlebogenlampe wurde 1802 von *Humphry Davy* entwickelt. Die erste kommerziell erfolgreiche Bogenlampe, die *Jablotschkowsche Kerze*, wurde 1876 patentiert. Die Bogenlampe trat bei der Straßenbeleuchtung in Konkurrenz zur Gaslampe.

Da ist die **Glühlampe**, in der ein Glühfaden durch elektrischen Strom erhitzt wird, bis er zu leuchten anfängt. Der Glühfaden befindet sich in einem evakuierten bzw. mit Inertgas gefüllten Glaskolben und ist zur Erzielung einer guten Leuchtstärke zu einer Mehrfachwendel aufgewickelt. Als Material für die Glühlampe wurde von *Heinrich Goebel* und *T.A. Edison* ein Kohlefaden verwendet, der bald von dem hochschmelzenden Wolfram ersetzt wurde.

Da ist die **Halogenlampe**, eine Glühlampe in einem kompakten Quarzglaskolben, die durch Zugabe von Iod oder Brom zum Füllgas eine erhöhte Betriebstemperatur und Lebensdauer ermöglicht. Sie kommt bei der Zimmerbeleuchtung und in Autoscheinwerfern zum Einsatz.

Da ist die **Leuchtstoffröhre**, die auf dem Prinzip der Gasentladung beruht. Gasionen werden im elektrischen Feld zu einer Kathode beschleunigt und ionisieren durch Stoß andere Gasteilchen und setzen beim Aufprall auf die Kathode Elektronen frei. Beim Einfang von Elektronen durch Gasionen wird UV-Licht freigesetzt, das über einen Leuchtstoff in sichtbares Licht umgewandelt wird. Die Farbe der Leuchtstoffröhre ist vom Füllgas abhängig. Die 1909 entwickelte Neonlampe leuchtet orangerot.

Da ist die **Kompaktleuchtstofflampe**, eine Lampe mit gebogenen, gefalteten oder gewendelten Lampenkörper und integriertem Vorschaltgerät, die ab den 80er Jahren des 20. Jahrhunderts als „Energiesparlampe“ verkauft wurde. Sie zählt zu den Gasentladungslampen mit Quecksilberdampfzuführung.



Faraday, Schüler von Davy mit Bogenlampe  
GBR MI-Nr. 1320



Jablotschkow  
SU MI-Nr. 1581



Kohlenbogenlampe  
Berlin MI-Nr. 604



Glühlampe  
Deutschland MI-Nr. 2395

Es gibt einige künstliche Lichtquellen, die auf dem Prinzip der Gasentladung beruhen und in bestimmten Anwendungsbereichen verbreitet sind. **Xenon-Gasentladungslampen** findet man bei Video- und Kinoprojektoren und in hochwertigen Autoscheinwerfern. **Halogenmetaldampflampen** kommen bei Film, Fernsehen und Theaterbeleuchtung sowie bei der Beleuchtung von Industriehallen und Stadien zum Einsatz. **Natriumdampflampen** erzeugen einfarbiges, gelbes Licht, dass bei der Straßen- und Baustellenbeleuchtung zum Einsatz kommt.

Die erste Meldung, dass an einem Halbleiter Licht entsteht, stammt aus dem Jahr 1907 von *Henry J. Round* einem Mitarbeiter des Pioniers der Nachrichtentechnik und Physik-Nobelpreisträger des Jahres 1909 *Guglielmo Marconi*. In den 20er und 30er Jahren wurde das Phänomen in der Sowjetunion von *Oleg. V. Losev* untersucht.



Leuchtstofflampe und Kompaktleuchtstofflampe (Energiesparlampe)

Das theoretische Verständnis für die Lichtentstehung erschloss sich erst, als man die Vorgänge an den Grenzschichten von Halbleitern verstand. Die typische Halbleiter-Diode ist ein Übergang zwischen einem n-dotierten Halbleiter mit Elektronenüberschuss und einem p-dotierten Halbleiter mit Überschuss an Löchern (Defektelektronen). Typische Halbleitermaterialien sind Vertreter der IV. Hauptgruppe des Periodensystems Silicium und Germanium oder Mischverbindungen aus Vertreter der III. und V. Hauptgruppe des Periodensystems wie Galliumphosphid (GaP), Galliumarsenid (GaAs) oder Indiumantimonid (InSb). Die Entdeckung des Transistors auf Halbleiterbasis durch *Shockley, Bardeen* und *Brattain* in den Bell-Laboratorien im Jahre 1947 ist hier ein Markstein. Seitdem rückten die Vorgänge an Dioden in den Mittelpunkt des Interesses. Der Transistor ist ein Bauelement, bei dem eine Diode über eine dritte Elektrode, eine Steuerelektrode, geschaltet wird.

Wie entsteht nun Licht an dieser Halbleitergrenzfläche? Durch Anlegen einer Spannung an die Diode werden Elektronen aus der n-dotierten Schicht und Löcher aus der p-dotierten Schicht in eine aktive Zwischenschicht transportiert, in der sie aufeinandertreffen. Bei der Reaktion von Elektronen mit Löchern wird die Energie in Form von Licht ausgesandt. Allerdings ist dies nicht bei allen Halbleitermaterialien der Fall, denn teilweise sind Gitterschwingungen involviert und dann wird es nichts mit dem Licht bei der Ladungsträgerrekombination.

Anfangs der 60er Jahre des 20. Jahrhunderts konnte man lichtemittierende Elektroden herstellen, die rotes Licht aussenden. Auf der Basis des Halbleiters Galliumphosphid (GaP) mit einer Bandlücke von 2,2 eV konnte man bis Ende der 60er Jahre auch grünfarbige LED herstellen. Die LED fanden Anwendungen in Digital-Uhren mit Leuchtanzeige und in Taschenrechnern.



100 Jahre VDMA, rote LED  
und Laserstrahl  
BRD Mi-Nr. 1636



Scanner und Supermarkt-Kasse mit roter  
Leuchtanzeige  
GBR Mi-Nr. 928



\*  
Taiwan 432

Rote und grüne LED standen zur Verfügung, aber erst eine LED, die blaues Licht erzeugt, musste gefunden werden, um eine Lichtquelle für die Raumbelichtung zu entwickeln. Denn erst durch Kombination von rotem, grünem und blauem Licht entsteht durch additive Farbmischung weißes Licht. Drei Jahrzehnte lang bissen sich Forscher und Industrie an diesem Ziel vergeblich die Zähne aus.

Die Nobelpreisträger des Jahres 2014 studierten Galliumnitrid (GaN) als Halbleitermaterial. Mit einer direkten Bandlücke von 3,4 eV war es ein aussichtsreicher Kandidat. Sie probierten hunderte Materialkombinationen und führten tausende Experimente durch, bis sie den Durchbruch erreichten. 1986 gelang es *Isamu Akasaki* und *Hirisho Amano* auf einem Trägermaterial Galliumnitrid-Kristallschichten aufwachsen zu lassen. Sie wählten die Methode der metallorganischen Dampfphasen-Epitaxy, um homogene Schichten herzustellen. Sie experimentierten weiter, um ihre Schichten zu dotieren. Dabei fanden sie, dass ihre Probe bei der Untersuchung mit dem Elektronenmikroskop stärker leuchtete. Offensichtlich hatte der Elektronenstrahl Verunreinigung von Wasserstoff entfernt, die den Wachstumsprozess stören. Zumindest war dies die Idee des dritten Nobelpreisträgers, *Shuji Nakamura*, der durch Variation der Abscheidungstemperatur den gleichen Effekt hervorrufen konnte und damit hochwertige GaN-Schichten erzeugte.

1992 gelang es, sowohl in der Arbeitsgruppe von *Akasaki* und *Amano* als auch in jener von *Nakamura* eine Elektrode zu erzeugen, die helles blaues Licht aussendet.

\* Leider handelt es sich hier nicht um eine grünfarbige LED, wie ich zunächst vermutet sondern um die Brennstabkammer eines Forschungsreaktors.

Die erfolgreiche Diode besteht aus mehreren modifizierten Schichten eines GaN-Halbleiters.

1. Schicht: p-GaN
2. Schicht: p-AlGaN
3. Schicht: Zn-dotierte InGaN
4. Schicht: n-AlGaN
5. Schicht: GaN-Pufferschicht
6. Saphir als Substrat (Schichtträger)



Akasaki mit roten LED  
Malediven 5559

*Isamu Akasaki* wurde auf einer Briefmarke der Maledienportraitiert. Dabei wurde er aber nicht „ins rechte Licht“ gerückt. Neben seinem Gesicht sind drei LED abgebildet, die rotgefärbtes Licht abgeben. Vielleicht kneift Herr *Akasaki* deshalb die Lippen zusammen und schaut bewusst in eine andere Richtung (Scan bereitgestellt von Jürgen Kordt).

Sehr schnell wurde das Potential der LED des blauen Lichtes erschlossen. Es wurden Blaulichtlaser gebaut, die Grundlage der Blue-Ray-Technologie für Speichermedien großer Speicherdichte. Beim Laserdruck bei Handys, Monitoren, Fernsehern überall hält die LED-Technologie Einzug.

Weißes Licht entsteht entweder durch Kombination von LED aus blauem, grünem und rotem Licht oder durch eine LED aus blauem Licht und lumineszierenden Materialien, die das blaue Licht in grünes und rotes Licht umwandeln.

Vergleicht man die LED mit den herkömmlichen Lichtquellen ergeben sich fast nur Vorteile. Sie sind:

- Energiesparend (direkte Umwandlung von Strom in Licht ohne „Abwärme“)
- Langlebig (die Lebensdauer entspricht dem 100-fachen der Glühlampe und dem 10-fachen der Leuchtstoffröhren)
- Leuchtstark (sie überbieten die Leuchtkraft der Glühlampen und reichen an die Leuchtstoffröhren heran)
- Umweltfreundlich (sie enthalten im Gegensatz zu „Energiesparlampen“ kein Quecksilber)
- Lichtfarbe kann dem Tageslicht angenähert werden („wärmer“ als Leuchtstofflampen)

Lediglich im Preis liegen sie noch oberhalb konkurrierender Leuchtsysteme.

Vergleicht man die durchschnittliche Lichtausbeute gemessen in Lumen/Watt so ist die LED heute schon konkurrenzfähig bis überlegen gegenüber bisherigen Lichtquellen.

Lichtquelle	Energieerzeugung durch	Lichtleistung [lm/Watt]
Kerze	Verbrennung	0,1
Öllampe	Verbrennung	0,2
Glühlampe (60 W)	elektrisch/thermisch	12
Halogenlampe (12 V)	elektrisch/thermisch	25
Leuchtstoffröhre	Gasentladung	55
Kompaktleuchtstofflampe	Gasentladung	60
Xenon-Bogenlampe	elektrisch/thermisch	50
Natriumdampf Lampe	Gasentladung	140
LED	elektrisch	55-85

Theoretisch ist bei LED ein Maximum von über 200 lm/Watt erreichbar. Wenn man bedenkt, dass etwa ein Viertel des Stromverbrauchs für den Zweck der Beleuchtung anfällt, erkennt man das globale Energiesparpotential durch breitflächigen Einsatz von LED.

Kaum haben sich anorganische LED in der Beleuchtungstechnik etabliert, kommt Konkurrenz auf. OLED, LED aus organischen halbleitenden Materialien sind auf dem Vormarsch. OLED sind mechanisch flexibler, biegsamer und werden bei Smartphones und Tablets bereits eingesetzt. Zwar sind Leuchtdichte und Lebensdauer bei der organischen Variante geringer als bei anorganischen LED, aber organische Leuchtdioden lassen sich durch Dünnschichttechnik kostengünstig herstellen. Haben wir in 20 Jahren vielleicht großflächige OLED-Tapeten zur Raumbeleuchtung, die auf Zuruf aufleuchten?



Leuchtdioden mit verschieden farbigem Licht  
50 Jahre Fraunhofer-Gesellschaft  
BRD Mi-Nr. 2038



Konventionelles „Blaulicht“  
Österreich Mi-Nr. 2087

Quellen: [www.nobelprize.org](http://www.nobelprize.org) und Wikipedia