

UHP-Lampen: Lichtquellen extrem hoher Leuchtdichte für das Projektionsfernsehen

G. Derra, E. Fischer und H. Mönch

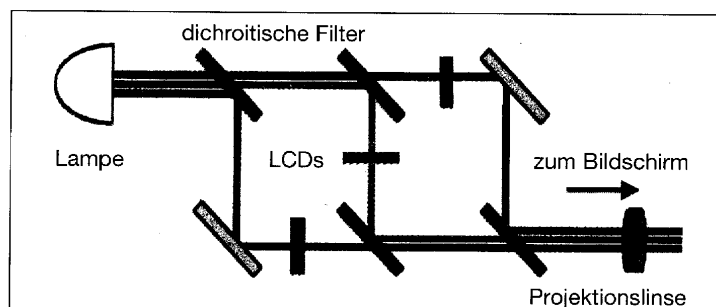
Lichtquellen hoher Leuchtdichte sind Schlüsselkomponenten für das Projektionsfernsehen. Mit der Entwicklung der UHP-Lampe (Ultra-High-Performance) von Philips wurde hier ein entscheidender Durchbruch erzielt. Durch die erstmalige Realisierung einer Quecksilber-Höchst-Druckentladung mit einem Halogen-Kreisprozeß erreicht die UHP-Lampe extrem hohe Leuchtdichte und stabile Lampeneigenschaften bei sehr langer Lebensdauer.

1. Projektionsfernsehen

In den letzten Jahren haben neben den herkömmlichen Kathodenstrahlröhren Projektionssysteme zur Darstellung von Fernsehbildern an Bedeutung gewonnen. Die Bildinformation wird hierbei in schaltbare Flüssigkristallanordnungen (LCD = Liquid Crystal Displays) codiert und dann entweder von hinten auf eine Mattscheibe projiziert (*rear projection*) oder direkt auf eine Leinwand (*front projection*). Die Farbcodierung wird im allgemeinen dadurch erreicht, daß das zur Projektion benutzte Lichtbündel zunächst mit Hilfe von dichroitischen Filtern in drei Primärfarben zerlegt wird. Die drei Teilbündel werden dann durch drei LCDs geschickt und anschließend durch eine umgekehrte Filter- und Spiegelkombination in einer Projektionsoptik wieder zusammengeführt.

Abb.1 zeigt eine typische Anordnung dieser Art. Es gibt zahlreiche Varianten dieses Konzepts sowie der zusätzlichen optischen Ele-

Abb. 1: Strahlengang in einem LCD-Fernsehprojektor.



mente, die notwendig sind, um eine gleichmäßige Ausleuchtung des Bildes zu erreichen. Allen Anordnungen gemeinsam ist jedoch, daß der Lichtweg im Projektor lang, die Lichtdurchlässigkeit der Displays nicht sehr groß und ihr Akzeptanzwinkel klein ist. Zudem benötigen sie polarisiertes Licht. Die Gesamttransmission heutiger Projektionssysteme erreicht etwa 25 % (60 % Display-Effizienz, 80 % Polarisierungseffizienz inkl. Polarisationsdrehung, 60 % Farbtrennung, 90 % Linsen- und Filtertransmission).

Dieser Wert muß noch mit der Effizienz multipliziert werden, mit der sich das Licht der verwendeten Lichtquelle auf die LCDs bündeln läßt. Die optischen Anforderungen eines Displays können durch die optische Ausdehnung („Etendue“) $E_{\text{Display}} = A \cdot \Omega$ charakterisiert werden [1], die das Produkt von auszuleuchtender Fläche A und Akzeptanzwinkel Ω ist. Hohe optische Anforderungen werden dabei durch kleine Werte der Etendue beschrieben. Der Etendue-Formalismus ermöglicht es, in einem System die optische Ausdehnung des Displays auf die Lichtquelle zurück abzubilden. Die Etendue des Displays definiert daher einen maximalen Bereich E_{Lampe} , aus dem Strahlung eines Lichtbogens für die Beleuchtung des Displays genutzt werden kann. Der nutzbare Lichtstrom Φ einer Lampe mit der Leuchtdichte L ist bestimmt durch das Produkt $\Phi = L \cdot E_{\text{Lampe}}$.

Abb. 2. zeigt dies für ein typisches Display mit 1" Diagonalen und einem Akzeptanzwinkel von 7° an Hand von Leuchtdichteverteilungen verschiedener Gasentladungslampen. Praktisch alles Licht einer 100 W-UHP-Lampe [3] mit nur 1,3 mm Elektrodenabstand kann genutzt werden, während von einer herkömmlichen Metallhalogenidlampe mit 250 W und einer Länge des Lichtbogens von 2,5 mm [2] nur ein Bruchteil auf das Display gelangt. Zukünftige kompaktere und damit kostengünstigere Projektionssysteme lassen sogar noch kleinere Etendubereiche erwarten. Eine solche Entwicklung erscheint jedoch nur dann möglich, wenn neben der Entwicklung der Display-Technologie auch die entsprechenden Lichtquellen zur Verfügung stehen. Die hier beschriebene UHP-Lampe ist ein Schritt in diese Richtung.

2. Das UHP-Konzept

Mit der UHP-Lampe soll dem Projektionsfernsehen eine möglichst punktförmige Lichtquelle hoher Leuchtdichte zur Verfügung gestellt werden. Kriterium ist dabei natürlich nicht nur die Helligkeit, sondern auch die spektrale Lichtverteilung, die Betriebsdauer der Lampen sowie die Konstanz ihrer Eigenschaften während der Lebensdauer.

Dr. Günther Derra, Dr. Ernst Fischer, Dr. Holger Mönch, Philips Forschungslaboratorien, Weißhausstr. 2, D-52066 Aachen

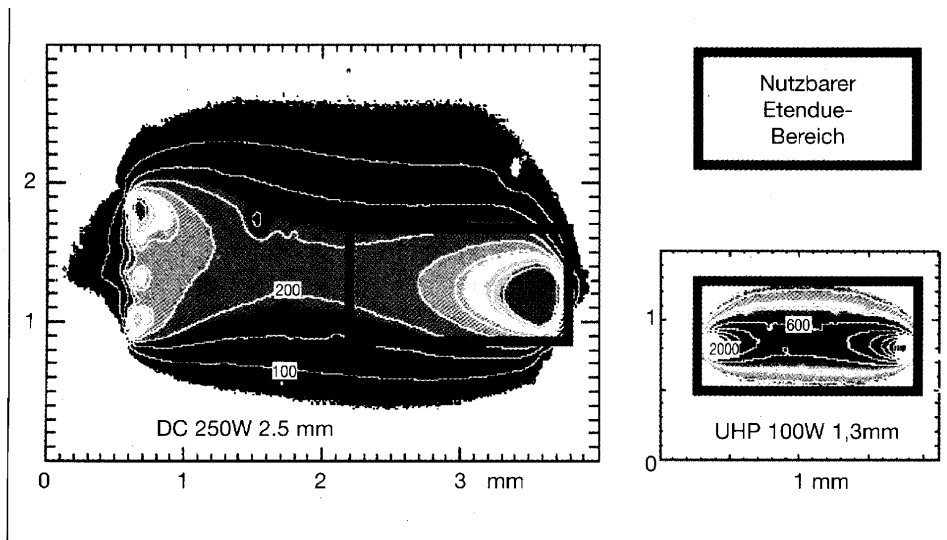


Abb. 2: Leuchtdichteverteilung und nutzbarer Strahlungsanteil (rotes Rechteck) im Vergleich zwischen einer Metallhalogenidlampe (links, Bogenlänge 2,5 mm) und einer UHP-Lampe (rechts, 1,3 mm). Die Leuchtdichte nimmt von blau über grün, gelb nach rot zu, Zahlenangaben in Mcd/m^2 .

Die Hersteller von Projektoren wünschen sich einen punktförmigen Strahler mit etwa gleich großen Strahlungsanteilen im blauen, grünen und roten Spektralbereich. Das Emissionsspektrum sollte von Lampe zu Lampe so wenig wie möglich variieren und über die Lebensdauer konstant sein. Dem Ideal nahekommen würde ein Schwarzer Strahler von etwa 8000 K. Die Lebensdauer sollte zumindest in der gleichen Größenordnung wie die konventioneller Fernsehgeräte liegen, also im Bereich von 10 000 Stunden.

Die ersten LCD-Fernsehprojektoren waren mit Halogenglühlampen ausgestattet. Die Leuchtdichte solcher Lampen ist jedoch durch die maximale Emission der Wolframwendel und damit durch die Planck-Funktion am Schmelzpunkt von Wolfram (3680 K) begrenzt. Eine Verbesserung der Effizienz wurde mit Metallhalogenid-Hochdruck-Gasentladungslampen erreicht. In diesen Lampen wird die Emission verschiedener Metallatome benutzt, die in Form ihrer Halogenide in eine Quecksilber-Entladung eingebracht werden. Aber auch hier ist die Emission durch die Intensität eines Schwarzen Strahlers bei der maximalen Plasmatemperatur (5000 – 6000 K) begrenzt. Die Maximaltemperatur wird bestimmt durch die Ionisationsenergie der verwendeten Additive. Zur Leitung des elektrischen Stromes ist eine bestimmte Elektrodenabstände notwendig, die über das Ionisationsgleichgewicht mit der Plasmatemperatur verknüpft ist.

Zudem wird die maximale Emission nur in den stärksten Emissionslinien erreicht. Indem man die Teilchendichte erhöht, ist zwar eine bessere Annäherung an den Planck-Strahler möglich, dieser läßt sich jedoch nicht über-treffen.

Eine weitere Erhöhung der Plasmatemperatur und damit der maximal möglichen Emissionsdichte ist nur möglich, wenn das Plasma nur Komponenten mit Ionisationsenergien enthält, die deutlich höher liegen als die der in Metallhalogenidlampen verwendeten Additive (Natrium, Scandium, Seltene Erden).

In der Praxis reduziert sich die Zahl der Möglichkeiten damit auf die Edelgase und Quecksilber, da alle anderen Elemente entweder nicht hinreichend flüchtig oder korrosiv gegen Wandmaterial und Elektroden sind. Mit Edelgasen erreicht man zwar die höchsten Plasmatemperaturen (8000 – 12 000 K), ihre Strahlungseigenschaften im sichtbaren Spektralgebiet sind jedoch so schlecht, daß Drücke von mehreren tausend bar erforderlich sind, um der Strahlungsintensität des Planck-Strahlers nahezukommen.

In Quecksilberdampf erreicht die Plasmatemperatur zwar „nur“ 7000 – 8000 K, aber die Emissionseigenschaften sind viel besser, so daß ein attraktives Spektrum bereits im Bereich von 200 bar erreicht wird. Bereits vor mehr als 50 Jahren hat Elenbaas [4] das Auftreten einer intensiven kontinuierlichen Strahlung in Quecksilberdampf bei hohen Drücken beschrieben, dieser Strahlungsprozeß ist jedoch bisher nie als dominanter Mechanismus in Lampen verwendet worden.

2.1 Strahlungsprozesse

Zur Realisierung einer Projektionslampe mit extrem hoher Leuchtdichte folgen wir dem von Elenbaas vorgegebenen Weg. Um den Ursprung des kontinuierlichen Emissionsspektrums zu verstehen, müssen wir etwas näher auf die chemischen Eigenschaften von Quecksilber eingehen. Im allgemeinen wird Quecksilber als atomares Gas betrachtet. Die

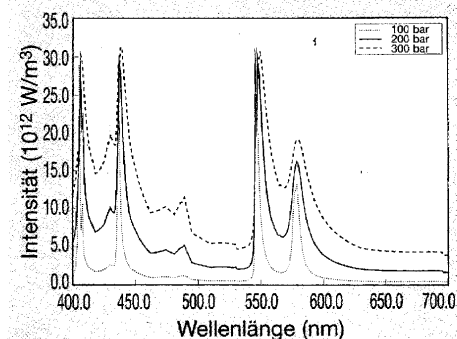


Abb. 3: Spektren von Quecksilber-Hochdruckentladungslampen bei unterschiedlichen Betriebsdrücken (Leistung 100 W, Bogenlänge 1,3 mm).

Existenz von zweiatomigen Molekülen ist zwar bekannt, der Molekül-Grundzustand ist jedoch nur sehr schwach gebunden, so daß die Konzentration der Moleküle bei Normaldruck gering ist.

Das Spektrum eines Hg-Plasmas ist dominiert von Atomlinien, Molekülbanden sind nur sehr schwach vorhanden. Die Molekülkonzentration steigt jedoch mit dem Quadrat des Drucks an, so daß ihr Anteil an der Emission mit wachsendem Druck zunimmt. Da die Bildungsenthalpie der Moleküle gering ist, nimmt ihre Konzentration mit zunehmender Temperatur nur langsam ab. In einem Plasma von 200 bar liegt der Partialdruck im Zentrum der Entladung noch in der Größenordnung von 10 bar.

In diesem Bereich mit Temperaturen zwischen 7000 und 8000 K existieren Moleküle in verschiedenen elektronischen Anregungszuständen. Strahlungsübergänge finden nicht nur in den Grundzustand, sondern auch zwischen den angeregten Zuständen statt. Neben den Resonanzbanden im UV wird daher auch Bandenstrahlung im sichtbaren und IR-Bereich emittiert. Die Konzentration der Moleküle im Grundzustand ist so hoch, daß die Resonanzstrahlung in den kälteren Außenschichten des Entladungsraums vollständig absorbiert wird und unterhalb von 280 nm keine Strahlung nach außen dringt. Nicht einmal die starke Atomlinie bei 254 nm ist in solchen Lampen detektierbar.

Der Vorteil der nicht-resonanten Emission der Molekülstrahlung liegt darin, daß sie in den kälteren Außenschichten nicht absorbiert wird, so daß ihre Intensität im Prinzip der Planck-Strahlung bei der Zentraltemperatur nahekommen kann. Allerdings ist ein Druck von 200 bar noch deutlich zu gering,

um diesen Wert zu erreichen. Abb. 3 zeigt Spektren von Quecksilberentladungen bei 100, 200 und 300 bar. Neben den zunehmend verbreiterten Atomlinien ist ein quasikontinuierlicher Untergrund zu erkennen, der quadratisch mit dem Druck zunimmt. Schon bei 200 bar ist der Anteil an kontinuierlicher Strahlung größer als 50%.

Das kontinuierliche Spektrum erstreckt sich weit ins IR-Gebiet sowie ins nahe UV. Die Strahlung ist also nicht sehr selektiv im Sichtbaren konzentriert. Die Effizienz der Lampen ist daher niedriger als bei den besten Metallhalogenidlampen. Maximal 65–70 lm/W können erreicht werden. Diese Lampen werden nie den Weltrekord in Effizienz brechen, wohl aber den in Leuchtdichte.

Die Spektren zeigen, daß das Molekülkontinuum der einzige Strahlungsprozeß ist, der rote Strahlung liefert. Quecksilberlampen mit niedrigem Betriebsdruck, die hauptsächlich Atomlinien emittieren, sind als TV-Lichtquellen unbrauchbar. Um eine akzeptable Farbbilanz zu erzielen, muß der Betriebsdruck mindestens im Bereich von 200 bar liegen.

2.2 Mechanische und thermische Anforderungen

Der Betrieb bei Drucken um 200 bar erfordert besondere Maßnahmen beim Design der Lampen. Abgesehen davon, daß die Druckfestigkeit des Lampenkolbens und der Elektrodendurchführungen sich der Grenze der technischen Machbarkeit nähern, ist auch die thermische Bilanz des Kolbens sehr kritisch. Zum einen darf die Temperatur an keiner Stelle der inneren Oberfläche den zur Erreichung eines Dampfdrucks von 200 bar notwendigen Wert unterschreiten (*cold spot*), andererseits darf die heißeste Stelle nicht den

für die Langzeitbeständigkeit des Wandmaterials zulässigen Wert überschreiten.

Für optische Anwendungen steht als einziges vollständig transparentes Wandmaterial praktisch nur Quarzglas zur Verfügung, was die maximal erlaubte Temperatur auf ca. 1400 K beschränkt, da oberhalb dieser Temperatur sehr schnell eine Rekristallisation (Entglasung) und damit eine Verminderung der optischen Qualität einsetzt.

Die engen Grenzen zwischen erlaubter Minimal- und Maximaltemperatur beschränken die Größe des Lampenkolbens. In jeder Lampe existiert eine interne Konvektionsströmung. Da das Plasma im Zentrum viel heißer ist als das Gas in Wandnähe, erzeugt der Auftrieb eine Wirbelströmung, die die im Zentrum umgesetzte Energie zur Oberseite des Kolbens transportiert. Die Stärke dieses Konvektionswirbels und damit die Unsymmetrie des Wandtemperaturprofils nimmt mit zunehmendem Druck und zunehmendem Kolbenvolumen zu. Bei Lampen mit einem Quecksilberdruck von 200 bar beschränkt die Konvektion die Innenabmessungen auf 4–5 mm. Andererseits ist es bei so kleinen Kolben einfacher, eine hohe Druckfestigkeit zu erreichen.

Eine weitere Eigenschaft der Quecksilber-Höchstdrucklampen ist ihre hohe Brennspannung. Mit zunehmendem Druck nimmt die Leitfähigkeit des Plasmas ab und erfordert deshalb höhere Brennspannungen. Bei 200 bar erreicht die Feldstärke in der Bogensäule Werte um 60 V/mm. Hohe Brennspannung bedeutet niedrige Stromstärke und damit geringe Elektrodenverluste. Dies kommt nicht nur der Lampeneffizienz zugute, die geringe thermische Belastung der Elektroden macht es auch einfacher, ein Zurückbrennen der Elektroden durch Wolf-

ramabdampfung zu verhindern. Gerade bei Lampen mit sehr kurzer Bogenlänge, wie sie für das Projektionsfernsehen erforderlich sind, ist dieser Vorteil von entscheidender Bedeutung. Erst durch das UHP-Konzept wurde es möglich, langzeitstabile Lampen mit einem Elektrodenabstand von weniger als 1,5 mm herzustellen. Bei herkömmlichen Metallhalogenidlampen liegt die heutige Untergrenze bei etwa 2,5 mm.

2.3 Halogen-Transportzyklus

Im letzten Abschnitt wurde erwähnt, daß wegen der vergleichsweise geringen Elektrodenbelastung der Transport von Wolfram niedriger ist als bei Metallhalogenidlampen. Dennoch würde ohne zusätzliche Maßnahmen wegen der kleinen Oberfläche des Kolbens die transportierte Menge ausreichen, um innerhalb einiger hundert Stunden erhebliche Ablagerungen auf der Wand zu erzeugen. Diese Wolframablagerungen würden Strahlung aus dem Innern der Entladung absorbieren und damit zu einer zusätzlichen Aufheizung der Wand führen. Die zulässige Wandtemperatur würde überschritten, was zu Wandkorrosion und eventuell zur Explosion der Lampe führen würde.

Abb. 4 zeigt schematisch, wie sich die zugeführte elektrische Energie einer 100 W-Lampe auf die verschiedenen Strahlungs- und Transportprozesse verteilt. Nur etwa 11% der zugeführten Leistung werden durch Wärmeleitung und Konvektion direkt vom Plasma auf den Kolben übertragen. Weitere 12% erreichen die Wand über die Fußpunkte der Elektroden. 77% verlassen die Lampe als Strahlung. Daraus wird ersichtlich, daß sich die Wärmebilanz der Wand dramatisch ändert, wenn auch nur ein kleiner Teil dieser Strahlung in der Wand absorbiert wird.

Eine für die Verwendung in TV-Geräten vernünftige Lebensdauer ist nur zu erreichen, wenn die Ablagerung von Wolfram auf der Wand vollständig verhindert wird. Ein wirksames Konzept, um dieses zu erreichen, ist seit langem für Glühlampen bekannt. Die Zugabe von Halogen und Sauerstoff zur Lampenatmosphäre verhindert, daß das von der heißen Glühwendel abdampfende Wolfram sich auf der Glaswand niederschlägt, da die Wolframatomme in der Gasphase chemisch reagieren, unter Bildung von Oxyhalogenid-Molekülen. Der Dampfdruck der Oxyhalogenide ist um viele Größenordnungen höher als der von Wolfram, so daß keine Übersättigung und damit kein Niederschlag auftreten kann, solange der Dampfdruck von Wolfram an der Glühwendel unterhalb des Sättigungsdampfdrucks der Oxyhalogenide in Wandnähe bleibt.

Dieses Prinzip funktioniert auch in Gasentladungslampen, wenn nur sichergestellt ist, daß die Gasphase genügend Halogen und

Abb. 4: Verteilung der elektrisch zugeführten Leistung auf die verschiedenen Transport- und Verlustmechanismen.

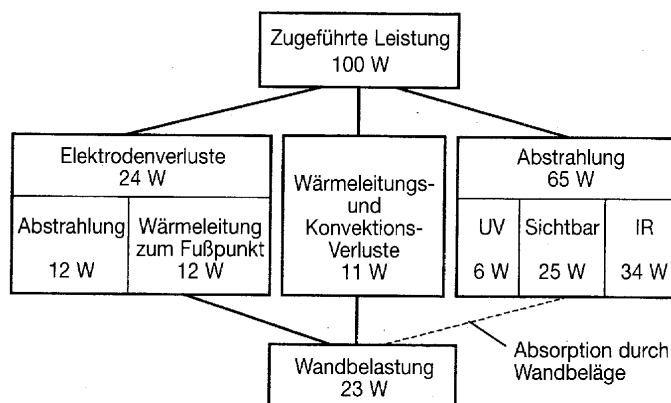
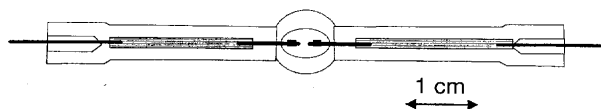


Abb. 5: Skizze einer 100 W-UHP-Lampe



Sauerstoff enthält. Die meisten Lampen mit Metallhalogenidfüllung lassen keinen Halogenzyklus zu, da die als Additive verwendeten Metalle (Scandium, Seltene Erden) als Sauerstoff-Getter wirken und dadurch die Bildung von Oxyhalogeniden verhindern. In reinen Quecksilberlampen ist WO_2 das stabilste Oxyd, das gebildet werden kann. Der Dampfdruck dieses Oxyds bestimmt damit den Sauerstoffgehalt der Lampenatmosphäre. Detaillierte Darstellungen des Halogen-Kreisprozesses finden sich in zahlreichen Publikationen (siehe z. B. [5–7]). In UHP-Lampen läßt sich mit einer Zugabe von geringen Mengen Brom ($<1 \mu\text{g}$) ein stabiler Halogenzyklus erreichen.

3. UHP-Lampen

Basierend auf dem im letztem Kapitel vorgestellten Konzept wurden Lampen für das Projektionsfernsehen entwickelt, die nicht nur eine extrem hohe Leuchtdichte haben, sondern sich auch durch besonders lange Lebensdauer und Stabilität der lichttechnischen und elektrischen Eigenschaften während der gesamten Brenndauer auszeichnen [3]. Die erste kommerziell verfügbare UHP-Lampe hat eine Leistung von 100 W, eine Bogenlänge von 1,3 mm und einen Betriebsdruck von 200 bar. Der Entladungskolben ist kugelförmig ausgebildet zur Vermeidung von optischen Verzerrungen des Lichtbündels.

Abb. 5 zeigt eine Skizze der Lampengeometrie. Die zylindrischen Endstücke, die zu beiden Seiten aus dem sphärischen Teil herausragen, sind sehr lang ausgeführt, um thermische Korrosion an den Enden der Zuführungsdrähte zu verhindern. Dies ist nötig, da die Lampe für den Betrieb an Luft ausgelegt ist. Ein zusätzlicher Außenkolben würde die Qualität des Lichtbündels durch Streuung oder Reflexion unnötig reduzieren. Die nominale Lampenspannung beträgt 85 V bei einem Elektrodenabstand von 1,3 mm. Bei so kleinen Bogenlängen führen bereits sehr geringe Abweichungen vom Nominalwert zu starken Änderungen der Brennspannung; eine Änderung um 0,1 mm beispielweise zu einer Brennspannungsänderung von 6 V. Würde man eine solche Lampe mit einem konventionellen induktiven Ballast betreiben, würde dies zu einer Änderung der aufgenommenen Leistung um etwa 15% führen. Dies wiederum würde die thermische Bilanz der Lampe erheblich ändern und dadurch die Lebensdauer verkürzen. Aus diesem Grund wurde für die Lampe ein spezieller leistungsgeregelter Ballast entwickelt, der stets die optimalen Betriebsbedingungen garantiert (siehe Titelbild dieses Heftes).

Das Spektrum der Lampe entspricht dem in Abb. 2 dargestellten Verlauf (200 bar). Die Farbtemperatur beträgt 8500 K, der Farbort

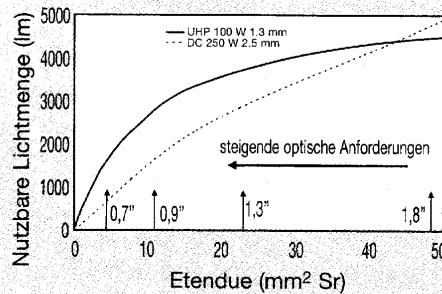


Abb. 6: Nutzbare Strahlung von UHP-Lampen und Metallhalogenidlampen in Abhängigkeit von der Etendue des Projektionssystems. Markiert sind Etendue-Werte für unterschiedliche Display-Größen.

liegt auf der Tageslicht-Kurve ($x=0,289 \pm 0,015$; $y=0,302 \pm 0,015$). Da die Lampe nicht abschwärzt und keine irreversiblen chemischen Reaktionen stattfinden, sind die Farbeigenschaften über die gesamte Lebensdauer praktisch konstant. Das Gleiche gilt für die emittierte Lichtmenge. Die Gesamteffizienz bleibt bei 100%, wie zahlreiche Tests bis zu mehr als 8000 Stunden bewiesen haben. Das in einem fokussierten Bündel nutzbare Licht nimmt allerdings leicht ab. Über sehr lange Zeiten kommt es zu leichter Quarz-Rekristallisation in den heißesten Zonen. Die dadurch bedingte Lichtstreuung reduziert die Fokussierbarkeit. Zusätzliche Bündelverluste können durch Degradation der Reflektoren entstehen. Für Lampen in einem parabolischen Reflektor – der Anordnung des kommerziellen Produkts –, wurden nach 8000 Stunden Brenndauer in einem Lichtbündel von 3° Öffnungswinkel 80–85% der anfänglichen Lichtmenge gemessen.

Für die UHP-Lampe läßt sich kein klar definiertes Ende der Lebensdauer angeben. Während Metallhalogenidlampen durch Abschwärzung unbrauchbar werden oder sich nach gewisser Zeit nicht mehr zünden lassen, ändern UHP-Lampen ihre lichttechnischen und elektrischen Daten praktisch nicht. Das Ende der Lebensdauer wird meistens durch Materialermüdung oder durch den Aufbau von Spannungen im Lampenkolben bestimmt. Dadurch ist Explosion häufig die Ausfallursache. Aus diesem Grund werden UHP-Lampen grundsätzlich nur fertig montiert in einem explosions-sicheren Reflektor mit Frontscheibe an Kunden abgegeben. Trotz des hohen Betriebsdrucks ist die Explosionsenergie wegen des kleinen Volumens zwar gering, wegen der Anwendung in Projektoren muß jedoch sichergestellt sein, daß weder Glassplinter noch Quecksilber aus dem Lampengehäuse entweichen können. Die Reflektoranordnung ist darum so gestaltet, daß zwar ein Druckausgleich mit der Umgebung stattfinden kann, aber keine Partikel entweichen können (siehe Titelbild).

4. Zusammenfassung und Ausblick

Das UHP-Konzept, also die Kombination einer Quecksilberhöchstdruckentladung mit einem Halogenkreisprozeß, hat sich als erfolgreich erwiesen, um Lichtquellen mit bisher nicht erreichter Leuchtdichte, langer Lebensdauer und stabilen Lampeneigenschaften zu realisieren.

Durch diese neue Technologie eröffnen sich für das Projektionsfernsehen neue Möglichkeiten. Erst durch die mit UHP-Lampen möglichen hohen Leuchtdichten wird die Realisierung kleinerer und damit preiswerterer LCDs sinnvoll. Abb. 6 zeigt, wie sich die nutzbare Lichtmenge ändert, wenn die Größe der LCDs und damit die Etendue des Systems kleiner wird. Schon bei den derzeit am meisten verwendeten Display-Abmessungen von $1,3''$ erreicht man mit UHP-Lampen trotz einer Leistung von nur 100 W eine höhere Effizienz als mit den besten zur Zeit verfügbaren Metallhalogenidlampen mit 250 W. Mit steigenden optischen Anforderungen, also kleineren Displays, wird der Unterschied immer gravierender.

UHP-Lampen erlauben es, die Fläche der LCDs (und damit die Kosten), bei gleicher Effizienz auf etwa 30% zu reduzieren. Dies könnte für die Zukunft den Durchbruch dieses neuen Systems als Standard für den Fernsehmarkt bedeuten.

Natürlich erreicht die heutige UHP-Lampe noch nicht die Idealwerte einer Punktlichtquelle, wie sie zu Anfang erwähnt wurde. Noch bessere Spektren und noch kürzere Bögen wären wünschenswert. Die Entwicklung wird deshalb in dieser Richtung weitergehen. Aber schon heute ist klar, daß auch die anderen Hersteller von Lampen dem von Philips vorgegebenen Weg folgen werden.

Literatur

- [1] M. Brennesholtz, „Light collection efficiency for light valve projection systems“, in Projection Displays II, Proc. SPIE 2650
- [2] T. Higashi, „Long-Life DC Metal-Halide Lamps for LCD Projectors“ in SID95
- [3] E. Fischer, H. Hörster, „Hochdruck-Quecksilberdampfentladungslampe“, Patent DE 3813421
- [4] W. Elenbaas, „The High Pressure Mercury Vapour Discharge“, North Holland, Amsterdam, 1951
- [5] G. Dittmer, A. Klopfer, J. Schröder, Philips Res. Repts. **32**, 341 (1977)
- [6] E. Fischer, Proc. Symp. High Temp. Lamp Chem. II, S. 111, Toronto, Canada (1985)
- [7] E. Fischer, E. Schnedler, Proc. 5th Int. Symp. on the Sci. & Techn. of Light Sources, York, England (1989)