

Projektierung und Messung der Beleuchtung in Sportstätten

LITG

LICHTTECHNISCHE GESELLSCHAFT E. V.

Sonderdruck
aus der Zeitschrift »LICHTTECHNIK«
Jahrgang 26 (1974) · Heft 3 · Seiten 87 bis 90

Helios-Verlag GmbH
1 Berlin 52 (Borsigwalde)

Sportstättenbeleuchtung, Empfehlungen für die Projektierung und Messung der Beleuchtung

1. Vorwort

von A. Wald, Obmann des FNL 13 „Sportstättenbeleuchtung“

Im Jahre 1972 wurden die Entwürfe von DIN 67 526 „Sportstättenbeleuchtung“ Blatt 1 „Richtlinien für die Beleuchtung mit künstlichem Licht“ sowie Blatt 2 „Richtlinien für Fernseh- und Filmaufnahmen“ veröffentlicht. Aus der Zahl der Einsprüche war abzulesen, daß diese Normblätter ein reges Interesse in der Öffentlichkeit gefunden haben. Die Normblätter können bei der Beuth-Vertrieb GmbH, 1 Berlin 30, Burggrafenstr. 4—7, bezogen werden.

Es ist von besonderer Wichtigkeit, daß die in den DIN-Blättern vorgegebenen lichttechnischen Werte bei der Projektierung und Messung einheitlich angewendet werden.

Dem *Fachnormenausschuß Lichttechnik (FNL) 3* ist die Aufgabe erteilt worden, in einer Normvorlage 005032 Blatt 5 „Messung der Beleuchtung“ auch das Thema Sportstättenbeleuchtung mit zu behandeln. Da aber erfahrungsgemäß bis zum Erscheinen einer solchen Norm geraume Zeit verstreicht, hat der Verfasser dieses Artikels zusammen mit einigen weiteren Mitarbeitern des FNL 13 „Sportstättenbeleuchtung“ die Überlegungen zusammengetragen, wie bei den Sportstätten eine sinnvolle Einteilung der Berechnungs- und Meßpunkte zur Mittelwertbildung der Beleuchtungsstärken sowie zur Bestimmung von deren Gleichmäßigkeit erfolgen sollte.

Bei diesen Überlegungen wurde besonders darauf geachtet, daß sich einerseits für die Projektierung bzw. Computerberechnung sowie für die Messung der Aufwand in vertretbaren Grenzen hält, aber andererseits auch ein für die Praxis hinreichend genaues Ergebnis erzielt wird.

Es wäre wünschenswert, wenn die Leser des Artikels zu diesem Vorschlag Stellung beziehen und gegebenenfalls hiervon abweichende Überlegungen dem Verfasser zur Kenntnis geben würden.

*) Obering. Dipl.-Ing. H. Welter, Betriebsverwaltung RWE-Stromversorgung Mönchengladbach, ist Mitarbeiter im FNL 13 „Sportstättenbeleuchtung“; der Artikel entstand unter Mitwirkung von Dipl.-Ing. E. K. Müller, AEG Hameln; Ing. (grad.) Josef Roch, Siemens Erlangen; Dr.-Ing. Dipl.-Phys. In der Smitten, WDR Köln; Ing. (grad.) C.-H. Zieseniß, Deutsche Philips Hamburg.

2. Raster für Berechnungs- und Meßpunkte

In der Norm DIN 67 526, Blatt 2, heißt es unter Ziffer 2 „Anforderungen an die Beleuchtung“:

„Für die Mittelwertbildung und zur Bestimmung der Gleichmäßigkeit sind über die gesamte Sportfläche rasterförmig verteilte Berechnungs- und Meßpunkte erforderlich.“

In den *Bildern 1 und 2* sind die Sportflächen ohne und mit Umlaufbahn dargestellt, wobei das Spielfeld ohne Umlaufbahn mit reduzierten Maßen auch für Hallen gelten kann. Über die beiden Sportflächen sind in gleichmäßigen Abständen Berechnungs- und Meßpunkte aufgetragen. Die gleichmäßige Verteilung der Meßpunkte über die gesamte Fläche mit jeweils gleichen Abständen in Längs- und Querrichtung nennt man „Raster“. Die Rastergröße wird von einigen Faktoren maßgeblich beeinflußt. Die im Normblatt 67 526, Blatt 2, genannte mittlere Beleuchtungsstärke und die Gleichmäßigkeit der Beleuchtung sind ebenso mitbestimmend wie die Lichtverteilung, die sich je nach Anlage aus Anzahl und Art der in Frage kommenden Scheinwerfer bzw. Leuchten ergibt. Bei kleinem Rastermaß lassen sich die mittlere Beleuchtungsstärke und die Gleichmäßigkeit mit großem Aufwand relativ genau ermitteln. Bei sehr großem Rastermaß besteht die Gefahr, daß Minima und Maxima der Beleuchtungsstärke zwischen den Meßpunkten liegen und dadurch nicht erfaßt werden, was besonders bei stark bündelnden Scheinwerfern der Fall sein kann. Um jedoch den Berechnungs- und Meßaufwand in vertretbaren Grenzen zu halten, wird eine mittlere Rastergröße angestrebt.

Je nach Form der Sportfläche werden folgende Fälle unterschieden:

2.1 Rechteckige Sportfläche (Spielfeld ohne Umlaufbahn)

Für das Spielfeld von der Länge p und der Breite q wird ein Rastermaß von

$$\Delta p = \frac{p}{8} \text{ bzw. } \Delta q = \frac{q}{6}$$

empfohlen. Die Ecken der einzelnen Rasterfelder sind die Berechnungs- und Meßpunkte für die Beleuchtungsstärke.

Es wird vorgeschlagen, bei der Mittelwertbildung die vollen Werte dieser Punkte zu verwenden. Dadurch wird eine Fläche bewertet, die größer ist als die eigentliche Sportfläche. Da sowohl für den Sportler als auch für Aufnahmen für das Fernsehen die Beleuchtung der an den Sportplatz angrenzenden Fläche von Bedeutung ist, erscheint dieses Verfahren berechtigt.

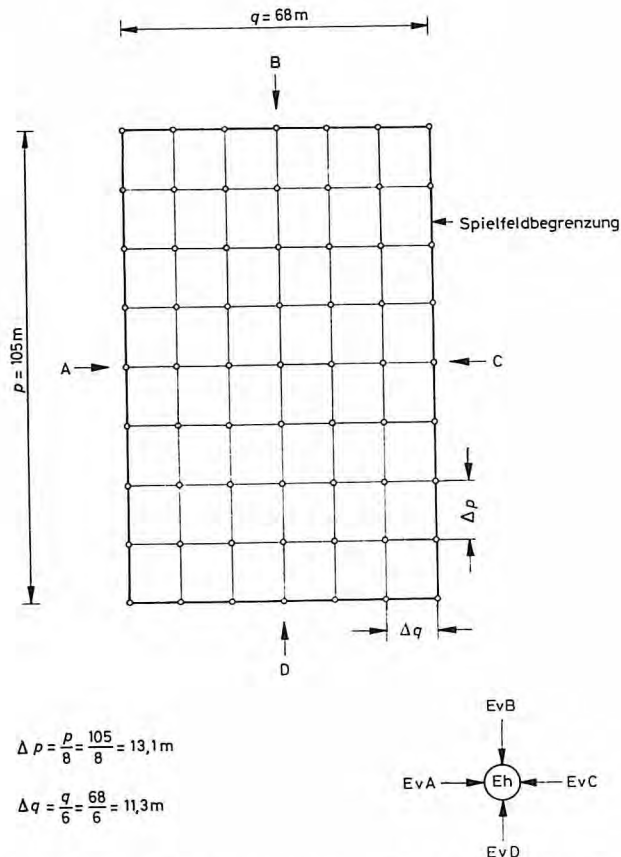


Bild 1. Einteilung der Berechnungs- und Meßpunkte an dem Beispiel eines Fußballfeldes mit den Abmessungen $68 \times 105\text{ m}$

2.2 Ovale Sportfläche (Spielfeld mit Umlaufbahn)

Für das Spielfeld von der Länge p und der Breite q wird — wie unter Ziffer 2.1 beschrieben — das Rastermaß festgelegt. Der Raster wird jedoch soweit ausgelegt, daß auch die Flächen bis zur Umlaufbahn (Bild 2) mit erfaßt werden, wobei wiederum die Ecken des einzelnen Rasterfeldes die Berechnungs- und Meßpunkte darstellen.

2.3 Umlaufbahnen

Unter den Begriff Umlaufbahnen fallen im Rahmen dieser Betrachtungen nicht nur die Bahnen in den Stadien, sondern analog dazu auch Trabrennbahnen, Eisschnelllaufbahnen, Radrennbahnen usw. Hinsichtlich der Rasterteilung sollte für diese Bahnen eine gesonderte Festlegung getroffen werden, da eine Übernahme des Spielfeldrasters auf die Umlaufbahn nicht in allen Fällen möglich und zweckmäßig ist. Hierbei sind jedoch die unterschiedlichen Längen- und Breitenverhältnisse der verschiedenen Bahnen zu berücksichtigen, so daß es sinnvoll ist, zwischen Umlaufbahnen in Sportstadien und sonstigen Bahnen zu unterscheiden.

2.3.1 Umlaufbahnen in Sportstadien

Die Breite der Umlaufbahn liegt bei den Kampfbahntypen A und B zwischen $7,60\text{ m}$ und $10,04\text{ m}$. Die Berechnungs- und Meß-

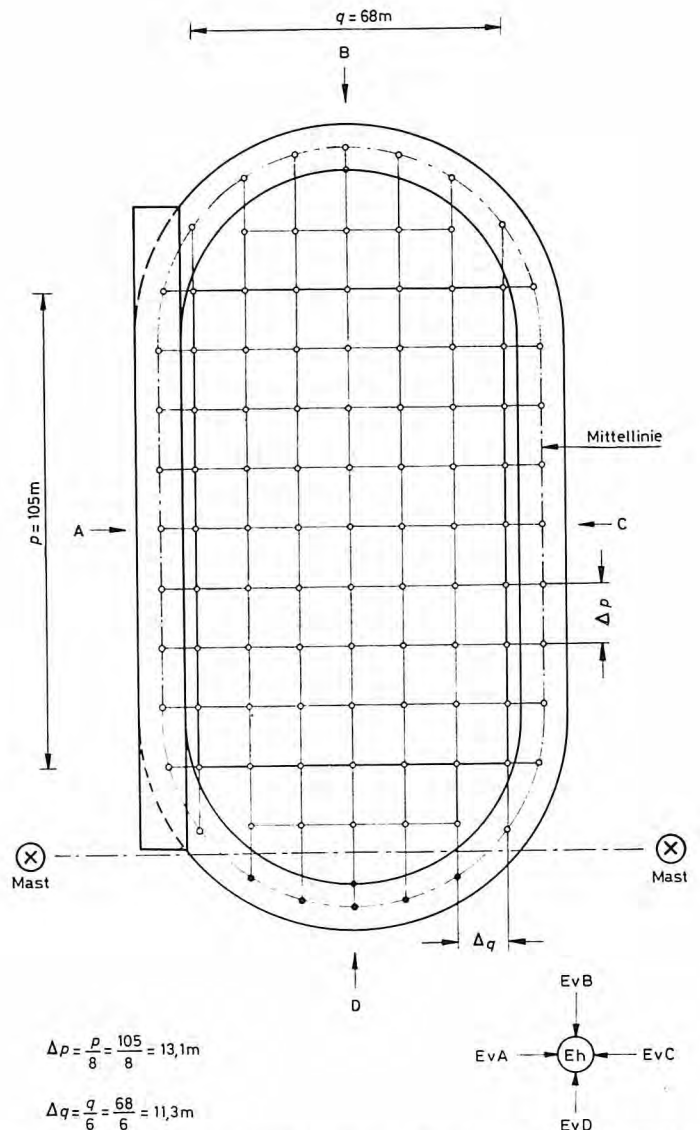


Bild 2. Einteilung der Berechnungs- und Meßpunkte bei Kampfbahn Typ A. An den gekennzeichneten Meßpunkten außerhalb der Verbindungslinie der beiden Beleuchtungsmaste ergibt sich in Richtung D keine Vertikalbeleuchtungsstärke

punkte sollten bei diesen Bahnen mit den Schnittpunkten identisch sein, die sich aus dem Schnitt der verlängerten Rasterlinien mit einer umlaufenden Mittellinie ergeben (Bild 2).

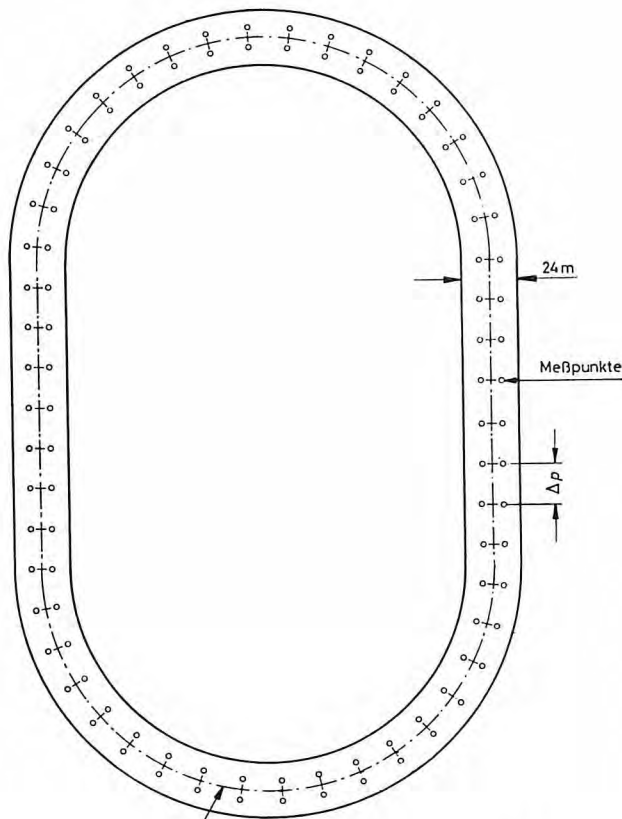
2.3.2 Sonstige Umlaufbahnen

Bei Umlaufbahnen mit Breiten über 20 m sollten (z. B. bei Trabrennbahnen) in der Querrichtung zwei Meßpunkte vorgesehen werden, die jeweils bei einem Drittel der Breite liegen. In Längsrichtung ist die Bahn gleichmäßig zu unterteilen, wobei sich die Abstände der Berechnungs- und Meßpunkte in der Größenordnung von 15 m bis 20 m bewegen sollten (Bild 3).

3. Messung der Beleuchtungsstärke

Wie bereits in der Veröffentlichung „Beleuchtung von Sportstätten für das Farbfernsehen“ (2) des LiTG-Fachausschusses „Sportstättenbeleuchtung“ ausgeführt, ist für die Aufnahme, wie beim Sehen, die Leuchtdichte des Objektes in Richtung auf die Kamera maßgebend (Bild 4).

Der Reflexionsgrad der Objekte ist im allgemeinen nicht bekannt und vor allem einem gewissen Wechsel unterworfen. Es ist daher in der Norm als Bestimmungsgröße die Vertikalbeleuch-



Mittellinie: Länge $p = 900 \text{ m}$

$$\Delta p = \frac{p}{n} = \frac{900}{50} = 18 \text{ m}$$

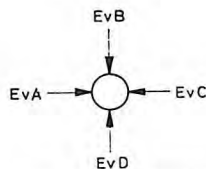


Bild 3. Einteilung der Meßpunkte bei einer ovalen Sportfläche, dargestellt am Beispiel einer Trabrennbahn



Bild 4. Leuchtdichte des Aufnahmeobjektes in Richtung zur Kamera bestimmt die Bildqualität

tungsstärke* angegeben, die bei einem festgelegten Remissionsgrad für „Weiß“ zur Aussteuerung der Kamera hinreicht.

Die Bilder 5 und 6 zeigen ein Stativ mit einer Befestigungseinrichtung für die Meßzelle zur Ermittlung der Horizontal- und Vertikal-Beleuchtungsstärken.

Es liegt auf der Hand, daß die Werte in einer einheitlichen Höhe von etwa 1 m über der Sportfläche gemessen werden. Es empfiehlt sich, die Meßwerte in ein Meßblatt einzutragen, um einen guten Überblick über die Verteilung der Beleuchtungsstärke zu erhalten (Bild 7).

4. Berechnung der mittleren Beleuchtungsstärke

4.1 Mittlere Horizontalbeleuchtungsstärke

Zur Berechnung der mittleren Horizontalbeleuchtungsstärke (\bar{E}_h) werden alle Meßwerte (E_h) addiert und durch die Anzahl der Meßwerte (n) dividiert.

$$\bar{E}_h = \frac{\sum E_h}{n}$$

*) Dabei ist die Vertikalbeleuchtungsstärke die an einer vertikalen Fläche vorhandene Beleuchtungsstärke, d. h. der auf ein vertikales Flächenelement auffallende Lichtstrom, bezogen auf das Flächenelement. Entsprechend muß die lichtempfindliche Fläche bei der Messung von Vertikalbeleuchtungsstärken ebenfalls senkrecht stehen.



Bilder 5 und 6. Messung der Horizontalbeleuchtungsstärke (Bild links) und der Vertikalbeleuchtungsstärke (Bild rechts) mit Fotoelement und cos-Vorsatz auf Stativ

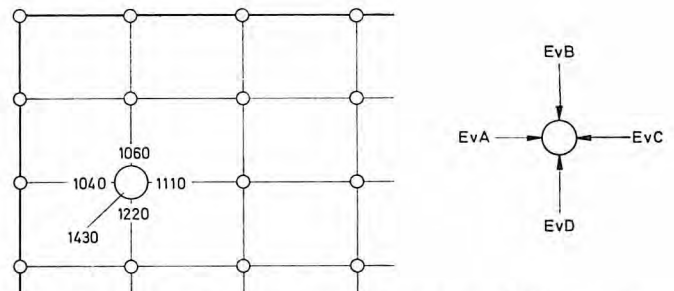


Bild 7. Beispiel für Eintragung der Meßwerte in ein Meßprotokoll

4.2 Mittlere Vertikalbeleuchtungsstärke

Zur Berechnung der mittleren Vertikalbeleuchtungsstärke (\bar{E}_v) einer Richtung werden alle Meßwerte dieser Richtung, z. B. (E_{vA}) addiert und durch die Anzahl der Meßwerte (n) dividiert.

$$\bar{E}_{vA} = \frac{\sum E_{vA}}{n} ; \quad \bar{E}_{vB} = \frac{\sum E_{vB}}{n}$$

$$\bar{E}_{vC} = \frac{\sum E_{vC}}{n} ; \quad \bar{E}_{vD} = \frac{\sum E_{vD}}{n}$$

Bei einer Sportfläche mit Umlaufbahn sind die Meßwerte im Bereich der Umlaufbahn sowohl bei der Berechnung der mittleren Horizontal- als auch der mittleren Vertikalbeleuchtungsstärke in die Rechnung mit einzubeziehen. Lediglich bei der Ermittlung der Vertikalbeleuchtungsstärken \bar{E}_{vB} und \bar{E}_{vD} können Punkte in den Umlaufbögen, die außerhalb der Verbindungslinie der Maste liegen, außer Ansatz bleiben (s. Bild 2). In diesen Punkten ist in Richtung B bzw. D keine Vertikalbeleuchtungsstärke vorhanden.

5. Gleichmäßigkeit der Beleuchtung

In der Praxis wird man eine gewisse Ungleichmäßigkeit der Beleuchtungsstärke in Kauf nehmen müssen. Von der Aufnahmetechnik her gesehen ist es zweckmäßig, das Verhältnis des Minimal- zum Maximalwert der Beleuchtungsstärke zu begrenzen. Im Abschnitt 2.2 „Gleichmäßigkeit der Beleuchtung“ des Normblattes DIN 67 526, Blatt 2, sind daher die Verhältnisse für die Horizontal- und Vertikalbeleuchtungsstärke festgelegt.

Die Maximal- und Minimalwerte sowohl der Horizontal- als auch der Vertikalbeleuchtungsstärke jeder Richtung A—D sind dem Meßblatt zu entnehmen und in die Gleichungen des Normblattes einzusetzen.

So gilt z. B. für:

a) die Gleichmäßigkeit der Horizontalbeleuchtungsstärke

$$g_{2h} = \frac{E_{h \min}}{E_{h \max}} \geq 1:2$$

b) die Gleichmäßigkeit der Vertikalbeleuchtungsstärke in den Richtungen A—D

$$g_{2v(A-D)} = \frac{E_{v(A-D) \min}}{E_{v(A-D) \max}} \geq 1:3$$

Erfahrungsgemäß fallen die Beleuchtungsstärken zu den Spielfeldrändern und den angrenzenden Umlaufbahnen hin ab. Die Erfüllung der in der Norm genannten Bedingungen wird unter Berücksichtigung dieser Erkenntnis insbesondere bei Kampfbahnen zu Schwierigkeiten führen, wenn in die Gleichmäßigkeitsermittlung sowohl die Meßwerte des Spielfeldes als auch der Umlaufbahn einbezogen werden. Da jedoch in der Praxis die Fernsehkamera mit den Aufnahmen nicht ständig von der Umlaufbahn zum Spielfeld und umgekehrt wechselt, können Gleichmäßigkeitsbetrachtungen für Spielfeld und Umlaufbahn getrennt durchgeführt werden, wobei auch für die Umlaufbahn die in der Norm genannten Verhältnisse g_{2h} und g_{2v} eingehalten werden sollen.

6. Allgemeine Angaben zur Messung

6.1 Bevor die Messung beginnt, müssen die Lampen ihren stationären Betriebszustand erreicht haben. Zu diesem Zweck sind Beleuchtungsanlagen mit Entladungslampen etwa 15 Minuten vor der Messung einzuschalten.

6.2 Für die Beleuchtungsstärkemessung wird ein Meßgerät mit Fotoelement (Empfänger) verwendet. Das Fotoelement ist mit einem $V(\lambda)$ -Filter und \cos -Vorsatz zu versehen, damit unzulässig hohe Meßfehler vermieden werden.

Es ist darauf zu achten, daß das Meßgerät in regelmäßigen Abständen kalibriert wird. Man muß damit rechnen, daß selbst bei hochwertigen Meßinstrumenten unter diesen Voraussetzungen die Meßwerte bis zu $\pm 5\%$ vom richtigen Wert abweichen.

Beim Messen selber sollte man darauf achten, daß das Fotoelement nicht beschattet oder durch Reflexion des Lichts durch die Bekleidung des Messenden zusätzlich aufgehellt wird.

Bei Messungen von Außenanlagen kann die Temperatur der Meßeinrichtung von der, für die das Meßgerät kalibriert ist, abweichen. Dadurch ergeben sich Meßabweichungen. Man sollte dann die Betriebsanleitungen der Meßgerätehersteller bezüglich dieses Punktes beachten.

6.3 Es empfiehlt sich, über die Messung ein entsprechendes Protokoll anzufertigen, zu dem auch das bereits erwähnte Meßblatt mit Raster gehört. In das Protokoll sollte aufgenommen werden:

Sportstättenbezeichnung
Art der Beleuchtungsanlage (z. B. 4-Mast-Flutlichtanlage)
Lichtpunkthöhe
Anzahl der Scheinwerfer
Anzahl der Lampen
Lampenart
Anschlußwert
Betriebsdauer der Lampen
Reflexionsgrad der Begrenzungsflächen in Sporthallen
Betriebsspannung während der Messung
Temperatur während der Messung
Witterungsverhältnisse bei Außenanlagen
Zeitpunkt der letzten Reinigung
Nenndaten des Meßgerätes

Literatur

- [1] DIN 67 526 Blatt 2 — Richtlinien für Fernseh- und Filmaufnahmen.
- [2] LiTG-Fachausschuß „Sportstättenbeleuchtung“. Beleuchtung von Sportstätten für das Farbfernsehen. LICHTTECHNIK 20 (1969) Nr. 11, S. 125 A.

The author of this article, in conjunction with some members of the Committee for Standards Illumination Engineering 13 "Illumination of sports grounds and buildings" has compiled information on useful distribution of calculation and measuring points for average determination of brightness values as well as for determination of their uniformity. It was the particular objective of this study to keep the expenditure regarding planning and computerization as well as measuring within reasonable limits, but also to obtain a result which is sufficiently accurate for practical use.

En collaboration avec quelques membres du Comité de normalisation technique d'éclairage 13 «Illumination de stades et de palais des sports» l'auteur de cet article a rassemblé des recommandations concernant une distribution adéquate des points de mesure et de calcul en vue d'obtenir des luminances moyennes ainsi que de déterminer leur uniformité. En rassemblant ces informations on a particulièrement fait attention à ce que le déploiement pour la projection et la calcul électronique ainsi que le mesurage se tiennent dans des limites raisonnables, mais d'autre part permet d'obtenir un résultat suffisamment exact pour la pratique.

(Eingegangen am 30. 8. 1973)

Beleuchtung für Tennis

LITG

LICHTTECHNISCHE GESELLSCHAFT E. V.

Sonderdruck
aus der Zeitschrift »LICHTTECHNIK«
Jahrgang 20 (1968) · Heft 1 · Seiten 6 A bis 10 A

Helios-Verlag GmbH
1 Berlin 52 (Borsigwalde)

Beleuchtung für Tennis

Herausgegeben vom LiTG-Fachausschuß „Sportstättenbeleuchtung“*

DK 628.971.7:725.893

1. Allgemeines

Tennis wird sowohl im Freien als auch in Hallen und auf überdachten Plätzen (Zelten) gespielt. Im Freien besteht die Spielfläche vorwiegend aus rotbraunem Untergrund. In der Halle wird sie durch den meist hell- bis dunkelbraunen Fußboden gebildet. Die Abmessungen eines Tennisplatzes sind aus Bild 1 ersichtlich.

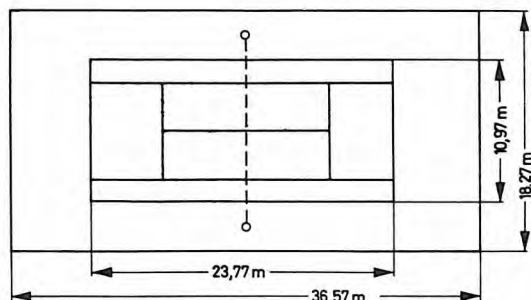


Bild 1. Die Abmessungen eines Tennisplatzes

Das Netz hat eine Höhe von 0,914 m bis 1,06 m über dem Boden. Der kugelförmige Ball hat einen Durchmesser von 6,35 cm bis 6,6 cm. Er ist im Neuzustand weiß.

2. Einteilung der Sportstätten

Die Anlagen werden für die nachfolgenden Betrachtungen eingeteilt in:

2. 1. Plätze im Freien
 - 2.11. für Trainingsspiele
 - 2.12. für Wettspiele
2. 2. Hallen oder Zelte
 - 2.21. für Trainingsspiele
 - 2.22. für Wettspiele

Während die Plätze im Freien ausschließlich für den Tennissport geschaffen sind, dienen Hallen oft auch mehreren Sportarten, z. B. Turnen, Hallenhandball usw.

3. Schaufgabe

Der Tennissport stellt an das Sehvermögen von Spielern und Zuschauern hohe Anforderungen, da der kleine Ball sich oft mit sehr hohen Geschwindigkeiten bewegt, was die Spieler zu einem raschen Wechsel von Blickrichtung und Standort zwingt. Die kleinsten Sehwinkel, bei denen der Ball noch gut

* Mitarbeiter des LiTG-Fachausschusses „Sportstättenbeleuchtung“ sind die Herren Dipl.-Ing. L. Eichhoff, Dipl.-Phys. A. Gamber, Ing. H. Gerbig, B. Hoffstadt, Ing. D. Lemm, Dipl.-Ing. E. K. Müller, Dipl.-Ing. A. Völker, Ing. L. Völkel, Dipl.-Ing. A. Wald, Ing. C.-H. Ziesenis

erkannt werden muß, treten bei den größten möglichen Entfernungen des Beobachters auf. Für die Zuschauer ergeben sich je nach Ausdehnung der Zuschauerränge unterschiedliche und größere Entfernungen als für die Spieler.

Kleinster Sehwinkel für die Spieler $6,5^\circ$ bei 35 m Entfernung. Kleinster Sehwinkel für die Zuschauer $4,5^\circ$ bei 50 m Entfernung.

Die für das Erkennen des Balles maßgeblichen Grundempfindungen sind die Unterschiedsempfindlichkeit und die Unterschiedsempfindungsgeschwindigkeit. Dagegen spielt die Formempfindlichkeit eine geringere Rolle.

Der Ball kann dann gut gesehen werden, wenn er zu seinem Hintergrund einen ausreichenden Kontrast bildet.

Der Reflexionsgrad des Balles beträgt $\rho_B = 0,4$ bis $0,8$; für die Spielfläche wird ein Reflexionsgrad von $\rho_G = 0,15$ bis $0,3$ empfohlen. Hieraus ergeben sich in der Praxis Kontraste $\frac{\Delta L}{L}$ von etwa $0,5$ bis 4 .

Der Ball wird aber nicht nur gegen die Spielflächen als Kontrast gesehen. In Hallen ist deshalb darauf zu achten, daß die Wände vor allem hinter den Grundlinien einen niedrigen Reflexionsgrad haben ($<0,3$), damit der hellere Ball sich gut vor einer dunkleren Fläche abhebt. Bei Plätzen im Freien liegen andere Verhältnisse vor. Der das Spielfeld umgebende Raum ist dunkel, und zwischen Ball und Hintergrund bestehen größere Kontraste als in Hallen. Im Freien kommt man deshalb bei gleichen Ansprüchen mit einem geringeren Beleuchtungsniveau aus. Ein vollkommen dunkler Hintergrund hat aber den Nachteil, daß die Spieler zu stark umadaptieren müssen. Deshalb ist eine schwache Aufhellung des Hintergrundes zu empfehlen, die sich durch entsprechende Beleuchtung der häufig auch am Tage benutzten dunklen Planen erreichen läßt. Unter diesen Voraussetzungen läßt sich insbesondere aus den Arbeiten von Blackwell [1] die erforderliche Leuchtdichte und damit die Beleuchtungsstärke abschätzen.

4. Lichttechnische Forderungen an die Beleuchtungsanlage

4.1. Beleuchtungsstärke

Unter Berücksichtigung der unter 3 beschriebenen Schaufgabe und des wirtschaftlich vertretbaren Aufwandes sind für die mittlere horizontale Beleuchtungsstärke folgende Werte auf der Spielfläche zu empfehlen:

Plätze im Freien für Trainingsspiele	(2.11)	120	lx
Plätze im Freien für Wettspiele	(2.12)	200—400	lx
Hallen oder Zelte für Trainingsspiele	(2.21)	200	lx
Hallen oder Zelte für Wettspiele	(2.22)	400—800	lx

Die angegebenen Werte gelten für den mittleren Betriebszustand der Anlage. Für die Planung sind diese Werte mit dem Faktor $1,25$ zu multiplizieren. Die aufgeführten oberen Werte sind bei höheren Anforderungen an die Sehleistung anzuwen-

den oder wenn der Abstand zwischen dem entferntesten Zuschauerplatz und dem Spielfeld groß ist.

Ein gutes Wahrnehmen des Balles setzt eine ausreichende Helligkeit über dem Spielfeld bis zu etwa 5 m Höhe voraus. Diese Forderung wird bei Einhaltung von Punkt 7 dieser Empfehlungen erfüllt.

4.2. Gleichmäßigkeit

Für die örtliche Gleichmäßigkeit $g_1 = E_{\min} : E_m$ der horizontalen Beleuchtungsstärke auf dem Spielfeld dürfen folgende Werte nicht unterschritten werden:

Anlagen für Trainingsspiele	(2.11 und 2.21)	$g_1 = 1 : 1,5$
Anlagen für Wettspiele	(2.12 und 2.22)	$g_1 = 1 : 1,3$

Fliegt der Ball von einer helleren in eine dunklere Zone oder umgekehrt, so scheint für den Beobachter die Geschwindigkeit des Balles zu- oder abzunehmen. Dadurch kann es zu einer falschen Abschätzung von Flugbahn und Aufschlagpunkt des Balles kommen. Sprunghafte Änderungen der Raumhelligkeit müssen daher auch über dem Spielfeld vermieden werden. Eine kontinuierliche Abnahme der Beleuchtungsstärke mit zunehmender Höhe ist dagegen zulässig, da höhergeschlagene Bälle in ihrer Flugbahn besser verfolgt werden können.

Auf zeitliche Gleichmäßigkeit der Beleuchtung ist zu achten, um störende stroboskopische Effekte zu vermeiden (Anwendung von Dreiphasen- oder Duo-Schaltung).

4.3. Schattigkeit

Das Erkennen des Balles wird durch eine kontrastreiche Beleuchtung gefördert. Deshalb ist eine ausreichende Schattigkeit der Beleuchtung notwendig. Während diese Forderung bei Außenanlagen im allgemeinen erfüllt wird, ist in Hallen darauf zu achten, daß der Indirektanteil der Beleuchtung gering gehalten wird.

Da ein sprunghafter Wechsel der Leuchtdichtevertelung auf dem Ball sehr störend ist, soll die Schattigkeit des Balles innerhalb der Flugbahn möglichst konstant sein. Außerdem muß vermieden werden, daß sich auf der Spielfläche Schlag Schatten bilden, die weniger durch den kleinen Ball als durch die Spieler verursacht werden können. Zur Beseitigung oder Milderung der Schlag Schatten muß jede Spielfeldzone aus verschiedenen Richtungen beleuchtet werden.

4.4. Blendung

Blendung setzt die Sehleistung herab und muß deshalb sowohl für die Spieler als auch für die Zuschauer soweit wie möglich vermieden werden. Da besonders die Spieler teilweise auch steil nach oben blicken müssen, ist eine vollkommene Blendungsfreiheit bei künstlicher Beleuchtung ebenso wie auch im Freien bei Sonnenschein im allgemeinen nicht zu erreichen. Die Beleuchtungsanlage muß aber mindestens die Forderung erfüllen, daß keine Blendstörungen in den hauptsächlich vorkommenden Blickrichtungen auftreten. Hierfür sind folgende Maßnahmen zu empfehlen:

1. Anordnung der Leuchten außerhalb der Spielfläche hinter den beiden Längsseiten;
2. Lichteinstrahlung vorzugsweise quer zum Spielfeld;
3. Abschirmung der Leuchten so weit, daß die Spieler von beliebigen Punkten des Spielfeldes und bei Blickrichtung bis 30° über der Horizontalen sowie die Zuschauer nicht direkt in die Lichtquellen sehen können.

Bei Anlagen in Hallen oder Zelten sollten die dem Auge dargebotenen Leuchtdichten kleiner als 0,4 sb sein. Höheren Leuchtdichten als 0,4 sb soll das Auge nur kurzzeitig und nur in Bereichen größer als 30° oberhalb der Horizontalen ausgesetzt werden.

4.5. Farbwiedergabe

Eine befriedigende Farbwiedergabe, insbesondere auch der Haut, ist anzustreben.

5. Lichtquellen

Für Außenanlagen eignen sich vorwiegend Glühlampen, Halogenglühlampen, Quecksilberdampf-Hochdrucklampen mit Leuchtstoff, Metallhalogendampf-Lampen und Mischlichtlam-

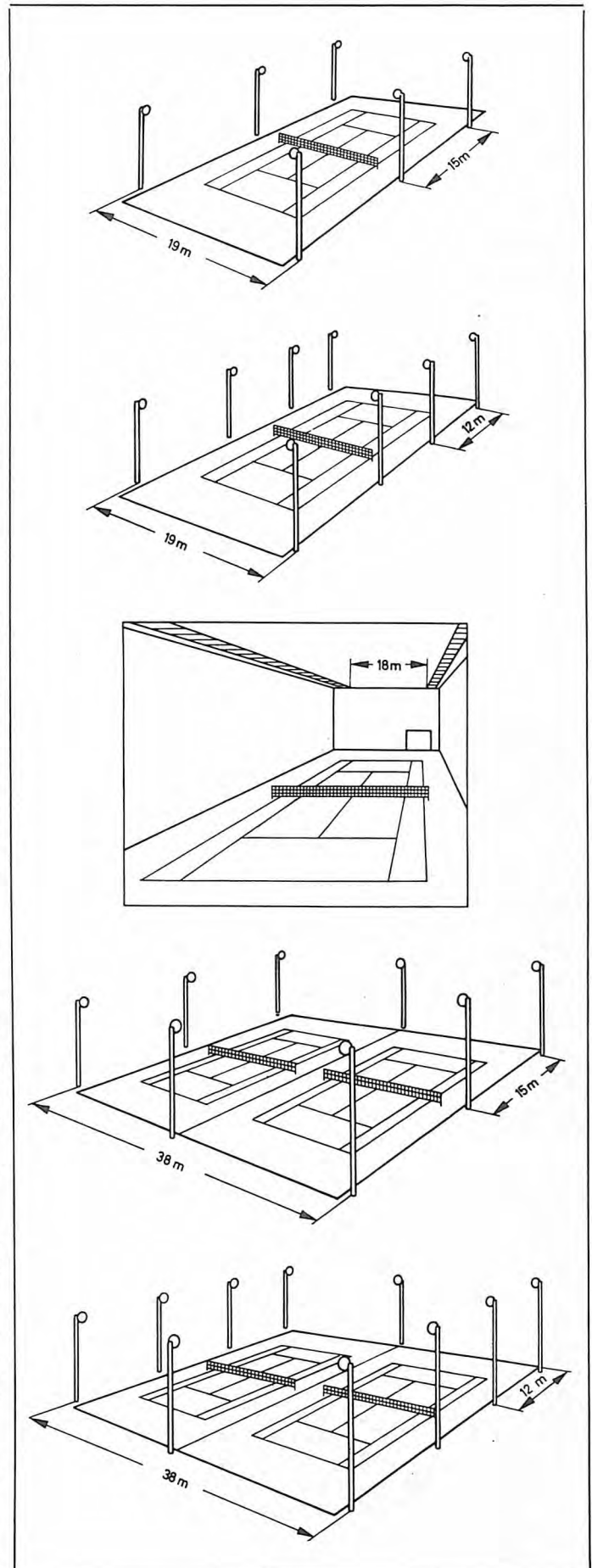


Bild 2. Leuchtenanordnungen

pen. In Hallen und Zelten sind Leuchtstofflampen am zweckmäßigsten.

6. Leuchten

Die Lichtverteilung der Leuchten muß so beschaffen sein, daß bei der gewählten Anordnung die Blendungsbedingungen sowie die empfohlene örtliche Gleichmäßigkeit und Schattigkeit eingehalten werden.

Die Leuchten müssen mechanischen Beanspruchungen, hervorgerufen durch auftreffende Bälle, widerstehen oder entzogen sein. Für die Beleuchtung von Anlagen im Freien sind Flutlichtgeräte zweckmäßig, für Innenanlagen eignen sich Leuchten mit direkter oder vorwiegend direkter Lichtverteilung.

7. Ausführung der Beleuchtungsanlage

Im Freien ist die Montage der Flutlichtgeräte an Masten zweckmäßig. Bei Anlagen für Wettspiele sollen die Maste hinter den Zuschauerplätzen stehen, um Sichtbehinderung auszuschließen.

Die Mindestlichtpunkthöhen betragen für Einzelplätze 9 m, für Doppelplätze 12 m.

In Hallen eignet sich vorzugsweise die Decke für die Anbringung der Leuchten. Bei Leuchten mit schrägstrahlender Lichtverteilung kann auch eine Wandmontage zweckmäßig sein.

In Anlagen, die abwechselnd Trainings- und Wettspielen dienen, ist durch Anordnung, Bestückung und Schaltmöglichkeit der Leuchten eine Anpassung an das erforderliche Beleuchtungsniveau so zu ermöglichen, daß die jeweils geforderten Gütermerkmale eingehalten werden.

Die auf *Bild 2* dargestellten Mast- und Leuchtenanordnungen sind zu empfehlen.

8. Messen der lichttechnischen Werte

Die Horizontalbeleuchtungsstärke soll direkt auf der Spielfläche oder höchstens 20 cm darüber gemessen werden. Dabei ist zu beachten, daß das Photoelement eine waagerechte Lage hat, cosinuskorrigiert ist und zusammen mit dem Anzeigeelement auf die zu messende Lichtzusammensetzung kalibriert ist.

Zur Bestimmung der mittleren Beleuchtungsstärke E_m ist die ganze Spielfläche in gleich große Teilfelder von etwa $3\text{ m} \times 3\text{ m}$ einzuteilen und in der Mitte jedes Teilfeldes die Beleuchtungsstärke zu messen. E_m ergibt sich dann als arithmetisches Mittel der einzelnen Beleuchtungsstärkewerte.

Zur Bestimmung der Gleichmäßigkeit der Beleuchtungsstärke auf dem Spielfeld ist der Punkt zu suchen, bei dem der Wert E_{\min} auftritt.

9. Wartung der Beleuchtungsanlage

Ausgefallene Lampen sind sofort zu ersetzen. Bei größeren Anlagen kann eine Gruppenauswechslung der Lampen — möglichst zu Beginn der Saison — zweckmäßig sein, um die Arbeitskosten gering zu halten und größere Lampenausfälle während der Hauptbenutzungszeit der Beleuchtungsanlage zu vermeiden.

Spätestens wenn die Beleuchtungsstärke auf der Spielfläche auf etwa 80 % des Betriebswertes gesunken ist, sollte die ganze Beleuchtungsanlage überholt werden. Hierbei sind die Leuchten und Lampen zu reinigen und letztere gegebenenfalls zu ersetzen.



Beispiele für die Beleuchtung von Tennishallen und Tennisplätzen

Bild 3. Sporthalle in Berlin-Wilmersdorf

Abmessungen: Spielfeld $42\text{ m} \times 22\text{ m}$
Leuchten: Spiegelleuchten für 2 Leuchtstofflampen 65 W
Bestückung: Je Leuchte 2 Leuchtstofflampen 65 W, Warmton
Beleuchtungsstärke:
 $E_m = 400\text{ lx}$
Bemerkungen: In Hallenmitte Ringbeleuchtung mit Glühlampen 500 W (2000 lx)

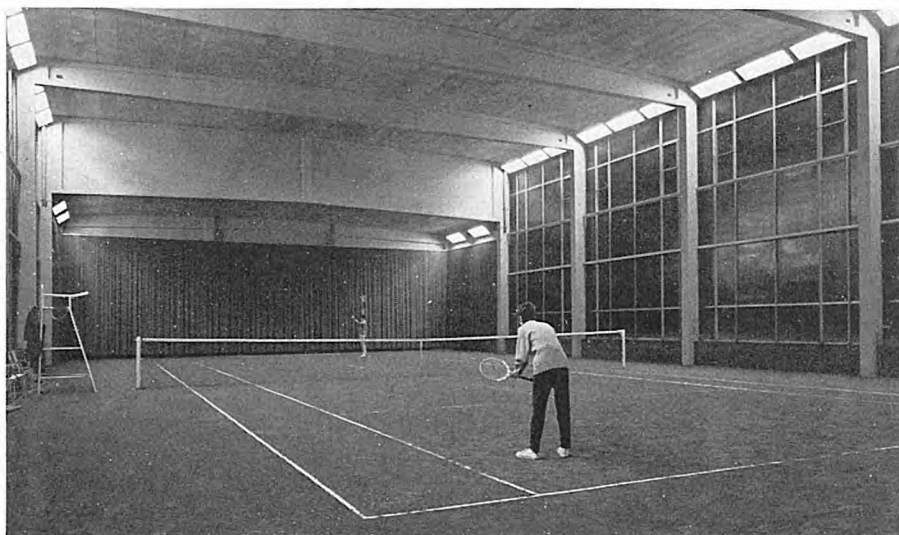


Bild 4. Tennishalle Augsburg II

Abmessungen: $34\text{ m} \times 18\text{ m}$, Höhe 8 m
Leuchten: Geschlossene Reflektorleuchten
 $3 \times 65\text{ W}$
Bestückung: 36 Leuchtstofflampen 65 W, Hellweiß
Beleuchtungsstärke:
 $E_m = 250\text{ lx}$
Bemerkungen: Halle mit Tennisboden und grünen Vorhängen

Bild 5. Turnierhalle des Bremer Tennisvereins v. 1896

Abmessungen: 40 m × 20 m
 Leuchten: Spiegelleuchten
 Bestückung: Je Leuchte 2 Leuchtstofflampen 65 W, Warmton
 Anordnung: Seitlich des Spielfeldes
 Beleuchtungsstärke:
 $E_m = 700 \text{ lx}$

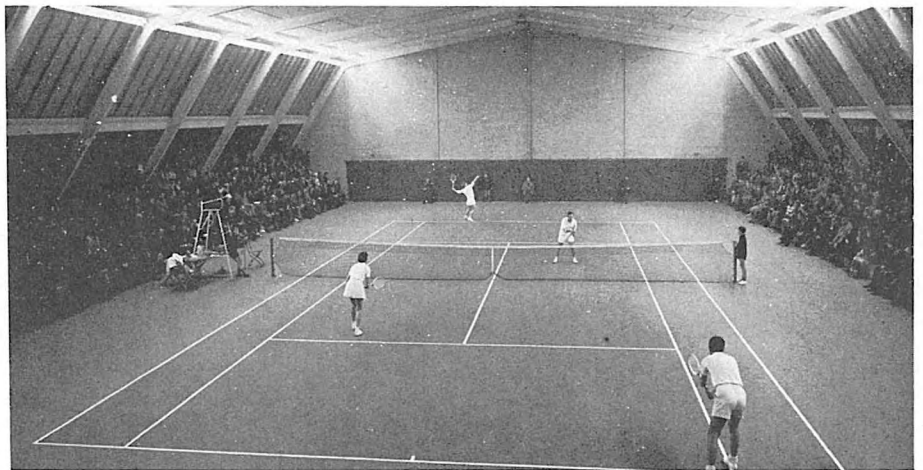


Bild 6. Luftgetragene Tennishalle Berlin

Abmessungen: Gesamtfläche 730 m², Spielfläche 260 m², Lichtpunkthöhe 4,8 m
 Leuchten: Reflektorleuchten mit Querlamellen
 Bestückung: 34 Leuchtstofflampen
 Beleuchtungsstärke:
 $E_m = 420 \text{ lx}$

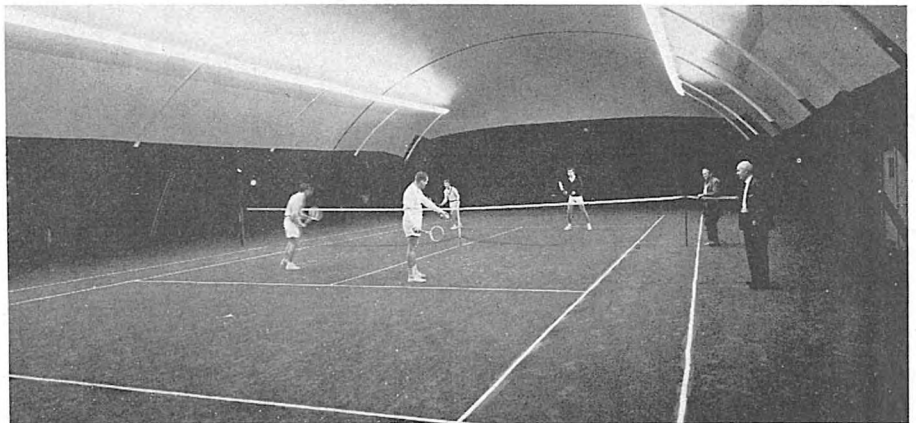


Bild 7. Tennishalle Berlin-Reinickendorf

Abmessungen: 41 m × 19 m, Höhe 6,5 m
 Leuchten: Spiegelleuchten mit Schutzgitter, schrägstrahlend
 Bestückung: Je Leuchte 2 Leuchtstofflampen 65 W, Warmton
 Anordnung: In Lichtbandanordnung seitlich des Spielfeldes
 Beleuchtungsstärke:
 $E_m = 400 \text{ lx}$

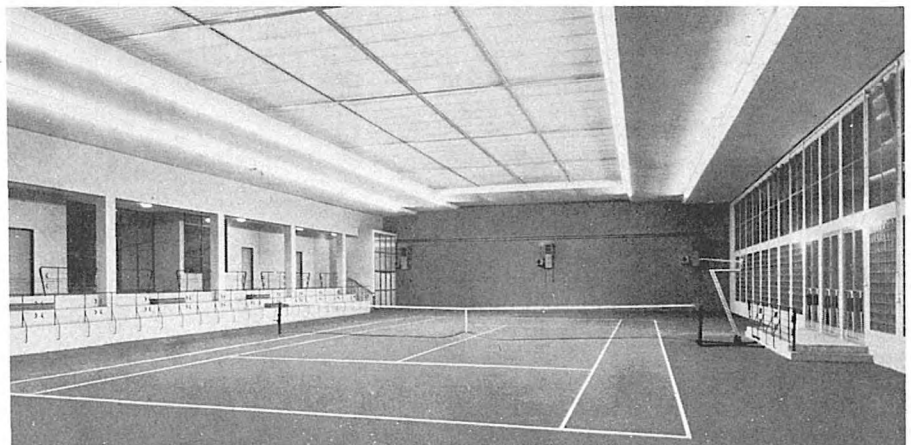


Bild 8. Traglufthalle der Hockey- und Tennisschule Oberhausen

Abmessungen: 48 m × 19 m, Höhe 8,5 m
 Leuchten: Reflektorleuchten mit Schutzraster; geschlitzte Reflektoren
 Bestückung: Je Leuchte 3 Leuchtstofflampen 65 W, Weiß
 Anordnung: Leuchten sind an Tragsseilen montiert, die von den Masten abgehängt werden
 Beleuchtungsstärke:
 $E_m = 210 \text{ lx}$



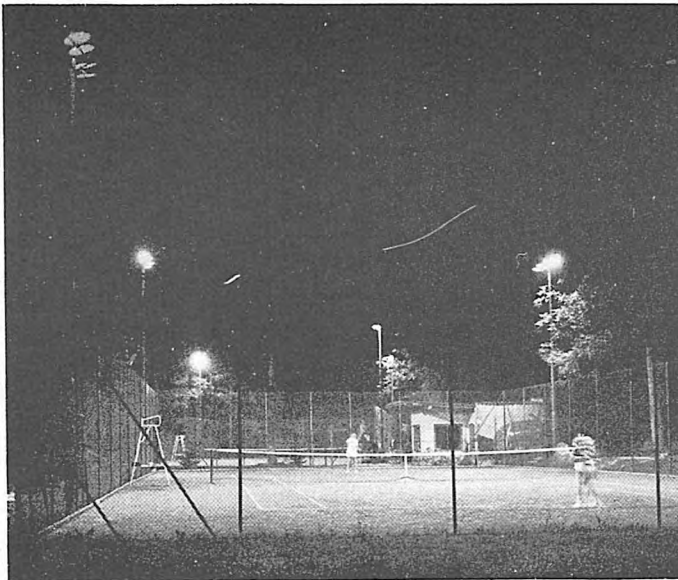


Bild 9. Tennisanlage Ruhpolding

Abmessungen: Einzelplätze 19 m × 38 m,
Lichtpunkthöhe 10 m
Leuchten: Schirmleuchten, schrägstrahlend
Bestückung: Je Platz 16 Allgebrauchsglühlampen 1000 W
Beleuchtungsstärke: $E_m = 150 \text{ lx}$

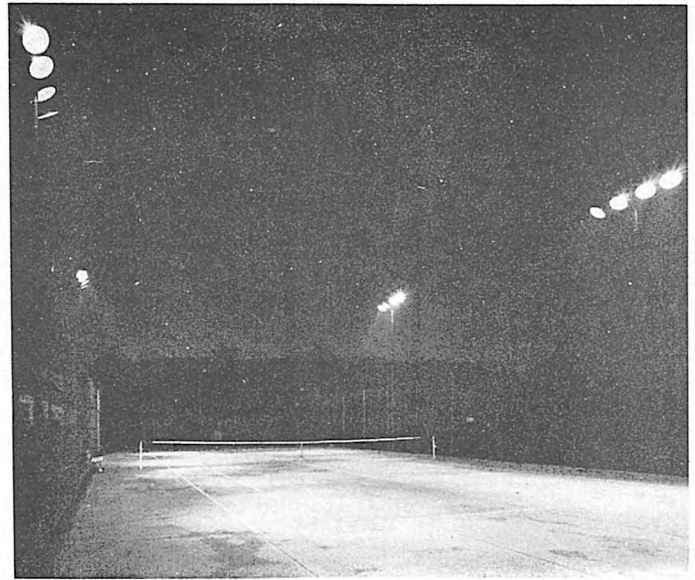


Bild 10. Tennisplatz der Möbelwerke Münker, Lindlar

Abmessungen: 24 m × 10 m, Masthöhe 9,5 m
Leuchten: Unbelüftete Scheinwerfer
Bestückung: Je Scheinwerfer eine Allgebrauchsglühlampe 2000 W
Beleuchtungsstärke: $E_m = 500 \text{ lx}$
Bemerkungen: Gleichmäßigkeit $E_{\min}:E_m$ wie 1:1,25

Bild 11. Doppeltennisplatz in Köln

Abmessungen: 40 m × 40 m,
Lichtpunkthöhe 9,5 m
Leuchten: Scheinwerfer
Bestückung: 12 Halogenglühlampen 1000 W
Beleuchtungsstärke:
 $E_m = 120 \text{ lx}$

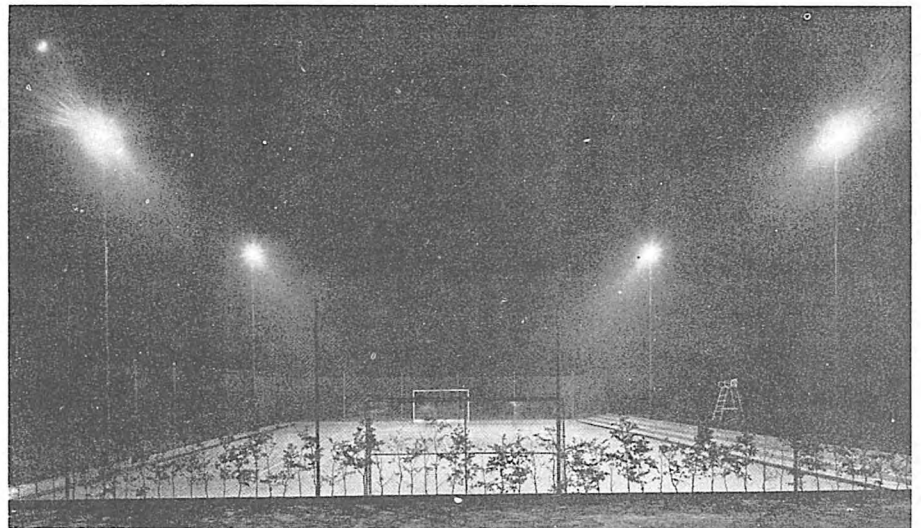


Bild 12. Tennisplatz Viersen (Doppelplatz)

Abmessungen: Spielfeld 11,97 m × 23,77 m, 2 Spielfelder mit Auslauf 37,5 m × 39 m,
Lichtpunkthöhe 14 m
Leuchten: Hochleistungs-Flutlichtgeräte, streuend
Bestückung: Metallhalogendampf-Lampen 2000 W
Beleuchtungsstärke:
Spielfeld $E_m = 450 \text{ lx}$ (Neuwert),
Auslauf $E_m = 200 \text{ lx}$ (Neuwert)



Werkphotos:
Deutsche Philips GmbH (2),
Nova-Lux-GmbH (1),
Osram GmbH (1),
Siemens AG (4),
Zeiss Ikon AG Goerzwerk (2)

Literatur

- [1] *Blackwell, R.*: Specification of interior illumination levels (on the basis of performance data). *Illum. Engng.* 54 (1959) Nr. 6, S. 317—358
- [2] *Pahl, A., und Chodura, R.*: Zum Blendungsproblem in der Straßenbeleuchtung. *LICHTTECHNIK* 8 (1956) Nr. 11, S. 480 bis 486

Weitere Literatur:

Sports lighting. *IES Lighting Handbook*, 3rd edition 1959, Section 19, S. 1—27

Current recommended practice for sports lighting. *Illum. Engng.* 56 (1961) Nr. 2, S. 59—104

Leitsätze für die Beleuchtung von Tennisplätzen und -hallen. Schweizerische Beleuchtungskommission, SEV 4006. 1962

Floodlighting for tennis. *Light and Lighting* 47 (1954), S. 268

Tennis courts at Arnsberg. *Light and Lighting* 57 (1964) Nr. 4, Abb. S. 123

Fluorescent lighting for tennis courts. *IES Lighting Rev.* 25 (1963) Nr. 4, S. 100—102

Tennis court lighting. *IES Lighting Rev.* 21 (1959) Nr. 2, S. 47—51

Tennisclub Grün-Weiß e. V. Mannheim (Tennishalle). Osram Beleuchtungsanregungen, Blatt H 7

Leuchtstofflampen in der Tennishalle. *LICHTTECHNIK* 3 (1951) Nr. 6, S. 152

Fischer, D.: Beleuchtung von Sportstätten. *LICHTTECHNIK* 4 (1952) Nr. 6, S. 157—160

Lange, P. H.: Beleuchtung der Sporthalle des Kölner Tennis- und Hockey-Clubs „Stadion Rot-Weiß“. *LICHTTECHNIK* 9 (1957) Nr. 3, S. 115

Staeger, R.: Tennishallenbeleuchtung. *LICHTTECHNIK* 9 (1957) Nr. 6, S. 313—314

IES Lighting Data Sheets:

Lighting for indoor tennis. Random type structure (Zelt in Halbzylinderform). *Illum. Engng.* 58 (1963) Nr. 11, S. 705

Lighting for indoor tennis. *Illum. Engng.* 57 (1962) Nr. 8, S. 515

Lighting for indoor tennis. *Illum. Engng.* 56 (1961) Nr. 2, S. 111

Lighting for court tennis. *Illum. Engng.* 55 (1960) Nr. 1, S. 56

Beleuchtung für Eislauf und Eishockey

SONDERDRUCK der LiTG

aus der Zeitschrift „LICHTTECHNIK“

Jahrgang 22 (1970) · Heft 2 · Seiten 57 – 60

Helios-Verlag GmbH
1 Berlin 52 (Borsigwalde)

Überreicht durch

Beleuchtung für Eislauf und Eishockey

Herausgegeben vom LiTG-Fachausschuß „Sportstättenbeleuchtung“*

DK 628.971.7

1. Allgemeines

Eislauf und Eishockey werden im Freien und in Hallen betrieben. In den nachfolgenden Betrachtungen werden nur Eislauf als Freizeitbetätigung, Eiskunstlauf und Eishockey behandelt.

Eishockey ist ein schnelles Spiel, bei dem ein Puck (schwarze Scheibe, Durchmesser 76 mm, Höhe 25 mm) über die Eisfläche bewegt wird. Diese Sportart wird als Wettkampf und als Ausgleichssport ausgeübt.

Spielfeldabmessungen für Eishockey 60 m × 30 m

Holzbande an den Längsseiten des Spielfeldes mindestens 0,25 m hoch erwünscht 1,07 m hoch

Holzbande an den Querseiten des Spielfeldes mindestens 1,22 m hoch

Die Farbe der Holzbande ist nicht vorgeschrieben.

Torabmessungen: Höhe 1,22 m, Breite 1,83 m, Tiefe 1,00 m. Die Torlinie läuft in einem Abstand von 3 m parallel zur Spielfeldquerseite.

2. Sehaufgabe

Wegen des schnellen Spieles und des sehr kleinen Sehobjektes sind die Anforderungen an das Sehvermögen beim Eishockey besonders hoch. Die kleinsten Sehwinkel, unter denen der Puck gesehen wird, sind:

für Spieler 4' bei 20 m breiten Zuschauerrängen an den Längsseiten
für Zuschauer 3,5' bei 30 m breiten Zuschauerrängen an den Längsseiten

Die schwierigste Sehaufgabe besteht darin, den Puck bei der größtmöglichen Sehentfernung in einer der Geschwindigkeit des Spiels angemessenen kurzen Zeit gegen die Eisfläche als Hintergrund zu erkennen. Die Eisfläche ist nach kurzer Benutzungsdauer mit feinen Eisteilchen, sogenanntem Eisgranulat, bedeckt und kann als weitgehend diffus reflektierend angesehen werden. Da auf dem Puck und auf der Eisfläche an jeder Stelle die gleichen Beleuchtungsstärken wirksam sind, ist der Kontrast des Pucks gegen die Eisfläche

$$\frac{\Delta L}{L} = \frac{L_p - L_e}{L_e} = \frac{\rho_p - \rho_e}{\rho_e} = \frac{0,1 - 0,8}{0,8} \approx -0,9$$

L_p = Leuchtdichte des Pucks

L_e = Leuchtdichte der Eisfläche

ρ_p = Reflexionsgrad des Pucks ($\approx 0,1$)

ρ_e = Reflexionsgrad der Eisfläche ($\approx 0,8$)

Mit diesen Voraussetzungen läßt sich aus den Arbeiten von Blackwell [1] die erforderliche Leuchtdichte und damit die Beleuchtungsstärke abschätzen.

Die Bande soll auf der Innenseite einen möglichst hohen Reflexionsgrad haben und die Umgebung des Spielfeldes möglichst etwas aufgehellert werden, damit die Spieler beim Wechsel ihrer Blickrichtung nicht zu stark umadaptieren müssen. Aus diesem Grunde ist es vorteilhaft, die Zuschauerränge aufzuhellen.

3. Lichttechnische Anforderungen an die Beleuchtungsanlage

3.1. Beleuchtungsstärke

Unter Berücksichtigung der unter 2. beschriebenen Sehaufgabe und des wirtschaftlich vertretbaren Aufwandes sind folgende mittlere Horizontal-Beleuchtungsstärken**) auf der Eisfläche zu empfehlen

	Nennbeleuchtungsstärke
Eislauf als Freizeitbetätigung	60 lx
Eiskunstlauf und Eishockey	
Training und Wettkampf	200 lx
Wettkampf mit Zuschauern	
Sehentfernung etwa 75 m	400 lx
etwa 85 m	800 lx

Angaben über Vertikalbeleuchtungsstärken erübrigen sich. Die Vertikalbeleuchtung setzt sich aus dem Direktanteil der Leuchten und dem von der Eisfläche reflektierten Indirektanteil zusammen. Der Indirektanteil ist auf Grund der diffusen Reflexion besonders hoch, so daß eine hinreichende Vertikalbeleuchtungsstärke im allgemeinen erreicht wird.

Sportstätten, in denen gute Schwarzweiß-Fernsehaufnahmen ohne Zusatzbeleuchtung möglich sein sollen, müssen eine mittlere Horizontal-Beleuchtungsstärke von mindestens 250 lx aufweisen.

Für Farbfernsehaufnahmen sind wesentlich höhere Beleuchtungsstärken, insbesondere auch höhere Vertikalbeleuchtungsstärken erforderlich. Nähere Angaben zu Film- und Fernsehaufnahmen werden in einer speziellen Arbeit des LiTG-Fachausschusses „Sportstättenbeleuchtung“ gemacht [3].

3.2. Gleichmäßigkeit

Die örtliche Gleichmäßigkeit $g_1 = E_{\min} : E_m$ der Horizontal-Beleuchtungsstärke auf der Eisfläche soll folgende Werte nicht unterschreiten:

Eislauf als Freizeitbetätigung: $g_1 = 1 : 2,5$

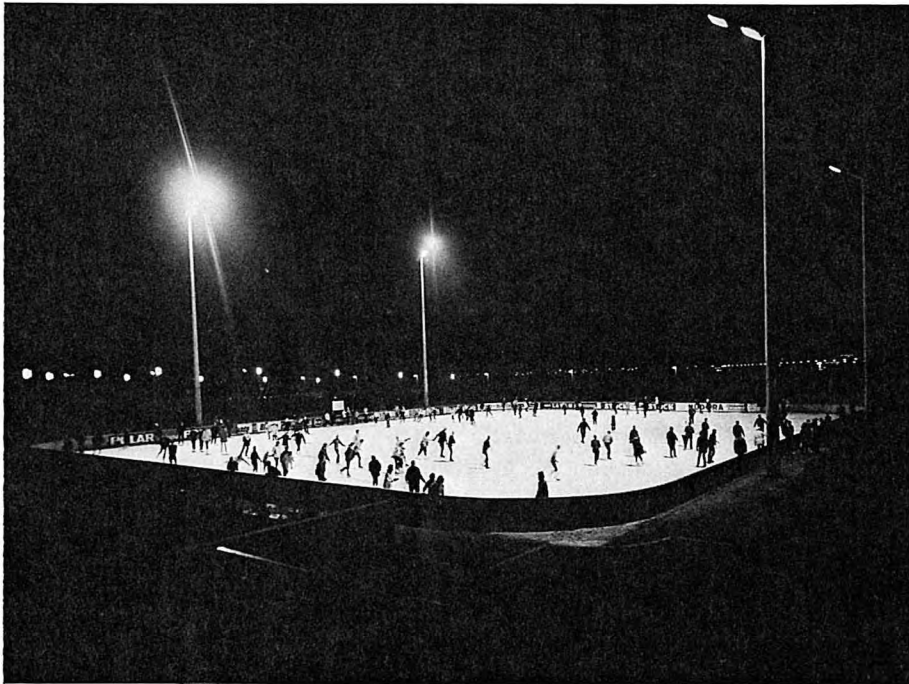
Eiskunstlauf und Eishockey: $g_1 = 1 : 1,5$

Werden Entladungslampen verwendet, muß auf eine ausreichende zeitliche Gleichmäßigkeit der Beleuchtung geachtet

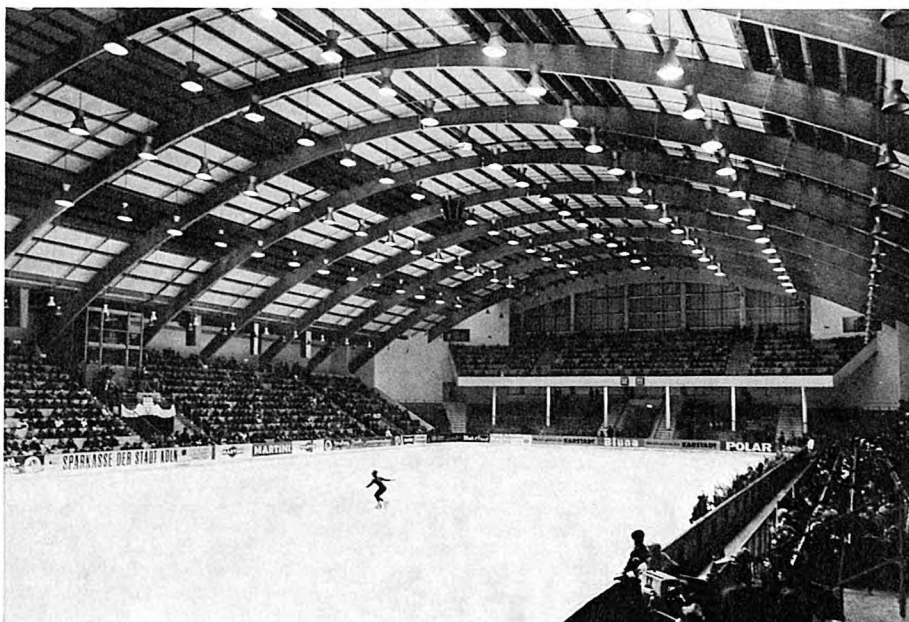
*) Mitarbeiter des LiTG-Fachausschusses „Sportstättenbeleuchtung“ sind die Herren Dipl.-Ing. L. Eichhoff, Dipl.-Phys. A. Gamber, Ing. H. Gertig, B. Hoffstadt, Ing. D. Lemm, Dipl.-Ing. E. K. Müller, Dipl.-Ing. A. Völker, Ing. L. Völkel, Dipl.-Ing. A. Wald, Ing. C.-H. Ziesenis
**) Für die Planung ist die Nennbeleuchtungsstärke mit dem Faktor 1,25 zu multiplizieren.



Eissportanlage Prinzregentenstadion München
 Abmessungen: Eisfläche 30 m × 60 m
 Beleuchtung: 43 Hallen-Spiegelleuchten für je eine Allgebrauchslampe 1000 W und eine Mischlichtlampe 1000 W
 Beleuchtungsstärke: $E_m = 500 \text{ Lux}$
 Gleichmäßigkeit: $g_1 = 1:1,5$
 Errichtung der Beleuchtungsanlage: 1963



Eissportanlage Oberwiesenfeld, München
 Abmessungen: Eisfläche 45 m × 60 m
 Beleuchtung: 4 Maste (20 m Lichtpunkthöhe) mit je 3 Spiegelleuchten für eine Halogen-Metaldampflampe 2000 W
 Beleuchtungsstärke: $E_m = 350 \text{ Lux}$
 Gleichmäßigkeit: $g_1 = 1:2,5$
 Errichtung der Beleuchtungsanlage: 1967



Eis- und Schwimmsportanlage Köln
 Abmessungen: Eisfläche 30 m × 60 m
 Beleuchtung: 108 geschlossene Parabolspiegelleuchten für Allgebrauchslampen 1000 W
 Beleuchtungsstärke: $E_m = 550 \text{ Lux}$
 Gleichmäßigkeit: $g_1 = 1:1,1$
 Errichtung der Beleuchtungsanlage: 1964

werden, damit kein störendes Bewegungsflimmern auftritt. Dies kann durch geeignete Schaltungen erreicht werden.

3.3. Schattigkeit

Plastisches Erkennen wird durch richtige Verteilung von Licht und Schatten ermöglicht. Die Beleuchtung soll deshalb nicht schattenlos sein. Störende Schlagschatten auf der Eisfläche dürfen jedoch nicht auftreten. Oberhalb der Eisfläche angeordnete Leuchten mit tiefbreitstrahlender Lichtverteilung ergeben eine günstige Schattigkeit.

3.4. Blendungsbegrenzung

Blendung mindert die Sehleistung und den Sehkomfort. Sie muß für Sportler und Zuschauer weitestgehend begrenzt werden. Dies ist meist möglich, da die Blickrichtung beim Eissport vorwiegend unterhalb der Horizontalen liegt.

3.5. Farbwiedergabe

Die Wirkung einer Eiskunstlauf-Darbietung wird auch durch die Farbe bestimmt. Beim Eishockey müssen die Spielerfarben einwandfrei unterschieden werden. Eine gute Farbwiedergabe ist anzustreben.

4. Lichtquellen

Für Außenanlagen eignen sich Glühlampen, Halogen-Glühlampen, Mischlichtlampen, Quecksilberdampf-Hochdrucklampen mit Leuchtstoff, Halogen-Metaldampflampen und Hochdruck-Natriumdampflampen. In Hallen sind außerdem Leuchtstofflampen anwendbar.

5. Leuchten

Die Lichtverteilung der Leuchten muß bei der gewählten Anordnung die Anforderungen hinsichtlich der Blendung sowie der örtlichen Gleichmäßigkeit erfüllen.

Für die Beleuchtung von Außenanlagen sind bei Anordnung über der Eisfläche Hängeleuchten mit direkt tiefstrahlender Lichtverteilung geeignet. Bei seitlicher Anordnung sind Scheinwerfer zu empfehlen.

Für Innenanlagen sind Leuchten mit direkter oder vorwiegend direkter Lichtverteilung geeignet.

6. Ausführung der Beleuchtungsanlage

In Außenanlagen können die Leuchten über der Eisfläche an Überspannungen oder an seitlich aufgestellten Masten angebracht werden. Die erstgenannte Lösung (Bild 1 und 2) ist aus lichttechnischen Gründen vorzuziehen. Die Lichtpunkthöhe soll bei Überspannungen mindestens 8 m betragen. Durch Überspannungen in Längsrichtung der Eisfläche kann die Zahl der Masten und Spannseile klein gehalten werden. Da die Zuschauerplätze vorwiegend an den Längsseiten der Eisfläche liegen, wird bei dieser Anordnung auch eine Sichtbehinderung der Zuschauer durch Masten ausgeschlossen. Für Überspannungen sind leichte Leuchten ohne eingebaute Vorschaltgeräte zweckmäßig.

Maste für Scheinwerfer müssen auf den beiden Längsseiten aufgestellt werden (Bild 3). Eine Lichtpunkthöhe von 12 m soll nicht unterschritten werden.

In Hallen sollen die Leuchten über der Eisfläche angebracht werden.

Für das Eishockeyspiel ist eine Verstärkung der Beleuchtung in den Torzonen unter Berücksichtigung der geforderten Gleichmäßigkeit zweckmäßig. Bei Anordnung der Leuchten über der Eisfläche kann dies z. B. durch kleinere Leuchtenabstände oder durch eine verstärkte Bestückung der Leuchten in diesen Zonen erreicht werden.

Soll die Beleuchtung bei Eiskunstlauf während der Darbietung geschaltet werden, müssen Lichtquellen verwendet werden, die nach Wiedereinschaltung sofort ihren vollen Lichtstrom abgeben.

Beispiele für Leuchtenanordnung

X Leuchte an Überspannung
O Mast für Scheinwerfer
alle Maße in m

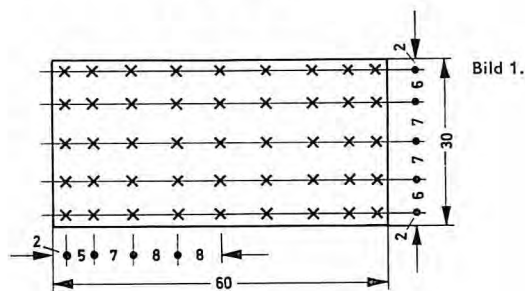


Bild 1.

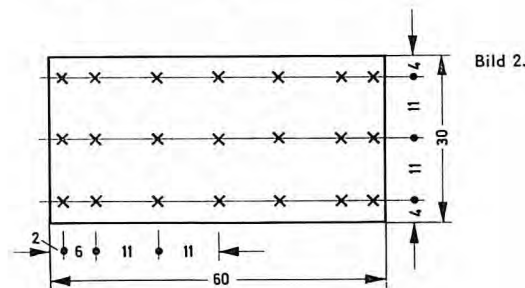


Bild 2.

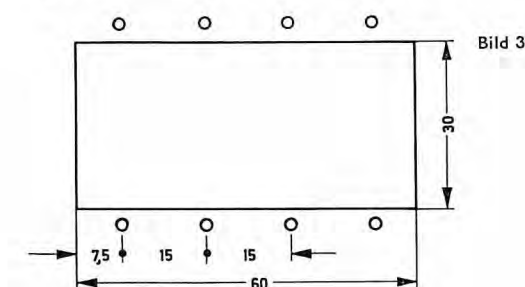


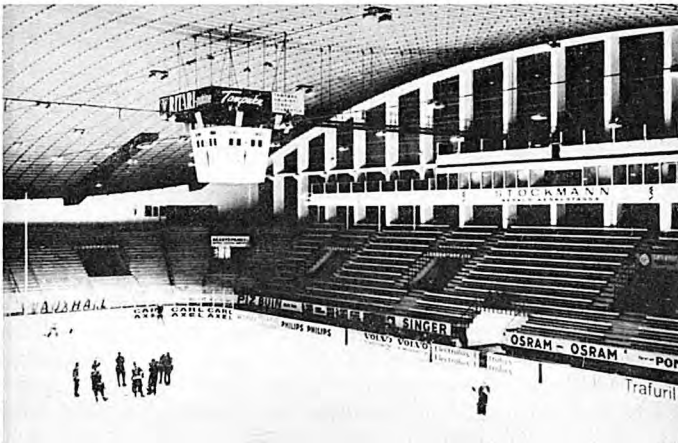
Bild 3.



Eissportanlage Hannover-Pferdeturm
 Abmessungen: Eisfläche 30 m × 40 m
 Beleuchtung: 18 direkt tiefstrahlende Reflektorleuchten mit je einer Allgebrauchlampe 1000 W und einer Quecksilberdampf-Hochdrucklampe 400 W an 6 Querüberspannungen (Lichtpunkthöhe 7,50 m)
 Beleuchtungsstärke: $E_m = 200$ Lux
 Gleichmäßigkeit: $g_1 = 1:2,5$
 Errichtung der Beleuchtungsanlage: 1960



Eissportanlage Memmingen
 Abmessungen: Eisfläche 30 m × 60 m
 Beleuchtung: 36 Scheinwerfer in Doppelanordnung mit je einer Halogen-glühlampe 1000 W an Überspannungen
 Beleuchtungsstärke: $E_m = 200$ Lux
 Gleichmäßigkeit: $g_1 = 1:1,5$
 Errichtung der Beleuchtungsanlage: 1965



Eissportanlage Tampere (Finnland)
 Abmessungen: Eisfläche 68 m × 38 m
 Beleuchtung: 60 Scheinwerfer in Doppelanordnung und 18 Scheinwerfer in Einzelanordnung mit je einer Halogen-glühlampe 1500 W an Längsüberspannungen (Lichtpunkthöhe 14 m)
 Beleuchtungsstärke: $E_m = 600$ Lux
 Errichtung der Beleuchtungsanlage: 1965
 Zuschauerfassungsvermögen: 10250 Personen

7. Messen der lichttechnischen Werte

Die Horizontalbeleuchtungsstärke soll direkt auf der Spielfläche oder höchstens 20 cm darüber gemessen werden. Dabei ist zu beachten, daß das Meßgerät $V(\lambda)$ -getreu und kosinus-korrigiert sein muß.

Zur Bestimmung der mittleren Horizontal-Beleuchtungsstärke E_m ist die ganze Spielfläche in gleichgroße Teilfelder von z. B. 3 m × 3 m einzuteilen und in der Mitte jedes Teilfeldes die Beleuchtungsstärke zu messen. E_m ergibt sich dann als arithmetisches Mittel der einzelnen Beleuchtungsstärkewerte.

Zur Bestimmung der örtlichen Gleichmäßigkeit der Beleuchtungsstärke auf dem Spielfeld ist aus den einzelnen Beleuchtungsstärken der kleinste Meßwert E_{min} zu ermitteln. Die Gleichmäßigkeit g ergibt sich aus dem Verhältnis $E_{min} : E_m$.

8. Wartung der Beleuchtungsanlage

Ausgefallene Lampen sind sofort zu ersetzen. Bei größeren Anlagen kann eine Gruppenauswechslung der Lampen mög-

lich zu Beginn der Saison zweckmäßig sein, um die Arbeitskosten gering zu halten und größere Lampenausfälle während der Hauptbenutzungszeit der Beleuchtungsanlage zu vermeiden.

Spätestens wenn die Beleuchtungsstärke auf der Spielfläche auf etwa 80 % der Nennbeleuchtungsstärke gesunken ist, muß die ganze Beleuchtungsanlage überholt werden. Hierbei sind die Leuchten und Lampen zu reinigen und gegebenenfalls zu ersetzen.

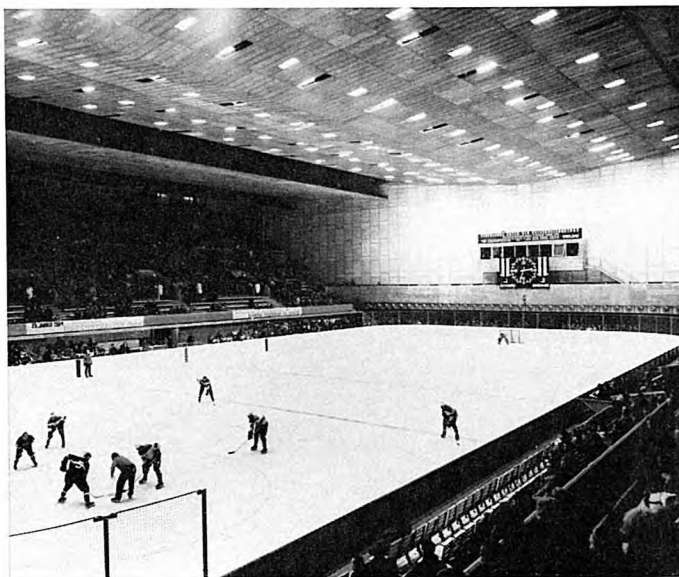
Literatur

- [1] Blackwell, R.: Specification of Interior Illumination Levels. Ill. Engg. 54 (1959) Nr. 6, S. 317-358
- [2] Berek, M.: Zum physiologischen Grundgesetz der Wahrnehmung von Lichtreizen. Z. f. Instrumentenkunde 63 (1943) Nr. 9, S. 297-309
- [3] Beleuchtung von Sportstätten für das Farbfernsehen, herausgegeben vom LiTG-Fachausschuß „Sportstättenbeleuchtung“, LICHTTECHNIK 21 (1969) Nr. 11, S. 123 A-126 A

Eissportanlage Olympiastadion Garmisch-Partenkirchen
Abmessungen: Eisfläche 30 m × 60 m
Beleuchtung: 220 tiefstrahlende Leuchten mit Allgebrauchslampen 1000 W
Beleuchtungsstärke: $E_m = 1000 \text{ Lux}$
Gleichmäßigkeit: $g_1 = 1:1,2$
Errichtung der Beleuchtungsanlage: 1964
Zuschauerfassungsvermögen: 10500 Personen



Eissportanlage Olympiastadion Innsbruck
Abmessungen: Eisfläche 30 m × 60 m
Beleuchtung: 1080 breitstrahlende Reflektorglühlampen 150 W (Lichtpunkt-
höhe 18 m)
Beleuchtungsstärke: $E_m = 550 \text{ Lux}$
Errichtung der Beleuchtungsanlage: 1963
Zuschauerfassungsvermögen: 11000 Personen



Beleuchtung für den Schwimmsport in Hallen

LITG

LICHTTECHNISCHE GESELLSCHAFT e.V.

Beleuchtung für den Schwimmsport in Hallen

Bericht des Fachausschusses »Sportstättenbeleuchtung«

1.0 Allgemeines

Dieser Bericht befaßt sich mit Empfehlungen für die künstliche Beleuchtung öffentlicher Hallenbäder mit rechteckigen Becken, die vorzugsweise dem schulischen Schwimmunterricht, dem Schwimmsport der Vereine und dem Freizeitschwimmen dienen. Zu den schwimmsportlichen Disziplinen zählen u. a. Schwimmen, Turm- und Kunstspringen, Wasserball und Synchronschwimmen.

Von den Schwimmern, den Zuschauern und dem Aufsichtspersonal werden an die künstliche Beleuchtung unterschiedlich hohe Anforderungen gestellt. Damit die Beleuchtung die lichttechnischen Gütekriterien erfüllt, wartungsfreundlich und wirtschaftlich arbeitet, ist eine enge Zusammenarbeit zwischen Architekt und Beleuchtungsplaner bereits in der ersten Stufe der Planung erforderlich.

Für Anlagen, die der Fernsehübertragung von Wettkämpfen dienen, sind gegebenenfalls die zusätzlichen Anforderungen des Farbfernsehens nach DIN 67526 Teil 2 zu berücksichtigen [1].

Die folgenden Empfehlungen sind sinngemäß bei privaten Schwimmbädern, Kurbädern und öffentlichen Freizeitbädern mit unterschiedlichen Beckenformen, Welleneinrichtungen und sonstigen Ausstattungen für Fitneß anzuwenden.

2.0 Die Beleuchtung von Hallenbädern

2.1 Zweck der Beleuchtung

Da die Tageslichtbeleuchtung in Hallenbädern nicht immer ausreichend ist und die Betriebszeiten bis in die späten Abendstunden reichen, müssen sie zusätzlich ausreichend künstlich beleuchtet werden, um eine sichere Nutzung zu gewährleisten.

Außer den dem Sport dienenden Räumen müssen auch die Neben- und Betriebsräume sowie die Verkehrswege in den Außenanlagen künstlich beleuchtet werden.

Veröffentlichung des LiTG-Fachausschusses »Sportstättenbeleuchtung«

Obmann bis Oktober 1987:

Dipl.-Ing. C.-H. Zieseniß, Hamburg

Obmann ab Oktober 1987:

Dr.-Ing. R. Pusch, Traunreut.

Arbeitskreis Schwimmhallen:

Dr. H.-J. Dodillet, Meinerzhagen; Dipl.-

Ing. A. Stockmar, Celle; Dipl.-Ing. O.

Kumpe, Berlin.

2.2 Planungseinheiten, Umgangsflächen und lichttechnisches Bewertungsfeld

Die Größe eines Hallenbads richtet sich nach der Einwohnerzahl im Einzugsbereich. In den vom Koordinierungskreis Bäder (Deutsche Gesellschaft für das Badewesen, Deutscher Schwimmverband und Deutscher Sportbund) herausgegebenen Richtlinien für den Bäderbau [2] werden die Planungseinheiten für Hallenbäder wiedergegeben (Tabelle 1).

VB Variobecken

PB Planschbecken

NSB Nichtschwimmerbecken

SPB Springerbecken

WF Wasserfläche

Für die Umgangsflächen sind Mindestbreiten zu berücksichtigen (Tabelle 2).

Soweit nicht andere Vereinbarungen vorliegen, können aus den Planungseinheiten und den Maßen für die Umgangsflächen die den lichttechnischen Berechnungen zugrundezulegenden Bewertungsfelder ermittelt werden. Da für die Umgangsfläche unter Berücksichtigung der Mindestbreite lediglich die Empfehlung ausgesprochen wird, sie flächenmäßig gleich der Wasserfläche zu planen, kann die mittlere Breite x der Umgangsfläche nach folgender Formel berechnet werden:

$$x = \frac{\sqrt{(a^2 + 6ab + b^2)} - (a + b)}{4}$$

Es bedeuten darin a = Länge und b = Breite des Beckens. Die gesamte zu beleuchtende Fläche beträgt somit

$$F = (a + 2x) \times (b + 2x)$$

Für das so berechnete Bewertungsfeld gelten die unter 2.4.1 aufgeführten Nennbeleuchtungsstärken.

2.3 Sehaufgaben

Für die in einem Hallenbad anzutreffenden Beobachtergruppen sind unterschiedliche Sehaufgaben zu erfüllen.

Der Schwierigkeitsgrad der Sehaufgabe ist abhängig von der schwimmsportlichen Disziplin und der Entfernung, aus der diese verfolgt werden muß. Ein Wasserball hat für einen Zuschauer aus 40 m Entfernung nur noch eine Sehwinkelgröße von 15°.

Für Schwimmlehrer, Trainer, Bademeister und Kampfrichter besteht die Sehaufgabe darin, den Gesichtsausdruck von Schwimmern und Spielern, die Bewegungsrich-

tung, Körperbewegung und -haltung des Schwimmers und beim Wasserballspiel auch den Ball deutlich zu erkennen. Das Erkennen des Details steht im Vordergrund.

Für den Sportschwimmer besteht die Sehaufgabe im Erkennen eines anzustrebenden Ziels (Beckenrand) oder wie beim Wasserball eines Mitspielers oder des Balls. Auch hier überwiegt die Detailerfassung. Für den Freizeitschwimmer mit sehr unterschiedlichen Bewegungsabläufen stellt sich die Sehaufgabe vornehmlich in der Sicherung des eigenen Umfelds.

Für die Zuschauer kommt es auf eine störungsfreie Beobachtung des gesamten Sport- und Spielverlaufs an. Das gesamtheitliche Erkennen steht hier im Vordergrund.

Im Schwimmsport kann erfahrungsgemäß davon ausgegangen werden, daß bei Einhaltung der lichttechnischen Gütekriterien zur Erfüllung der Sehaufgabe wie sie sich für Schwimmlehrer, Trainer, Bademeister und Kampfrichter stellen, gleichfalls die für Zuschauer und Schwimmer erfüllt sind.

2.4 Güteermerekmale der Beleuchtung

2.4.1 Leuchtdichte

und Beleuchtungsstärke

Um die beschriebenen Sehaufgaben in Hallenbädern zu erfüllen, müssen ausreichend hohe Leuchtdichten vorhanden sein. Für die Festlegung der Beleuchtungsstärken und daraus resultierenden Leuchtdichten sind die Sehaufgaben besonders des Aufsichtspersonals maßgebend. Sie schließen die Anforderungen für Schwimmer und Zuschauer ein.

Zur Erzielung ausreichender Leuchtdichten und eines hohen Beleuchtungswirkungsgrads für eine wirtschaftliche Beleuchtung mit künstlichem Licht sollten die Reflexionsgrade bei überwiegend direkter Beleuchtung mindestens folgende Werte annehmen:

Decke	0,6
Wände bei hohem Direkt-Lichtstromanteil durch breitstrahlende Leuchten	0,4
bei geringem Direkt-Lichtstromanteil durch engstrahlende Leuchten	0,6
Beckenwände und -boden	0,6
Umgangsflächen und sonstige Laufzonen	0,4

Planungseinheiten für Hallenbäder (Beispiele)							
Einzugsbereich	Beckenart	Planungseinheiten					
		Grundeinheit		Alternative 1		Alternative 2	
		Beckengröße [m bzw. m ²]	WF [m ²]	Beckengröße [m bzw. m ²]	WF [m ²]	Beckengröße [m bzw. m ²]	WF [m ²]
1	2	3		4		5	
<5.000	nach den örtlichen Gegebenheiten						
5.000 bis 10.000	VB PB	10.00 x 25.00	250				
		bis 15	15				
		Σ	265				
10.000 bis 20.000	VB NSB PB	10.00 x 25.00	250	10.00 x 20.00	250	12.50 x 25.00	313
		8.00 x 12.50	100	10.00 x 12.50	125	8.00 x 12.50	100
		bis 20	20	bis 20	20	bis 20	20
		Σ	370	Σ	395	Σ	433
20.000 bis 30.000	VB NSB SPB PB	12.50 x 25.00	313	12.50 x 25.00	313	12.50 x 25.00	313
		8.00 x 12.50	100	8.00 x 16.66	133	8.00 x 12.50	100
		bis 25	25	bis 25	25	10.60 x 12.50	133
		Σ	438	Σ	471	bis 25	25
						Σ	571
30.000 bis 40.000	VB NSB SPB PB	12.50 x 25.00	313	12.50 x 25.00	313	16.66 x 25.00	417
		8.00 x 12.50	100	8.00 x 16.66	133	8.00 x 16.66	133
		10.60 x 12.50	133	10.60 x 12.50	133	12.50 x 11.75	147
		bis 30	30	bis 30	30	bis 30	30
		Σ	576	Σ	609	Σ	727
40.000 bis 50.000	VB NSB SPB PB	16.66 x 25.00	417	16.66 x 25.00	417		
		8.00 x 16.66	133	8.00 x 16.66	133		
		12.50 x 11.75	147	16.90 x 11.75	199		
		bis 35	35	bis 35	35		
		Σ	732	Σ	784		
>50.000	Weitere Hallenbäder der vorgenannten Planungseinheiten entsprechend der Größe der jeweiligen Einzugsbereiche						

1 Tabellen-Auszug aus [2]. Planungseinheiten für Hallenbäder in Abhängigkeit von der im Einzugsbereich wohnenden Einwohnerzahl

Für überwiegend indirekte Beleuchtung gelten folgende Werte:

Decke	0,7
Wände	0,5
Beckenwände und -boden	0,6
Umgangflächen und sonstige Laufzonen	0,4

Decken und Wände sollten nach Möglichkeit matt sein, um neben den Reflexen auf der Wasseroberfläche durch die Leuchten

2 Tabellen-Auszug aus [2]. Die Breite der Umgangflächen bei den verschiedenen Beckenarten

(Umgangflächen grundsätzlich gleich Wasserflächen)	Breite [m]
im Hauptzugangsbereich zur Schwimmhalle	3.00
im Hauptzugangsbereich zwischen Beckentreppe und Hallenwand	2.50
im Bereich der Startsockel	3.00
im Bereich der Sprunganlagen (hinter im Sprunganlage freier Durchgang min. 1.25 m)	4.50
im Zugangsbereich des Planschbeckens	2.00
Nichtschwimmerbecken - Treppenseite	2.50
Nichtschwimmerbecken - Schmalseite	2.00
zwischen Springer-, Schwimmer- bzw. Variobecken und dem Nichtschwimmerbecken oder Nichtschwimmerteil eines Variobeckens	4.00
zwischen Schwimmerbecken bzw. Schwimmerteil eines Variobeckens und Springerbeckens	3.00
sonstige Breiten bei einer Wasserfläche	unter 300 m ² ≥ 1.25
	über 300 m ² ≥ 1.50

keine zusätzlichen Reflexe über die Raumbegrenzungen zu erhalten.

Zur Erzielung ausreichender Sehbedingungen werden in 0,2 m Höhe folgende Horizontal-Nennbeleuchtungsstärken über dem Wasser und den angrenzenden Umgangsflächen (lichttechnisches Bewertungsfeld) in Anlehnung an DIN 67526, Blatt 1 empfohlen [3]:

Allgemeines Freizeitschwimmen	
keine Zuschauer	200 Lux
Allgemeines Training für alle Sportarten	200 Lux
Wettkampf für alle Sportarten mit Zuschauern	400 Lux
Wettkampf Springen	500 Lux
Sonstige Flächen außerhalb der Umgangsflächen	100 Lux

Für die Beleuchtung der an eine Halle anschließenden Nebenräume gelten sinngemäß die Beleuchtungsstärken nach DIN 5035 Teil 2 (6).

Bei der Planung sollte zur Berücksichtigung der Alterung und Verschmutzung die Nennbeleuchtungsstärke mit dem Faktor 1,25 multipliziert werden.

Bei der Berechnung der Vertikal-Beleuchtungsstärken muß die für Schwimmlehrer, Trainer, Bademeister und Kampfrichter größere Schwierigkeit der Sehaufgabe berücksichtigt werden. Ihr Standort im Hallenbad liegt nicht fest und kann an jeder Stelle des Beckenrands sein. Daraus ergibt sich die Forderung nach einer gleich guten vertikalen Beleuchtung oberhalb der Wasseroberfläche in alle Richtungen. Das Verhältnis vertikaler zu horizontaler Beleuchtungsstärke E_v/E_h sollte in jedem Bewertungspunkt einen Wert zwischen 0,3 und 0,5 annehmen.

Im Eintauchbereich von Sprunganlagen ist in Richtung auf die Beobachter eine Vertikal-Beleuchtungsstärke von mindestens 200 Lux anzustreben.

2.4.2 Gleichmäßigkeit

Abgesehen von den erhöhten Beleuchtungsstärken im Bereich der Sprunganlagen soll die örtliche Gleichmäßigkeit $g_{ih} = E_{hmin}/E_{hm}$ nach DIN 67526 für Training 0,5 und für Wettkampf 0,67 betragen.

Auf eine ausreichende Gleichmäßigkeit der Vertikal-Beleuchtungsstärke über die gesamte Höhe der Sprunganlage ist zu achten.

Für die außerhalb der Wasser- und Um-

gangsflächen liegenden Zonen ist kein gesonderter Gleichmäßigkeitsnachweis erforderlich.

Die zeitliche Gleichmäßigkeit ist von gleicher Bedeutung und muß bei Einsatz von Entladungslampen durch geeignete Maßnahmen (Dreiphasenschaltung, Duoschaltung, elektronische Vorschaltgeräte) gewährleistet sein.

2.4.3 Schattigkeit

Räumliches Sehen wird durch eine ausgewogene Verteilung von Licht und Schatten erreicht. Infolge meist hoher Reflexionsgrade der Raumbegrenzungen in einem Hallenbad ist unter Berücksichtigung eines ausreichend hohen Lichtstromanteils besonders auf die Wände mit hoher Vertikal-Beleuchtungsstärke in alle Richtungen zu rechnen. Unter Berücksichtigung der unter 2.4.1 aufgeführten Grenzen für das Verhältnis der vertikalen zur horizontalen Beleuchtungsstärke zwischen 0,3 und 0,5 kann man in jedem Fall mit guter Schattigkeit in Höhe der Berechnungsebene von 0,2 m, aber auch im Bereich am Beckenrand stehender Personen rechnen.

2.4.4 Blendungsbegrenzung

2.4.4.1 Direktblendung

Direktblendung kann durch die Verwendung von Leuchten mit ausreichend abgeschirmter Lichtstärkeverteilung und deren richtiger Anordnung weitgehend vermieden werden. Eine deutliche Reduzierung ihrer Eigenleuchtdichte über einen Ausstrahlwinkel von 50° hinaus ist anzustreben.

2.4.4.2 Reflexblendung

Reflexblendung entsteht durch spiegelnde Reflexion an der Wasseroberfläche. Der Anteil des reflektierten Lichts hängt vom Einfallswinkel ab. So reduziert sich die Leuchtdichte des Reflexes einer Leuchte unter einem Einfallswinkel von 20° auf 2%, die einer Leuchte unter einem Winkel von 50° auf 4% und unter einem Winkel von 70° auf 10% (Bild 1) [4, 5].

Die Ermittlung der Lage von Reflexen zu einem Beobachter ist durch einfaches Zeichnen der Strahlengänge zu empfehlen. Dabei wird hinreichende Genauigkeit erzielt, wenn die Wasseroberfläche als horizontal liegender Spiegel betrachtet wird. Im allgemeinen genügt die Untersu-

fung für eine am Beckenrand stehende Person, weil ihr die schwierigere Sehaufgabe zuzuordnen ist. Für die näherungsweise Bestimmung der Reflexleuchtdichte in Abhängigkeit vom Einfallswinkel ist die Grafik (Bild 2) hilfreich [4, 5].

Für die Bestimmung eines Kamera-Standorts für Fernsehaufnahmen kann eine exakte Bestimmung von Lage und Größe kritischer Reflexe notwendig sein. Dabei ist zu berücksichtigen, daß die störende Reflexe verursachenden Flächenelemente der bewegten Wasseroberfläche bis zu 20° gegen die Horizontale geneigt sein können.

Eine helle Decke und Unterwasserbeleuchtung verbessern die Sehbedingungen vor allem bei Vorhandensein von Reflexen auf der Wasseroberfläche.

2.4.5 Licht und Farbe

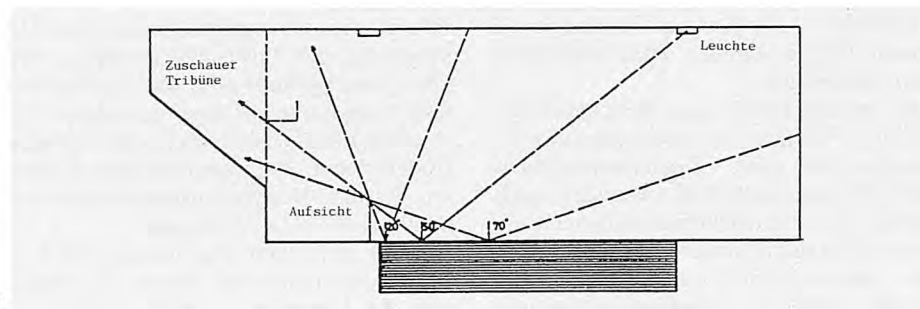
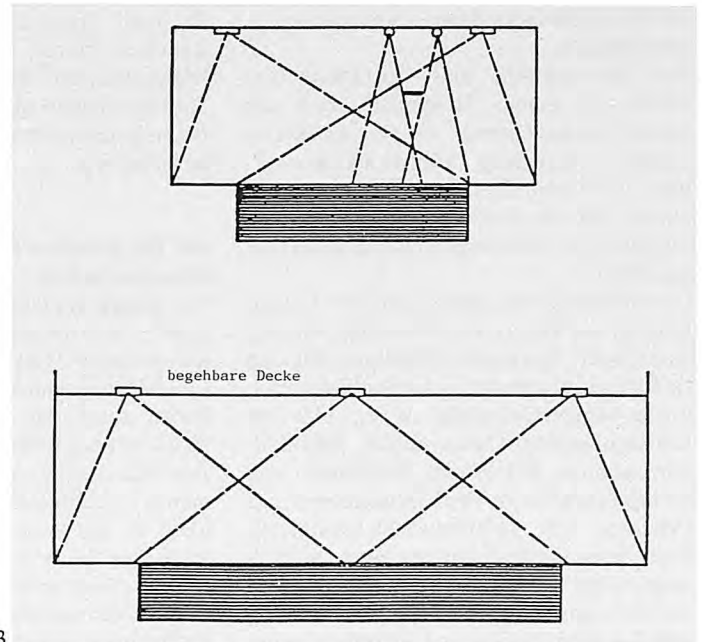
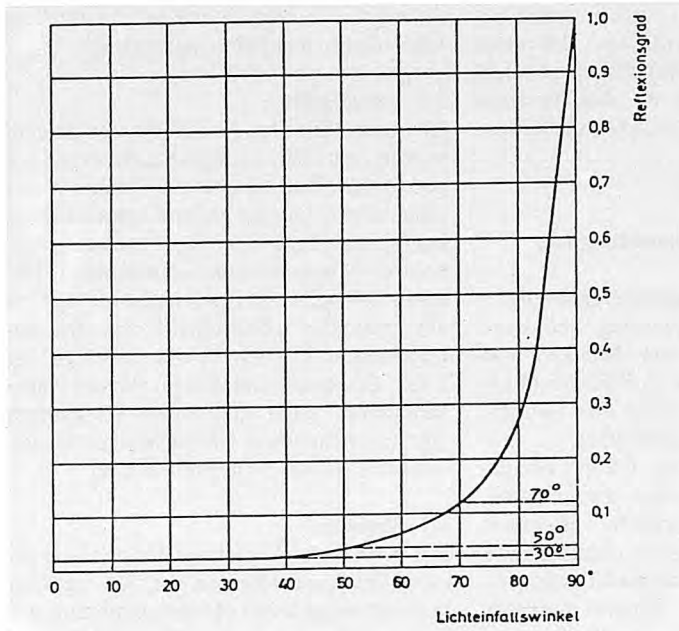
Durch die Auswahl der Lampen nach Lichtfarbe und Farbwiedergabeeigenschaften und die farbliche Gestaltung der Raumbegrenzungsflächen werden die Farbstimmung im Raum und das farbliche Aussehen der Menschen und Gegenstände beeinflusst. Dabei ist zu bedenken, daß das Licht der Lampen (Primärlicht) und das selektiv reflektierte Licht der großflächigen Raumbegrenzungen (Sekundärlicht) zu einem Mischlicht führen, das nach Farbe und Wiedergabe evtl. nicht mehr mit den Eigenschaften der Lampen übereinstimmt.

2.5 Lampen

In Anlehnung an DIN 67526 Teil 2 – Sportstättenbeleuchtung – Beleuchtung für Fernseh- und Filmaufnahmen (1) – sind nur Lampen einzusetzen, deren allgemeiner Farbwiedergabe-Index Ra bei hohen Anforderungen den Wert ≥ 90 und bei geringeren Anforderungen ≥ 65 annimmt.

Für die Beleuchtung von Hallenbädern eignen sich besonders Leuchtstofflampen und Halogen-Metaldampflampen. Der Einsatz von Glühlampen ist aus Kostengründen nicht vertretbar.

Für Hallenbäder mit hohem Tageslichtein-



1 Die Abhängigkeit des Reflexionsgrads einer ruhenden Wasseroberfläche vom Lichteinfallswinkel

2 Unter Berücksichtigung der in Bild 1 dargestellten Zusammenhänge reduzieren sich für einen Beobachter die Leuchtdichten von Reflexen auf der Wasseroberfläche bei Einfallswinkeln von 20° auf 2%, von 50° auf 4% und von 70° auf 10%

3 Die Wahl der Leuchten unter Berücksichtigung ihrer Lichtstärkeverteilung hängt von der Breite des Schwimmbeckens und ihres Montageorts an der Decke ab. Zusätzliche Beleuchtung im Bereich der Sprunganlagen ist zu empfehlen

2.6 Leuchten

Die Leuchten müssen dem besonderen Verwendungszweck entsprechen. Aus Sicherheitsgründen sollten nur mit Silikat- oder Kunststoffglas abgedeckte Leuchten eingesetzt werden. Die Leuchten sollen durch einen hohen Betriebswirkungsgrad und in Abhängigkeit von den in 2.7 beschriebenen Anlagegeometrien durch eine schräg strahlende oder tiefbreitstrahlende Lichtstärkeverteilung gekennzeichnet sein. Bei abgehängten Leuchten kann ein zusätzlich nach oben abgestrahlter Lichtstromanteil die Güte der Beleuchtung verbessern.

Die Schutzart einer Leuchte für Hallenbäder sollte mindestens IP 23 entsprechen. Im übrigen gelten die folgenden aus VDE 0100, Teil 702/11.82 auszugsweise wiedergegebenen Hinweise [7]:

3.0 Allgemeine Anforderungen

3.1 Grenzen des Schutzbereichs:
 nach oben über Standfläche 2,5 m
 seitliche Richtung vom Beckenrand 2,0 m
 nach unten ab Beckenboden 1,0 m

3.2 überdachte Schwimmbecken (Schwimnhallen) und Schwimmanlagen im Freien gelten als feuchte und nasse Räume/Bereiche. Wenn in Schwimmhallen jedoch sichergestellt ist, daß sich keine Nässe infolge Betauung bildet und daß die Innenseiten der Schwimmhalle nicht abgespritzt werden, so gilt der Bereich außerhalb des Schutzbereichs als trockener Raum. Die Betauung kann z. B. durch Klimatisierung verhindert werden.

3.3 Umkleidekabinen, Getränkeauschank, Aufenthaltsräume, Toiletten und dergleichen in Nebenräumen gelten als trockene Räume, sofern in ihnen nicht zu Reinigungszwecken abgespritzt wird. Leuchten für Hallenbäder sind in allen Teilen aus korrosionsbeständigem Material herzustellen. Aufgrund begrenzter Standorte für Leitern oder Gerüste müssen Instandhaltung und Lampenwechsel einfach durchführbar sein.

2.7 Beleuchtungsanlage – Anordnung der Leuchten

Bei Konstruktion und Gestaltung der Decke in einem Hallenbad muß die beleuchtungstechnisch zweckmäßigste Leuchtenanordnung berücksichtigt werden. In diesem Zusammenhang sei noch einmal auf die Zusammenarbeit zwischen Architekt und Beleuchtungsfachmann hingewiesen.

Die Wahl der Leuchten und ihre Verteilung an der Decke sind abhängig von der Raumhöhe. Nach den Richtlinien für den Bäderbau [2] beträgt in Hallenbädern die lichte Mindestraumhöhe 4 m. Um die lichttechnischen Gütekriterien einzuhalten, können bei einem Verhältnis von Lichtpunkthöhe zu Beckenbreite von 1:2 Leuchten mit vorzugsweise asymmetrischer Lichtstärkeverteilung auch seitlich angeordnet werden. Diese bevorzugte Art der Anordnung erleichtert Instandhaltung und Lampenwechsel und erfordert keine besonderen deckenbaulichen Maßnahmen.

Für Verhältnisse kleiner als 1:2 ist die Anordnung von Leuchten auch über dem Wasser notwendig. Für die Instandhaltung und den Lampenwechsel sollte dann die Decke begehbar sein.

Ausschließlich seitliche Einstrahlung bei sehr breiten Becken führt zu starker Direktblendung und erhöhter Reflexblendung.

Für den Bereich der Sprunganlagen sind u. U. zusätzliche Leuchten zu installieren, um die in 2.4.1 empfohlenen Beleuchtungsstärken zu erreichen.

Zuschauertribünen liegen im allgemeinen nur an einer Beckenseite. Auf gute Sehverhältnisse ist unter Beachtung von 2.4.4 – Vermeidung von Blendung – zu achten. Bei allen Hallenbädern, die auch dem Wettkampf dienen, ist die Montage der Leuchten parallel zur Längsachse des Beckens zu bevorzugen, um vor allem Rückenschwimmer in der Einhaltung ihrer Schwimmrichtung nicht zu irritieren. Bild 3 zeigt im Querschnitt schematisch die Leuchtenanordnungen im Hallenbad.

2.8 Installation und Schaltung

Die Leuchten sind im Rahmen der Gesamtinstallation nach DIN VDE 05100 Teil 702 11.82, DIN VDE 0100 Teil 702 A1 zu montieren [7].

Es wird empfohlen, Lampen und/oder Leuchten derart anzuschließen, daß eine Stufenschaltung der Beleuchtung je nach Sportgeschehen möglich ist. Auf die Einhaltung der lichttechnischen Gütekriterien ist zu achten.

3.0 Die Unterwasserbeleuchtung von Schwimmbecken

3.1 Zweck der Unterwasserbeleuchtung

Eine Unterwasserbeleuchtung reduziert die störende Wirkung von Reflexen und Leuchtdichteschleier auf der Wasseroberfläche durch die Erhöhung der Leuchtdichte auf der Beckenauskleidung.

Aus Bild 1 ist zu ersehen, daß mit zunehmenden Lichteinfallswinkel immer mehr Licht an der Wasseroberfläche reflektiert wird. Nur das in das Wasser eindringende Licht erzeugt unter Berücksichtigung des Transmissionsgrads des Wassers und der Reflexionseigenschaften der Beckenauskleidung die vom Raum aus gesehene Leuchtdichte des Beckens. Sie ändert sich durch Wellen auf der Wasseroberfläche nicht wesentlich.

Mit zunehmendem Leuchtdichteschleier auf der Wasseroberfläche nimmt die Erkennbarkeit eines Unterwasserschwimmers für einen außerhalb stehenden Beobachter ab. Der Leuchtdichteschleier hängt vom Lichteinfallswinkel und der Größe der primären und sekundären Störlichtquellen ab. Durch kleinflächige Leuchten z. B. für Hochdrucklampen über dem Wasser und nicht zu hohen Leuchtdichten auf den Raumbegrenzungen kann der Leuchtdichteschleier gering gehalten werden, so daß eine Unterwasserbeleuchtung nicht zwingend erforderlich ist.

Großflächige Leuchten erbringen ebenso wie Lichtdecken und ausschließlich indirekte Beleuchtung zwar ausreichende Leuchtdichten auf den Beckenbegrenzungen, es ist jedoch in erhöhtem Maße mit einem die Sehbedingungen negativ beeinflussenden Leuchtdichteschleier auf dem Wasser zu rechnen, so daß erst durch eine Unterwasserbeleuchtung eine deutliche Verbesserung beim Einblick in das Wasser zu erwarten ist.

Die Erfahrung lehrt, daß zufriedenstellende Bedingungen zur Erfüllung der Sehaufgabe herrschen, wenn die mittlere Leuchtdichte auf dem Wasser (Leuchtdichte-

schleier) den dreifachen Wert der Beckenleuchtdichte nicht überschreitet [5].

3.2 Sehaufgabe

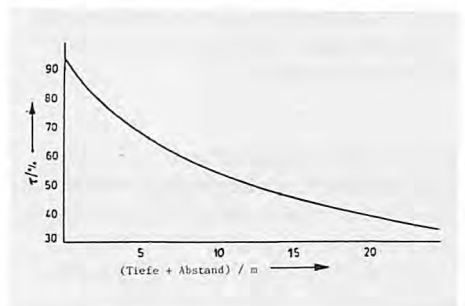
Ein guter Einblick in das Wasser ist notwendig, um Bewegungsabläufe erkennen zu können. Nur dann ist ein Trainer in der Lage, einen Sportler zu beobachten und zu korrigieren, und kann ein Bademeister einem in Not geratenen Schwimmer rechtzeitig helfen. Auch Zuschauer sind nur bei ausreichender Leuchtdichte auf den begrenzenden Flächen des Beckens in der Lage, Bewegungsabläufe im Wasser wahrzunehmen. Dem ungeübten Schwimmer gibt ausreichendes Licht im Wasser zusätzlich ein erhöhtes Sicherheitsgefühl.

3.3 Planung

Ein gesichertes Verfahren für die Berechnung der Leuchtdichten auf den Beckenbegrenzungen unter Berücksichtigung des Transmissionsgrads des Wassers gibt es z. Z. nicht.

Es wird deshalb empfohlen, unter Berücksichtigung der Lichtstärkeverteilung der Unterwasserscheinwerfer die Vertikal-Beleuchtungsstärke auf einer gedachten Fläche in der Mitte des Beckens ohne Wasser zu berechnen. Die zugrundeliegende mittlere Vertikal-Nennbeleuchtungsstärke soll mindestens 150 Lux betragen.

Aus der grafischen Darstellung Bild 4 – Transmissionsgrad von Wasser als Funktion des Lichtwegs – kann der Schwä-



4 Der Transmissionsgrad von Wasser als Funktion des Wegs, den das Licht darin zurücklegt

chungsfaktor abgelesen werden, mit dem die berechneten Vertikal-Beleuchtungsstärken zu multiplizieren sind [8]. Die daraus resultierende mittlere Beleuchtungs-

stärke soll nicht kleiner als 75 Lux sein. Die Gleichmäßigkeit $g_1 = E_{\min} : E_m$ auf der vertikalen Fläche soll 0,33 sein.

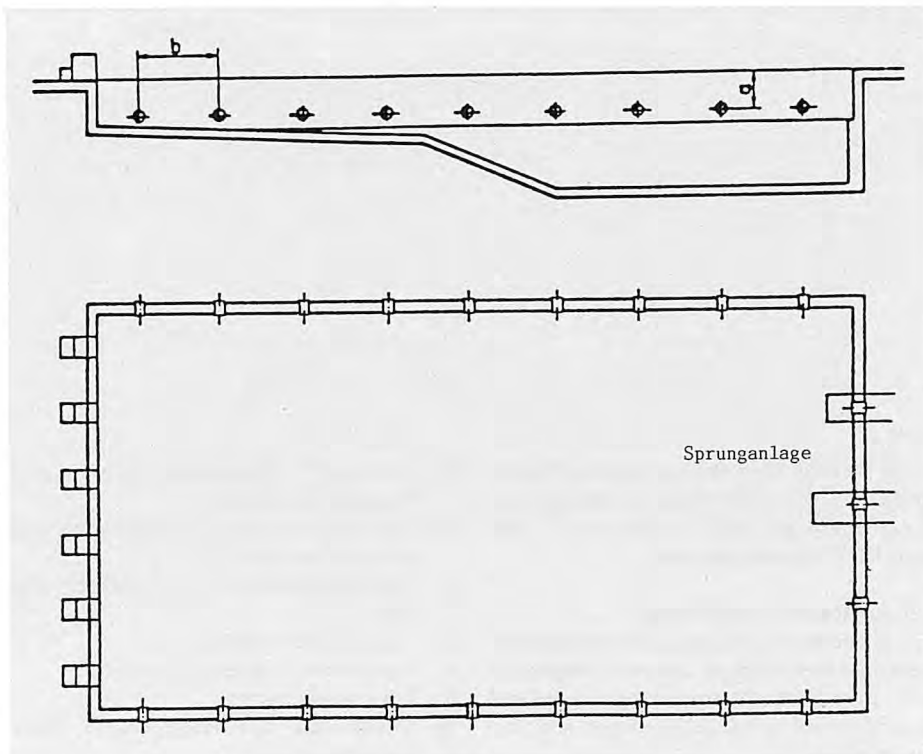
3.4 Anordnung und Einbau der Unterwasserscheinwerfer

Für den Einsatz von Lampen mit hoher Lichtleistung werden Scheinwerfer empfohlen, deren Gehäuse in die Beckenwände fest einzubauen sind. Zur Vermeidung von Verletzungen müssen die Leuchten wasserseitig bündig mit der Beckenwand abschließen. Der Lampenwechsel erfolgt von einer rückseitigen Montagegrube aus. Die Scheinwerfer bzw. deren Gehäuse werden in die Beckenlängswand über oder unter der Raststufe beim Bau des Schwimmbeckens direkt in hierfür vorgesehene Auslässe eingebaut. Die Einbautiefe der Scheinwerfer liegt im Normalfall etwa 1 m unter der Wasseroberfläche (Maß a). Der Abstand der Scheinwerfer untereinander ergibt sich aus der Planung nach 3.3 (Maß b) (Bild 5). Für Springen sind auch Scheinwerfer in der Sprungturmseitigen Beckenstirnwand vorzusehen. Für Unterwasserbeobachtung beim Springen kann eine zweite Scheinwerferreihe in 2,5 m Tiefe vorteilhaft sein.

Es sind nur Lampen entsprechender Güte, wie im Kapitel 2.5 besprochen, einzusetzen. Eine Übereinstimmung der Lampen außerhalb und innerhalb des Wassers in Farbe und Wiedergabe ist im allgemeinen nicht erforderlich, jedoch für den Fall, daß das Fernsehen auch Unterwasseraufnahmen anbietet, zu empfehlen. Aus wirtschaftlichen Überlegungen sollte der Halogen-Metall dampflampe der Vorzug gegeben werden. Der Einsatz von Glühlampen ist bei geringer Betriebsdauer und nur dann vertretbar, wenn eine nach 5 durchgeführte Kostenanalyse einen Vorteil erkennen läßt.

3.6 Scheinwerfer

Die Einbauscheinwerfer müssen druckwasserdicht ausgeführt, mechanisch stabil und gegen die chemischen Eigenschaften des Beckenwassers (Spannungsreihe) korrosionsbeständig sein. Sie müssen einfach und dicht gegen die Beckenwand eingebaut werden können. Optische Mittel (z. B. Spiegel, Streuscheiben usw.) sollten eine den örtlichen Verhältnissen angepaßte Lichtstärkeverteilung ermöglichen. Da-



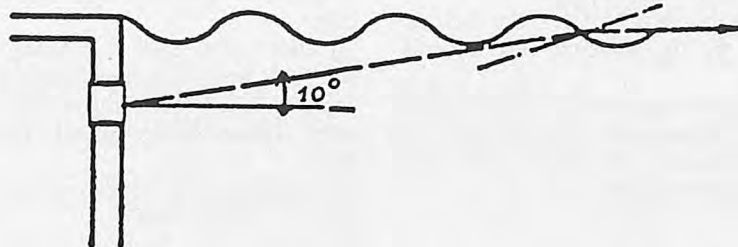
5 Anordnung von Unterwasser-Scheinwerfern in einem Schwimmbecken

bei soll die Totalreflexion an der Wasseroberfläche voll genutzt werden. Blendung von Schwimmern ist zu vermeiden. Eine Abschirmung über 10° nach oben (Bild 6) ist zu empfehlen, da bei bewegtem Wasser störende Reflexe auftreten können [9].

3.7 Installation

Bei Unterwasser-Einbauscheinwerfern ist aus installationstechnischen und wirtschaftlichen Gründen dem Betrieb der Lampen an Nennspannung 230 Volt der Vorzug zu geben. Es ist darauf zu achten, daß die vom Wasser aus berührbaren Teile

6 Unterwasser-Scheinwerfer sollten oberhalb eines Ausstrahlungswinkels von 10° zur Vermeidung störender Reflexe infolge Lichtbrechung an der Wasseroberfläche abgeschirmt sei



der Leuchtgehäuse galvanisch von den Leuchteneinsätzen getrennt sind. Bei Nachinstallation von Scheinwerfern auf der Beckenwand, die zum Lampenwechsel aus dem Wasser genommen werden müssen, ist aus Sicherheitsgründen der Halogen glühlampe für Kleinspannung der Vorzug zu geben.

3.8 Unterwasserbeleuchtung und Tageslicht

Ein störender Leuchtdichteschleier kann durch ungünstigen Tageslichteinfall erzeugt werden. Sind die Tagesleuchtdichten auf der Wasseroberfläche zu hoch, dann ist eine Anpassung der Leuchtdichten auf der Beckenauskleidung durch Unterwasserscheinwerfer wirtschaftlich nicht mehr möglich. Eine Reduzierung des natürlichen Lichts durch Gardinen, Rolläden oder farbiges Glas ist dann notwendig. Der veränderbaren Verdunklung ist der Vorzug zu geben, um stets das optimale Tageslicht für die Innenraumbeleuchtung zu erhalten.

4.0 Sicherheitsbeleuchtung

Nach den Richtlinien für den Bäderbau (2) ist eine Sicherheitsbeleuchtung erforderlich. In der Schwimmhalle, an den Ausgängen und auf allen Wegen, die einer Flucht dienen, soll die Sicherheitsbeleuch-

tung 1 Lux in Dauerschaltung betragen. Diese mindestens erforderliche Beleuchtungsstärke erhöht sich auf der Wasseroberfläche auf 15 Lux, wenn die Wassertiefe größer als 1,35 m ist. Die Beleuchtung muß eingeschaltet werden, sobald die künstliche Beleuchtung in einem dem Publikum zugänglichen Raum in Betrieb genommen

wird. Weitere Einzelheiten sind den Richtlinien für den Bäderbau zu entnehmen. Gegebenenfalls kann Rücksprache mit dem TÜV erforderlich sein.

5.0 Kosten der Beleuchtung

Für Kostenbetrachtungen und Wirtschaftlichkeitsberechnungen müssen grundsätzlich die Beleuchtungskosten insgesamt herangezogen werden. Sie setzen sich zusammen aus

- den Kapitalkosten (Verzinsung und Abschreibung der Errichtungskosten)
- den Instandhaltungskosten (Wartung und Instandsetzung)
- den Kosten für die elektrische Energie. Während der Planungsphase einer Beleuchtungsanlage müssen die Beleuchtungsaufgaben geklärt und die daraus resultierenden Anforderungen an die Beleuchtung festgelegt werden. Können die Anforderungen an die Beleuchtungsgüte bei gleichem oder annähernd gleichem Ergebnis mit unterschiedlichen Beleuchtungssystemen erzielt werden, muß die bessere Wirtschaftlichkeit durch Kostenvergleich ermittelt werden. Dabei sind zu berücksichtigen:
 - Materialpreise
 - Abschreibungszeiten der Anlagenbauteile
 - Zinssätze für Darlehen und Guthaben
 - Arbeitszeiten für Errichtung und Instandhaltung
 - Löhne
 - jährliche Betriebsstunden
 - Lebensdauer der Lampen
 - elektrischer Anschlußwert der Anlage
 - Preise für die Deckung des Strombedarfs

Die folgende vereinfachte Kostenformel dient der Berechnung von Anlage- und Betriebskosten je Jahr. Sie ist DIN 5035, Teil 1 entnommen [10].

$$K = n_1 \cdot \left[\frac{k_1 \cdot K_1 + \frac{k_2}{100} \cdot K_2}{n_2} + t_B \cdot a \cdot P + t_B \cdot \frac{K_3}{t_L} + \left(t_B \cdot \frac{K_4}{t_L} + \frac{R}{n_2} \right) \right]$$

Es bedeuten:

- K_1 Kosten einer Leuchte,
- k_1 Kapitaleinstellung für K_1 (Verzinsung und Abschreibung) in %,

- K_2 Kosten für Installationsmaterial und Montage je Leuchte,
- k_2 Kapitaleinstellung für K_2 (Verzinsung und Abschreibung) in %,
- R Reinigungskosten je Leuchte und Jahr,
- n_1 Anzahl aller Lampen,
- n_2 Anzahl der Lampen je Leuchte,
- K_3 Preis einer Lampe,
- K_4 Kosten für das Auswechseln einer Lampe,
- P Leistungsaufnahme einer Lampe einschließlich Vorschaltgerät in kW,
- a Kosten der elektrischen Energie je kWh, einschließlich der anteiligen Bereitstellungskosten (Grundpreis),
- t_L Nutzlebensdauer der Lampe in h,
- t_B jährliche Benutzungsdauer in h.

Beleuchtungsanlagen verschiedener Ausführungsformen, Arten und Systeme dürfen nur verglichen werden, wenn sie die Güteanforderungen gleichermaßen erfüllen. □

Literatur

- [1] DIN 67526 Teil 2, Ausgabe November 1987, Sportstättenbeleuchtung, Richtlinien für Fernseh- und Filmaufnahmen, Beuth-Verlag GmbH, Berlin und Köln.
- [2] Richtlinien für den Bäderbau, herausgegeben vom Koordinierungskreis Bäder (Deutsche Gesellschaft für das Badewesen, Deutscher Schwimmverband und Deutscher Sportbund), 2. Auflage 1982, Buchdruckerei und Verlags GmbH, Nürnberg.
- [3] DIN 67526, Blatt 1, Ausgabe September 1973, Sportstättenbeleuchtung, Richtlinien für die Beleuchtung mit künstlichem Licht, Beuth-Verlag GmbH, Berlin und Köln.
- [4] Lighting for Swimming Pools, Publication CIE N° 62 (1984).
- [5] Bericht über Kolloquium über »Beleuchtungsverhältnisse in Hallenschwimbädern« der Schweizerischen Lichttechnischen Gesellschaft, Brugg-Windisch, 23. Juni 1976.
- [6] DIN 5035, Teil 2, Ausgabe Oktober 1979, Innenraumbeleuchtung mit künstlichem Licht, Richtwerte für Arbeitsstätten, Beuth-Verlag GmbH, Berlin und Köln.
- [7] VDE 0100, Teil 702/11.82, Errichtung von Starkstromanlagen mit Nennspannun-

gen bis 1000 V, überdachte Schwimmbekken (Schwimmbädern) und Schwimmhallen im Freien.

[8] Krochmann, J.: Über die Berechnung der Unterwasserbeleuchtung bei Schwimmbekken, Lichttechnik 11/1973, S. 524–526.

[9] SEV 8913.1979, Leitsätze für Hallenschwimmbäder und Freibäder.

[10] DIN 5035, Teil 1, Ausgabe Oktober 1979, Innenraumbeleuchtung mit künstlichem Licht, Begriffe und allgemeine Anforderungen, Beuth Verlag GmbH, Berlin und Köln.

Sportstätten- beleuchtung

Beleuchtung für Reiten in Hallen

Veröffentlichung
des LiTG-Fachausschusses
»Sportstättenbeleuchtung«

Reithallen dienen dem allgemeinen Reitsport, dem Reitunterricht und Voltigieren sowie kleineren Wettkampfanstaltungen. Hallen für große Turniere sind Mehrzweckhallen, die auch anderen Sportarten dienen. Sie sind nicht Gegenstand dieses Berichts.

Die Beleuchtung von Reithallen

Abmessungen und konstruktive Gegebenheiten

Die Größe einer Halle wird bestimmt durch den Hufschlag von 20 m × 20 m. Unter Berücksichtigung der seitlichen Banden sind folgende Hallengrößen üblich:

- 2 Hufschlag 22 m × 42 m
- 3 Hufschlag 22 m × 62 m

Die lichte Höhe vom Hallenboden bis zur Unterkante der Binder soll mindestens 4,25 m betragen. Die Bilder 1 und 2 zeigen den Grundriß einer 2 Hufschlag großen Halle sowie einen Hallenquerschnitt [1]. Hallen dieser Größen können bereits kleinere Zuschauertribünen besitzen (Bild 1 und 2).

Zweck der Beleuchtung

Reithallen haben häufig kein ausreichendes Tageslicht und werden vor allem abends benutzt. Deshalb ist eine ausreichende künstliche Beleuchtung erforderlich.

Schulung für Pferd, Reiter und Lehrer

Beim Reitsport muß auf das Sehvermögen des Pferdes Rücksicht genommen werden [1]. Es ist davon auszugehen, daß das heutige Zuchtpferd in seinem Verhalten noch immer dem Wildpferd entspricht, das durch ständiges Sichern und die Bereitschaft zur Flucht gekennzeichnet ist.

Veröffentlichung des LiTG-Fachausschusses »Sportstättenbeleuchtung«
Obmann bis Oktober 1987:
Dipl.-Ing. C.-H. Zieseniß, Hamburg
Obmann ab Oktober 1987:
Dr.-Ing. R. Pusch, Traunreut
Arbeitskreis Reithallen:
Dr. agr. H.-J. Dodillet, Meinerzhagen
Dipl.-Ing. G. Müller, Springe
Dipl.-Ing. A. Stockmar, Celle.

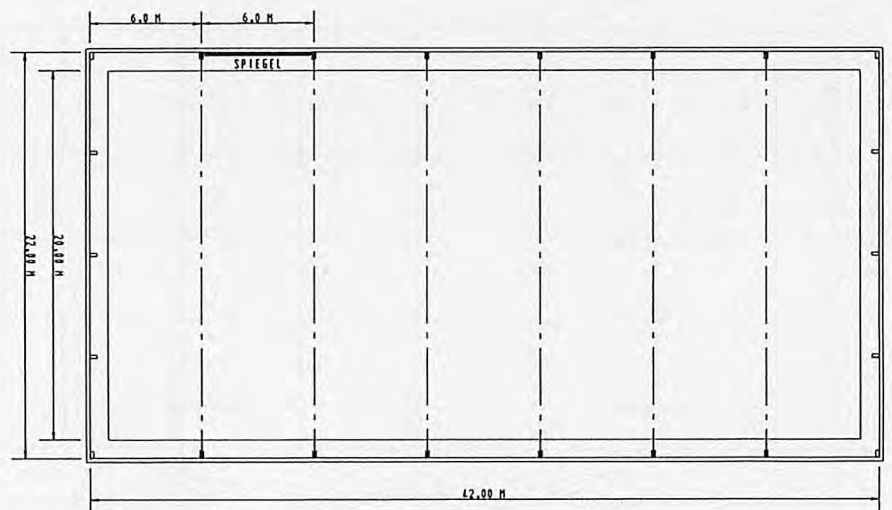
Durch die seitliche Anordnung der Augen nimmt das Gesichtsfeld für einäugiges Sehen und für beidäugiges Sehen stark voneinander abweichende Werte an.

Das Dämmerungssehen des Pferdes ist sehr ausgeprägt, die Unterschiedsempfindlichkeit ist größer als beim Menschen. Hohe Leuchtdichteunterschiede wirken besonders auf junge Pferde beunruhigend: Sie weichen vor dunklen und spiegelnden Flächen wie vor Gefahrenstellen aus.

Der Reiter hat durch die wahrzunehmenden großen Sehobjekte keine schwierigen Schaufgaben zu lösen. Für den Reitlehrer ist räumliches Sehen wichtig, um z.B. eine fehlerhafte Haltung des Reiters im Ganzen ebenso wie im Detail und die Durchführung von Korrekturen gut erkennen zu können.

Trotz naturbedingter unterschiedlicher Reaktionen auf die verschiedensten Schaufgaben für Mensch und Tier sollen hier die für den Menschen geltenden Gütemerkmale für gutes Sehen Grundlage der lichttechnischen Werte beim Reiten sein; der Vermeidung zu hoher Leuchtdichteunterschiede sollte besondere Beachtung geschenkt werden, um unnötige Beunruhigung der Pferde und damit potentieller Gefährdung der Personen zu vermeiden.

1 Grundriß einer Reithalle mit 2 Hufschlag

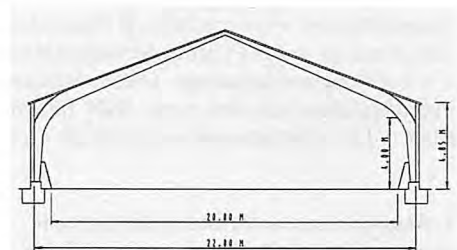


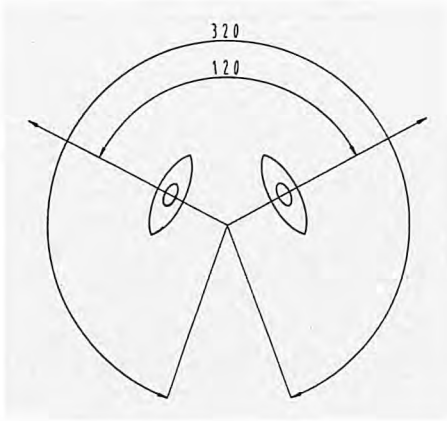
Gütemerkmale der Beleuchtung Beleuchtungsstärken

Die Reflexionsgrade der Raumbegrenzungsflächen in Reithallen sind erfahrungsgemäß sehr niedrig. Für lichttechnische Berechnungen sollten folgende Reflexionsgrade zugrundegelegt werden:

- Decke 0,3
- Wände 0,3
- Boden 0,1

2 Querschnitt einer Reithalle in Dreieckenrahmen-Konstruktion aus Brett-schichtholz. Diese und andere Konstruktionen (Zweieckenrahmen, Fachwerkbinder und Biegeträger auf eingespannten Stützen u.a.) sind durch den lichten Abstand von 20 m und die lichte Mindesthöhe von 4,25 m über den Rand gekennzeichnet





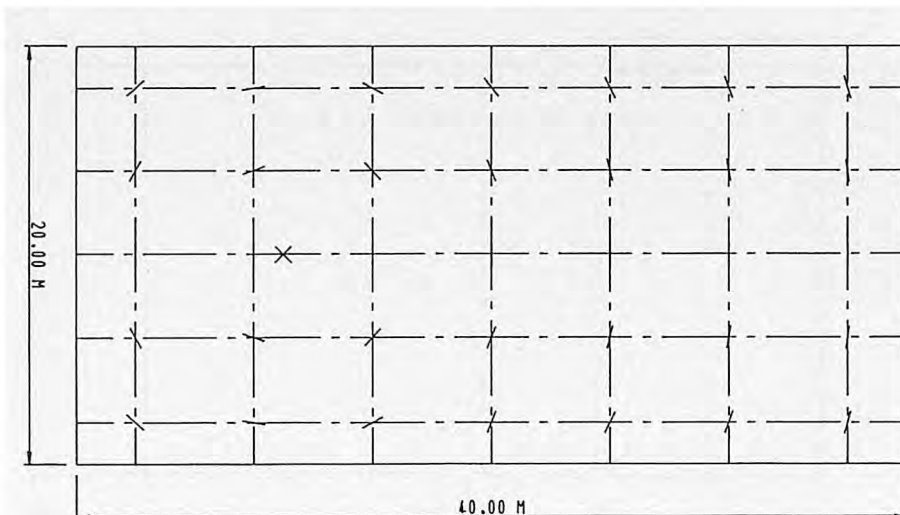
3 Das horizontale Gesichtsfeld des Pferdes beträgt bei einäugigem Sehen ca. 220°. Unter Berücksichtigung des gemeinsamen Gesichtsfeldes für beidäugiges Sehen (ca. 120°) nimmt das ganze horizontale Gesichtsfeld ca. 320° ein

Um die Schaufgaben in einer Reithalle zu lösen, müssen die Beleuchtungsstärken angemessen hoch sein. Für den Hallenboden werden folgende mittlere Horizontal-Beleuchtungsstärken empfohlen:

Voltigieren	100 Lux
Reiten ohne Hindernisse	150 Lux
Reiten mit Hindernissen	200 Lux
Dressur	200 Lux

In Reithallen ist mit erhöhter Verschmutzung der Beleuchtungsanlage durch Staub zu rechnen. Dadurch geht der Wert der Beleuchtungsstärke schon nach kurzer Betriebsdauer zurück. Es wird deshalb empfohlen, für die Planung die Nennbeleuchtungsstärke mit einem erhöhten Planungsfaktor von $p = 1,5$ (Verminderungsfaktor $v = 0,67$) zu multiplizieren. Dieser höhere Planungsfaktor als der nach DIN 67526 Blatt 1 [2] üblicherweise empfohlene von

4 Beispiel einer Anordnung der Berechnungspunkte zur Bestimmung der auf den Reitlehrer gerichteten Vertikal-Beleuchtungsstärken E_{vg}



1,25 ($v = 0,8$) kann vermieden werden, wenn sichergestellt ist, daß die Beleuchtungsanlage mindestens halbjährlich gereinigt wird. Für den Reitlehrer und die Selbstbeobachtung im Spiegel sind ausreichende Vertikal-Beleuchtungsstärken erforderlich (Bild 4).

Für einen im Mittelpunkt eines Hufschlags stehenden Reitlehrer soll der Mittelwert der Vertikal-Beleuchtungsstärke, in Richtung auf ihn in einer Höhe von 2 m über dem Boden, mindestens 30% der Horizontal-Beleuchtungsstärke auf dem Boden betragen.

Anmerkung: Die hier empfohlenen Berechnungsebenen für die Horizontal-Beleuchtungsstärke auf dem Boden und die Vertikal-Beleuchtungsstärke in 2 m Höhe weichen von der gültigen Norm DIN 67526 Blatt 1 [2] ab.

Gleichmäßigkeit

Die Gleichmäßigkeit der Horizontal-Beleuchtungsstärke soll auf dem Boden

$$g_h = \frac{E_{h \min}}{E_{h m}} \geq 0,30$$

sein.

Die Gleichmäßigkeit der gerichteten Vertikal-Beleuchtungsstärke soll in 2 m Höhe

$$g_{vg} = \frac{E_{vg \min}}{E_{vg m}} \geq 0,15$$

sein.

Blendungsbegrenzung

Direktblendung ist durch Verwendung von Leuchten mit geeigneter Lichtstärkeverteilung und deren richtige Anordnung zu begrenzen. Die Güte der Blendungsbegrenzung sollte in Anlehnung an DIN 5035 Teil 1 [3] der Stufe 2 entsprechen. Es wird empfohlen, Leuchten für Leuchtstofflampen mit einem Mindestabschirmwinkel von 5°, Leuchten für Hochdrucklampen mit Leuchtstoff oder lichtstreuendem Kolben mit einem Mindestabschirmwinkel von 15° und Leuchten für Halogen-Glühlampen oder Halogen-Metaldampflampen mit klarem Kolben mit einem Mindestabschirmwinkel von 30° zu verwenden.

Farbwiedergabe

An die Qualität der Farbwiedergabe werden in der Regel nur mittlere Ansprüche gestellt. Es wird empfohlen, Lampen einzusetzen, die nach DIN 5035 Teil 1 [3] einen Farbwiedergabeindex $R_a \geq 40$ aufweisen (Stufe 3).

Lampen

Es werden Leuchtstofflampen oder Hochdrucklampen mit der Lichtfarbe Warmweiß empfohlen. Für Reithallen, in denen die Umgebungstemperatur der Leuchten auf weniger als +10°C absinken kann, ist der Temperatureinfluß auf den Lichtstrom von Leuchtstofflampen zu beachten. Der Einsatz von Glühlampen ist für kurzzeitige Beleuchtung möglich, in der Regel jedoch nicht zu empfehlen, weil die Betriebskosten mindestens um den Faktor 4 höher als bei Entladungslampen liegen.

Leuchten

Aufgrund geringer Reflexionsgrade sowie der geforderten Blendungsbegrenzung sind in Reithallen keine freistrahlernden Leuchten einzusetzen. Ihre Lichtstromverteilung sollte vorzugsweise der Klasse A 40 ($\varphi_u : 0,9 \leq \varphi_u \leq 1$; $\varphi_{su} : 0,5 \leq \varphi_{su} \leq 0,6$) nach DIN 5040 [4] entsprechen. Der Lichtstromabnahme von Leuchtstofflampen in Abhängigkeit von der Umgebungstemperatur kann durch geeignete Leuchten entgegengewirkt werden.

Es werden Leuchten empfohlen, die mindestens der Schutzart IP 44 entsprechen und beständig gegen die in Reithallen herrschende Luftfeuchtigkeit und aggressive Dünste sind.

Beleuchtungsanlage und Anordnung der Leuchten

Eine gute Gleichmäßigkeit der Beleuchtung wird durch eine gleichmäßige Verteilung der Leuchten über der Grundfläche erreicht.

Für eine Nennbeleuchtungsstärke von 200 Lux sind in einer Halle mit 2 Hufschlag 7×5 zweilampige Leuchten (A 40, $\varphi_u = 1$) für je $z = 2$ Leuchtstofflampen 58 W oder 65 W mit einem Lampenlichtstrom φ_L parallel zur Längsachse der Halle anzuordnen. Unter Berücksichtigung der Beziehung

$$\varphi_{\min} \leq z \times \varphi_L \times \eta_{LB(t)} \times \frac{1}{p}$$

muß jede Leuchte unter Berücksichtigung des temperaturabhängigen Betriebswirkungsgrades $\eta_{LB(t)}$ und des Planungsfaktors p mindestens einen Lichtstrom φ_{\min} von 5700 Lumen (für $\varphi_{su} = 0,6$) bis 6350 Lumen (für $\varphi_{su} = 0,5$) abgeben.

Entsprechend muß bei Einsatz von 7×4 Leuchten (A 40, $\varphi_u = 1$) für Hochdrucklampen ($z = 1$) jede Leuchte mindestens einen Lichtstrom φ_{\min} von 7125 Lumen (für $\varphi_{su} = 0,6$) bis 7940 Lumen (für $\varphi_{su} = 0,5$) abgeben.

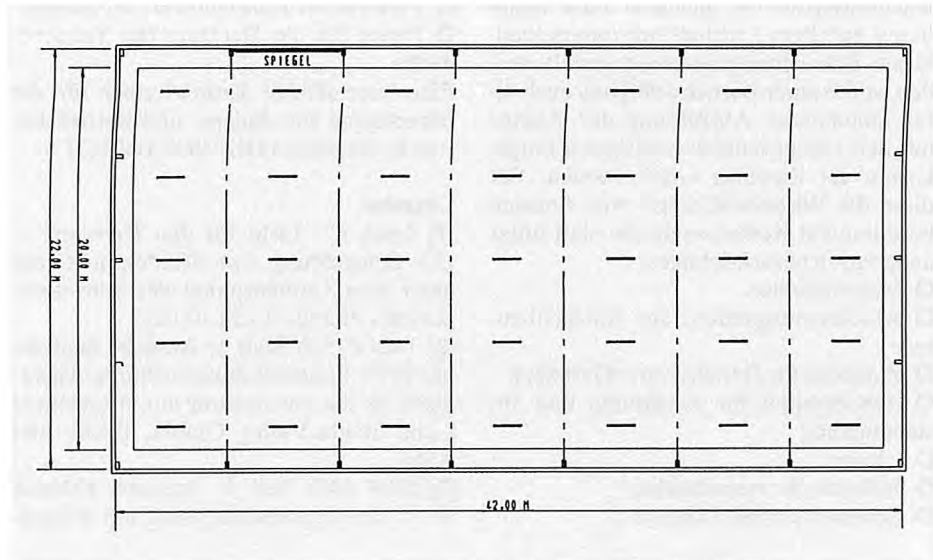
Mit den in Bildern 5 und 6 dargestellten Leuchtenanordnungen können unter der Voraussetzung der in Abschnitt »Beleuchtungsstärken« aufgeführten Reflexionsgrade und einer mittleren Leuchtenhöhe von 4,50 m über dem Boden die Forderungen bezüglich der Horizontal- und Vertikal-Beleuchtungsstärken und deren Gleichmäßigkeiten erfüllt werden.

Mit einer ausschließlich seitlichen Anordnung von Leuchten, auch solchen mit asymmetrischer Lichtstärkeverteilung, sind die Vertikal-Beleuchtungsstärken nach Abschnitt »Beleuchtungsstärken« unter Einhaltung der empfohlenen Gütekriterien nicht zu erzielen.

Zuschauertribünen erhalten im allgemeinen von der Hallenbeleuchtung ausreichend Licht, so daß eine zusätzliche Beleuchtung nicht erforderlich ist. Andernfalls muß eine für die Sicherheit notwendige Zusatzbeleuchtung mit Leuchtstofflampen installiert werden.

Sicherheitsbeleuchtung

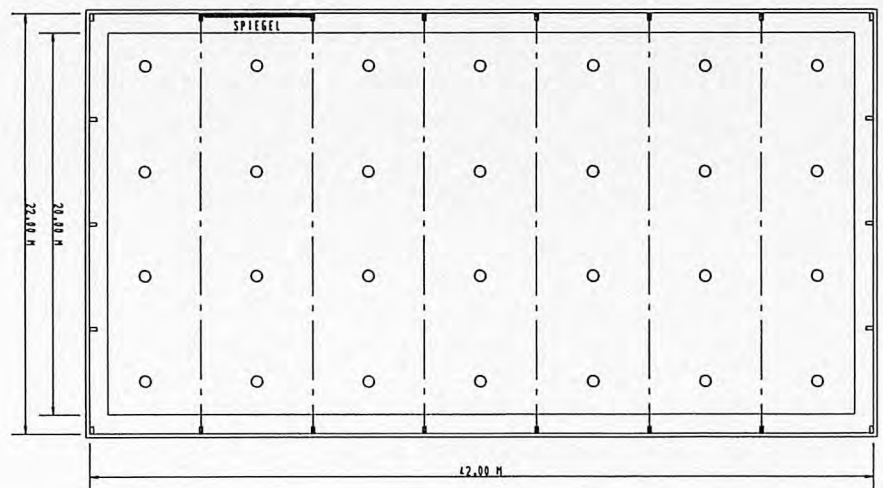
Eine verbindliche Forderung nach Installation einer Sicherheitsbeleuchtung in Reithallen der hier besprochenen Art be-



5 Anordnung der Leuchten für Leuchtstofflampen in einer 2-Hufschlag-Reithalle (7×5 Leuchten im Raster)

steht nicht. Sie ist jedoch zu empfehlen. Für die Durchführung einer Sicherheitsbeleuchtung gelten sinngemäß DIN 5035 Teil 5 [5], VDE 0108 [6] und/oder eine entsprechende Bauvorschrift (z.B. Versammlungsstättenordnung).

6 Anordnung der Leuchten für Hochdrucklampen in einer 2-Hufschlag-Reithalle (7×4 Leuchten im Raster)



Kosten der Beleuchtung

Die Beleuchtungskosten setzen sich zusammen aus

- den Kapitalkosten (Verzinsung und Abschreibung der Errichtungskosten)
 - den Instandhaltungskosten (Wartung und Instandsetzung)
 - den Kosten für die elektrische Energie.
- Während der Planungsphase einer Beleuchtungsanlage müssen die Beleuchtungsaufgaben geklärt und die daraus resultierenden Anforderungen an die Beleuchtung festgelegt werden. Können die Anforderungen an die Be-

leuchtungsgüte bei gleichem oder annähernd gleichem Ergebnis mit unterschiedlichen Beleuchtungssystemen erzielt werden, sollte unter Berücksichtigung auch ihrer qualitativen Ausführung der Anlage mit den voraussichtlich niedrigsten Folgekosten der Zuschlag erteilt werden. Für diese die Wirtschaftlichkeit von Anlagen berührenden Kostenvergleiche sind unter anderem zu berücksichtigen:

- Materialpreise
- Abschreibungszeiten der Anlagenbauteile
- Zinssätze für Darlehen und Guthaben
- Arbeitszeiten für Errichtung und Instandhaltung
- Löhne
- Jährliche Betriebsstunden
- Lebensdauer der Lampen

- Elektrischer Anschlußwert der Anlage
- Preise für die Deckung des Strombedarfs.

Eine vereinfachte Kostenformel für die Berechnung von Anlage- und Betriebskosten findet man in DIN 5035 Teil 1 [3].

Literatur

- [1] Loef, C.: Licht für den Reitsport – Die Beleuchtung von Pferdesportstätten unter dem Gesichtspunkt des Sehvermögens des Pferdes. Licht 10/1983
- [2] DIN 67526 Blatt 1: Ausgabe September 1973, Sportstättenbeleuchtung, Richtlinien für die Beleuchtung mit künstlichem Licht. Beuth-Verlag GmbH, Berlin und Köln
- [3] DIN 5035 Teil 1, Ausgabe Februar 1979, Innenraumbeleuchtung mit künstlichem Licht. Begriffe und allgemeine Anforderungen. Beuth-Verlag GmbH, Berlin und Köln

chem Licht. Begriffe und allgemeine Anforderungen. Beuth-Verlag GmbH, Berlin und Köln

- [4] DIN 5040 Teil 1 und 2 Ausgabe Februar 1976, Leuchten für Beleuchtungszwecke – Lichttechnische Merkmale – Innenleuchten, Begriffe – Einteilung, Beuth-Verlag GmbH, Berlin und Köln

- [5] DIN 5035 Teil 5, Ausgabe Januar 1985, Innenraumbeleuchtung mit künstlichem Licht, Notbeleuchtung, Beuth-Verlag GmbH, Berlin und Köln

- [6] DIN VDE 0108, Ausgabe Dezember 1979, Errichten und Betreiben von Starkstromanlagen in baulichen Anlagen für Menschenansammlungen sowie von Sicherheitsbeleuchtung in Arbeitsstätten, Beuth-Verlag GmbH, Berlin und Köln

Beleuchtung für Fußball, Handball und Rugby

Herausgegeben vom LiTG-Fachausschuß „Sportstättenbeleuchtung“ *

Mit den Empfehlungen „Beleuchtung für Fußball, Handball und Rugby“ stellt der LiTG-Fachausschuß „Sportstättenbeleuchtung“ eine weitere Arbeit der Öffentlichkeit vor. Sie behandelt sowohl die Beleuchtung des Trainingsplatzes, wie man ihn heute fast schon in jeder Gemeinde findet, als auch die des Großstadions. Die Empfehlungen dürften deshalb einen großen und interessierten Leserkreis finden.

Neben der Sichtung der einschlägigen Fachliteratur wurden auch lichttechnische Messungen in Sportstadion durchgeführt, deren Auswertung ihren Niederschlag in dieser Arbeit gefunden hat. Der Fachausschuß ist deshalb der Ansicht, daß die Empfehlungen Theorie und Praxis gleichermaßen Rechnung tragen.

Die Beleuchtungsempfehlungen des Fachausschusses der LiTG stellen keine Norm dar, sie sollen vielmehr dem projektierenden Ingenieur helfen, die Beleuchtung solcher Anlagen entsprechend dem heutigen Stand des Wissens und der Erkenntnisse zu planen.

DK 628.973

1. Allgemeines über die Sportarten

Fußball, Handball und Rugby sind Ballspiele, die im Freien durchgeführt werden. Eine Ausnahme bildet das Handballspiel, das auf kleineren Spielflächen auch in Hallen durchgeführt wird. (Über Beleuchtung von Sporthallen wird in dieser Ausarbeitung nicht gesprochen.) Die folgenden Ausführungen berücksichtigen vorwiegend Fußball und Handball. Sie gelten sinngemäß für Rugby. Soweit Abweichungen vorliegen, wird in den betreffenden Abschnitten darauf hingewiesen.

2. Abmessungen: Spielflächen, Tore und Bälle

Unabhängig von den Spielklassen gelten für die Maße der einzelnen Spielfelder die in den Bildern 1 bis 3 aufgeführten Werte.

Fuß- und Handballspiele werden mit kugelförmigen Lederbällen ausgeführt, deren Durchmesser beim Fußball etwa 25 cm und beim Handball etwa 19 cm betragen.

Rugby wird mit einem Ball gespielt, dessen Längsachse etwa 28 cm und dessen größter Durchmesser etwa 20 cm beträgt. Die Bälle können unterschiedliche Färbungen aufweisen, üblich sind braune (Leder), weiße mit schwarzen Einarbeitungen und schwarze mit weißen Einarbeitungen, die je nach vorliegenden Boden- und Witterungsverhältnissen benutzt werden.

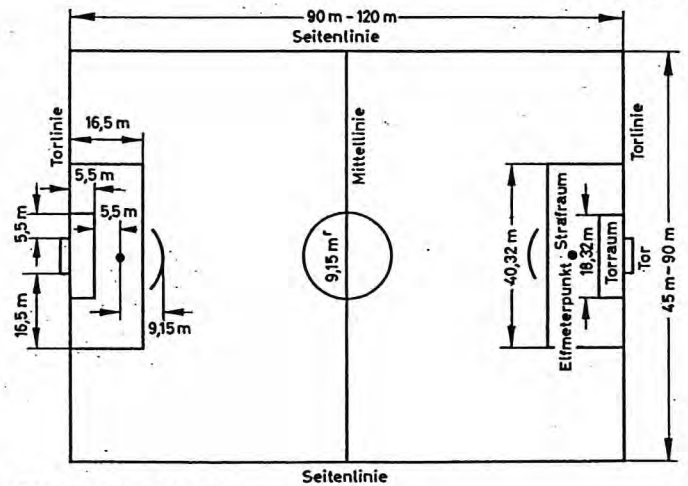


Bild 1. Fußball, Spielfeldskizze

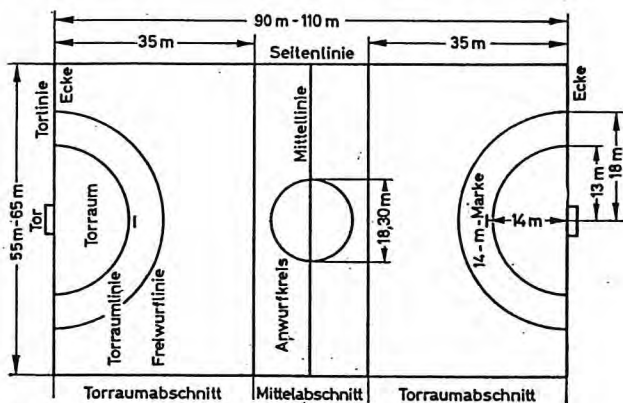


Bild 2. Feldhandball, Spielfeldskizze

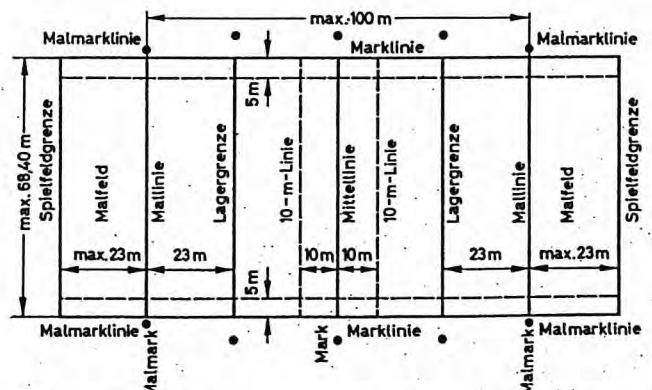


Bild 3. Rugby, Spielfeldskizze

* Mitarbeiter des LiTG-Fachausschusses „Sportstättenbeleuchtung“ sind die Herren Dipl.-Ing. L. Eichhoff, Dipl.-Phys. A. Gamber, Ing. H. Gerig, B. Hoffstadt, Ing. D. Lemm, Dipl.-Ing. E. K. Müller, Dipl.-Ing. A. Völker, Ing. L. Völkel, Dipl.-Ing. A. Wald, Ing. C. H. Ziesenis

3. Art der Sportstätten

Bisher wurden Sportanlagen nach dem Zuschauerfassungsvermögen unterschieden (beispielsweise wie nachfolgend aufgeführt). Es ist jedoch sinnvoller, für die Lösung der Beleuchtungsaufgabe von den maximalen Sehentfernungen auszugehen, da bei gleichem Zuschauerfassungsvermögen – je nach Bauart – unterschiedliche Sehentfernungen auftreten können.

3.1. Trainingsplätze und Wettspielplätze (bis etwa 3000 Zuschauerplätze)

Die Spielfläche kann unterschiedlich beschaffen sein. Spielfelder mit Rasen, Sand, Schotter, farbiger Schlackenasche sind zulässig. Sportstätten mit einem höheren Zuschauerfassungsvermögen als in 3.1. genannt, können als Stadien bezeichnet werden:

- 3.2. kleine Stadien bis etwa 30 000 Zuschauerplätze
- 3.3. mittlere Stadien bis etwa 60 000 Zuschauerplätze
- 3.4. große Stadien über 60 000 Zuschauerplätze

Diese Stadien besitzen überwiegend Spielfelder mit Rasen.

4. Schaufgabe

Die Beleuchtungsanlage eines Stadions muß es Spielern und Zuschauern ermöglichen, dem Spielverlauf ohne Schwierigkeiten zu folgen. Die schwierigste Schaufgabe ist es, den Bewegungen des kleinsten Sehbektes, des Balles, zu folgen. Eine dafür maßgebende Grundfunktion des Auges ist die Wahrnehmungsgeschwindigkeit. Experimentelle Untersuchungen [1] [2] [3] ergaben, daß die Wahrnehmungsgeschwindigkeit und damit die Erkennbarkeit eines bewegten Gegenstandes mit der Größe des Sehwinkels, dem Leuchtdichte- und Kontrast zum Umfeld und dem Leuchtdichtenniveau des Umfeldes (Adaptationsniveau) zunehmen.

Der Leuchtdichteunterschied zwischen Ball und Spielfeld sollte daher möglichst groß sein. Bei einem mittleren Reflexionsgrad des Spielfeldes von 0,1 ... 0,3 (z. B. Schotterboden 0,1 ... 0,15, Rasen je nach Schnitt und Feuchtigkeit 0,15 ... 0,25) je nach Bodenbeschaffenheit und Lichtart ergeben sich mit einem hellen Ball (Reflexionsgrad $\rho \geq 0,5$) Leuchtdichteverhältnisse von etwa 2:1 bis 5:1 zwischen Ball und Spielfeld, wenn man die für die Leuchtdichte wirksame Beleuchtungsstärke für beide gleich annimmt. Blackwell [3] definierte den Kontrast C zwischen einem Gegenstand der Leuchtdichte L und dem Umfeld der Leuchtdichte L_u gemäß $(L - L_u)/L_u = \Delta L/L_u$. Ein Leuchtdichteverhältnis von $L/L_u = 2:1$ entspricht demnach einem Kontrast $C = 1$.

Der Sehwinkel des Balles nimmt mit zunehmendem Abstand des Beobachters ab. Für einen Zuschauer kommen bei einem Balldurchmesser von 25 cm je nach Größe des Stadions minimale Sehwinkel σ von etwa 4' ... 8' in Frage (Bild 4). Bei einem vorgegebenen Leuchtdichtekontrast und Sehwinkel nimmt die Wahrnehmungsgeschwindigkeit zunächst rasch mit der Umgebungsleuchtdichte zu [1] [2] (Bild 5). Bei höheren Leuchtdichten wird der Anstieg der Wahrnehmungsgeschwindigkeit immer geringer. Zur befriedigenden Lösung der Schaufgabe, den bewegten Ball zu verfolgen, muß eine bestimmte Wahrnehmungsgeschwindigkeit gewährleistet sein. Zwar lassen sich die aus den Labor-

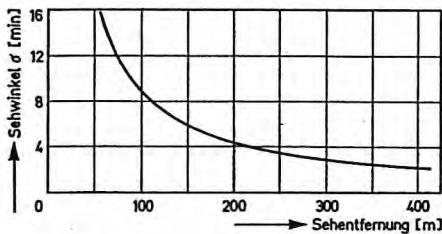


Bild 4. Sehwinkel in Abhängigkeit der Sehentfernung bei einem Balldurchmesser von 25 cm

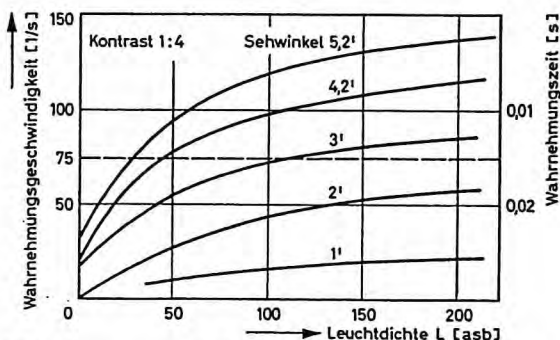


Bild 5. Wahrnehmungsgeschwindigkeit in Abhängigkeit von der Leuchtdichte und Sehwinkelgröße (nach Ferree und Rand [1])

versuchen gewonnenen Ergebnisse nicht ohne weiteres quantitativ auf den praktischen Fall übertragen, doch kann man wohl das relative Verhalten der Zusammenhänge zwischen Wahrnehmungsgeschwindigkeit, Sehwinkel, Umfeldleuchtdichte und Kontrast übernehmen.

4.1. Schaufgabe für den Spieler

Die für einen Spieler wesentlichen Sehentfernungen sind kleiner als 100 m. Für die in den folgenden Ausführungen zugrunde gelegte Wahrnehmungsgeschwindigkeit 10 s^{-1} ergeben sich aus Bild 8 auch Leuchtdichten $< 10 \text{ asb}$. Da man jedoch zusätzlich fordern muß, daß das foveale Zapfensehen voll in Aktion ist, soll die Leuchtdichte des Spielfeldes mindestens 10 asb betragen, was z. B. Beleuchtungsstärken von 40 bzw. 80 lx bei Reflexionsgraden des Spielfeldes von 0,25 bzw. 0,125 entspricht.

Diese Mindestwerte sind aber nur für den Trainingsbetrieb ausreichend. Für Wettspiele soll im Sinne einer Verbesserung der Sehbedingungen das Beleuchtungsniveau höher sein. Die praktischen Erfahrungen haben gezeigt, daß Beleuchtungsanlagen, die die in Punkt 5.1. aus der Sicht des Zuschauers aufgestellten Forderungen bezüglich Leuchtdichte- bzw. Beleuchtungsstärkenniveau erfüllen, auch den Anforderungen der Spieler – der entsprechenden Spielklassen – genügen.

4.2. Schaufgabe des Zuschauers

Alle Zuschauer sollen den Ball in jeder Spielphase verfolgen können. Dies erscheint gesichert, wenn für die Spielfeldleuchtdichten die aus den Blackwellschen Untersuchungen [3] und in Anlehnung an praktische Erfahrungen (Praxisfaktor) abgeleiteten Werte (Bild 8) auch für die größtmögliche Entfernung des Zuschauers vom Ball eingehalten werden.

Die theoretische Behandlung des Problems wird dadurch erschwert, daß die für die Erzeugung der Leuchtdichte wirksamen Beleuchtungsstärken für Ball und Spielfeld nicht dieselben sind. Die Leuchtdichte des Spielfeldes wird durch die horizontale Beleuchtungsstärke bestimmt, während bei großer Entfernung des Beobachters vom Ball für die Leuchtdichte des größten sichtbaren Teiles des Balles weitgehend die vertikale Beleuchtungsstärke maßgebend ist. Die vertikalen Beleuchtungsstärken ändern sich jedoch örtlich sehr stark. Messungen an bestehenden Anlagen haben ergeben, daß sie auf dem Spielfeld zwischen etwa dem 0,8fachen (in Spielfeldmitte) und 0,1fachen (an den Spielfelddecken) der jeweiligen örtlichen horizontalen Beleuchtungsstärken variieren können. Dies bedeutet, daß es auf jedem Spielfeld Zonen gibt, in denen die Teile eines hellen Balles, deren Leuchtdichte vorwiegend durch die Vertikalbeleuchtungsstärke bestimmt ist, keinen oder nur einen geringen Leuchtdichteunterschied zum Spielfeld haben. Leuchtdichtekontrast zum Spielfeld hat dann im wesentlichen nur noch der obere Teil des Balles, dessen Leuchtdichte durch die horizontale Beleuchtungsstärke bestimmt wird. Dieser Teil erscheint dem Beobachter jedoch unter einem wesentlich kleineren Sehwinkel als der Winkel, der dem ganzen Ball entspricht. Bei der nachfolgenden Auswertung von Laboruntersuchungen kann man diesen Fall z. B. dadurch berücksichtigen, daß man den wirksamen Sehwinkel kleiner als die Winkelausdehnung des Balles annimmt.

Geht man einmal in erster Näherung davon aus, daß die Leuchtdichte der Ballkuppe bis zu einem Winkel von 45° (Bild 6) durch die horizontale Beleuchtungsstärke bestimmt werde, dann ist der Durchmesser dieser Kugelzone $0,7 \times$ Kugeldurchmesser d . Bei den kommenden Überlegungen wird daher davon ausgegangen, daß im ungünstigen Fall die effektiv sichtbare Winkelausdehnung des Sehbektes σ_{eff} nur das 0,7fache der Winkelausdehnung des ganzen Balles ist.

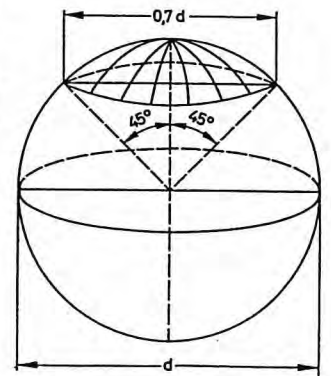


Bild 6. Effektiv sichtbare Winkelausdehnung des Balles

5. Lichttechnische Güteerkmale der Beleuchtung

5.1. Leuchtdichte, Beleuchtungsstärke, Kontrast, Gleichmäßigkeit

Die notwendige Spielfeldleuchtdichte in Abhängigkeit von der maximalen Zuschauerentfernung vom Ball gemäß Bild 8 läßt sich nach dem im folgenden geschilderten Verfahren abschätzen. Aus den praktischen Erfahrungen weiß man, daß bei sehr großen Stadien (Sehentfernungen bis etwa 200 m) ausreichende Sehbedingungen herrschen, wenn die mittlere Beleuchtungsstärke auf dem

Spielfeld mindestens etwa 350 lx beträgt und daß bei kleinen Plätzen mit nur wenigen Zuschauern (Sehentfernungen bis etwa 120 m) etwa 80 lx genügen. Die erforderlichen Mindestbeleuchtungsstärken für den Zwischenbereich sollen aus den Blackwellschen Untersuchungen der Wahrnehmungsgeschwindigkeit abgeleitet werden. Messungen an vier Sportanlagen ergaben Reflexionsgrade des nassen Rasens bis zu 0,23 für die vorkommenden Blickrichtungen. Man kann daher davon ausgehen, daß der Kontrast des hellsten Ballteiles zum Rasen $C \geq 1$ ist, wenn man den Reflexionsgrad des Balles $\rho \geq 0,5$ ansetzt.

Nimmt man den mittleren Reflexionsgrad des Spielfeldes ρ_m zu 0,25 an, so folgen aus den oben genannten Werten (350 lx bzw. 80 lx) Spielfeldleuchtdichten von etwa 90 asb bzw. 20 asb.

Bei Durchsicht der Blackwellschen Arbeit zeigt sich, daß man für den Kontrast $C = 1$ und mit $\sigma_{eff} = 0,7 \sigma$ die obigen Leuchtdichtewerte angenähert erhalten kann, wenn man von den Blackwellschen Ergebnissen für die Schwellenwerte bei $1/10$ s Darbietungszeit (entsprechend einer Wahrnehmungsgeschwindigkeit von 10 s^{-1}) ausgeht und die notwendigen Leuchtdichten für 99 % Wahrnehmungswahrscheinlichkeit und die Praxisfaktoren $F = 10$ und $F = 7,5$ als Funktion des Schwinkels σ bestimmt (Bild 7). Praxisfaktor $F = 10$ bedeutet, daß bei der Bestimmung der Leuchtdichte nur ein Zehntel des tatsächlich vorhandenen Kontrastes (also $C = 0,1$ statt $C = 1$) angesetzt wurde.

Wie man sieht, kann keine der beiden Kurven die aus der Praxis vorgegebenen Leuchtdichtewerte $L = 90 \text{ asb}$ für $\sigma_{eff} = 3'$ entsprechend 200 m Sehentfernung bzw. $L = 20 \text{ asb}$ für $\sigma_{eff} = 5'$ entsprechend 120 m Sehentfernung gleichzeitig erfüllen.

Es läßt sich jedoch rechtfertigen, dem weit entfernten Zuschauer einen niedrigeren Praxisfaktor zuzuordnen. Der Zuschauer, der sich dicht beim Spielfeld befindet, übersieht bei fester Blickrichtung nur einen kleinen Teil des Spielfeldes, und die Bewegungsvorgänge erfolgen für ihn mit relativ großer Winkelgeschwindigkeit. Er ist daher gezwungen, die Blickrichtung oft und schnell zu wechseln. Ein sehr weit entfernter Zuschauer sieht zwar alles unter kleinerem Winkel, aber er kann gleichzeitig einen viel größeren Teil des Spielfeldes übersehen, und die Winkelgeschwindigkeiten sind für ihn geringer. Etwa nötige Änderungen der Blickrichtung sind kleiner und können langsamer erfolgen. Wir nehmen daher an, daß für den sehr weit entfernten Zuschauer bereits ein Praxisfaktor 7,5 ausreicht, wenn der Zuschauer am Spielfeldrand einen Praxisfaktor 10 benötigt.

Daher wurde zwischen den beiden Kurven für $F = 10$ und $F = 7,5$ noch so interpoliert, daß die Interpolationskurve stetig in die beiden Randkurven übergeht.

In Bild 7 ist derselbe Sachverhalt auch für einen angenommenen Kontrast $C = 3$ (z. B. $\rho_m = 0,125$, $\rho_{Ball} = 0,5$) ausgeführt. Bei der Bestimmung der Kurven wurde die wegen der geringeren Spielfeldleuchtdichte gegebene Erhöhung des Schwellenkontrastes $\Delta L/L$ infolge Blendung aus Ergebnissen von Berek abgeschätzt und berücksichtigt. Im übrigen wurde wie bei $C = 1$ vorgegangen.

In Bild 8 sind schließlich die beiden Interpolationskurven als Spielfeldleuchtdichte L_{Sp} aus Bild 7 als Funktion der Entfernung

vom Ball herausgezeichnet. Sie geben Mindestwerte der Spielfeldleuchtdichte für die beiden untersuchten Kontraste an, aus denen sich dann bei gegebenem ρ_m die Mindestwerte für die Beleuchtungsstärke auf dem Spielfeld errechnen lassen (Bild 9). Die Neuwerte und Betriebswerte müssen entsprechend höher liegen (vgl. 5.1.). Wegen der stark vereinfachenden Annahmen bei der Bestimmung der Kurven 8 und 9 haben diese nur orientierende Bedeutung, sind aber ein brauchbares Hilfsmittel, um zu einer sinnvollen Beleuchtungsstärke (Tabelle 1) zu kommen.

Tabelle 1. Empfohlene Werte der mittleren horizontalen Beleuchtungsstärke und Gleichmäßigkeit

Wettkämpfe*:

Sehentfernung (m)**	Beleuchtungsstärke (Betriebswert)	Gleichmäßigkeit $E_{min} : E_{mittel}$
bis etwa 120	100...200	} 1 : 1,5
bis etwa 160	200...400	
bis etwa 200	400...800	

Trainingsbetrieb: 80 lx anstreben

(bei hellem Grund können 40 lx genügen).

Die notwendige mittlere horizontale Mindestbeleuchtungsstärke ergibt sich aus der gemäß Bild 8 zu fordernden Leuchtdichte und dem mittleren Reflexionsgrad des Spielfeldes als Funktion der Ausdehnung der Zuschauerzone (Bild 9). Dabei zeigt sich, daß bei einem relativ dunklen Spielgrund (z. B. $\rho = 0,125$) eine kleinere Beleuchtungsstärke ausreicht, um die vorgegebene Wahrnehmungsgeschwindigkeit zu gewährleisten. Dies ergibt sich daraus, daß bei gleichem Reflexionsgrad des Balles der Kontrast zu seinem Umfeld mit kleinerem Reflexionsgrad wächst. Eine Kontraständerung beeinflusst nach Blackwell die Wahrnehmungsgeschwindigkeit aber erheblich stärker als eine Änderung der Umfeldleuchtdichte. Da nach 4.1. die Leuchtdichte des Spielfeldes mindestens 10 asb sein soll, beträgt die Mindestbeleuchtungsstärke für dunklen Untergrund ($\rho = 0,125$) 80 lx und für hellen Untergrund ($\rho = 0,25$) 40 lx. Wegen der besseren ästhetischen und psychologischen Wirkung eines hellen Spielfeldes auf Spieler und Zuschauer und der weiteren Verbesserung der Sehbedingungen ist jedoch anzuraten, auch im Falle größerer Kontraste die höheren Beleuchtungsstärken entsprechend den Kurven für $C = 1$ zu wählen, zumal der damit verbundene Mehraufwand wirtschaftlich vertretbar erscheint. Für die Entfernung ist der maximale Abstand „Zuschauer – entfernte Spielfeldecke“ zu verwenden. Die Anlage ist für einen Neuwert von 1,25 des Betriebswertes zu planen. Die in Tabelle 1 angegebenen unteren Werte der Beleuchtungsstärke

* Siehe auch 6. Eignung für Fernseh- und Filmaufnahmen

** Sehentfernungen:

Stadion	Ort	Sehentfernung	Zuschauerplätze
Olympiastadion	(Berlin)	bis 200 m	93 000
Neckar-Stadion	(Stuttgart)	bis 190 m	72 000
Weser-Stadion	(Bremen)	bis 160 m	45 000
Gustaf-Strohm-Stadion	(Schwenningen)	bis 165 m	20 000

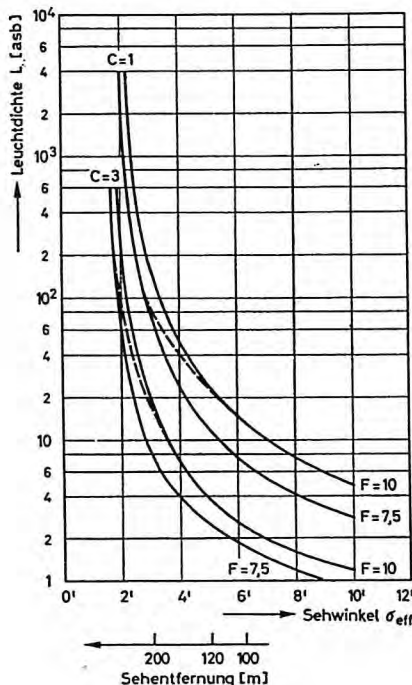


Bild 7 (links). Spielfeldleuchtdichte als Funktion des effektiven Schwinkels (Sehentfernung) für Wahrnehmungsgeschwindigkeit 10 s^{-1} , Kontrast $C = 1$ und 3 und Praxisfaktor $F = 7,5$ und 10

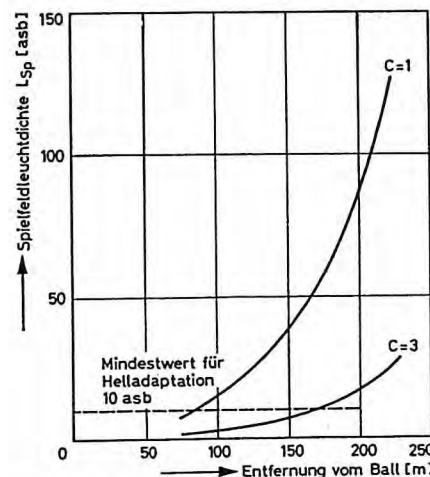


Bild 8. Spielfeldleuchtdichte als Funktion der Entfernung vom Ball (Durchmesser 25 cm) für konstante Wahrnehmungsgeschwindigkeit (ermittelt aus Ergebnissen von Blackwell) 10 s^{-1}

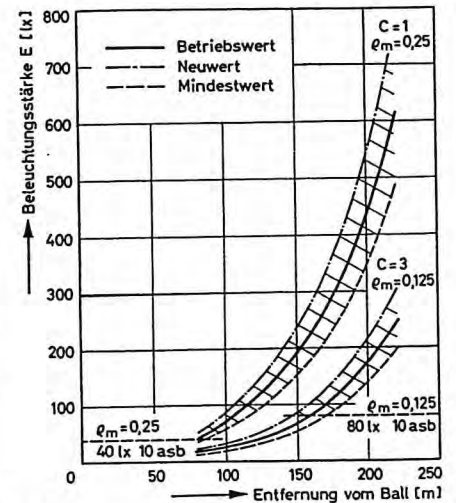


Bild 9. Beleuchtungsstärke als Funktion der Entfernung vom Ball für konstante Wahrnehmungsgeschwindigkeit (ermittelt aus Ergebnissen von Blackwell)

tungsstärke sollen mindestens erreicht werden. Bei den oberen Werten ergeben sich merklich verbesserte Sehbedingungen. Um eine ausreichende Gleichmäßigkeit der Beleuchtung zu erzielen, soll der in *Tabelle 1* genannte Wert nicht unterschritten werden.

Das Aussehen des Spielfeldes wird wesentlich von der horizontalen Beleuchtungsstärkeverteilung mitbestimmt. Die Leuchtdichte eines Rasens ist außerdem von Grasart, Graslänge, Art des Schnittes und von der Lichteinfall- und der Beobachtungsrichtung abhängig [8]. Deshalb weicht die Leuchtdichteverteilung z. T. von der Beleuchtungsstärkeverteilung ab. Es kann daher zweckmäßig sein, zur Erzielung einer gleichmäßigeren Leuchtdichteverteilung in gewissen Grenzen bewußt vom Grundsatz möglichst gleichmäßiger Beleuchtungsstärkeverteilung abzugehen (z. B. höhere Beleuchtungsstärken an den Rändern).

Für die Beleuchtung von Spielern und Ball ist auch die vertikale Beleuchtungsstärke maßgebend. Damit z. B. der Ball auch bei hohem Spiel immer sichtbar bleibt, muß über dem Spielfeld eine ausreichende Vertikalbeleuchtungsstärke vorhanden sein.

Damit der Gegensatz zwischen Spielfeldhelligkeit und Umgebung nicht zu schroff ausfällt und dauernde Umadaptation des Auges verursacht, sollte auch der Zuschauerbereich aufgehellert werden.

Insbesondere bei Benutzung von Gasentladungslichtquellen muß auf die Einhaltung ausreichender zeitlicher Gleichmäßigkeit geachtet werden, damit kein störendes Bewegungsfimmern auftritt. Dies kann durch geeignete Schaltungen erreicht werden.

5.2. Schattenwirkung

Auf dem Spielfeld dürfen die Schatten nicht zu hart sein. Das wird erreicht, wenn die einzelnen Spielfeldzonen nicht nur aus einer Richtung allein beleuchtet werden. Mäßige Unterschiede zwischen den Vertikalbeleuchtungsstärken verschiedener Richtung sind erwünscht, da die Körper dann plastischer wirken.

5.3. Blendung

Bezüglich der Blendung muß zwischen Zuschauern und Spielern unterschieden werden.

Im Prinzip ließe sich eine Flutlichtanlage denken, bei der kein direktes Licht von den Lichtquellen in die Zuschauerzone fällt, womit jegliche Blendung vermieden wäre. In der Praxis ist dieser Extremfall nicht zu verwirklichen, jedoch läßt sich die Beleuchtung so einrichten, daß im Zuschauerbereich eine erträgliche psychologische Blendung nicht überschritten wird.

Für die Spieler läßt sich Blendung prinzipiell nicht vermeiden, da die Forderung nach einer relativ hohen Vertikalbeleuchtungsstärke auch eine hohe Blendbeleuchtungsstärke am Auge zur Folge hat. Die Blickrichtung des Spielers wechselt dauernd. Daher ändert sich auch laufend die Blendwirkung, der er unterliegt. Trotzdem ist es für größere Anlagen sinnvoll, auch bezüglich der Blendung ein Güte Merkmal einheitlich festzulegen. Hierbei wäre sowohl die physiologische als auch die psychologische Blendung zu berücksichtigen, wobei bei einer subjektiven Beurteilung der Blendung durch Spieler oder Zuschauer die psychologische Blendung bewertet wird. Da aber zum Zeitpunkt der Abfassung dieser Arbeit die Methoden der quantitativen Berechnung der psychologischen Blendung noch nicht genügend bekannt und in der Anwendung erprobt waren, wird in dieser Ausarbeitung nur die physiologische Blendung behandelt. Sie wird charakterisiert durch den Blendfaktor φ , der folgendermaßen definiert ist [4] [5]:

$$\varphi = \frac{L_S}{L_S + L_A}$$

L_S = äquivalente Schleierleuchtdichte***,

L_A = Adaptationsleuchtdichte $\approx 0,9 \times$ Spielfeldleuchtdichte L_{Sp} , wobei man L_S für eine Lichtquelle aus der Beziehung

$$L_S = 30 \frac{E_{Bl}}{\Theta^2} \text{ (asb)}$$

erhält.

E_{Bl} = Blendbeleuchtungsstärke am Auge in lx in der Ebene senkrecht zur Blickrichtung,

Θ = Winkel in Grad zwischen Blickrichtung und Richtung zur Lichtquelle.

Zur Ermittlung der Spielfeldleuchtdichte L_{Sp} wird für die Projektierung ein Annäherungswert entsprechend folgender Formel vorgeschlagen:

$$L_{Sp} = \varrho_m E_m \text{ (asb)} .$$

E_m = mittlere Beleuchtungsstärke in lx.

*** Nach Moon und Spencer bestimmt ein Feld von 2° Durchmesser im Zentrum des Gesichtsfeldes zu 93% die Adaptationsleuchtdichte. Setzt man daher $L_A = 0,9 L_{Sp}$, so ist der tatsächliche Wert für L_A höchstens größer, d. h. der Blendungsgrad höchstens kleiner als der berechnete.

Für den mittleren Reflexionsgrad ϱ_m des Rasens können annäherungsweise Werte zwischen 0,15 ... 0,25 je nach Lichtart und Rasenbeschaffenheit eingesetzt werden.

Für gleichzeitige Wirksamkeit mehrerer Blendlichtquellen gilt:

$$L_S = L_{S1} + L_{S2} + \dots = 30 \frac{E_{Bl1}}{\Theta_1^2} + 30 \frac{E_{Bl2}}{\Theta_2^2} + \dots$$

Zur Charakterisierung der Spielerblendung diene die Situation im Spielfeldmittelpunkt. Als Bezugsstrahl wird ausgehend von Augenhöhe über dem Spielfeldmittelpunkt (1,5 m) die Richtung gegen die Lichtquellen um 2° gegen die waagerechte Ebene nach unten geneigt angenommen (Bild 10). Für diese Geometrie wurden

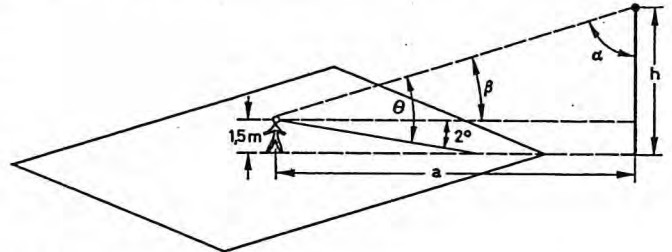


Bild 10. Berechnung der Lichtpunkthöhe

an vier bestehenden Flutlichtanlagen die Blendfaktoren φ bestimmt. Es ergaben sich Werte zwischen $\varphi = 0,08$ und $0,11$. Auf Grund dieser Messungen erscheint es sinnvoll, die zulässigen physiologischen Blendfaktoren φ entsprechend *Tabelle 2* zu stufen.

Tabelle 2

bis 125 m	Blendfaktoren	175 m	Blendfaktoren
150 m	—	> 175 m	0,1
	0,12		< 0,1

(Anmerkung: Die psychologische Blendung kann bei Beleuchtungsanlagen verschiedener Ausführung, die alle gleichen physiologischen Blendungsgrad φ haben, sehr unterschiedlich sein.)

Es ist auch dafür zu sorgen, daß keine Störung durch Blendung in der Umgebung des Stadions, insbesondere auf Straßen und Eisenbahnlinien, auftritt.

5.4. Farbwiedergabe

Das Wohlbefinden von Spielern und Zuschauern wird - wenn auch oft unbewußt - von der Farbwiedergabe beeinflusst. Insbesondere sollte die Hautfarbe gut wiedergegeben werden. Das setzt einen ausreichenden Rotanteil im Spektrum der eingesetzten Lichtquellen voraus. Aber auch die übrigen Farben des Spektrums müssen genügend vertreten sein. Gegebenenfalls sind Farblücken einer Lichtquelle durch Mischung mit dem Licht einer hierzu geeigneten anderen Type auszufüllen.

6. Eignung für Fernseh- und Filmaufnahmen

Fernsehkameras und Filme haben eine bestimmte spektrale Empfindlichkeit, die vom menschlichen Auge abweicht. Bei der Auswahl der Lichtquellen ist dies zu beachten.

In Stadien, in denen gute (Schwarz-Weiß-)Fernsehaufnahmen ohne Zusatzbeleuchtung möglich sein sollen, sind horizontale Beleuchtungsstärken von > 250 lx anzustreben. Aufnahmen bei niedrigerem Niveau sind bei verminderter Bildqualität noch möglich. Für Farbfernsehaufnahmen sind wesentlich höhere Beleuchtungsstärken notwendig.

Für fernsehgerechte Filmaufnahmen sind z. Z. Beleuchtungsstärken von 500 ... 800 lx erforderlich.

7. Lichtquellen

Als Lichtquellen kommen Glüh- und Entladungslampen in Frage. Für die Beleuchtung der Spielfelder eignen sich im einzelnen:

Für Anlagen nach 3.1.:

Allgebrauchs-, Lichtwurf-, Halogenleuchtampen, Mischlichtlampen, Quecksilberdampf-Hochdrucklampen mit und ohne Leuchtstoff, Metallhalogenlampen-Lampen und Leuchtstofflampen.

Für Anlagen nach 3.2. bis 3.4.:

leistungsstarke Allgebrauchs-, Lichtwurf-, Halogenleuchtampen, Quecksilberdampf-Hochdrucklampen mit und ohne Leuchtstoff, Metallhalogenlampen-Lampen und Xenonlampen.

Da die Beleuchtungsanlagen normalerweise nur eine relativ kurze Zeit benutzt werden, ist es denkbar, auch unter Verlust an Lebensdauer die Lampen mit einer noch zulässigen Überlast

unter Lichtstrom- und Lichtausbeutegewinn zu benutzen, wobei Glühlampen und Mischlichtlampen eine größere Empfindlichkeit gegenüber Überlast aufweisen als Entladungslampen.

8. Leuchten

Der jeweils geeignete Leuchtentyp richtet sich nach der Größe der Stadien, für die die Beleuchtung gedacht ist, wobei die Montagemöglichkeit von mitbestimmendem Einfluß ist.

Für die Beleuchtung aus kürzeren Entfernungen (bis etwa 20 m) eignen sich Leuchten mit größerer Streuung. Für weitere Entfernungen sollten Leuchten mit enger Lichtstrombündelung benutzt werden. Durch Verstellen der Lampe innerhalb der Leuchte kann meistens die Lichtbündelung in gewissem Umfang verändert werden.

9. Ausführung der Anlagen

9.1. Anzahl und Anordnung der Maste

9.1.1. Mastzahl

Fußball, Handball

Entsprechend der Eingruppierung nach Größe und Bedeutung der Anlage

für die Gruppe 3.1. wahlweise 6 oder 8 Maste (Bild 11),
für die Gruppen 3.2., 3.3., 3.4. prinzipiell 4 Maste.

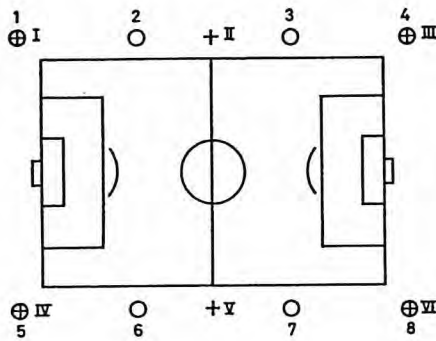


Bild 11.
Fußball, Handball, Anordnung der Maste für Trainingsplätze

Rugby

Entsprechend der Eingruppierung nach Größe und Bedeutung der Anlagen ist folgende Anzahl von Masten vorzusehen:

für die Gruppe 3.1. 10 Maste,

für die Gruppe 3.2. bei einem Abstand des Fußpunktes des Lotes von der Beleuchtungsbühne vom Spielfeldrand von 10 m bis 25 m 8 Maste,

für die Gruppen 3.3. und 3.4. 6 Maste.

9.1.2. Anordnung der Maste

Wenn Zuschauerränge vorhanden sind, ist es vorteilhaft, die Maste hinter den Rängen anzuordnen. Es wird dadurch eine Sichtbehinderung für die Zuschauer vermieden.

Fußball, Handball

In Anlehnung an den Bericht der CIE (Comité S-3.3.4.) [7] wird für die Gruppen 3.2. bis 3.4. die sogenannte „Diagonalanordnung“ vorgeschlagen (Bild 12).

Bei der sogenannten „Diagonalanordnung“ ist Voraussetzung, daß die Maste in jedem Fall hinter der Torlinie angeordnet werden. Als zweckmäßigster Bereich kommt jene Fläche in Frage, die von den beiden Strahlen begrenzt wird, welche von der Tormitte ausgehen und mit der Torlinie nach hinten einen Winkel von 10° bzw. 25° bilden. Die Maste sollen so nahe wie möglich an das Spielfeld gesetzt werden, jedoch nicht näher als die Grenzlinie, die von der Mitte der Spielfeldlängskante ausgeht und mit dieser einen Winkel von 5° bildet. Bild 12 zeigt im Grundriß die für den Standort der Maste bzw. Fußpunkt des Lotes von der Beleuchtungsbühne vorzusehende Fläche (schraffiert). In diesem schraffierten Bereich sind die Maststandorte entsprechend der Art des Stadions festzulegen.

Für die Anlagen der Gruppen 3.1. empfiehlt sich für die äußeren 4 Maste ebenfalls die „Diagonalanordnung“. Zur Verringerung der Lichtpunkthöhe können jedoch noch 2 oder 4 zusätzliche Maste (siehe 9.1.1.) an den Längsseiten vorgesehen werden.

Rugby

Die Anordnung der in 9.1.1. angegebenen Maste kann gemäß Bildern 13 a bis c gewählt werden.

Masthöhe siehe 9.2., wobei die Einstellentfernung der kürzeste Abstand vom Lot-Fußpunkt von der Beleuchtungsbühne zur Mittellinie ist.

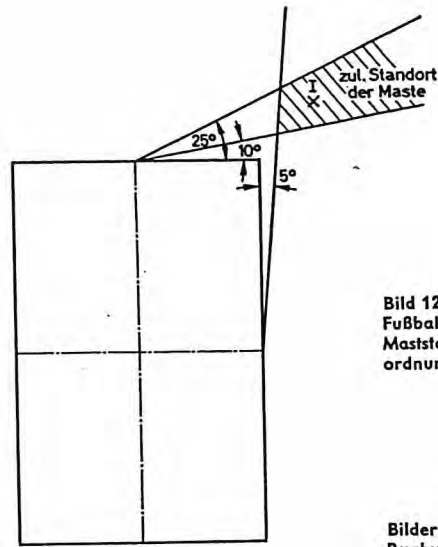
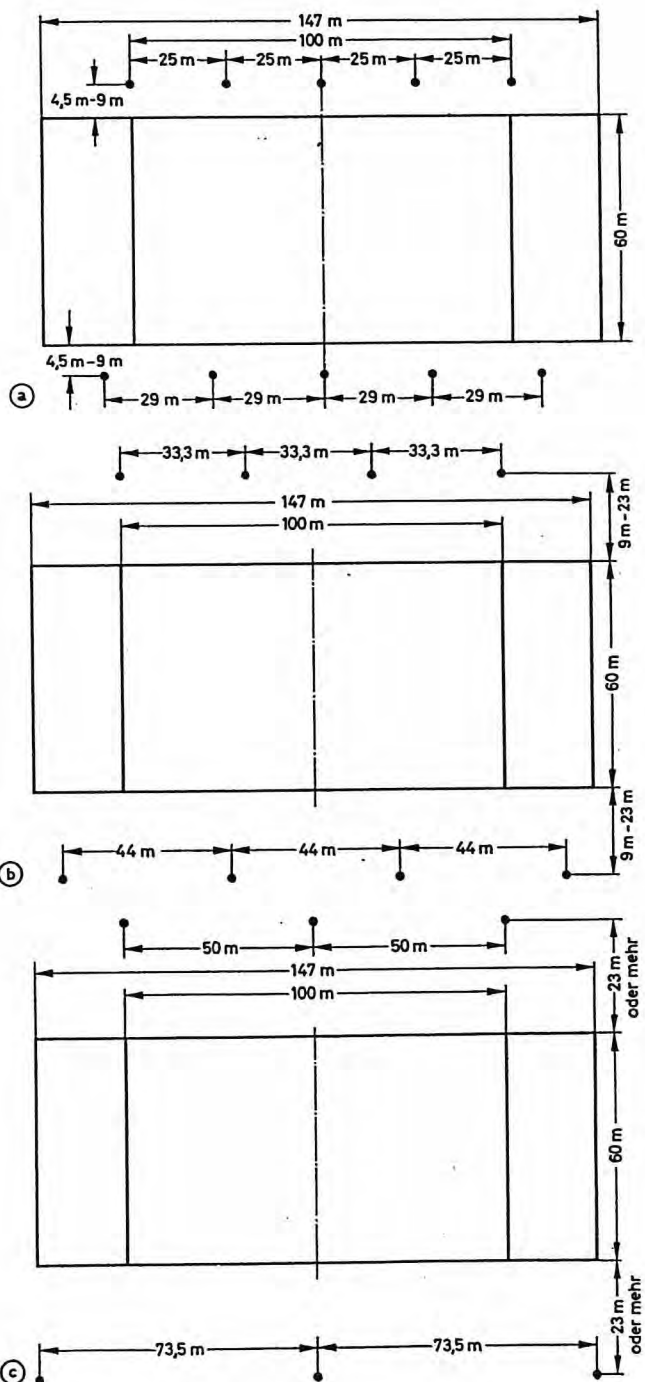


Bild 12.
Fußball, Handball. Wahl der Maststandorte (Diagonalanordnung)

Bilder 13 a—c (unten).
Rugby, Anordnung der Maste



9.2. Wahl und Berechnung der Lichtpunkthöhe in Stadien

Im Abschnitt 5.3. „Blendung“ wurde dargelegt, daß die Blendung für Spieler und Zuschauer um so größer wird, je kleiner der Winkel zwischen Blendlichtquelle und Blickrichtung ist, je niedriger also die Masthöhe gewählt wird. Die niedrigste Lichtpunkthöhe sollte sich demzufolge nach dem zulässigen Blendungsgrad richten (Tabelle 2 im Abschnitt 5.3.). Zur Berechnung desselben gelte der Spielfeldmittelpunkt als Bezugspunkt, wobei die Blickrichtung gegen einen Mast zugrunde gelegt wird.

Unter dieser Voraussetzung läßt sich die Höhe aus folgender Formel berechnen:

$$h = a \tan \beta + 1,5; \quad \beta = \Theta - 2^\circ.$$

Dabei ist a der Abstand in Meter vom Spielfeldmittelpunkt zum Fußpunkt des Lotes von der Beleuchtungsbühne und β der Winkel zwischen der Waagerechten und der Verbindungslinie zwischen Beobachter auf dem Spielfeldmittelpunkt zur Mitte der Scheinwerferbühne (Bild 10). Die 1,5 berücksichtigt die Augenhöhe der Spieler. Den Winkel β für eine symmetrische Viermastanlage findet man aus dem Schaubild (Bild 14) der Funktion $f(\beta)$, die vom mittleren Reflexionsgrad ϱ_m und dem Blendfaktor φ abhängt. Berechnung der Funktion $f(\beta)$ siehe Anhang.

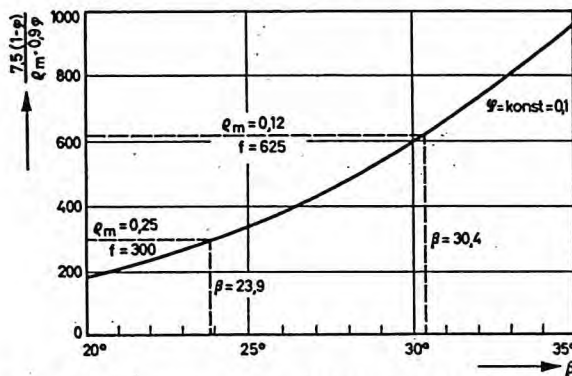


Bild 14. Zusammenhang zwischen Winkel β und Reflexionsgrad ϱ bei konstantem Blendungsgrad φ

Für die beiden Extremfälle $\varrho_m = 0,12$ und $\varrho_m = 0,25$ ergibt sich bei $\varphi = 0,1$ für $f(\beta)$ ein Wert von 625 bzw. 300. Damit wird der Winkel $\beta = 30,4^\circ$ bzw. $23,9^\circ$. Zwischen diesen beiden Werten liegt der minimal zulässige Einstrahlungswinkel gegen die Horizontale bei Flutlichtanlagen, die einem Blendungsfaktor von $\varphi = 0,1$ genügen. Für den Fall, daß für eine genaue Berechnung der Lichtpunkthöhe h ϱ_m nicht genügend sicher bestimmt werden kann, empfiehlt es sich für eine Viermastanlage, h nach der Beziehung

$$h = 0,55 a$$

zu berechnen (entspricht $\beta \approx 28,8^\circ$).

9.3. Sonstige Anlagen

Bei überdachten Zuschauerrängen kommen auch andere Anordnungen in Betracht, z. B. Anordnung der Scheinwerfer am Dach, wenn sie die im Abschnitt 5 genannten Güteermale erfüllen.

10. Messung der lichttechnischen Daten

Bei der Messung der Beleuchtungsstärken ist darauf zu achten, daß die benutzten Beleuchtungsstärkemesser für die zu messende Lichtzusammensetzung kalibriert und daß sie cosinuskorrigiert sind. Die letzte Kalibrierung sollte nicht länger als ein Jahr zurückliegen.

Der beleuchtete Platz ist in gleichgroße Felder von etwa $10 \text{ m} \times 10 \text{ m}$ einzuteilen und die Beleuchtungsstärke in der Mitte der Felder zu messen. Die Messungen sollen für horizontale Beleuchtungsstärken auf dem Boden (maximal 20 cm darüber) erfolgen. Um eine gleichbleibende Stellung des Photoelementes zu gewährleisten, ist eine kardanische Aufhängung erwünscht.

Die zur Berechnung des Blendfaktors notwendige Blendbeleuchtungsstärke E_{B1} einer Lichtquelle am Auge (in der Ebene senkrecht zur Blickrichtung) wird durch Messen der Beleuchtungsstärke E am Auge in der Ebene senkrecht zur Einfallrichtung des Blendlichtes ermittelt. Hierfür ist das Photoelement auf die Scheinwerfer eines Mastes zu richten und durch einen mattschwarzen Tubus von der vier- bis sechsfachen Länge des Tubusdurchmessers gegen Streulicht, insbesondere vom beleuchteten Spielfeld her, zu schützen. Die Blendbeleuchtungsstärke ergibt sich dann zu

$$E_{B1} = E \cos(\beta + 2). \quad (\text{Bild } 10)$$

Die Messungen sollten nur von Fachleuten vorgenommen werden.

11. Betriebstechnische Gesichtspunkte

11.1. Flutlichtgeräte

Flutlichtgeräte bzw. Scheinwerfer sollten die Möglichkeit bieten, auf einfache Weise die Lampen zu verstellen. Die optische Achse der Geräte sollte entweder durch eine zusätzlich aufzusetzende Zieleinrichtung oder durch eine bereits fest angebaute Visiereinrichtung leicht auf die vorher berechneten Zielpunkte auf dem Spielfeld eingestellt werden können.

Nach der Befestigung bzw. der Montage sollte die gefundene optimale Einstellung markiert und eventuell fixiert werden, damit sie nach Wartungs- oder Reparaturarbeiten, bei denen eine Verstellung der Flutlichtgeräte notwendig wird, ohne weiteres wiedergefunden wird. Von einer betriebsmäßigen Änderung der Beleuchtungsverteilung durch Verstellen der Scheinwerfer für andere Sportarten sollte abgesehen werden, da die Einstellung der Geräte erfahrungsgemäß schwierig ist.

Die Geräte sollen korrosionsgeschützt sein oder aus korrosionsbeständigem Material bestehen.

11.2. Masten

Die Masten sollen leicht und sicher besteigbar, für Unbefugte aber nicht zugänglich sein. Scheinwerfer müssen gefahrlos bedient werden können.

11.3. Installation

Die Versorgungsspannung sollte bei Glühlampen $\pm 3\%$ und bei Entladungslampen $\pm 5\%$ der Nennspannung betragen.

Bei Verwendung von Entladungslampen ist ein wechselseitiger Anschluß der Lampen an die drei Phasen zu empfehlen (siehe 5.1.).

Bei Großanlagen sind die Steuergeräte zentral und an einer Stelle anzuordnen, von der aus das Spielfeld und die Wirkung der Beleuchtungsanlage überblickt werden können. Es ist außerdem ein Blind- bzw. Leuchtschaltbild, das den jeweiligen Schaltzustand der Anlage anzeigt, vorteilhaft.

Einzelschaltungen und ihre Kombinationen können nach örtlichen Erfordernissen vorgenommen werden.

11.4. Wartung, Instandhaltung

Flutlichtanlagen sollten in ihrer technischen Konzeption und in ihrer Lebensdauer für einen ausreichend langen Zeitraum (etwa zehn Jahre) ausgelegt werden. Das gilt sowohl bei großen Anlagen wie für kleinere Plätze und Übungsgelände.

Masten und Installation können ohne besonderen wirtschaftlichen Aufwand für eine Lebensdauer von etwa 20 Jahren bemessen werden. Eine regelmäßige Wartung und Inspektion der gesamten Anlage, d. h. aller elektrischen und mechanischen Teile, ist zu empfehlen. Im allgemeinen genügt eine jährliche Überprüfung aller elektrischen Einrichtungen. Der Korrosionsschutz der Masten und anderen Metallteile muß nach den jeweiligen Erfordernissen durchgeführt werden. Die Wartung soll erfolgen, wenn die mittlere Beleuchtungsstärke auf dem Spielfeld auf den 0,8fachen Betriebswert gesunken ist (siehe 5.1.). Je nach Witterungs- und Umgebungseinflüssen ergeben sich gewisse Reinigungszeitpunkte:

- a) in jedem Fall zu Beginn jeder Saison und immer, wenn Lampenwechsel vorgenommen wird,
- b) in Gebieten starker Luftverschmutzung möglichst zwei- oder dreimal je Saison.

Das Auswechseln von Lampen, die ausgefallen sind oder in ihrem Lichtstrom zu stark nachgelassen haben, ist notwendig, um das Beleuchtungsstärkeniveau auf dem Spielfeld einigermaßen konstant zu halten. Bei Großanlagen kann eine Gruppenauswechslung der Lampen vorteilhaft sein, um die Arbeitskosten der Lampenauswechslung gering zu halten und um starke Lampenausfälle während der Saison zu vermeiden.

12. Anhang: Berechnung der Funktion $f(\beta)$ für eine symmetrische Viermastanlage (Bilder 10, 12 und 14)

Voraussetzungen:

1. Äquivalente Schleierleuchtdichte L_S durch Leuchten auf Mast II bei Blickrichtung gegen Mast I (Bild 12) ist vernachlässigbar klein. Das ist – wie Nachrechnungen zeigen – der Fall.
2. Der Blendungsgrad φ wird dann nur von Leuchten auf Mast I erzeugt.

Zeichenerklärung:

- L_A = Adaptationsleuchtdichte in asb
- L_S = äquivalente Schleierleuchtdichte in asb
- E_{B1} = Blendbeleuchtungsstärke am Auge in lx

Θ = Winkelabstand der Lichtquelle von der Blickrichtung in Grad
 β = Winkelabstand der Lichtquelle von der Waagerechten in Grad
 E_m = mittlere horizontale Beleuchtungsstärke in lx
 e_m = mittlerer Reflexionsgrad des Spielfeldes (von Lichtart usw. abhängig)
 a = Abstand Spielfeldmittelpunkt - Fußpunkt des Lotes von der Beleuchtungsbühne
 h = Höhe Mitte Scheinwerferbühne über Spielfeldniveau (Lichtpunkthöhe) in m
 L_{Sp} = Spielfeldleuchtdichte in asb

Berechnung:

$$\varphi = \frac{L_S}{L_S + L_A}$$

d. h. $L_S = \frac{\varphi}{1 - \varphi} L_A$;

da $L_A \approx 0,9 L_{Sp}$ (siehe 5.3.)

und $L_{Sp} = E_m e_m$,

wird $L_S = \frac{0,9 \varphi}{1 - \varphi} E_m e_m$. Gl. (1)

Außerdem ist $L_S = \frac{30 E_{B1}}{\Theta^2}$; (siehe 5.3.)

mit $E_{B1} = \frac{E_m \cos(\beta + 2)}{4 \sin \beta}$ (Blick gegen Mast I)

wird $L_S = \frac{30 E_m \cos(\beta + 2)}{4 \Theta^2 \sin \beta}$; Gl. (2)

setzt man Gl. (1) = Gl. (2), wird

$$\frac{7,5 E_m \cos(\beta + 2)}{\Theta^2 \sin \beta} = \frac{0,9 \varphi}{1 - \varphi} E_m e_m$$

Das ergibt $\frac{\sin \beta (\beta + 2)^2}{\cos(\beta + 2)} = \frac{7,5 (1 - \varphi)}{e_m 0,9 \varphi} = f(\beta)$

Beispiel:

Mit $e_m = 0,12$ $\varphi = 0,1$
 und $e_m = 0,25$ $\varphi = 0,1$
 wird $f(\beta) = 625$ bzw. 300 .

**** Voraussetzung 1. und 2.

Aus Diagramm Bild 14 ergibt sich

$$\beta = 30,4^\circ \text{ bzw. } 23,9^\circ$$

Damit wird:

$$h = a \tan \beta + 1,5 \quad \text{Gl. (3)}$$

$$h = 0,59 a + 1,5 \quad \text{je nach } e_m \text{ des Spielfeldes}$$

$$\text{bzw. } h = 0,4 a + 1,5$$

Anhang 1. Lampen für die Sportstättenbeleuchtung und ihre Eigenschaften

Lichtquelle	Lichtausbeute*	übliche Leistungen bis	prakt. Anlaufzeit	Wiederzündung***	Vorschalt- und Zusatzgeräte	Anlaufstrom
Allgebrauchsglühlampe u. Lichtwurf-lampe	18,8 lm/W bis 22 lm/W	2 kW		sofort	ohne	prakt. kein ****
Halogen-Glühlampe	22 lm/W	10 kW				
Mischlicht-lampe	25...30 lm/W	1 kW	keine	nach ca. 3 min		ca. 1,3 J _N
Leuchtstoff-lampe	45...60 lm/W	0,12 kW		sofort		prakt. kein
Quecksilberdampf-Hochdrucklampe **	50 lm/W		3 min			
	bis 60 lm/W	2 kW	bis 5 min	nach ca. 3 min	üblich mit Drossel-spule	1,4 J _N bis
Metallhalogen-dampf-Lampe	80...95 lm/W	2 kW	2-3 min	nach ca. 15 min		1,7 J _N
Langbogen-Xenonlampe	25 lm/W	20 kW	keine	sofort	Drossel-spule u. Zünd-gerät	prakt. kein

* Bei Nennbetrieb (einschließlich erforderlicher Vorschaltgeräte)

** Eine Lichtstrommischung mit Glühlampen empfehlenswert (H_g: G_l ≤ 6:1)

*** Bei freibrennender Lampe

**** Einschaltstromspitzen je nach Lampentyp bis zum 18fachen vom Nennstrom

Literatur

- [1] Ferree, C. E., und Rand, G.: Intensity of light and speed of vision. Trans. Illum. Engng. Soc. 27 (1927), S. 79
- [2] Balder, J. J., und Fortuin, G. F.: The influence of time of observation on the visibility of stationary objects. CIE, Comptes Rendu, Zürich 1955, 1.4.1. H-F 3
- [3] Blackwell, R. H.: Specification of interior illuminating levels. Illum. Engng. 54 (1959), S. 317
- [4] Adrian, W.: Zur Blendungsbewertung bei der Beleuchtung von Straßen. LICHTTECHNIK 16 (1964) Nr. 11, S. 541
- [5] Pahl, A., und Chodura, R.: Zum Blendungsproblem in der Straßenbeleuchtung. LICHTTECHNIK 8 (1956) Nr. 11, S. 480
- [6] Dorey, G. M., Peirce, M. W., und Price, W. A.: Football floodlighting. Trans. Illum. Engng. Soc. 29 (1964), S. 30
- [7] CIE, Comptes Rendu, 14. Session, Brüssel 1959, S - 3.3.4.: Beleuchtung von Sporthallen und Sportplätzen
- [8] Leitsätze des Schweizerischen Beleuchtungskomitees für die Beleuchtung von Fußball- und polysportiven Stadien (1. Januar 1961)
- [9] Illuminating Engineering Society, USA: Current recommended practice for sports lighting
- [10] Recommendations pour l'éclairage des terrains de football de compétition. Lux (1966) Nr. 38, S. 271
- [11] 7. Arbeitstagung Sportstättenbau. Referate, Berichte, Diskussionen (1964). Veröffentlicht vom Deutschen Sportbund, Institut für Sportstättenbau, Köln-Müngersdorf
- [12] Gertig, H.: Beleuchtung von Sportstätten im Freien. Elektro-Welt (1961) Nr. B 9 und Nr. C 5
- [13] Roch, J., und Wald, A.: Flutlichtanlagen mit Xenonlampen für Sportplätze. Siemens-Zeitschrift (1963) Nr. 1
- [14] Schuir, A.: Flutlichtanlage im Niedersachsen-Stadion. LICHTTECHNIK 18 (1966) Nr. 4, S. 128
- [15] Illumination du stade du Barcelona F. C. Elektrizitätsverwertung (1960), S. 41
- [16] Lighting open areas with incandescent and discharge lamps (Wirtschaftlichkeitserwägungen). Svetotechnika (1963) 1. bis 6. Juni
- [17] Lighting aids Sidney night football training. IES-Lighting Review (1963) Nr. 1
- [18] National Recreation Centre. Light and Lighting (1964), S. 256