

Lighting engineering information Searchlights

Recognition of targets at night

Searchlights are subject to different valuation characteristics than for example floodlights or other area illumination fittings where typically the observer is moving within the area illuminated by such fittings.

An illuminating searchlight however should concentrate as much light as possible on an object at long range and also it should be remembered that the light reflected by the target object has to travel back along the same path to the observer and overcome any local glare caused by dispersed light from the searchlight. Light can also be reflected from the foreground and objects close to the line of the beam, for example, ships superstructure and this extra light can have the effect of reducing the contrast between the target and other areas within the observers vision. To restore the necessary contrast it is beneficial to work with a beam as tight as practical and to distance the searchlight from the observer perhaps by the use of remote control. Recognising that there are factors which can reduce the performance of a searchlight it is important that we are able to determine their effect in laboratory conditions.

Practical range

An absolute reproducible range for a searchlight cannot be given without first defining all the components involved in the test. This has been well presented in the IES LIGHTING HANDBOOK by John E. Kaufman and Howard Haynes, Application Volume 1981, published by the ILLUMINATING ENGINEERING SOCIETY OF NORTH AMERICA. Specifically under section 20 it is mentioned that: "... Range is an exceedingly complex function of many variables which in their effect are dependent on each other." Amongst these variables are:

1. maximum intensity of the searchlight
2. relative light distribution
3. atmospheric permeability
4. polarized reflection
5. size and form of the object
6. the reflection from the object
7. the site of the object within the beam
8. the distance of the object from the background
9. reflection from the background
10. the lateral distance of the observer from the searchlight

Lichttechnische Information Scheinwerfer

Lichttechnik und praktischer Einsatz

Zielerkennung bei Nacht

Scheinwerfer unterliegen anderen Beurteilungsmerkmalen als z.B. Strahler oder Flächenbeleuchtungskörper, bei denen sich ein Beobachter "in der Fläche" bewegt, die von diesen angestrahlt wird. Ein Beleuchtungsscheinwerfer jedoch soll möglichst viel Licht auf ein Ziel in großer Entfernung bringen. Dabei ist zu berücksichtigen, dass das vom Ziel reflektierte Licht noch einmal die gleiche Strecke zum Beobachter zurückläuft. Hier eintreffend, konkurriert diese Restenergie mit der mehr oder weniger starken Nahbereichsaufhellung, die durch die Lichtzerstreuung der vom Scheinwerfer abgestrahlten Lichtenergie an der Umfeld-Atmosphäre entsteht. Auch im Nahbereich des Scheinwerfers angeleuchtete Gegenstände, Flächen, Vorfeld-Aufbauten reflektieren die primär abgestrahlte Energie. Dies beeinflusst das Sehverhalten des Beobachters ungünstig, da dessen Auge nur schwer unterscheiden kann, welche aufgenommene Energie den Informationsinhalt hat, der zur Darstellung des Zielbildes im Auge gehört. Kurz, es fehlt Kontrast. Um dies zu verbessern, bietet es sich an, mit möglichst engem Lichtbündel zu arbeiten oder aus einer gewissen seitlichen Entfernung vom Scheinwerfer aus zu beobachten, wobei der Scheinwerfer ferngesteuert wird. Letztlich beeinträchtigen diese und einige weitere Effekte die theoretische Reichweite eines Scheinwerfers, deren Ermittlung im Labor wichtig ist für die gerät-typische Lichtleistungsqualität, die Lichtstärke.

Praktische Reichweite

Eine absolute, reproduzierbare praktische Reichweite eines Scheinwerfers kann ohne gleichzeitige Festlegung aller am "Sehen" beteiligten Komponenten nicht angegeben werden. Dies wird u.a. sehr gut dargestellt im IES LIGHTING HANDBOOK von John E Kaufmann und Howard Haynes, Application Volume 1981, herausgegeben von der ILLUMINATING ENGINEERING SOCIETY OF NORTH AMERICA - IES - wo es unter section 20 auszugsweise heißt: "... Reichweite ist eine überaus komplexe Funktion einer Vielzahl von Variablen, die in ihrer Wirkung abhängig voneinander sind." Diese Variablen beinhalten:

1. die Maximalintensität des Scheinwerfers
2. die relative Lichtverteilung
3. die atmosphärische Durchlässigkeit
4. die polarisierte Reflektion
5. die Größe und Gestalt des Zieles
6. die Reflektion durch das Ziel
7. die Lage des Zieles innerhalb des Strahles
8. die Entfernung des Zieles vom Hintergrund
9. die Reflektion durch den Hintergrund
10. den seitlichen Abstand des Beobachters usw.

As many of these factors are not easily reproduced it is difficult to calculate a precise range. However to give a reasonable estimate we use a factor to give us an indication as to the relative efficiency of a particular searchlight at night. We use this factor with the physically derived photometric information for the unit, based on the light engineering norm 5037, which takes into account all practical characteristics of searchlight operation.

If the photometric information is simply calculated without taking into consideration the variables, as f.i. according to IES, the values must be adjusted by means of a reducing factor of 2-4. The light engineering data of our searchlights allows you to calculate or check for yourselves our range figures.

Determining the range

The efficiency of a searchlight will be indicated through the luminous intensity. The figure for the output in candela (cd) takes into account all the variables within the searchlight and is thus an excellent starting point for further objective calculation. When the above mentioned variables are not taken into account, the luminous intensity in candela (cd) is equal to the result of the illuminance E in lux (lx) and the square of the distance in metres (r²) in which these are measured.

$$1. I \text{ (cd)} = E \text{ (lx)} \cdot r^2 \text{ (m)}$$

hence it follows

$$2. E = \frac{I}{r^2}$$

or

$$3. r = \sqrt{\frac{I}{E}}$$

Bei dieser Vielzahl von nicht reproduzierbaren Abhängigen ist es schwierig, eine errechnete Reichweite anzugeben. Um trotzdem eine überschlägige Angabe machen zu können, bedient man sich eines Faktors, der gleichsam als Maß des Wirkungsgrades des Gesamtvorganges "Sehen mit Scheinwerfer bei Nacht" dient. Mit diesem korrigiert, verwendet man außerdem das physikalisch abgeleitete photometrische Entfernungsgesetz, das nichts anderes aussagt, als dass sich die von einem Scheinwerfer abgestrahlte Lichtenergie mit dem Quadrat der Entfernung verringert. Dieses physikalische Gesetz ist auch Grundlage unserer lichttechnischen Norm 5037, die speziell für Scheinwerfer erarbeitet, alle Merkmale des praktischen Einsatzes berücksichtigt. Werden die lichttechnischen Daten eines Scheinwerfers ausnahmslos theoretisch errechnet, wie beispielsweise nach IES, müssen diese Werte erfahrungsgemäß mittels eines Verkleinerungsfaktors von 2-4 an gemessene Daten angepasst werden. Die lichttechnischen Daten unserer Scheinwerfer erlauben es, die Reichweitenrechnung selbst durchzuführen oder nachzuvollziehen. Hierzu sollen die folgenden einfachen Beziehungen dienen.

Ermittlung der Reichweite

Die Leistungsfähigkeit eines Scheinwerfers wird durch die Lichtstärke I in Candela (cd) angegeben. Sie beinhaltet alle den Scheinwerfer betreffende Größen und Abhängige und ist daher auch Ausgangswert für weitere objektive Berechnungen. Berücksichtigt man vorerst nicht die Einflüsse, wie sie oben aufgezählt sind, ist die Lichtstärke I in Candela (cd) gleich dem Produkt aus der Beleuchtungsstärke E in Lux (lx) und dem Quadrat der Entfernung in Meter (r²) in der diese gemessen wird.

$$1. I \text{ (cd)} = E \text{ (lx)} \cdot r^2 \text{ (m)}$$

daraus folgt

$$2. E = \frac{I}{r^2}$$

oder

$$3. r = \sqrt{\frac{I}{E}}$$

Lighting engineering information Searchlights

To determine realistic values which bear relation to practical operation the above mentioned efficiency is introduced as correction factor F. Consequently, with luminous intensity I expressed in candela and a desired illuminance E at target in lux, by using the efficiency factor the range sought is:

$$4. r = F \sqrt{\frac{I}{E}} \text{ (m)}$$

or

at a desired range r of the searchlight and a desired illuminance E at the target in lux with an efficiency factor F, the required luminous intensity if the searchlight in candela is:

$$5. I = \frac{E \cdot r^2}{F} \text{ (cd)}$$

Size of the loss factor F

By means of the loss factor F all the efficiency reducing influences can be considered. An essential part of the correction factor is an allowance for atmospheric permeability, thus with a meteorological sight range of 20 km (DIN 5037) the transmission factor would be:

$$1 \text{ km } F = 0,8; \quad 2 \text{ km } F = 0,8^2; \quad 3 \text{ km } F = 0,8^3$$

The value F changes further if other sight influencing components are included.

Illuminance at the target

For the calculations an illuminance of between 2 and 10 lx should be allowed according to the reflection characteristics of the target and its contrast to the background. An average of 5 lx is assumed.

Calculation example 1

A target at 1000 m is required to be illuminated with 5 lx. As the common loss factor we should allow for the consideration of all performance reducing influences 0,6 per km. What luminous intensity do we require from our searchlight to achieve the desired performance?

In 5. should be set in

$$I = \frac{E \cdot r^2}{F} = \frac{5 \cdot 1.000^2}{0,6} = 8.333.333 \text{ cd}$$

rounded off $8 \cdot 10^6$ cd

If the supposed influences are more unfavourable still, this must be expressed by a lower factor F, f.i. if we adopted a factor of 0,4 per km assuming all other data unchanged then an output of:

Lichttechnische Information Scheinwerfer

Um realistische Werte, die außerhalb des Labors im praktischen Einsatz gelten sollen, zu ermitteln, muss der vorab beschriebene Wirkungsgrad als Korrekturfaktor F eingeführt werden. Somit ist, bei einem Wirkungsgrad mit Faktor F, die gesuchte Reichweite des Scheinwerfers

$$4. r = F \sqrt{\frac{I}{E}} \text{ (m)}$$

oder

bei gewünschter Reichweite r des Scheinwerfers und einer gewünschten Beleuchtungsstärke E im Ziel in Lux bei einem Wirkungsgrad mit Faktor F, die erforderliche Lichtstärke des Scheinwerfers in Candela

$$5. I = \frac{E \cdot r^2}{F} \text{ (cd)}$$

Größe des Verlustfaktors F

Mittels des Verlustfaktors F können alle effektmindernden Einflüsse berücksichtigt werden. Ein wesentlicher Korrekturfaktor ist die atmosphärische Durchlässigkeit. So beträgt bei einer meteorologischen Sichtweite von 20 km (DIN 5037), der Transmissionsfaktor:

$$\text{bei } 1 \text{ km } F = 0,8; \quad \text{bei } 2 \text{ km } F = 0,8^2; \quad \text{bei } 3 \text{ km } F = 0,8^3$$

Der Wert F verändert sich zusätzlich, wenn weitere, die Zielerkennung beeinflussende Komponenten einbezogen werden.

Größe der Beleuchtungsstärke im Ziel

Bei den Berechnungen sollte, je nach Reflektionsverhalten des Zieles und seinem Kontrast zum Hintergrund, eine Beleuchtungsstärke von 2-10 lx eingesetzt werden. Im Mittel kann man 5 lx vorsehen.

Rechenbeispiel 1

Ein Ziel soll aus der Entfernung von 1000 m mit einer Beleuchtungsstärke von 5 lx angestrahlt werden. Als allgemeiner Verlustfaktor für die Berücksichtigung aller effektmindernder Einflüsse soll ein Wert von 0,6 pro km eingesetzt werden. Wie groß muss die Lichtstärke des vorzusehenden Scheinwerfers sein?

in 5. eingesetzt wird

$$I = \frac{E \cdot r^2}{F} = \frac{5 \cdot 1.000^2}{0,6} = 8.333.333 \text{ cd}$$

also abgerundet $8 \cdot 10^6$ cd

Sind die angenommenen Einflüsse ungünstiger, so muss sich dies durch einen niedrigeren Faktor ausdrücken. Z.B. angenommener Faktor F = 0,4 pro km bei sonst gleichen Daten wie oben, werden

$$I = \frac{5 \cdot 1.000^2}{0,4} = 12.500.000 \text{ cd} = 12,5 \cdot 10^6$$

would be necessary. Under these circumstances we would recommend our searchlight model SH 400/575 which uses a metal halide lamp of 575 Watts.

Calculation example 2

The luminous intensity of the searchlight model SW 400/1000 has been measured by us with I taken as 1.500.000 cd. Environmental losses were not considered. Now we wish to calculate the range in metres at which we can expect an illuminance on the target of 1lx. Firstly without taking into account the loss factor:

according to 4. without F is $r = F \sqrt{\frac{I}{E}}$ (m)

$$r = \sqrt{\frac{1.500.000}{1}} = 1.225 \text{ m}$$

if we now use a loss factor of 0,8
 $r = 0,8 \cdot 1.225 = 980 \text{ m}$

Calculation example 3

The searchlight model SW 450/2000 has a luminous intensity of 2.000.000 cd. What is its range under the same environmental conditions as we assumed in example 1?

$$r = 0,4 \sqrt{\frac{2.000.000}{5}} = 252 \text{ m}$$

Now if we compare this range of 252 m with example 1 where we achieved a range of 1.000 m with a lower wattage lamp it becomes clear that the luminous intensity and range do not depend on the amount of energy consumed by the lamp but only on luminous density of the adapted lamp and the optical data of the glass parabolic reflector.

Therefore for searchlights intended primarily for extended range operation, gas or metal halide lamps should be chosen as they give the essential longer service life. Whilst this option may cost a little more initially it soon becomes economic as fewer replacement lamps will be required.

$$I = \frac{5 \cdot 1.000^2}{0,4} = 12.500.000 \text{ cd} = 12,5 \cdot 10^6$$

erforderlich. Es bietet sich also die Beschaffung eines Scheinwerfers der Type SH 400/575 an, der mit einer Halogen-Metall dampflampe von 575 Watt aufgenommener Leistung ausgerüstet ist.

Rechenbeispiel 2

Die Lichtstärke der Scheinwerfertypen SW 400/1000 wurde von uns mit $I = 1.500.000 \text{ cd}$ vermessen. Hierbei wurden Umfeldverluste noch nicht berücksichtigt. Es soll nun berechnet werden, welche Reichweite r in Metern zu erwarten ist, wenn im Ziel eine Beleuchtungsstärke von 1 lx gewünscht wird. Im ersten Schritt noch ein Verlustfaktor :

nach 4. ohne F ist $r = F \sqrt{\frac{I}{E}}$ (m)

$$r = \sqrt{\frac{1.500.000}{1}} = 1.225 \text{ m}$$

bei einem Verlustfaktor von 0,8 pro km
 $r = 0,8 \cdot 1.225 = 980 \text{ m}$

Rechenbeispiel 3

Der Scheinwerfer der Type SW 450/2000 ist mit einer Lichtstärke von $I = 2.000.000 \text{ cd}$ ausgewiesen. Wie groß ist seine Reichweite bei den Umfeldverhältnissen des Beispiels 1?

$$r = 0,4 \sqrt{\frac{2.000.000}{5}} = 252 \text{ m}$$

Vergleicht man diese Reichweite von 252 m mit der des Beispiels 1 von 1.000 m, wird erkennbar, dass die Lichtstärke und die Reichweite nicht von der aufgenommenen elektrischen Leistung - 2.000 zu 575 Watt - sondern nur von der Leuchtdichte der verwendeten Lampe und den optischen Daten des Spiegels abhängig sind.

Daher sollten für große Reichweiten nur Scheinwerfer mit Gas- oder Metall dampflampen vorgesehen werden, die eine wesentlich längere Lebensdauer aufweisen und dadurch eine Amortisation des höheren Anschaffungspreises ermöglichen.