

5-Seemeilen-Feuer

zur Kennzeichnung von
Offshore-Windparks

Koblenz, den 26.02.2009

 Lichttechnischer Standard:

5-Seemeilen-Feuer zur Kennzeichnung von Windenergieanlagen

Inhaltsverzeichnis

0. Änderungshistorie	2
1. Vorbemerkungen.....	3
2. Beschriftung und Markierung der Laternen	4
3. Lichtstärken	5
3.1. Geometrie	5
3.2. Anforderung an die Taktung	6
3.3. Lichtstärkeverteilung	6
4. Lichtfarbe.....	7
5. Ableitung der lichttechnischen Daten	8
6. Mitgeltende Unterlagen	9

0. Änderungshistorie

Version	Datum	Geänderte Kapitel	Grund der Änderung
1.0	26.02.2009	-	Erstellung des Standards

1. Vorbemerkungen

Die Kennzeichnung von Windenergieanlagen eines Offshore-Windparks erfolgt gemäß Empfehlung O-139 „On the marking of Man-Made Offshore Structures“ der „International Association of Marine Aids to Navigation and Lighthouse Authorities (IALA)“ unter anderem mit Feuern einer Mindesttragweite von 5 Seemeilen.

Das vorliegende Dokument setzt die Empfehlung der IALA in eine lichttechnische Beschreibung mit der Bezeichnung „5-Seemeilen-Feuer“ um. Da die IALA-Empfehlung keinen eindeutigen technischen Standard enthält, sind andere Auslegungen möglich.

Ergänzt wird die Spezifikation durch Berücksichtigung der Forderung nach Minimierung der abgestrahlten Lichtmenge. Der Standard beschreibt daher sowohl Minimal- als auch Maximalwerte für die Lichtstärke der Laternen.

Die aus den IALA-Empfehlungen abgeleiteten Minimalwerte sind erforderlich zur Gewährleistung der Sicherheit und Leichtigkeit des Schiffsverkehrs. Die Maximalwerte wurden definiert um eine Störung von anderen Schiffsfahrtszeichen auszuschließen, eine Harmonisierung mit den Luftfahrtfeuern zu erreichen und generell die Lichtimmission zu beschränken.

Ob der vorliegende Standard „5-Seemeilen-Feuer“ angewandt wird, muss durch die zuständigen Behörden festgelegt werden. Falls abweichende Vorgaben aus Genehmigungsverfahren oder von der zuständigen Stelle der Wasser- und Schiffsverkehrsverwaltung des Bundes oder einer anderen Behörde vorliegen, so gelten diese vorrangig.

Der Standard beschreibt nur die photometrischen und farbmtrischen Eigenschaften der Laternen. Grundsätzlich müssen die Laternen noch weiteren technischen Standards (z.B. CE-Konformität, Schutzgrad, Anforderungen an die Verfügbarkeit) entsprechen, die in anderen Regelwerken oder innerhalb der Genehmigungsverfahren festgelegt sind.

2. Beschriftung und Markierung der Laternen

In der Regel leuchtet eine Laterne nur einen bestimmten Sektor im Horizont aus. Die Größe des ausgeleuchteten Sektors (horizontaler Abstrahlwinkel Φ_L) bildet zusammen mit der Lichtstärke die Hauptmerkmale der Laterne.

Daher müssen die Leuchten von außen sichtbar beschriftet sein mit der Bezeichnung: "5-Seemeilen-Feuer" sowie mit dem Zahlenwert für den horizontalen Abstrahlwinkel. Am Gehäuse muss der abgestrahlte Winkelbereich durch eine gelbe Markierung dargestellt sein. Die Ausrichtung zur Turmachse muss durch einen schwarzen Strich gekennzeichnet sein (Abb. 1).

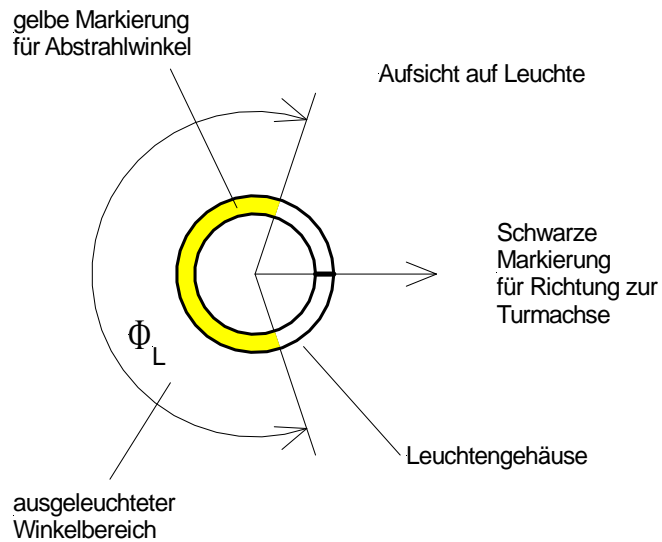


Abb. 1: Beschriftung und Markierung der Laternen

3. Lichtstärken

3.1. Geometrie

Für die Angabe der Lichtstärkeverteilung werden die in Abbildung 2 und 3 dargestellten Bezugsebenen verwendet (siehe auch [4]). Die Abstrahlung im vertikalen Ebenensystem nach oben wird durch positive Winkel, die nach unten durch negative Winkel beschrieben.

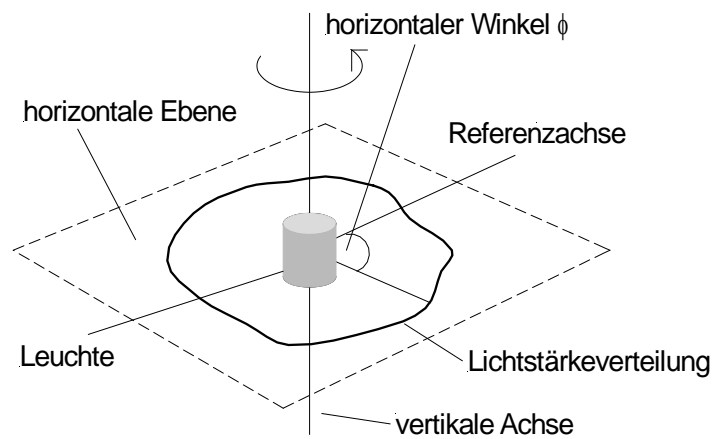


Abb. 2: Horizontale Ebene (IALA Rec E-200-3)

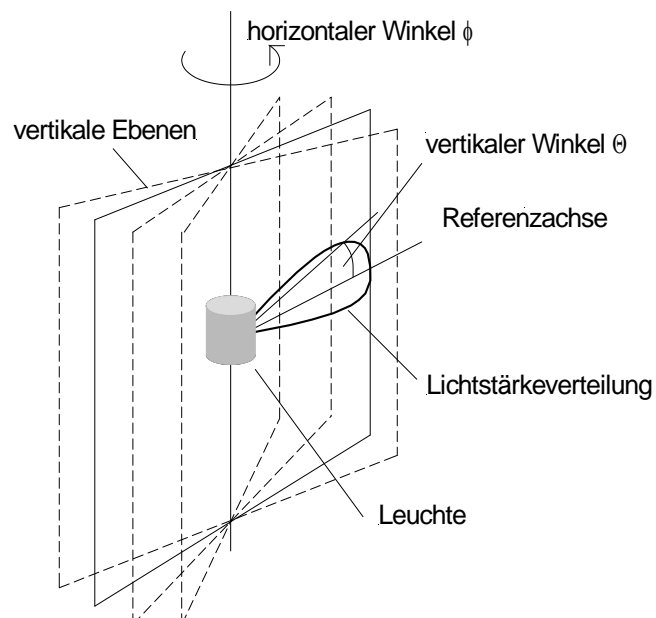


Abb. 3: Vertikales Ebenensystem (IALA. Rec. E-200-3)

3.2. Anforderung an die Taktung

Die Angabe einer photometrischen Lichtstärke ist nur möglich, wenn der Zeitverlauf der Lichtstärke nahezu rechteckförmig ist. In Abbildung 4 ist ein gemessener Zeitverlauf dargestellt. Der Zeitverlauf gilt dann als ausreichend rechteckförmig, wenn die Zeiten t_{an} und t_{ab} kleiner als 0,1s sind (beide Zeiten sind durch Erreichen der Schwellen 10% und 90% definiert). Zeiten über 0,1 s sind unzulässig.

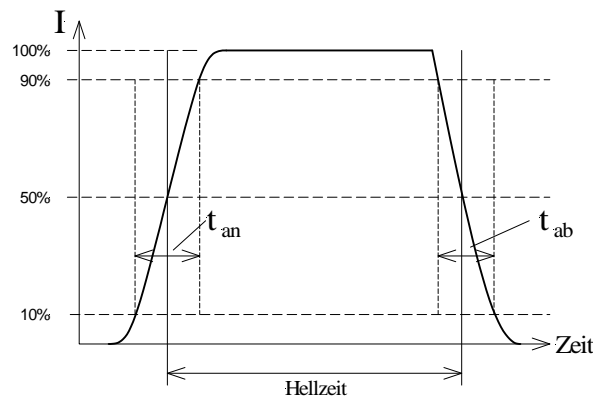


Abb. 4: Zeitverlauf der Lichtstärke

3.3. Lichtstärkeverteilung

Die vertikale Lichtstärkeverteilung (messbare photometrische Lichtstärke) der Leuchten muss bei Festfeuerbetrieb und für alle horizontalen Abstrahlwinkel im ausgeleuchteten Sektor in dem nachstehenden Toleranzband liegen.

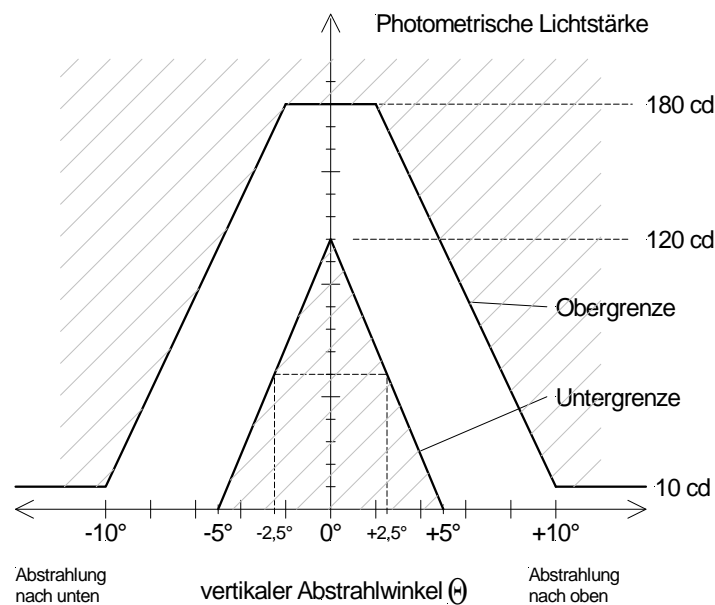


Abb. 5: Vorgaben für die Lichtstärkeverteilung

Mathematische Beschreibung der Untergrenze:

$$I_{\min} = \begin{cases} 120 \text{ cd} - 24 \text{ cd} * |\Theta|/1^\circ & \text{für } |\Theta| \leq 5^\circ \\ 0 & \text{für } |\Theta| > 5^\circ \end{cases}$$

Mathematische Beschreibung der Obergrenze:

$$I_{\max} = \begin{cases} 180 \text{ cd} & \text{für } |\Theta| \leq 2^\circ \\ 180 \text{ cd} - 21,25 \text{ cd} * (|\Theta|/1^\circ - 2^\circ) & \text{für } 2^\circ < |\Theta| \leq 10^\circ \\ 10 \text{ cd} & \text{für } |\Theta| > 10^\circ \end{cases}$$

4. Lichtfarbe

Die Lichtfarbe muss im Optimalbereich der "IALA-Recommendation E-200 on Marine Signal Lights, Part 1: Colours" [2] liegen. Siehe Abb. 5: Der Optimalbereich ist in der Normfarbtafel gelb hervorgehoben.

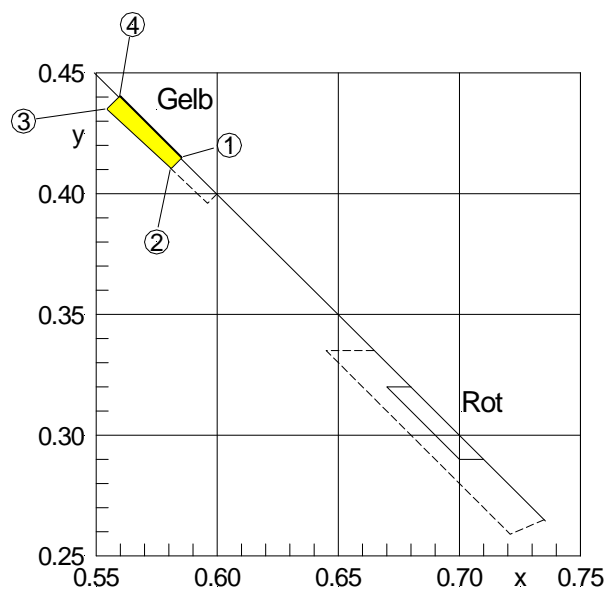


Abb. 6: Zulässiger Bereich für die Lichtfarbe

Koordinaten der Eckpunkte:

1		2		3		4	
x	y	x	y	x	y	x	y
0,5865	0,413	0,581	0,411	0,555	0,435	0,560	0,440

5. Ableitung der lichttechnischen Daten

In der IALA-Empfehlung „O-139 On The Marking of Man-Made Offshore-Structures“ wird zur Kennzeichnung von Windenergieanlagen ein Feuer mit einer Tragweite von nicht weniger als 5 Seemeilen gefordert. Die Umsetzung der IALA-Empfehlung in lichttechnische Werte ist nicht eindeutig. Mit dem vorliegenden Standard wird eine Umsetzung offen gelegt.

Für Offshore-Windparks soll das 5-Seemeilen-Feuer mit den nachstehenden Taktungen verwendet werden:

Bezeichnung	Ablauf	Position
Ubr (3) gelb 16s	6,5 + (1,5) + 2,5 + (1,5) + 2,5 + (1,5)	Eckpunkte (SPS)
Blz gelb 4 s	1 + (3)	Periphere Anlagen

Zahlenwerte sind Zeitangaben in Sekunden. Geklammerte Werte bezeichnen Dunkelphasen, ungeklammerte Hellphasen.

Die Umrechnung der Tragweitenangabe in lichttechnische Größen erfolgt unter der Annahme, dass es sich um die Nenntagweite (nominal range) gemäß „IALA-Recommendation E-200 on Marine Signal Lights, Part 2: Calculation, Definition and Notation of Luminous Range“ [2] handelt. Die Nenntagweite bezieht sich auf eine praktische meteorologische Sichtweite von 10 Seemeilen und einer Schwellenbeleuchtungsstärke von $2 \cdot 10^{-7}$ lx.

Eine Nenntagweite von 5 Seemeilen entspricht einer effektiven Betriebslichtstärke von 76,7 cd. Zur Umrechnung in eine photometrische Lichtstärke müssen noch Betriebsverluste und die Taktung berücksichtigt werden.

Gemäß IALA-Empfehlung [1] und [3] sind die Betriebsverluste durch einen Betriebsfaktor („service condition factor“) von $b = 0,75$ zu berücksichtigen. Die messbare photometrische Lichtstärke muss somit um den Faktor $1/b = 1,33 \approx 1/0,75$ höher sein als der Betriebswert.

Die Berücksichtigung der Taktung des Feuers bei der Berechnung der effektiven Lichtstärke erfolgt gemäß der IALA-Recommendation „Determination and Calculation of Effective Intensity“ [5].

Um die technische Spezifikation des Feuers für beide Taktungen zu vereinheitlichen, wird die kürzeste Hellzeit (1 s) verwendet.

Des Weiteren wird vorausgesetzt, dass der Zeitverlauf der Lichtstärke annähernd rechteckförmig ist. Dies ist durch den Einsatz schnell schaltender Leuchtmittel wie Leuchtdioden sichergestellt.

Somit gilt gemäß IALA-Empfehlung [5] für die effektive Lichtstärke $I_e = \frac{I_0 * \tau}{a + \tau}$, mit $a = 0,2 \text{ s}$

und I_0 Lichtstärke im Rechteckimpuls.

Für die kürzeste Hellzeit von 1 s ergibt sich somit ein Übertragungsverhältnis von

$$k := \frac{I_e}{I_0} = 0,833.$$

Berücksichtigt man den Betriebsfaktor und das Übertragungsverhältnis zusammen, so ergibt sich die messbare photometrische Lichtstärke als Untergrenze für das 5-Seemeilenfeuer von

$$I_{\min} = \frac{76,7 \text{ cd}}{0,75 \times 0,833} = 122,8 \text{ cd} \approx 120 \text{ cd}.$$

6. Mitgeltende Unterlagen

- [1] IALA-Recommendation E-200 on Marine Signal Lights, Part 0: Overview
- [2] IALA-Recommendation E-200 on Marine Signal Lights, Part 1: Colours
- [3] IALA-Recommendation E-200 on Marine Signal Lights, Part 2; Calculation, Definition and Notation of Luminous Range
- [4] IALA-Recommendation E-200 on Marine Signal Lights, Part 3; Measurement
- [5] IALA-Recommendation E-200 on Marine Signal Lights, Part 4: Determination and Calculation of Effective Intensity
- [6] DIN 5031 Strahlungsphysik im optischen Bereich und Lichttechnik, Teil 3
- [7] DIN 5032 Lichtmessung, Teil 1
- [8] DIN 5033 Farbmessung, Teile 1, 2, 3 und 8
- [9] IALA-Recommendation O-139 On The Marking of Man-Made Offshore Structures