

1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11

T00117 Gruppe 1 – 65 m / Grundlagen

12	Inhaltsverzeichnis	
13	1 Einleitung	2
14	2 Grundlagen	2
15	3 Berechnungsergebnisse	3
16	3.1 Daten	3
17	3.2 Berechnungsergebnisse	3
18	3.3 Zeichnerische Darstellung	3
19	3.4 Entstehung des Wertes 65 m	4
20	4 Berechnungsgrundlagen	5

21
22
23
24
25
26
27

06.09.2016 - Version 1.1

Gerd Möller

Lanthan Gesellschaft für technische Entwicklungen mbH & Co. KG

D 28195 Bremen – gerd.moeller@lanthan.eu

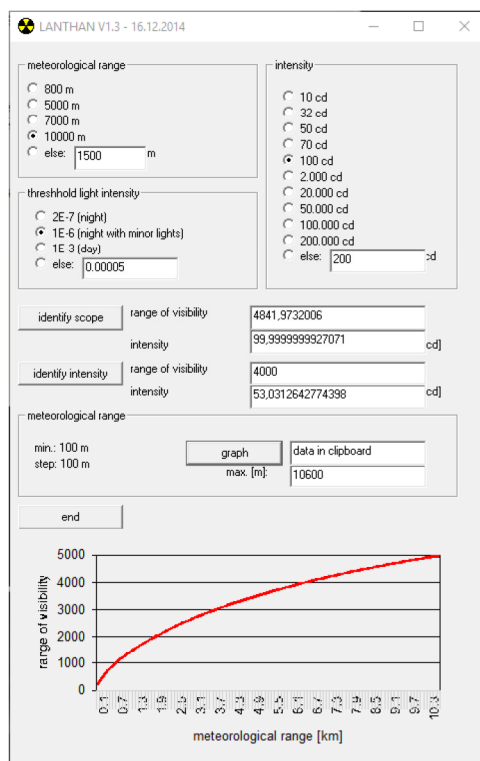
T00117 Gruppe 1 - Grundlagen 1 - 20160906.docx

28 **1 Einleitung**

29 Windenergieanlagen dürfen unter Verwendung des Feuers W, rot über eine maximal unbefeuerte
 30 Höhe von 65 Metern verfügen. Mit dem vorliegenden Dokument soll ermittelt und dargestellt werden,
 31 bis zu welcher Höhe das Feuer W, rot sicher wahrnehmbar ist.

32 **2 Grundlagen**

33



Als Grundlage für die Berechnungen genutzt, welche als Herleitung für die Dimensionierung von dem Feuer W, rot angewandt wurden. Niedergeschrieben wurden diese Grundlagen in dem Besprechungsprotokoll vom 24.05.2005. Ein Auszug aus diesem Protokoll befindet sich in dem Kapitel 4 Berechnungsgrundlagen.

Zum Ermitteln der Tragweiten werden in einem rekursiven Algorithmus Abbildung 1 folgende Funktionen verwendet:

$$E = E \text{ Schwelle} \cdot r^2 / \text{EXP}(\text{LN}(q) \cdot r / 1000)$$

E Erforderliche Lichtstärken in [cd] zum Erreichen gewünschter Tragweiten in [m]
 E Schwelle Schwellenbeleuchtungsstärke ($1 \cdot 10^{-6}$ Lux)
 r Tragweite

$$q = 1 / (\text{EXP}(2996 / V_x))$$

q Transmissionsfaktor
 V_x meteorologische Sichtweite

53

54 **Abbildung 1**

55

56 **3 Berechnungsergebnisse**57 **3.1 Daten**

58 In der Allgemeinen Verwaltungsvorschrift zur Kennzeichnung von Luftfahrthindernissen sind die
 59 geforderten Leuchtintensitäten des Feuers W, rot bei definierten Abstrahlwinkel beschrieben. Ferner
 60 sind darin die sichtweitenabhängigen Reduzierungen der Nennlichtstärken aufgeführt. Tabellarisch
 61 zusammengefasst ergibt sich daraus folgende Darstellung.

Meteorologische Sichtweite [m]	Abstrahlwinkel des Feuers W, rot		
	15°	10°	5°
800	2 cd	20 cd	100 cd
5000	0,6 cd	6 cd	30 cd
10000	0,2 cd	2 cd	10 cd

62

63 Tabelle 1: : Leuchtintensitäten der Feuer W, rot bezogen auf bestimmte meteorologische Sichtweiten
 64 bei definierten Abstrahlwinkeln

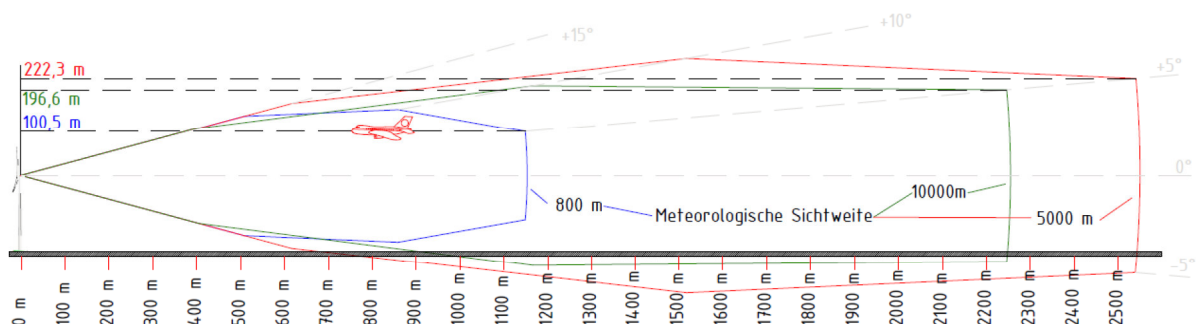
65

66 **3.2 Berechnungsergebnisse**

Meteorologische Sichtweite [m]	Tragweite [m]								
	1153,52	872,71	527,11	2550,86	1542,90	639,54	2255,63	1184,33	419,95
800	100	20	2						
5000				30	6	0,6			
10000							10	2	0,2

67

68 Tabelle 2: Ermittelte Tragweiten der Feuer W, rot bezogen auf bestimmte meteorologische Sichtweiten
 69 bei definierten Abstrahlwinkeln und Leuchtintensitäten. Zugrunde gelegt wird die worst-case
 70 Schwellenbeleuchtungsstärke von $1 \cdot 10^{-6}$ Lux.

71 **3.3 Zeichnerische Darstellung**

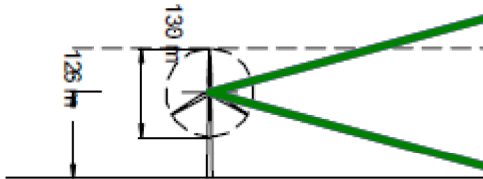
72

73 Aus dieser Darstellung wird deutlich, dass im ungünstigsten Fall bei einem Überflug von bis zu 100,5
 74 Metern über dem Feuer das Feuer W, rot immer noch sicher wahrnehmbar ist.

75 Hierbei wurden die Schwellenbeleuchtungsstärke von $1 \cdot 10^{-6}$ Lux und die meteorologische
 76 Sichtweite von 800 m berücksichtigt. Eine unbefeuerte Höhe von 100,5 Metern ist bezogen auf die
 77 Sicherheit als worst-case-Fall zu betrachten.

78 **3.4 Entstehung des Wertes 65 m**

79 Der Wert „65 Meter“ als maximale unbefeuerte Höhe hat keine begrenzende Grundlage. Er entstand
80 nach einer Einschätzung von der derzeit aktuell größten geplanten Windenergieanlage: 126 m
81 Nabenhöhe und 130 m Rotordurchmesser. Abzüglich des Abstandes zwischen Nabenhöhe und
82 Feuerhöhe ließen die damals formulierten 65 m noch ein weiteres Wachstum zu. Tendenziell gab es
83 zu der Zeit die verbreitete Auffassung, dass noch längere Rotorblätter praktisch nicht handhabbar
84 wären.



85

86 **Abbildung 2: Auszug aus dem FVT-Protokoll 24.05.2005**

87 Der bis dahin gültige Wert von 50 Meter sollte vorsichtig auf 65 m erhöht werden. In zukünftig
88 folgenden AVV's sollte der Wert dann mit den ggf. weiter wachsenden Anlagen stufenweise steigen.

89

90

91 **4 Berechnungsgrundlagen**

92 Auszug:

93 Protokoll der Besprechung „Erfahrungsaustausch über die Anwendung der Allgemeinen
94 Verwaltungsvorschrift zur Kennzeichnung von Luftfahrthindernissen (AVV)“

95 Ort: BMVBW, Bonn

96 Datum: 24.05.2005

97 Protokoll: Hermann, FVT

98 (Quelle WSV, FVT):

99 Die Sichtbarkeit sowie die Auffälligkeit eines Feuers wird im Folgenden mit den lichttechnischen
100 Kriterien untersucht:

101 - Voraussetzungen für das Erkennen farbiger Lichtzeichen, Gerdes, Ortung und Navigation 3/82 [1]

102 - VV-WSV 2405 Tragweiten und Lichtstärken von Feuern und Signallichtern [2]

103 - VV-WSV 2401 Richtfeuer [3]

104 - Handbuch der Beleuchtung [4]

105 (VV-WSV: Verwaltungsvorschrift der Wasser- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes)

106 Schwellenbeleuchtungsstärke

107 Für die Beurteilung der Sichtbarkeit eines Feuers bei Nacht kommen in der Wasser- und
108 Schifffahrtsverwaltung zwei verschiedene Schwellenbeleuchtungsstärken zum Einsatz.

109 (a) $2 \cdot 10^{-7}$ lx (Lux)

110 Diese Beleuchtungsstärke wird generell für alle Anlagen auf See und im Binnenbereich verwendet.

111 (b) $1 \cdot 10^{-6}$ lx

112 Diese Beleuchtungsstärke ist gemäß der Verwaltungsvorschriften bei dem Feuertyp „Richtfeuer“
113 anzuwenden.

114 Die Schwellenbeleuchtungsstärke ist die Beleuchtungsstärke, die vom Lichtsignal an das Auge des
115 Beobachters gelangen muss, damit es sicher erkannt wird. Sie hängt von der Umgebungshelligkeit ab
116 und muss für Tag und Nacht unterschiedlich gewählt werden.

117 Die Verwendung von unterschiedlichen Schwellenbeleuchtungsstärken für den Nachtbetrieb ist
118 zusätzlich sinnvoll, da damit die ermittelte erforderliche Lichtstärke an die Umgebungshelligkeit des
119 Objektes angepasst werden kann.

120 Da in den letzten Jahrzehnten die künstliche Beleuchtung deutlich zugenommen hat, besteht im
121 Schifffahrtszeichenwesen häufig der Wunsch, die höhere Schwellenbeleuchtungsstärke (b) zu
122 verwenden. Die Lichtstärke wird dadurch um den Faktor 5 höher als bei Anwendung von (a), sodass

123 sich das Lichtsignal gegenüber dem aufgehelltem Hintergrund sowie den konkurrierenden Lichtern
124 durchsetzen kann.

125 In der Praxis wird daher der Wert von $2 \cdot 10^{-7}$ Lux für Bereiche ohne große Hintergrundaufhellung und
126 $1 \cdot 10^{-6}$ Lux für Bereiche mit Hintergrundaufhellung (z.B. Feuer vor Städten oder Werften) angewandt.

127 Eine exakte Unterscheidung zwischen diesen Bereichen existiert jedoch nicht. Der Begriff Tragweite
128 beschreibt den Abstand bei dem ein Feuer sicher erkannt wird. Das vom Feuer abgestrahlte Licht
129 erreicht bei diesem Abstand gerade die Schwellenbeleuchtungsstärke beim Beobachter. Die
130 Tragweite ist von der Lichtstärke des Feuers und von der Trübung der Atmosphäre abhängig.

131 Die Auffälligkeit des Feuers kann durch das Verhältnis der am Auge eintreffenden Beleuchtungsstärke
132 E_{ist} zu der Schwellenbeleuchtungsstärke $E_{schwelle}$ ausgedrückt werden:

133 $A = E_{ist} / E_{schwelle}$.

134 In den nachfolgenden Tabellen ist für verschiedene Abstände das Verhältnis A zwischen der beim
135 Beobachter auftreffenden Beleuchtungsstärke und der notwendigen Schwellenbeleuchtungsstärke
136 eingetragen. Bei $A = 1$ gilt das Feuer als sicher erkennbar, je größer A wird, desto auffälliger wird das
137 Feuer. Die Sichtweiten sind als praktische meteorologische Sichtweite ($V_{0,05}$) angegeben.

138 Formeln und Berechnungen

139 Beleuchtungsstärke E als Funktion von Lichtstärke I_0 , Abstand r und Konstante z.

140 $E(r) = I_0 \cdot \frac{e^{-z \cdot r}}{r^2}$ aus [1]

141 Beziehung zwischen Konstante z, Sichtwert σ , Transmissionsfaktor q und praktischer
142 meteorologischer Sichtweite $V_{0,05}$.

143 $q = e^{-z \cdot 1000m} \Rightarrow -z = \frac{\ln(q)}{1000m} \Rightarrow E(r) = I_0 \cdot \frac{e^{\frac{\ln(q) \cdot r}{1000m}}}{r^2}$

144 Beziehung zwischen Sichtwert σ und Transmissionsfaktor q

145 $\ln(\sigma) = 1,852 \cdot \ln(q)$

146 Beziehung zwischen Transmissionsfaktor q und praktischer meteorologischer Sichtweite $V_{0,05}$

$$V_{0,05} = \frac{1300m}{\ln\left(\frac{1}{q}\right)}$$

147 Untersuchte praktische meteorologische Sichtweiten:

$V_{0,05}$ in km	σ (Sichtwert)	q (Transmissionsfaktor)
0,8	0,000972	0,02363
5	0,3296	0,5492
7	0,442	0,6435
10	0,5741	0,7411