



Anlage 22.4.1

Stand: 03.06.2016

**Feste Fehmarnbeltquerung  
Planfeststellung**

**Anhang zum  
Lichtmanagement-  
konzept**

**Diese Unterlage ist eine vollständig neue Anlage der  
Planfeststellungsunterlagen, 03.06.2016**

# Feste Fehmarnbeltquerung Planfeststellung

## Anhang zum Lichtmanagementkonzept

Diese Unterlage ist eine vollständig neue Anlage  
der Planfeststellungsunterlagen, 03.06.2016

Aufgestellt:

**Femern**  
*Sund ≈ Bælt*

Landesbetrieb  
Straßenbau und Verkehr  
Schleswig-Holstein  
Niederlassung Lübeck



Kopenhagen, 03.06.2016  
Femern A/S

Lübeck, 03.06.2016  
LBV-SH Niederlassung Lübeck

gez. Claus Dynesen

gez. Torsten Conradt

Die alleinige Verantwortung für diese Veröffentlichung liegt beim Autor.  
Die Europäische Union haftet nicht für die Verwendung der darin enthaltenen Informationen.



Von der Europäischen Union kofinanziert  
Transeuropäisches Verkehrsnetz (TEN-V)

Seite 2/32

## Inhaltsverzeichnis

<b>1. BIOLOGISCHER HINTERGRUND</b> .....	<b>5</b>
1.1. Insekten .....	5
1.2. Fische.....	5
1.3. Vögel .....	8
1.3.1. Orientierung beim Vogelzug.....	8
1.3.2. Wirkfaktoren und Effekte .....	10
1.3.2.1. Lichtintensität und Reichweite .....	10
1.3.2.2. Lichtfarbe.....	11
1.3.2.3. Lichtart und Lichtabstrahlung .....	17
1.3.3. Umweltfaktoren .....	18
1.3.3.1. Einfluss des Wetters .....	18
1.3.3.2. Einfluss des Monds .....	19
1.3.4. Zusammenfassende Darstellung .....	19
1.4. Fledermäuse .....	21
1.5. Vorbelastungen .....	23
1.6. Schlussfolgerungen für technische Umsetzung .....	23
<b>2. LITERATUR</b> .....	<b>25</b>

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Farbabsorption in klarem Wasser und Lichtpenetration im offenen Ozean sowie in Küstengewässern. Quelle: Wikipedia <a href="http://en.wikipedia.org/wiki/Underwater_vision">http://en.wikipedia.org/wiki/Underwater_vision</a> .....	6
Abbildung 2: Lichtspektrum unter Angabe der Wellenlänge in nm.....	12
Abbildung 3: Einfluss der Lichtfarbe auf den magnetischen Kompass verschiedener Vogelarten; es werden oben die Spektren der in den Versuchen eingesetzten LEDs wiedergegeben; darunter wird je Vogelart angegeben, unter welchen Wellenlängen die Orientierung nicht gestört ist (+), und unter welchen Wellenlängen sie gestört ist (-) (aus WILTSCHKO et al. 2011) .....	13
Abbildung 4 Prozentzahl reagierender Vögel bei verschiedenen Lichtbedingungen (W – weiß, R – rot, G – grün, B – blau) bei klarem (c) und bewölktem (o) Himmel (nach POOT et al. 2008).....	14
Abbildung 5: Farbspektrum einer Neonröhre (links) und einer Natrium-Dampfampe (rechts). Die blaue Kennlinie beschreibt die Hellempfindlichkeit des menschlichen Auges; die türkisfarbige Linie beschreibt das Spektrum der jeweiligen Lampe. In Grau sind die Bereiche dargestellt, in den Vögel (bzw. Insekten) eine ausgeprägte Sensitivität besitzen (Scan aus IMT Deutschland: „IQL Grün ‚ClearSky‘ ökologische ökonomische Beleuchtung.“).....	16
Abbildung 6: Leuchte mit Abschirmungsschild und halbiertes Lichtstärke auf der Mittelplatte (links) und Negativ-Beispiel für Leuchte ohne Abschirmung und unangepasster Lichtstärke.....	20
Abbildung 7: Vergleich der Beleuchtung vor (oben) und nach (unten) der Lichtminderung auf der Ölplattform Mittelplatte aus unterschiedlichen Richtungen aus einer Distanz von 300 m .....	20

## Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Übersicht der Wirkfaktoren und deren Auswirkungen auf Vögel und vorläufige naturschutzfachliche Bewertung.....	21
---	----

# 1. Biologischer Hintergrund

Dieser Anhang stellt den biologischen Hintergrund zur Wirkung von Licht auf lichtempfindliche Tiergruppen dar. Es gibt ausführliche Untersuchungen zu den Wirkungen auf Insekten, Fische, Fledermäuse und insbesondere Vögel.

## 1.1. Insekten

Nachtaktive Insekten werden von künstlichen Lichtquellen angelockt (ESCHE ET AL. 1989, EISENBEIS & HASSEL 2000, HAUSMANN 1990, LÖDL 1984, KOLLIGS 2000, WIROOKS 2005). Die Gründe hierfür sind z. T. noch ungeklärt, die Anlockwirkung hängt jedoch wesentlich von der spektralen Zusammensetzung des emittierten Lichts ab (CLEVE 1967, MENZEL 1979).

Unter den Insekten sind besonders Nachtfalter von Lichtimmissionen betroffen, da sie von künstlichen Lichtquellen angelockt werden können und dadurch an der Nahrungs- und Partnersuche gehindert werden (LAI 2012). Außerdem kann durch die Ablenkung durch das Licht, die Rückkehr ins Stammhabitat erschwert werden, was faktisch einer Zerschneidungswirkung entspricht.

Durch Aufprall, Erschöpfung oder als Beutetier können von Lichtquellen angelockte Nachtfalter den Tod finden. Auf diese Weise kann in der Nähe der Lichtquelle die Population von Nachfaltern dezimiert werden, was z. B. Auswirkungen auf die Nahrungskette oder die Blütenbestäubung (LAI 2012) haben kann. Darüber hinaus können die angelockten Nachtfalter an heißen Lampen verbrennen.

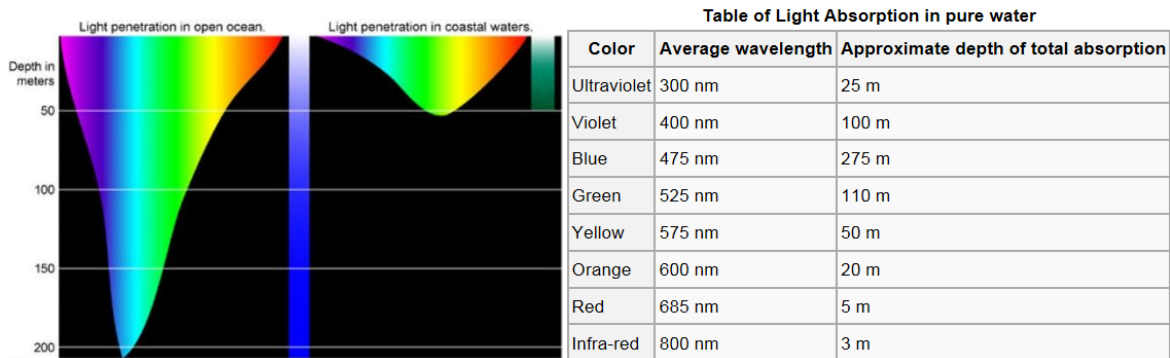
Forschungsergebnisse zur Wirkung von Licht auf Insekten zeigen, dass ultraviolettes Licht verstärkt Insekten anzieht (z. B. EISENBEIS & HASSEL 2000). Langwellige Spektralbereiche werden weniger stark wahrgenommen als kurzwellige. Im Vergleich zu Quecksilberdampflampen (Wellenlänge 400 bis 700 nm), die verstärkt im kurzwelligen Bereich ausstrahlen, haben z. B. Natriumdampflampen (~575 nm) eine sechs- bis zehnfach geringere Anlockwirkung auf Nachtfalter (HUEMER et al. 2010). In dieser Studie auch getestete LED-Lampen hatten extrem geringe Anlockwirkungen, warmweißes Licht emittierende LED 3000K (keine Angabe der Wellenlänge) erzielten dabei die besten Resultate (HUEMER ET AL. 2010).

## 1.2. Fische

Licht wird vom Wasser absorbiert, und je tiefer das Wasser, desto stärker die Absorption und desto gedämpfter das Licht. In Tiefen von 150 bis 500 m beginnt sich auch das klarste Wasser auszublauen und in den Zonen unter 1000 m herrscht Dunkelheit.

Die Absorptionsrate als Funktion der Frequenz variiert, sodass rotes Licht stärker absorbiert wird als blaues (vgl. Abbildung 1). Auch Partikel und gelöstes Material absorbieren

verschiedene Frequenzen, was sich auf die Farbwahrnehmung der verschiedenen Wassertiefen auswirkt – seichte Küstengewässer erscheinen grün, Ozeane in der Regel blau.



**Abbildung 1: Farbabsorption in klarem Wasser und Lichtpenetration im offenen Ozean sowie in Küstengewässern. Quelle: Wikipedia [http://en.wikipedia.org/wiki/Underwater\\_vision](http://en.wikipedia.org/wiki/Underwater_vision)**

Die Augen der Fische gleichen denjenigen anderer Wirbeltiere (auch des Menschen), auch wenn Fische weder Tränenkanal noch Augenlider aufweisen. Aufgrund der geringeren Lichtintensität unter Wasser sind die Augen der Fische im Allgemeinen empfindlicher als diejenigen der landlebenden Wirbeltiere. Dies trifft in besonderem Maße auf die Fische der Tiefsee zu, die über große Augen und Linsen verfügen (HERRING 1996). In erster Linie bestimmt die Anzahl der Stäbchen und Zapfen auf der Netzhaut die Lichtempfindlichkeit. Die meisten Fischarten können Farben unterscheiden. Das Verhältnis von Stäbchen zu Zapfen hängt wiederum von den ökologischen Lebensbedingungen der jeweiligen Fischart ab. So haben tagaktive Fische im klaren Wasser mehr Zapfen als Fische, die sich vor allem in dunkleren Gewässern bewegen (HELFMAN et al. 2009). Farberkennung ist vor allem nützlich in einer Umgebung mit einer größeren Bandbreite von Wellenlängen, beispielsweise nahe an der Wasseroberfläche in klarem Wasser. In tieferen Gewässern, in denen nur ein kleines Wellenlängenspektrum vorhanden ist, hat die Fähigkeit zur Erkennung von Farbe weniger Nutzen (GUTHRIE & MUNTZ 1993).

Es gibt nur wenige Studien über die Lichtempfindlichkeit der einzelnen Fischarten. Eine hat jedoch gezeigt, dass bei Dorschen die Grenzwerte für die Lichterkennung im Vergleich zum menschlichen Auge bei zehnmal geringeren Lichtintensitäten liegen ( $10^{-5} \text{ W/m}^2$  ggü.  $10^{-4} \text{ W/m}^2$ ) (ANTHONY & HAWKINS 1983, zitiert in APPELBERG 2005).

Weil aber die Sicht unter Wasser aufgrund der geringen Reichweite von Lichtstrahlen begrenzt ist, beträgt die Sichtweite der meisten Fische und Menschen meist nicht mehr als 50 m. Tatsächlich ist sie meist sehr viel geringer und kann in trübem, algenreichem oder turbulentem Wasser oft in Zentimeter gemessen werden.

Fische zeigen ein tageszeittypisches Verhalten, wobei das Licht als wichtigster Auslösfaktor vieler Verhaltensänderungen gilt. Solche lichtbedingten Verhaltensmuster werden als *Photomovement* bezeichnet. Meerestiere zeigen in dieser Hinsicht vier Verhaltensarten: 1) Schwarmbildung (Aggregation), 2) Erstarrung oder Bewegung, bis kein Licht mehr wahrgenommen wird (Fotokinese), 3) Abschreckung oder Anziehung durch Lichtquelle (negative bzw. positive Fototaxis) oder 4) Auf- und Abwanderung durch die vertikalen Gewässerschichten im Tagesverlauf (Vertikalwanderung).

Das vom natürlichen Licht gesteuerte Verhalten unterscheidet sich nicht nur stark von Fischart zu Fischart, sondern ist auch alters- und funktionsabhängig (Nahrungssuche, Laichen, Schlaf, Migration usw.).

So beobachtete BLAXTER (1967) bei Heringslarven, die starker Lichtintensität ausgesetzt wurden (Grenzwert von 100 bis  $10^{-1}$  mc), positive Fototaxis, wohingegen er unter diesem Grenzwert eine negative Fototaxis feststellte, die bei noch tieferen Grenzwerten ( $10^{-5}$  bis  $10^{-6}$  mc) vollständig abgelegt wurde. Bei der Nahrungssuche variierte der Grenzwert je nach Nahrungstyp zwischen  $10^{-1}$  und  $10^{-2}$  mc.

WOODHEAD (1957) zeigte, dass die Larven der Bachforelle, der Regenbogenforelle und des Lachs zeitweise positive und negative Fototaxis zeigen, wenn sie angeleuchtet werden. Die drei Arten zeigten eine positive Fotoorthokinese, wobei sich die Aktivitätszeitspanne in einem begrenzten Bereich direkt proportional zum Logarithmus der Lichtintensität verhielt. Der Lichtgrenzwert für die Kinese lag bei ca. 0,005 mc, tendierte aber bei vielen jungen Larven höher, bei vielen Larven im Spätstadium niedriger. Bei einigen Exemplaren war eine (variable) obere Grenze auszumachen, die für ältere Larven bei ca. 10 und 100 mc lag. BATTY ET AL. (1990) beobachteten, dass Heringe ihre Beute bei Lichtintensitäten über einem Grenzwert von 0,001 lx mittels Beißen (Schnappen) fingen und dabei zuerst die größeren Organismen fraßen. Wenn sie jedoch unter Lichtaussetzung Nahrung durch Filtrierung hoher Densitäten von *Artemia sp. nauplii* aufnahmen, bewegten sie sich im Schwarm. Die Schwimmggeschwindigkeit wurde dabei von der Lichtintensität nicht beeinflusst.

Das Schwarmverhalten wird oft durch zunehmende Lichtintensität bei Tagesanbruch ausgelöst. Der Schwarm löst sich bei Einbruch der Nacht und nachlassender Lichtintensität auf. BLAXTER & PARRISH (1965), zitiert in BLAXTER & BATTY (1990), fanden in einem Experiment heraus, dass der Grenzwert für die Schwarmbildung bei Heringen zwischen 0,5 und 0,003 mc lag, was den Beobachtungen, die im natürlichen Lebensraum der Nordsee gemacht wurden, entspricht (zitiert in BLAXTER 1990). GLASS et al. (1986) zeigten, dass Makrelen bei starker Lichtintensität ( $1,8 \times 10^{-6} \mu\text{Es}^{-1} \text{m}^{-2}$ ) immer einen einzigen Schwarm bilden, sie aber bei geringeren Intensitäten ( $1,8 \times 10^{-8} \mu\text{Es}^{-1} \text{m}^{-2}$ ) solitär schwimmen.

Heringe zeigen eine Vertikalwanderung, die mit der Schwarmbildung bei Tag und Nahrungsaufnahme in der Nacht im Zusammenhang steht. Es scheint, als ob die Fische eine Lichtintensität von  $5^{-10}$  mc präferieren (BLAXTER & PARRISH 1965, zitiert in BLAXTER & BATTY 1990).

Die Tatsache, dass viele Fische von künstlichem Licht angezogen werden, hat sich die Fischereiiindustrie weltweit schon lange zu Nutze gemacht, um ihre Erträge zu optimieren. Im Allgemeinen hat man die Erfahrung gemacht, dass Jungfische und pelagische Fischarten stärker von höheren Lichtintensitäten angezogen werden als ältere Fische bzw. benthische Fischarten (BAN-YAMI 1988).

Heringe wiederum meiden Boote mit Decklampen, zeigen indes keine Reaktion, wenn die Boote vollständig verdunkelt sind (ONA & TORESEN 1988). Auch bei anderen Fischarten wie Junglachsen und Aalen war eine negative Fototaxis feststellbar (WOODHEAD 1957, WESTERBERG 1993, TESCH 2003). Die negative Fototaxis nimmt zu, wenn die Gelbaale das Stadium zum Blankaal erreichen und sich die Größe ihrer Augen um den Faktor 1,2–2 vergrößert (TESCH 2003). Außerdem halten sich Blankaale tagsüber am Gewässergrund auf und schwimmen in der Nacht zur Wasseroberfläche (WESTERBERG et al. 2007). Eine ähnliche vertikale Wanderung konnte bei Schollen in nördlichen Gewässern während der Laichmigration beobachtet werden (HUNTER et al. 2004).

## **1.3. Vögel**

### **1.3.1. Orientierung beim Vogelzug**

Für den Menschen ist kein intuitiver Eindruck möglich, wie künstliche Beleuchtung vor allem nachts auf Vögel wirkt (GOLDSMITH 2007, TEIKARA 2007). Der biologische Mechanismus sowohl der Orientierung als auch des Sehens und der gegenseitigen Beeinflussung von Licht und Orientierung von Vögeln ist bis heute nicht vollständig verstanden (DEUTSCHLANDER & MUHEIM 2010).

Ziehende Vögel haben mehrere Mechanismen, sich vor allem nachts zu orientieren: Die Erkennung des Magnetfelds, das Polarisationsmuster des Himmelslichts und den Sternenkompas. Ein alleiniges Wirken des Sternenhimmels zur Orientierung ist nicht durchgängig bewiesen (WILTSCHKO & WILTSCHKO 2003, COCHRAN et al. 2004), aber die Tatsache, dass Desorientierung und Kollisionsraten gerade bei bedecktem Himmel auftreten, weisen auf die Notwendigkeit verschiedener Komponenten, also auf mehrere mögliche Orientierungsmechanismen hin (u. a. ALERSTAM 1990, NEWTON 2008).

Licht kann eine anziehende und desorientierende Wirkung auf Vögel ausüben. Wie zu erläutern sein wird, sind diese beiden Effekte voneinander nicht eindeutig zu trennen. Durch starke Lichtquellen kann es dazu kommen, dass ziehende Vögel die Orientierung verlieren, weil sie den Horizont nicht mehr identifizieren können, und dann die Lichtquelle als Zielmarke haben (GAUTHREAUX & BELSER 2006). Es ist anerkannt, dass Vögel insbesondere dann auf Licht reagieren, wenn ihre Orientierung ohnehin eingeschränkt ist.

Dass Vögel bei Dunkelheit auf Licht reagieren bzw. augenscheinlich von Licht angezogen werden, ist von Leuchttürmen seit mehr als 150 Jahren bekannt (z. B. GÄTKE 1891, HANSEN 1954, JONES & FRANCIS 2003) und auch für Bohrinseln oder z. B. Funkmasten bestätigt (WIESE



et al. 2001, LONGCORE & RICH 2004, RICH & LONGCORE 2005, RUSSELL 2005, LONGCORE et al. 2008, GEHRING et al. 2009, BRUINZEEL et al. 2009). Auch andere Lichtquellen spielen eine Rolle, wie z. B. Skybeamer (Himmelsstrahler; HERRMANN et al. 2006, HAUPT & SCHILLEMEIT 2011), Gewächshäuser (ABT & SCHULTZ 1995) oder beleuchtete Gebäude (z. B. HAUPT 2008, HAUPT & SCHILLEMEIT 2011).

Schon früh wurde beschrieben,

- dass Vögel an Leuchttürmen kollidieren, vor allem, als diese noch mit Dauerlicht strahlten (z. B. Hansen 1954, Jones & Francis 2003, Gauthreaux & Belser 2006), aber auch,
- dass Vögel in den Lichtkegel starker Lichtquellen hineinfliegen bzw. dort kreisen und offensichtlich desorientiert sind. Dieses Phänomen kann über einen längeren Zeitraum (Stunden, Tage) anhalten und es wird angenommen, dass solche Vögel durch Erschöpfung oder durch Kollision umkommen oder dass sie mindestens deutlich geschwächt werden (Gätke 1891, Hansen 1954).

Vögel kollidieren auch mit den Forschungsplattformen FINO 1 und FINO 3 in der Nordsee (Hüppop et al. 2009, Aumüller et al. 2011) sowie FINO 2 in der Ostsee. Für FINO 2 besagen die Ergebnisse, dass in 5-10 % der Nächte eine Attraktionswirkung durch diese Anlage bzw. deren Beleuchtung besteht. Diese Attraktionswirkung wurde ermittelt, indem man die Zugraten in einem großen Radius (mit Hilfe von Radar) mit solchen in unmittelbarer Nähe (Video) des Objekts zueinander in Beziehung setzte (Bellebaum et al. 2010a, T. Coppack, schriftl. Mitt.). Für die FINO 1 Plattform in der Nordsee wird ein Kollisionsereignis beschrieben, bei welchem bedingt durch Zugbereitschaft der Vogelarten, Wetter bzw. Änderung des Wetters, insbesondere Wind und Sichtbedingungen, zahlreiche Vögel kollidiert sind (Aumüller et al. 2011); dieses Ereignis und seine Analyse bestärken, dass größere Vogelschlagereignisse höchstwahrscheinlich sehr selten sind und nur bei einem Zusammentreffen einer Anzahl von äußeren Bedingungen passieren. Während Vögel bei guter Sichtbarkeit des Sternenhimmels häufig in größeren Höhen ziehen und somit von bodennahen Lichtquellen weniger angezogen werden, kann schlechte Sicht zuerst zu niedrigeren Flughöhen und damit zu einer höheren Wahrscheinlichkeit führen, in die Nähe von beleuchteten Strukturen zu gelangen, in welcher dann der „trapping effect“ zum Tragen kommt. „Trapping effect“ bedeutet, dass Vögel von einem Licht angezogen sind, und beginnen, um die Lichtquelle zu kreisen und offensichtlich nicht in der Lage sind, sich aus dem Einflussbereich des Lichts zu entfernen, in diesem „gefangen“ sind (Verheijen 1958, Evans Ogden 1996, Abt & Schultz 1995, Larkin et al 1998). Der „trapping effect“ kann auch bedeuten, dass Vögel nicht direkt vom Licht angezogen werden (phototaktisches Verhalten), sondern eher eine Abneigung zeigen, ins Dunkle zu fliegen (skotophobisches Verhalten) (Drost 1934 in Ballasus et al. 2009). Darüber hinaus ist der Grad der Desorientierung der ziehenden Vögel auch durch die Lichtfarbe beeinflusst (s. Kapitel 1.3.2.2).

Folglich besteht keine klare Trennung zwischen der anziehenden und desorientierenden Wirkung, sobald die Vögel in den Einflussbereich der Beleuchtung gekommen sind.

### 1.3.2. Wirkfaktoren und Effekte

Im Folgenden werden die einzelnen Wirkfaktoren betrachtet. Es muss aber betont werden, dass diese oft in Kombination miteinander oder mit anderen Umweltfaktoren wirken.

#### 1.3.2.1. Lichtintensität und Reichweite

Es besteht ein offensichtlicher Zusammenhang zwischen der **Lichtintensität** und dem Effekt der Beleuchtung auf Vögel. Anekdotisch wird die Attraktion starker Scheinwerfer offshore beschrieben und das Nachlassen / Ausfallen dieser Attraktion nach Ausschalten des Scheinwerfers (Schiff: DICK & DONALDSON 1978, Offshore-Forschungsplattform: MÜLLER 1981, Fernsehturm: COCHRAN & GRABER 1958). Detailliertere Ergebnisse liegen bzgl. des Leuchtturms Longpoint (Lake Erie, Ontario, Kanada) vor; dort betrug die Kollisionsrate von 1960 bis 1989 jedes Frühjahr durchschnittlich 200 und jeden Herbst durchschnittlich 393 Individuen. 1989 wurde das Licht dieses Leuchtturms in der Stärke ungefähr halbiert (vor 1960 1500 W Glühlampe, 1962 bis 1989 mit 400 W Quecksilberdampf Lampe, 32 km Reichweite, ab 1989 Umrüstung auf anderes System mit engerem Strahlradius, 29 km Reichweite bis 1996, dann Reduktion auf 24-26 km Reichweite). Infolgedessen kollidierten im Zeitraum 1990-2002 nur durchschnittlich 18,5 Vogelindividuen im Frühjahr und durchschnittlich 9,6 im Herbst (JONES & FRANCIS 2003). Da auch die Art des Lichts geändert wurde (s. auch Kapitel 1.3.2.3, sind die Ergebnisse nicht eindeutig (HILL et al. 2008), aber es wird klar, dass die Stärke des Lichts sowohl die Attraktionswirkung als auch den Grad der Desorientierung beeinflusst.

Bei gleicher Wellenlänge hat die Lichtintensität einen Einfluss auf das Orientierungsvermögen; sowohl völlige Dunkelheit als auch sehr starkes Licht bewirken eine Desorientierung bzw. eine Ausrichtung der Flugrichtung der Vögel in eine feste, aber „falsche“ Richtung (MUHEIM et al. 2002, BALLASUS et al. 2009).

Zur Reichweite der Lichtwirkung gibt es unterschiedliche Angaben, welche auch darauf hinweisen, dass die äußeren Umstände wie z. B. Wetter und Sicht (s. Kapitel 1.3.3.1) eine Rolle spielen. Einzelne Lichtquellen können bei guter Sicht Auswirkungen bis zu 1 km (z. B. einzelner Lichtstrahl, BRUDERER et al. 1999) oder bis zu 5 km (z. B. Ölplattformen in voller Beleuchtung, POOT et al. 2008, BRUINZEEL et al. 2009) haben; das sog. 5-Seemeilen Feuer (s. unten) sollte noch in ca. 9,3 km sichtbar sein. Mehrere Beispiele beschreiben eine Attraktion aus größerer Entfernung wie z. B. Flutlichter oder größere beleuchtete Areale / Städte (s. GAUTHREAUX & BELSER 2006, weitere Angaben in HILL et al. 2008). Übereinstimmend wird festgestellt, dass Vögel bei guten Sichtbedingungen offensichtlich weniger von Lichtquellen angezogen werden als bei schlechten Sichtbedingungen, was eine klare Aussage zur Reichweite verhindert (BALLASUS et al. 2009).

Eine weitere niederländische Studie zeigt, dass ein kurzes Ausschalten eines großen Teils der Plattform-Beleuchtung – unter Beachtung von Sicherheitsaspekten – die Anzahl registrierter Vögel an einer Gasförderplattform deutlich reduzierte („*significant decrease*“ ohne Angabe von

Zahlen) (MARQUENIE & VAN DE LAAR 2004)<sup>1</sup>. POOT et al. (2008) führte daraufhin weitere Untersuchungen unter der Verwendung von Lichtfiltern an der Nordseeküste der niederländischen Insel Ameland durch: Weißes und rotes Licht führte zu Desorientierungen, während grünes und blaues Licht geringe Effekte aufwies. Untersuchungen im Nordwest-Atlantik (Seevögel; WIESE et al. 2001) und im Golf von Mexiko (RUSSELL 2005) bestätigen, dass Seevögel und andere Arten nachts auf Plattformen reagieren, und dass dieses häufig von der Beleuchtung beeinflusst wird und zu zusätzlicher Mortalität ziehender Vögel führt.

### 1.3.2.2. Lichtfarbe

Die Lichtfarbe wird durch die Wellenlänge des ausgestrahlten Lichts bzw. durch das Spektrum der Wellenlängen bestimmt.

Vögel besitzen im Gegensatz zum Menschen und den meisten Säugetieren vier Zapfentypen in der Netzhaut, welches die Sinneszellen sind, die dem Farbsehen dienen. Damit sehen Vögel auch nahes ultraviolettes Licht (UV-Licht: < 400 nm) (GOLDSMITH 2007). Neben weiteren Unterschieden zum menschlichen Auge enthält das Vogelauge z. B. kleinste Öltröpfchen, welche die Empfindlichkeit der Rezeptoren für bestimmte Wellenlängen beeinflussen (konzentrieren) (WILTSCHKO et al. 2010). Somit ist es sehr wahrscheinlich, dass die Farbenwelt der Vögel eine andere ist als die des Menschen und dass Vögel für den Menschen faktisch nicht vorstellbare Mischfarben wahrnehmen können (GOLDSMITH 2007).

Orientierungsmechanismen von Vögeln, insbesondere der Magnetkompass, werden vom Umgebungslicht beeinflusst. So ist bekannt, dass eine Orientierung bei völliger Dunkelheit nicht funktioniert (z. B. RITZ et al. 2000). Versuche an Rotkehlchen zeigten: die Orientierung funktioniert bei Licht einer Wellenlänge von 560.5 nm (grün), wohingegen starke Desorientierung bzw. keine Orientierung bei 567.5 nm (grüngelb) unabhängig von der Lichtintensität festgestellt wurde. Bei langwelligerem Licht (Rotbereich, hier 617 nm) wurde wieder Orientierung festgestellt, jedoch offensichtlich nicht die korrekte, denn es wurden feste, aber falsche Zugrichtungen gefunden (WILTSCHKO et al. 2011). Stärkeres Licht beeinflusst die Magnetorezeption stärker als schwaches Licht; da sowohl bei kurz- als auch bei langwelligem Licht Orientierung grundsätzlich möglich scheint, wird eine Beeinflussung des Magnetkompasses durch einen hochsensiblen Kurzwellen-Mechanismus und einen weiteren schwachsensiblen Langwellen-Mechanismus postuliert (MUHEIM et al. 2002). WILTSCHKO et al. (2008) widersprechen der Feststellung, dass auch langwelliges Licht nur zu leichter Desorientierung führt; sie setzen die Grenze beginnender Desorientierung bei Wellenlängen >

---

<sup>1</sup> Es wurde nicht genau spezifiziert, welche Beleuchtung ausgeschaltet wurde bzw. welche verblieb. Allerdings wird bemerkt, dass sog. Sicherheits- und Navigationsbeleuchtung (safety and navigation lights) keine Wirkung auf die Vögel ausübte.

590 nm (gelb) an. Blaues (424 nm) und grünes Licht (565 nm) beeinflussen die Orientierung nicht, dagegen aber grün-gelbes (567,5 nm), welches damit sehr nah beim grünem Licht liegt, sowie gelbes (590 nm) und rotes Licht (644 nm). Schwaches rotes Licht (645 nm bei  $1 \text{ mW/m}^2$ ) hat die gleiche Auswirkung wie totale Dunkelheit – der Magnetkompass funktioniert nicht. Es wird postuliert, dass bläuliche und grünliche Lichtfarben die Orientierungsfähigkeit weniger stören (z. B. WILTSCHKO et al. 1993, WILTSCHKO & WILTSCHKO 1993, 1995, Hill et al. 2014). Der sehr kleine Unterschied von 565 nm (keine Wirkung) zu 567,5 nm (Wirkung) zeigt am Beispiel des Rotkehlchens, dass sich die Orientierungsfähigkeit schon in einem sehr engen Wellenlängenbereich (6-8 nm) ändern kann (DEUTSCHLANDER & MUHEIM 2010, WILTSCHKO et al. 2011).

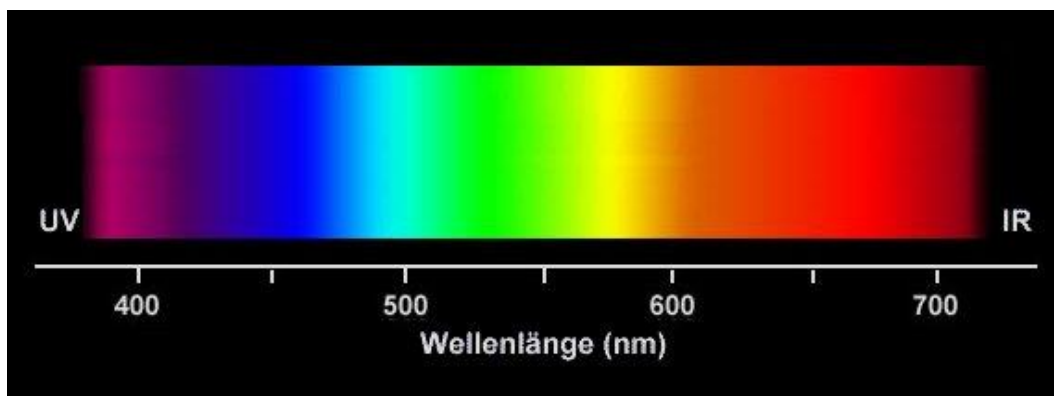
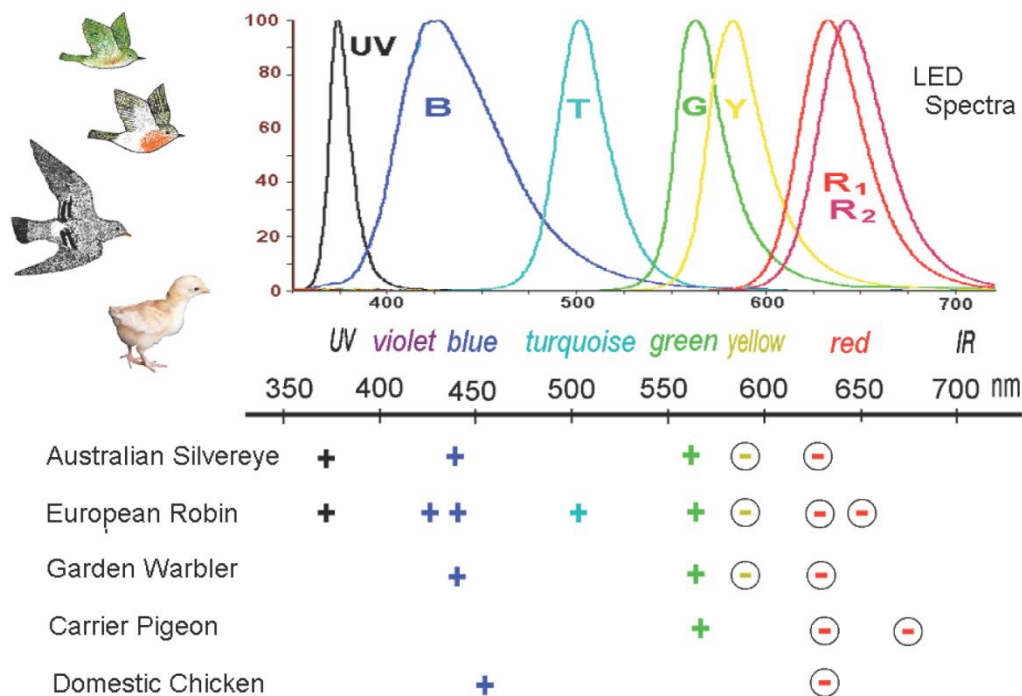


Abbildung 2: Lichtspektrum unter Angabe der Wellenlänge in nm



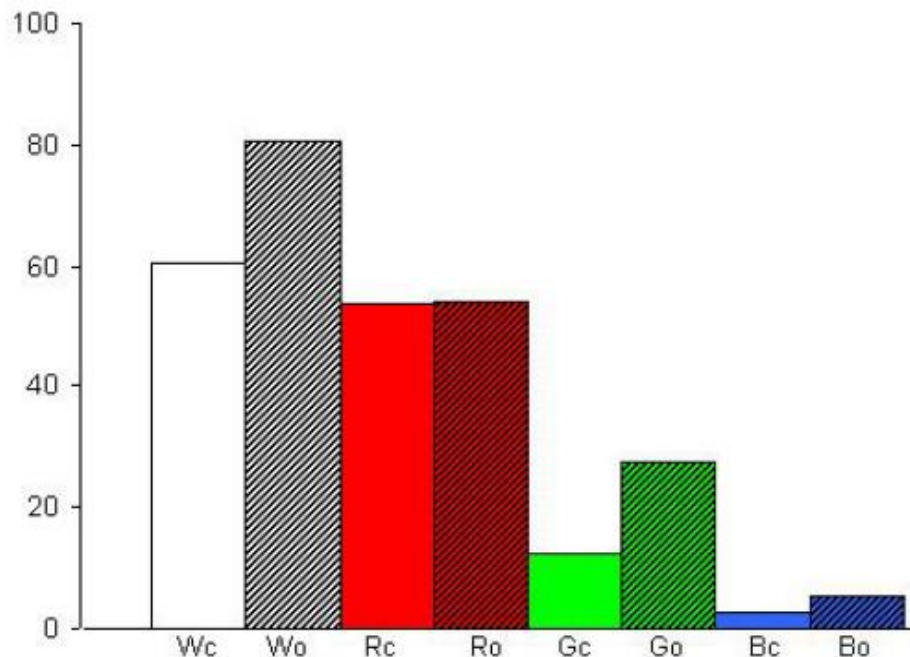
**Abbildung 3: Einfluss der Lichtfarbe auf den magnetischen Kompass verschiedener Vogelarten; es werden oben die Spektren der in den Versuchen eingesetzten LEDs wiedergegeben; darunter wird je Vogelart angegeben, unter welchen Wellenlängen die Orientierung nicht gestört ist (+), und unter welchen Wellenlängen sie gestört ist (-) (aus WILTSCHKO et al. 2011)**

Erkenntnisse über die Auswirkungen von Licht unterschiedlicher Farbe auf Vögel sind schwer zu erlangen, zumal die Lichtfarbe häufig nicht unabhängig von der Lichtintensität, den Abstrahlcharakteristika und möglicher Umweltfaktoren analysiert werden kann.

Eine Modifikation von sogenannten Wolkenhöhenmessern/-scheinwerfern (Ceilometer) an Flughäfen in den USA von breiten weißen Lichtkegeln auf schmale Lichtkegel, aus welchen die längeren Wellenlängen herausgefiltert sind, so dass im Wesentlichen ultraviolettes Licht ausgestrahlt wird, hat die Kollisionen von Vögeln stark vermindert (Quellen in GAUTHREUX & BELSER 2006).

Die wenigen „Freiluft-Experimente“ erbringen anscheinend widersprüchliche Ergebnisse. POOT et al. (2008) zeigen, dass die Lichtfarbe einen Einfluss auf ziehende Vögel haben kann. In einem Versuch an der Küste von Ameland, NL, in welchem 1000 W Lampen mit unterschiedlichen Filtern benutzt wurden, behielten Vögel ihre Zugrichtung bei Verwendung von Blau- oder Grünfilter (blaues oder grünes Licht) bei, während sie bei rotem und weißem Licht auch bei schon geringer Intensität desorientiert waren. Ein Einfluss der Bewölkung wird vor allem bei weißem als auch bei grünem Licht deutlich; bei Bewölkung fliegen Vögel tiefer, in der Regel unterhalb der Wolken; sind die Wolken sehr tief, wirken sie auf die „in den Wolken“ fliegenden Vögel wie Nebel und schränken die Orientierungsfähigkeit ein. Von den Autoren

wird angenommen, dass vor allem bei starker Bewölkung die Magnetorezeption eine größere Rolle spielt als bei klarem Himmel, welche dann aber vor allem von rotem Licht gestört wird. Vorherige Experimente an einer Gasförderplattform hatten schon auf diese Ergebnisse hingewiesen (VAN DE LAAR 2007).



**Abbildung 4** Prozentzahl reagierender Vögel bei verschiedenen Lichtbedingungen (W – weiß, R – rot, G – grün, B – blau) bei klarem (c) und bewölktem (o) Himmel (nach POOT et al. 2008)

Aus einer anderen Studie in den USA, in welcher bei vollständiger Bewölkung (Vögel fliegen in der Wolke bzw. im Nebel), nach oben strahlende Lichtquellen in Lichtfarbe und Blinkfrequenz modifiziert werden konnten, ergibt sich, dass eine erhöhte Aktivität<sup>2</sup> vor allem bei weißem, grünem und blauem Licht, aber weder bei rotem Licht noch bei weißem Blitzlicht (0,2 s an, 1,4 s aus) auftritt (EVANS et al. 2007). Der gleiche Autor kritisiert in einer Stellungnahme methodische Aspekte der Studien von POOT et al. (2008) (EVANS 2010), so z. B., dass POOT et al. (2008) nicht die Wellenlänge der von ihnen eingesetzten Lichter / Filter bzw. die resultierenden Intensitäten angeben. „...bei einer Glühlampe hat das ungefilterte weiße Licht natürlich die höchste Intensität, bei Farbfilterung sind die roten und gelben Spektralanteile

<sup>2</sup> erhöhte Aktivität bedeutet in diesem Fall, dass sich höhere Zahlen desorientierter Vögel im Erfassungsbereich aufhalten, gemessen als Rufaktivität.

*jeweils viel intensiver als die grünen und blauen.*“ (zitiert in HILL et al. 2008). Es ist gefordert, dass bei derartigen Vergleichen auch die „spektrale Lichtintensität“ betrachtet bzw. gemessen werden muss, was lt. HILL et al. (2008) bisher nur von EVANS et al. (2007) berücksichtigt wurde. Die Ergebnisse von HILL et al. 2014 bestätigen eher die Ergebnisse von POOT et al. (2008), da bei rotem Licht die meisten Vögel registriert wurden, die Farbe Grün wird als am geringsten phototaktisch wirkend eingestuft (HILL et al. 2014).

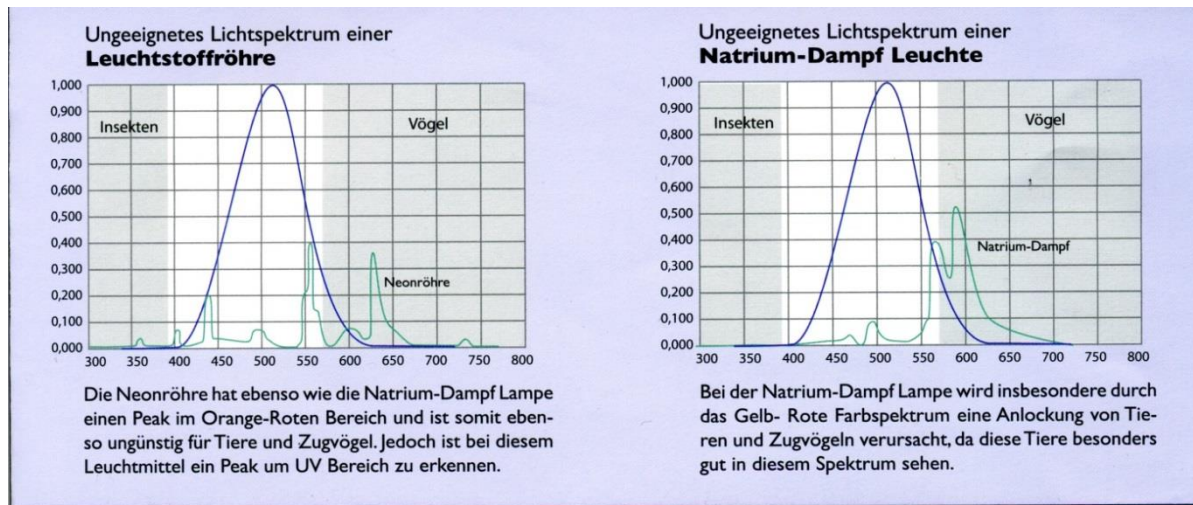
Andererseits muss bezüglich der Studien von EVANS et al. (2007) angemerkt werden, dass die „in den Wolken fliegenden“ Vögel offensichtlich vollständig ohne optische Orientierung waren. Es kann spekuliert werden, ob diese desorientierten Vögel in Richtung weißen, grünen oder blauen Lichts flogen, weil sie „hofften“, dort ihre Orientierung wieder zu erlangen, währenddessen sie nicht in dem Maße von rotem Licht angezogen werden.

Folglich können diese Studien nicht abschließend bewertet werden, bzw. die Ergebnisse nicht uneingeschränkt übernommen werden. Vielmehr muss bedacht werden, dass einerseits ein durch fehlende Sicht desorientierter Vogel andere Reaktionen zeigen kann als ein im Grunde orientierungsfähiger Vogel, welcher aber durch den Einfluss von z. B. rotem Licht, in seiner Orientierung / Magnetorezeption behindert wird. Es stellt sich damit die Frage: „Ist Lichtattraktion das Resultat von Desorientierung oder führt Licht zur Desorientierung?“

Die Theorie, dass Vögel z. B. durch rotes Licht desorientiert werden, ist nicht widerlegt. Diese unterschiedlichen Erkenntnisse bzgl. des Einflusses der Lichtfarbe erschweren eine Beurteilung. GEHRING et al. (2009) fanden an Telekommunikationsmasten in den USA keine Unterschiede in den Kollisionsraten zwischen Masten mit weißem und solchen mit rotem Licht.

Laborstudien in diesem Rahmen erbringen meist Ergebnisse für nur sehr wenige Arten (bisher Rotkehlchen, Australian Silvereye *Zosterops lateralis* (WILTSCHKO et al. 2008, HILL et al. 2008, WILTSCHKO & WILTSCHKO 2010, BALLASUS et al. 2009, WILTSCHKO et al. 2011), währenddessen Feldstudien nicht nach Arten oder Artengruppen unterscheiden können.

Es muss anerkannt sein, dass wir keine a-priori Bewertungen erstellen können, welche Kombinationen von Lichtintensität und Lichtfarbe für Vögel günstig sind. In der Praxis besteht eine weitere Komplikation dadurch, dass Beleuchtung in der Regel nicht monochromatisches Licht, d. h. Licht einer Wellenlänge / Farbe, abstrahlt (welches aber in Laborexperimenten häufig eingesetzt wird), sondern dass die meisten Beleuchtungsarten ein spezifisches Spektrum aufweisen (Abbildung 5). Es haben sowohl die Leuchtstoffröhre als auch die Natrium-Dampf-Leuchte ein breites Spektrum, welches jeweils in breite Empfindlichkeitsbereiche der Sensitivität des Vogelauges hineinreicht. Das bedeutet, dass mit diesen Lampen keine Rückschlüsse auf die Wirkungen bestimmter Farben (= Wellenlängenbereiche) gezogen werden können.



**Abbildung 5: Farbspektrum einer Neonröhre (links) und einer Natrium-Dampflampe (rechts). Die blaue Kennlinie beschreibt die Hellempfindlichkeit des menschlichen Auges; die türkisfarbene Linie beschreibt das Spektrum der jeweiligen Lampe. In Grau sind die Bereiche dargestellt, in den Vögel (bzw. Insekten) eine ausgeprägte Sensitivität besitzen (Scan aus IMT Deutschland: „IQL Grün ‚ClearSky‘ ökologische ökonomische Beleuchtung.“).**

Es wird deutlich, dass es, bevor weitere Feldversuche durchgeführt werden, klare, möglichst objektive Kriterien und Messprotokolle bzgl. der Lichtfarbe (Wellenlänge bzw. Spektrum) und der Lichtstärke (Intensität etc.) geben sollte, um Ergebnisse für die Praxis zu erlangen.

Im Jahr 2010 und 2011 wurden im Projekt AVILUX Untersuchungen zum Einfluss der Lichtfarbe auf Zugvögel durchgeführt (FA. AVITEC RESEARCH, R. HILL). Es wurde der herbstliche Vogelzug an der Ostsee Nähe Oehe-Schleimünde untersucht; es wurden sechs parallel zur Küste ausgerichtete Scheinwerfer benutzt, davon vier LED-Scheinwerfer mit fernsteuerbarer Farbwechselfunktion, und zwei modifizierte rote bzw. weiße LED-Sicherheitslampen der Fa. REETEC (Hinderniskennzeichnungen, Bremen). Vogeldichten und -anwesenheit wurden mittels Videoaufzeichnung erfasst. Gleichzeitig wurde die tatsächliche Leuchtstärke der Leuchten in Abhängigkeit von den Sichtverhältnissen aufgezeichnet.

Die Ergebnisse dieser Studien, welche sich im Wesentlichen auf eine Attraktion, weniger auf Desorientierung beziehen, sagen zusammenfassend aus (HILL & HILL, in Vorb.):

- Hinsichtlich der farbigen Lampen konnte ein deutlicher Farbeffekt ermittelt werden: Bei der Lichtfarbe Rot lag die Wahrscheinlichkeit, gegenüber den Lichtfarben Gelb, Grün und Blau mehr vogelpositive Bilder zu detektieren, deutlich höher.
- Innerhalb der langwelligeren Farben war die Wahrscheinlichkeit, mehr vogelpositive Bilder zu detektieren, deutlich in Richtung Rot verschoben. Bei den kurzwelligeren Farben war die Wahrscheinlichkeit, mehr vogelpositive Bilder bei grüner Farbe als bei blauer Farbe zu detektieren, in der Regel etwas niedriger.



- Von den vier getesteten Farben scheint die Farbe Grün am wenigsten attraktiv zu sein. In allen getesteten Fällen war die Wahrscheinlichkeit, bei dieser Farbe mehr vogelpositive Bilder zu detektieren als bei anderen Farben, sehr gering.
- Es konnte ein deutlicher Zusammenhang zwischen dem Bedeckungsgrad und der Zahl vogelpositiver Bilder festgestellt werden. Dieser Zusammenhang ist besonders deutlich bei der Farbe Rot.
- Ein Effekt der offshore verwendeten Sicherheitslampen konnte [aus methodischen Gründen] bislang nicht separat erbracht werden.

Somit wird bestätigt, dass die Attraktionswirkung roter bzw. langwelliger Farben höher ist, als die blauer und grüner bzw. kurzwelliger Farben, und es wird noch einmal deutlich, dass die Effekte bei bedecktem Himmel eher zu zeigen sind als bei klarem Himmel.

### 1.3.2.3. Lichtart und Lichtabstrahlung

Für eine Differenzierung bzgl. der Lichtart liegt bei Untersuchungen häufig weder eine genaue Beschreibung der Lichtfarben noch der spektralen Intensitäten vor (z. B. POOT et al. 2008, BALLASUS et al. 2009<sup>10</sup>), sondern es werden Ergebnisse für Lampentypen dokumentiert. Das ist unbefriedigend, aber besonders in älteren Untersuchungen nicht mehr zu korrigieren. Auswirkungen von z. B. Quecksilberdampflampen werden wegen ihrer auf Vögel anziehenden Wirkung kritisch beurteilt (Zitate in BALLASUS et al. 2009). Ebenfalls gibt es Hinweise z. B. aus den USA auf die anziehende Wirkung von Natriumdampflampen (KERNS & KERLINGER 2004), wobei hier nicht genannt wird, ob es sich um Niederdruck- oder Hochdrucklampen handelt, welche sehr unterschiedliche Spektren ausstrahlen (BALLASUS et al. 2009). Für Insekten existieren weitergehende Freiland-Untersuchungen, welche unterschiedliche Lichtarten wie z. B. Quecksilberdampfhochdrucklampe, Natriumdampfhochdrucklampe, Metallhalogendampflampe, Leuchtstoffröhre und LED berücksichtigen (EISENBEIS & EICK 2011). Es ist anzunehmen, dass LEDs mehr und mehr zum Einsatz kommen und es damit ermöglichen, relativ klar beschriebene Emissionsspektren anzugeben.

HANSEN (1954) berichtet, dass mit Umrüstung der Leuchttürme von Kerosin / Petroleumlampen und Glühstrumpflampen<sup>3</sup> auf elektrische Lampen die Abstrahlung nach oben deutlich reduziert wurde, und damit auch die Zahl der Anflugopfer. Grundsätzlich gilt die Empfehlung, dass Lichter nicht nach oben abstrahlen sollten (Anlockwirkung), sondern am besten mit einer Abschirmung nach oben versehen werden bzw. nur indirektes Licht sichtbar ist (z. B. Entwurf Peace-Bridge, NY state, USA, schriftl. Mitt. T. SULLIVAN). Es gibt Hinweise,

---

<sup>3</sup> Ein Glühstrumpf, auch Glühkörper oder Gasstrumpf genannt, ist ein kuppel- oder birnenförmiges feinmaschiges Gebilde aus Oxiden, welches in gasbetriebenen Leuchten (Gaslampen und solchen, die Petroleum verdampfen, siehe Petromax) die Lichtquelle bildet, indem es durch die Flamme zum Leuchten angeregt wird (<http://de.wikipedia.org/wiki/Glühstrumpf>).

dass die Abstrahlung nach unten Auswirkungen auf niedrig fliegende Vögel wie z. B. Meerestenten haben kann (VAN DE LAAR 2007).

### 1.3.3. Umweltfaktoren

#### 1.3.3.1. Einfluss des Wetters

Anflugereignisse und damit die Anzahl an Vogelkollisionen sind in Bezug auf Häufigkeit des Auftretens und Intensität sehr variabel. Für Leuchttürme werden ca. 9-20 Nächte je Jahr als Anflugnächte, d. h. Nächte mit vergleichsweise hohen Kollisionszahlen, kategorisiert. Über einen längeren Zeitraum gesehen, stellen im Schnitt 3 Nächte pro Jahr überdurchschnittliche Anflugnächte dar, aber es gibt dabei auch Jahre ohne sog. Anflugnächte (BALLASUS 2007, BALLASUS et al. 2008). Vögel werden besonders bei schlechtem Wetter, vor allem bzgl. der Sichtbedingungen, durch Licht angezogen, zudem fliegen sie niedriger und damit eher im Bereich bodennaher Lichtquellen (HILL et al. 2014). Kollisionen, insbesondere Massenkollisionen finden deutlich häufiger an Tagen mit folgenden Wetterbedingungen statt: Nebel, Regen und Regen, Schnee, Gewitter, Wolkenbedeckung (> 30 % bzw. total). Historische Daten zeigen, dass nur an 2 % von 165 sog. Kollisionsnächten klarer Himmel und gute Sicht herrschten (BALLASUS et al. 2008, Daten von Leuchttürmen in Deutschland 1890 bis 1904; Daten von HANSEN 1954 und JONES & FRANCIS 2003). Die Wahrscheinlichkeit von sog. Massen-Kollisionsereignissen erhöht sich insbesondere dann, wenn günstige Zugbedingungen dazu führen, dass viele Vögel in der Luft sind, übers Meer fliegen und dann von einer Wetteränderung „überrascht“ werden. Im Herbst z. B. ist die Intensität von Vogelzug häufig an das Vorkommen / die Passage von Kaltfronten gebunden. *„Dabei folgen Vögel den Kaltfronten zunächst bei günstigen Bedingungen und klarer Sicht. An den Grenzschichten der Kalt- und Warmfronten, wo sich kältere Luftschichten unter wärmere ‚schieben‘ und letzteren unter starker Wolkenbildung Wasser entzogen wird, können sich die zuvor günstigen Windbedingungen in das Gegenteil umkehren, und die Wetterverhältnisse verschlechtern sich (SCHMIEDEL 2001)“*, zitiert aus HiWUS (HILL et al. 2008 bzw. BALLASUS et al. 2009).

Im Herbst 2010 ist es gelungen, den Einfluss des Wetters für ein Massen-Kollisionsereignis auf der FINO 1 Plattform in der Nordsee zu beschreiben: Es herrschten zu Beginn der Nacht anfangs gute Vogelzugbedingungen (schwacher Rückenwind, klare Sicht), welche sich aber dann über der Nordsee änderten (starker Gegenwind, eingeschränkte Sicht). Infolgedessen nahm die Flughöhe der ziehenden Vögel deutlich ab, und somit kamen zahlreiche Vögel in die Nähe der Forschungsplattform, wo sie dann in vergleichsweise hoher Zahl kollidierten (AUMÜLLER et al. 2011).

An der Öresund-Brücke wurde aufgrund eines nächtlichen Kollisionsereignisses in der Nacht zum 8. Oktober 2000, bei dem geschätzt mehr als 300 Kollisionsopfer gefunden und – berücksichtigt man nicht gefundene und ins Wasser gefallene Vögel – mehr als 1000 Kollisionsopfer geschätzt wurden, das Beleuchtungsregime derart geändert, dass bei schlechten Wetterbedingungen, d. h. insbesondere schlechten Sichtbedingungen, die Beleuchtung der Brücke deutlich vermindert wird. In der Folge wurden seit 2002 je Herbst

wesentlich weniger als 80 Kollisionsoffer an dieser Brücke gefunden (NILSSON et al. 2009, 2010).

#### 1.3.3.2. Einfluss des Mondes

Aussagen zu den Auswirkungen des Mondlichts auf Kollisionseignisse sind widersprüchlich. Vögel ziehen bei Neumond, vermeintlich um eine bessere Sicht auf den Sternenhimmel zu haben. Mondlicht kann allerdings auch „*die unnatürliche Anisotropie des Lichtfeldes einer künstlichen Lichtquelle verringern*“<sup>4</sup>, so dass Kollisionen vermindert werden (VERHEIJEN 1981). Ortskundige Vögel können das Mondlicht ausnutzen, um besser zu sehen.

#### 1.3.4. Zusammenfassende Darstellung

Die oben dargestellten Ergebnisse werden in Tabelle 1 zusammengefasst. Es muss festgestellt werden, dass eine klare Zuordnung von Wirkfaktor zu Effekten bzw. Auswirkungen nicht immer eindeutig ist, vielmehr überlagern sich die Auswirkungen häufig.

Da die Forschungsergebnisse zur Anziehung von Zugvögeln durch bestimmte Lichtspektren teilweise gegensätzlich sind (s. Kap. 1.3.2.2), wurde bei der Offshore-Ölplattform Mittelplate im schleswig-holsteinischen Wattenmeer, nicht eine bestimmte Lichtfarbe zur Lichtminderung eingesetzt, sondern die Beleuchtung an sich weitestgehend minimiert (Bewegungsmelder, allgemeine Reduzierung der Leuchten, gute Abschirmung der genutzten Leuchten (Abbildung 6)). Hieraus ergab sich ebenfalls schon eine deutliche Reduzierung des ausgestrahlten Lichts (Abbildung 7).

---

<sup>4</sup> Natürliches Licht ist in der Regel isotrop, also unabhängig vom Betrachtungswinkel gleich stark, währenddessen künstliche Lichtquellen häufig aus unterschiedlichen Richtungen unterschiedlich lichtstark sind. Der zitierte Hinweis ist so zu verstehen, dass das Mondlicht eine insgesamt ausgleichende Lichtwirkung hat, so dass die Auswirkungen der künstlichen Lichtquelle weniger stark sind.



**Abbildung 6: Leuchte mit Abschirmungsschild und halbierter Lichtstärke auf der Mittelplate (links) und Negativ-Beispiel für Leuchte ohne Abschirmung und unangepasster Lichtstärke.**



**Abbildung 7: Vergleich der Beleuchtung vor (oben) und nach (unten) der Lichtminderung auf der Ölplattform Mittelplate aus unterschiedlichen Richtungen aus einer Distanz von 300 m**

**Tabelle 1: Übersicht der Wirkfaktoren und deren Auswirkungen auf Vögel und vorläufige naturschutzfachliche Bewertung**

Wirkfaktoren	mögliche Auswirkungen auf Vögel	naturschutzfachliche Bewertung
Lichtintensität ( <i>luminous intensity</i> <sup>5</sup> ): – gemessen in Candela (cd)	Attraktion, Desorientierung; Aversion nur vermutet.	Je intensiver / heller das Licht, desto stärker sind die Auswirkungen.
Blinkfrequenz / Taktung	Attraktion	Dauerlicht hat stärkere Auswirkungen als Blink- oder Blitzlicht; Blink- oder Blitzlicht vermindert den „trapping effect“.
Lichtfarbe / Farbwert ( <i>chromaticity</i> ): – Wellenlänge, in Nanometer (nm) bzw. über das CIE- Normvalenzsystem (CIE 1931)	Desorientierung, Attraktion. Auswirkungen / Wirkmechanismen komplex, oft in Zusammenhang / Abhängigkeit von der Lichtintensität, auch artspezifisch.	weiß und rot werden negativ, blau und grün weniger negativ beurteilt.
Lichtart, Abstrahlung	Attraktion, Desorientierung, Aversion nur vermutet.  Lichtart: komplex; s. Lichtfarbe	Abstrahlung nach oben bewirkt Anziehung überfliegender Vögel.
Wetter	Desorientierung	Gefahr von Vögelkollisionen

#### 1.4. Fledermäuse

Licht hat auf Fledermäuse unterschiedliche Wirkungen, es kann Barriereeffekte (Vertreibung aus beleuchteten Flächen, Meidung beleuchteter Flächen) auslösen, Störungen (Reduzierung der Nutzung von durch Lichteinwirkungen gestörten Flächen im Nahrungshabitat) verursachen oder Fledermäuse ggf. auch anlocken (Jagd bestimmter Arten an / um konstante Lichtquellen, die hohe Insektdichten hervorrufen) (BMVBS 2011). Ob künstliches Licht einen Einfluss auf die Orientierung von Fledermäusen ausüben kann, ist noch unbekannt (BALLASUS et al. 2009).

---

<sup>5</sup> In Englisch die in den IALA Recommendations definierten Begriffe

Bis jetzt gibt es eine Studie, die von einer unmittelbaren Lichtattraktion bei ziehenden Fledermäusen berichtet (CRYAN & BROWN 2007).

Nach FÖA LANDSCHAFTSPANUNG (2009) meiden bestimmte Fledermausarten Licht bei der Jagd. Daher ist mit einer Verringerung des Jagderfolgs in trassennahen Jagdgebieten zu rechnen. Andere Fledermausarten zeigen gegenüber Licht nur eine schwach meidende Verhaltensweise bzw. sie nutzen das Licht zum Jagd- oder Querungsflug (s. Angaben bei FÖA LANDSCHAFTSPANUNG 2009). Die im Bereich der Festen Fehmarnbeltquerung nachgewiesenen regelhaft vorkommenden Arten Breitflügel-Fledermaus, Großer Abendsegler und Zwergfledermaus (s. Angaben bei RYDELL 2006) werden nach LBV SH (2011) (siehe auch Anlage 12, Kap. 4.4.2.3, S. 259, Tab. 52) als gering empfindlich gegenüber Lichtemissionen eingestuft. Gemäß FÖA LANDSCHAFTSPANUNG (2009) können alle Arten als schwach Licht nutzend eingeordnet werden. Dies führt dazu, dass hauptsächlich die Anlockwirkung hier relevant ist. Auch für Fledermäuse ist nachgewiesen, dass die Aktivität an UV-Licht emittierenden Quecksilberdampflampen signifikant höher ist als an monochromatischen Natriumdampflampen (RYDELL 1992, 2006, BLAKE ET AL. 1994, EISENBEIS & HASSEL 2000), da diese mehr Insekten anziehen (s. Kap. 1.1).

Nachtfalter (s. Kap. 1.1) können durch nächtliche Beleuchtung angezogen werden (bau- und anlagebedingt), wodurch die Bereiche von Licht nutzenden Fledermausarten als „attraktive Jagdgebiete“ aufgesucht werden. Diese Arten (wie z. B. der Große Abendsegler) können dann Kollisionen mit dem Verkehrsbetrieb ausgesetzt sein (vgl. BRINKMANN ET AL. 2008). Neben möglichen Kollisionen mit Fahrzeugen kann es auch zu Kollisionen mit Zügen kommen. Beeinträchtigungen durch Lichtmissionen sind in diesem Falle mit Kollisionsgefährdung für Fledermäuse verbunden, wenn wenig strukturgebundene Arten von Insekten angezogen werden, die wiederum vom Lichtschein angelockt wurden.

Das Auftreten von Kollisionen ist bei Fledermäusen bisher weniger stark mit bestimmten Wetterbedingungen verknüpft worden (BALLASUS ET AL. 2009). Vielmehr scheint es so, dass Kollisionen vor allem in trockenen, warmen und relativ windarmen Nächten auftreten, also dann, wenn allgemein die Fledermausaktivität hoch ist (FIEDLER 2004, KERNS & KERLINGER 2004, KERNS ET AL. 2005, BRINKMANN ET AL. 2006). Die Vermutung, dass Fledermauskollisionen bei Wetterbedingungen auftreten, bei denen es auch bei Vögeln zu Massenkollisionen kommt, lässt sich nicht bestätigen (BALLASUS ET AL. 2009).

Die Ergebnisse der Forschung ergeben, dass prinzipiell eine reduzierte Beleuchtung sich positiv auf das Verhalten von Fledermäusen auswirkt. Eine besondere Forderung ergibt sich aus der potentiellen Gefahr des Zusammenstoßes mit Fahrzeugen. Deshalb sind für die Straßen- und Tunnelbeleuchtung im Betrieb LED-Beleuchtung mit 3000 K bis 3500 K gefordert.

## 1.5. Vorbelastungen

Im Gegensatz zu Öl- oder Gasplattformen, die im marinen Bereich eher singuläre Strukturen in ansonsten dunkler Umgebung darstellen, existiert für den Fehmarnbelt eine Vorbelastung durch Lichtemissionen. Die Häfen in Puttgarden und Rødby sowie die Fähren, Schiffe auf der T-Linie und Seefahrtszeichen emittieren Licht. Der dichte Fahrplan der Fähren mit Abfahrten alle 30 Minuten von beiden Fährhäfen auch während der Nachtstunden verursacht bedeutende Lichtemissionen, zumal die Schiffe mit starken Leuchtkörpern ausgerüstet sind.

Mit einem Absorptionsfaktor von 0,27 m (JERLOV 1968 in WESTERBERG 1993) bleibt die Durchdringung des Wassers mit Licht für alle im Wasser lebenden Organismen allerdings auf wenige Dekameter beschränkt.

Es handelt sich bei den für den Bau der FBQ eingesetzten Baggern und Schiffen zwar um weitere Lichtemittenten, dennoch sind die zusätzlichen Lichtbelastungen als eher gering einzustufen (s. hierzu auch Abb. 2 im Rahmenkonzept zum Lichtmanagement), was sich auch in der Bewertung der Teilschutzgüter in der Umweltverträglichkeitsstudie hinsichtlich der Auswirkungen des Faktors Licht, widerspiegelt. Die Lichtemissionen von den Aushub- und Transportschiffen während der Bauphase des Tunnels weisen unter Wasser nur eine stark begrenzte Reichweite unter der Wasseroberfläche auf. Das Licht wird zudem infolge der Schwebstoffe während des Aushubs weiter gedämpft. Für kein Teilschutzgut wurden Beeinträchtigungen prognostiziert, die über die Stufe „gering“ hinausgehen.

## 1.6. Schlussfolgerungen für technische Umsetzung

Aus den in diesem Anhang beschriebenen Forschungsergebnissen werden die im Folgenden beschriebenen Empfehlungen abgeleitet, die bei der technischen Umsetzung (Kapitel 3) berücksichtigt wurden.

### Arbeiten im Landbereich

Die Lockwirkung auf Insekten und folgend auf Fledermäuse soll dadurch gemindert werden, dass für die Beleuchtung von Flächen LED-Beleuchtung im Bereich von 3000 K bis 3500 K vorzusehen ist. In der Bauphase können auch Natriumdampflampen im Spektralbereich um 575 nm eingesetzt werden.

### Arbeiten im marinen Bereich

Eine generelle Aussage über die Wirkung von Licht auf das Verhalten von Fischen kann nicht gemacht werden. Die Ausleuchtung von Wasserflächen für die Durchführung der Baumaßnahme soll jedoch begrenzt werden. Die Notwendigkeit der Beleuchtung ist in den Detailkonzepten darzustellen.

Navigationssicherheit und Arbeitssicherheit lassen Änderungen an der Schiffsbeleuchtung nicht zu. Die geringeren Auswirkungen von blinkendem Licht oder bläulicher und grünlicher Beleuchtung auf Vögel können nur zur Kenntnis genommen werden.

Ein Abstrahlen der Beleuchtung nach oben soll durch geeignete Abschirmungen vermieden werden.

Die Erkenntnisse zu den Ursachen von Vogelkollisionen sind insofern umzusetzen, dass die Einweisung der Schiffsbesatzungen den Hinweis auf die Gefahr von Vogelkollisionen enthält und die zu ergreifenden Maßnahmen bei konkreter Gefahr von Vogelkollisionen definiert werden.



## 2. Literatur

- Abt, K.F., G. Schultz (1995): Auswirkungen der Lichtemissionen einer Großgewächshausanlage auf den nächtlichen Vogelzug. *Corax* 16: 17-29.
- Alerstam, T. (1990): Bird migration. Cambridge University Press, UK. 420 p.
- Appelberg M., M. Holmqvist, I. Lagenfelt., E. Lettevall, E. Sparrevik, M. Wahlberg, H. Westerberg (2005): Öresundsförbindelsens inverkan på fisk och fiske. Underlagsrapport 1992-2005. Fiskeriverket.
- Aumüller, R., K. Boos, S. Freienstein, K. Hill, R. Hill (2011): Beschreibung eines Vogelschlagereignisses und seiner Ursachen an einer Forschungsplattform in der Deutschen Bucht. *Vogelwarte* 49: 9-16.
- Ballasus, H. (2007): Vogeltod an Leuchttürmen: Welche Relevanz haben 100 Jahre alte Daten für die aktuelle Offshore-Forschung. *Vogelwarte* 45: 307-308.
- Ballasus, H., K. Hill, O. Hüppop (2008): Recherche und Analyse möglicher Maßnahmen zur Vermeidung und Verminderung von Vogelschlag an Offshore-Windkraftanlagen und Entwicklung geeigneter Evaluationsansätze. F+E Vorhaben, Abschlussbericht, Institut für Vogelforschung, Vogelwarte Helgoland.
- Ballasus, H., K. Hill, O. Hüppop (2009): Gefahren künstlicher Beleuchtung für ziehende Vögel und Fledermäuse. *Berichte zum Vogelschutz* 46: 127-158.
- Batty R.S., J.H.S Blaxter. J.M. Richard (1990): Light intensity and the feeding behaviour of herring, *Clupea harengus*. *Marine Biology* 107, 383–388.
- Bellebaum, J., C. Grieger, R. Klein, U. Köppen, J. Kube, R. Neumann, A. Schulz, H. Sordyl, H. Wendeln (2010): Ermittlung artbezogener Erheblichkeitsschwellen von Zugvögeln für das Seegebiet der südwestlichen Ostsee bezüglich der Gefährdung des Vogelzuges im Zusammenhang mit dem Kollisionsrisiko an Windenergieanlagen. Abschlussbericht. Forschungsvorhaben des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (FKZ 0329948). Neu Broderstorf. 363 p.
- Ben-Yami M. (1988): Attracting fish with light. FAO training series.
- Blake, D., A.M. Hutson, P.A. Racey, J. Rydell, J.R. Speakman (1994): Use of lampit roads by foraging bats in southern England. *J. Zool., Lond.* 234: 453-462.
- Blaxter J.H.S. (1967): Visual threshold and spectral sensitivity of herring larvae. *J. Exp. Biol.* 45, 39–53.

- Blaxter J.H.S., R.S. Batty (1990): Herring behaviour in the light and dark. In: Herring, Campbell, Whitfield and Maddock (Hrsg): Light and Life in the Sea. Cambridge University Press.
- Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (2011): Fledermäuse und Straßenverkehr, 112 S.
- Brinkmann, R., H. Schauer-Weisshahn, F. Bontadina (2006): Untersuchungen zu möglichen betriebsbedingten Auswirkungen von Windkraftanlagen auf Fledermäuse im Regierungsbezirk Freiburg.
- Brinkmann R., M. Biedermann, F. Bontadina, M. Dietz, G. Hintemann, I. Karst, C. Schmidt, W. Schorcht (2008): Planung und Gestaltung von Querungshilfen für Fledermäuse – Ein Leitfaden für Straßenbauvorhaben im Freistaat Sachsen, Sächsisches Staatsministerium für Wirtschaft und Arbeit.
- Bruderer, B., D. Peter, T. Steuri (1999): Behaviour of migrating birds exposed to X-Band radar and a bright light beam. *Journal of Experimental Biology* 202: 1015-1022.
- Bruinzeel, L. W., J. van Belle, L. Davids (2009): The impact of conventional illumination of offshore platforms in the North Sea on migratory bird populations. A&W-rapport 1227, Altenburg & Wymenga, Feanwalden, NL. Commissioned by Ministry of Public Works, Rijkswaterstaat, Waterdienst, NL. 39 S. Cleve, K. (1967): Das spektrale Wahrnehmungsvermögen nachts fliegender Schmetterlinge. *Nachrichtenblatt der Bayerischen Entomologen* 16, S. 33-35.
- Cochran, W.W., R.R. Graber (1958): Attraction of nocturnal migrants by lights on a television tower. *Wilson Bulletin* 70:378-380.
- Cochran, W. W., H. Mouritsen, M. Wikelski (2004): Migrating songbirds recalibrate their magnetic compass daily from twilight cues. *Science* 304: 405-408.
- Cryan, P.M., A.C. Brown (2007): Migration of bats past a remote island offers clues toward the problem of bat fatalities at wind turbines. *J. Wildl. Manage* 72: 845-849.
- Deutschlander, M.E., R. Muheim (2010): Magnetic orientation in migratory songbirds. In: Breed, M.D., J. Moore (eds.): *Encyclopedia of Animal Behaviour*. Volume 2, pp. 314-323. Oxford Academic Press.
- Dick, M. H., W. Donaldson (1978): Fishing vessel endangered by Crested Auklet landings. *Condor* 80:235-236.
- Eisenbeis, G., F. Hassel (2000): Zur Anziehung nachtaktiver Insekten durch Straßenlaternen – eine Studie kommunaler Beleuchtungseinrichtungen in der Agrarlandschaft Rheinhessens. *Natur und Landschaft* 75: 145-156.

- Eisenbeis, G., K. Eick (2011): Studie zur Anziehung nachtaktiver Insekten an die Straßenbeleuchtung unter Einbeziehung von LEDs. *Natur und Landschaft* 86: 298-306.
- Esche, T., S. Freund, P. Pauschert, A. Schanowski (1989): Untersuchung zur Auswirkung unterschiedlicher Lichtquellen auf nachtaktive Großschmetterlinge (Macrolepidoptera) im Rastatter Oberwald, Landkreis Rastatt. Institut für Ökologie und Artenschutz im DBV, Fachbereich Waldökologie, 24+17S.
- Evans Ogden, L. J. (1996): Collision course: The hazards of lighted structures and windows to migrating birds. Published by World Wildlife Fund Canada and the Fatal Light Awareness Program, FLAP, Toronto, Canada.
- Evans, W.R., Y. Akashi, N.S. Altman, A.M. Manville (2007): Response of night-migrating songbirds in cloud to colored and flashing light. *North American Birds* 60 (4): 476-488.
- Evans, W.R. (2010): Response to: Green light for nocturnally migrating birds. *Ecology & Society* 15 (3): online.
- Fiedler, J. K. (2004): Assessment of bat mortality and activity at Buffalo Mountain Windfarm, Eastern Tennessee. MS theses, Univ. of Tennessee, Knoxville.
- FÖA Landschaftsplanung (2009): Leitfaden Fledermausschutz, Teilbericht zum Forschungsprojekt FE 02.0256/2004/LR des Bundesministeriums für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung „Quantifizierung und Bewältigung verkehrsbedingter Trennwirkungen auf Fledermauspopulationen als Arten der FFH-Richtlinie“, Entwurf Stand 10/ 2010, Trier/ Bonn.
- Gätke, H. (1900): Die Vogelwarte Helgoland. Druck und Verlag von Joh. Heinr. Meyer; Braunschweig.
- Gauthreaux, S.A. Jr., C.G. Belser (2006): Effects of artificial night lighting on migrating birds. in: Rich, C. & T. Longcore (Eds): *Ecological consequences of artificial nightlighting*. Island Press, Washington D.C., USA. Page 67-93.
- Gehring, J., P. Kerlinger, A.M. Manville (2009): Communication towers, lights, and birds: successful methods of reducing the frequency of avian collisions. *Ecological Applications* 19 (2 ): 505-514.
- Glass, C.W., C.S. Wardle, W.R. Mojsiewicz (1986): A light intensity threshold for schooling in the Atlantic mackerel, *Scomber scombrus*. *J. Fish Biol.* 29: 71–81.
- Goldsmith, T.H. (2007): Vögel sehen die Welt bunter. *Spektrum der Wissenschaft* 2007: 96-103.

- Guthrie D.M., R.A. Muntz (1993): Role of vision in fish behavior. In: Pitcher, T.J. (Hrsg): Behaviour of Teleost Fishes. 2. Aufl., Chapman & Hall.
- Hansen, L. (1954): Birds killed at lights in Denmark 1886-1939. Videnskabelige Medd. 116: 269-368.
- Haupt, H., U. Schillemeit (2011): Skybeamer und Gebäudeanstrahlungen bringen Zugvögel vom Kurs ab. Naturschutz und Landschaftsplanung 43 (6): 165-170.
- Hausmann, A. (1990): Zur Dynamik von Nachtfalter-Artenspektren. Turnover und Dispersionsverhalten als Elemente von Verbreitungsstrategien. Spixiana 16, 222 S.
- Helfman G., B.B. Colette, D.E. Facey, B.W. Bowen (2009): The Diversity of Fishes: Biology, Evolution, and Ecology. Wiley & Blackwell.
- Herring, P.J. (1996): Light, color and vision in the ocean. In: Summerhayes C.P., S.A. Thorpe (Hrsg): Oceanography: an illustrated guide. Manson Publishing.
- Herrmann, C. H. Baier, T. Bosecke (2006): Flackernde Lichtspiele am nächtlichen Himmel - Auswirkungen von Himmelsstrahlern (Skybeamer) auf Natur und Landschaft und Hinweise auf die Rechtslage. Naturschutz und Landschaftsplanung 38 (4): 115-119.
- Hill, K., H. Ballasus, O. Hüppop, H. Wendeln (2008): Anliegen Naturschutz, Zugvögel, Fledermäuse. In: Bundesverband WindEnergie e.V.: Entwicklung eines Hindernisbefeuerngskonzeptes zur Minimierung der Lichtemission an On- und Offshore-Windenergieparks und –anlagen unter besonderer Berücksichtigung der Vereinbarkeit der Aspekte Umweltverträglichkeit sowie Sicherheit des Luft- und Seeverkehrs. Abschlussbericht zum HIWUS-Projekt. Osnabrück: 126-172.
- Hill, K., M. Rebke, C. Weiner, K. Boos, S. Freienstein, R. Aumüller & R. Hill (2014): Entwicklung und Erprobung einer Beleuchtung für Offshore-Windparks und andere Bauwerke mit geringer Attraktionswirkung auf ziehende Vögel – AVILUX. Abschlussbericht.
- Huemer P., H. Kühtreiber, G. Tarmann (2010): Anlockwirkung moderner Leuchtmittel auf nachtaktive Insekten. Ergebnisse einer Feldstudie in Tirol.
- Hunter E., J.D Metcalfe. J.D. Reynolds (2003): Migration route and spawning area fidelity by North Sea plaice. Proceedings of the Royal Society of London. Series B: Biological Sciences 270: 2097–2103.
- Hunter E., J.D. Metcalfe, C.M. O'Brien, G.P. Arnold, J.D. Reynolds (2004): Vertical activity patterns of free-swimming adult plaice in the southern North Sea. Ser., 279, 261–273.

- Hüppop, O., R. Hill, K. Hüppop, F. Jachmann (2009): Auswirkungen auf den Vogelzug - Begleitforschung im Offshore-Bereich auf Forschungsplattformen in der Nordsee (FINOBIRD). Abschlussbericht, Institut für Vogelforschung, Helgoland. 278 p.
- Jones, J., C.M. Francis (2003): The effect of light characteristics on avian mortality at lighthouses. *Journal of Avian Biology* 34: 328-333.
- Kerns, J.P., W.P. Erickson, E.B. Arnett (2005): Bat and bird fatality at Wind Energy Facilities in Pennsylvania and West Virginia.
- Kerns, J.P., P. Kerlinger (2004): A study of bird and bat collision fatalities at the Mountaineer Wind Energy Center, Tucker County, West Virginia: Annual Report for 2003.
- Kolligs, D. (2000): Ökologische Auswirkungen künstlicher Lichtquellen auf nachtaktive Insekten, insbesondere Schmetterlinge (Lepidoptera). *Faunistisch-ökologische Mitteilungen*, 28, 136 S. Kiel.
- Landesbetrieb Straßenbau und Verkehr Schleswig-Holstein (LBV-SH 2011): Fledermäuse und Straßenbau - Arbeitshilfe zur Beachtung der artenschutzrechtlichen Belange bei Straßenbauvorhaben in Schleswig-Holstein, Kiel.
- Länderausschuss für Immissionsschutz (LAI 2012): Hinweise zur Messung, Beurteilung und Minderung von Lichtimmissionen, Beschluss der Bund-/Länderarbeitsgemeinschaft für Immissionsschutz vom 08. Oktober 2012.
- Larkin, R.P., B.A. Frase (1998): Circular paths of birds flying near a broadcasting tower in cloud. *Journal of Comparative Psychology* 102 (1): 90-93.
- Lödl, M. (1984): Kritische Darstellung des Lichtfanges, seiner Methode und seiner Bedeutung für die ökologisch-faunistische Entomologie. Dissertation, Univ. Wien.
- Longcore, T., C. Rich, S.A. Gauthreaux (2008): Height, guy wires, and steady-burning lights increase hazard of communication towers to nocturnal migrants: A review and meta-analysis. *Auk* 125 (2): 485-492.
- Longcore, T., C. Rich (2004): Ecological light pollution. *Frontiers in Ecology and the Environment* 2 (4): 191-198.
- Marquenie, J.M., F. van de Laar (2003): Impacts on biodiversity: Offshore drilling and production platforms and bird migration. Report.
- Menzel, R. (1979): Spectral sensitivity and colour vision in invertebrates. In: Autrum, H., (Hrsg.): *Handbook of Sensory Physiology*. Vol. VII/6A. Berlin, Heidelberg, New York, S. 503-580.

- Muheim, R., J. Bäckman, S. Akesson (2002): Magnetic compass orientation in European robins is dependent on both wavelength and intensity of light. *Journal of Experimental Biology* 205: 3845-3856.
- Müller, H. H. (1981): Vogelschlag in einer starken Zugsnacht auf der Offshore-Forschungsplattform „Nordsee“ im Oktober 1979. *Seevögel* 2: 33-37.
- Newton, I. (2008): *Migration Ecology of birds*. Academic Press, Amsterdam, The Netherlands. 976 p.
- Nilsson, L., J.N.R. Strandberg, C. Ohlsson (2010): Bird migration at the Öresund Bridge. Report on field studies during spring 2009. Unpublished report.
- Nilsson, L., S. Henningsson, R. Strandberg, M. Green (2009): Bird migration at the Öresund Bridge. Report on field and radar studies 2008. Unpublished report.
- Ona E., R. Toresen (1988): Avoidance reactions of herring to a survey vessel studied by scanning sonar. *International Council for the Exploration of the Sea*. C.M. H:46.
- Poot, H., B.J. Ens, H. de Vries, M.A.H. Donners, M.R. Wernand, J.M. Marquenie (2008): Green light for nocturnally migrating birds. *Ecology and Society* 13 (2): 47 (online).
- Rich, C., T. Longcore (Eds) (2006): *Ecological consequences of artificial night lighting*. Island Press, Washington, D.C., USA.
- Ritz, T., S. Adem, K. Schulten (2000): A model for photoreceptor-based magnetoreception in birds. *Biophysical Journal* 78: 707-718.
- Russell, R.W. (2005): Interactions between migrating birds and offshore oil and gas platforms in the northern Gulf of Mexico: Final Report. U.S. Dept. of the Interior, Minerals Management Service, Gulf of Mexico OCS Region, New Orleans, LA, USA. OCS Study MMS 2005-009. 348 p.
- Rydell, J. (1992): Exploitation of insects around streetlamps by bats in Sweden. *Funct. Ecol.* 6: 744-750.
- Rydell J (2006): Bats and their insect prey at streetlights. In: Rich, C. & Longcore, T. (Hrsg.): *Ecological consequences of artificial night lighting*. S. 43 – 61.
- Teikara, P. (2007): *Light pollution: definition, legislation, measurement, modeling and environmental effects*. Universitat Politècnica de Catalunya, Barcelona, Spain.
- Tesch F.W. (2003): *The Eel*. Blackwell Science Ltd, 3. Aufl.

- van de Laar F.J.T. (2007): Green light to birds: Investigation into the effect of bird friendly lighting. NAM, The Netherlands report. NAM Locatie L15-FA-1.
- Verheijen, F.J. (1958): The mechanisms of the trapping effect of artificial light sources upon animals. Archives Néerlandaises de Zoologie 13: 1-107.
- Verheijen, F.J. (1981): Bird kills at lighted man-made structures: not on nights close to a full moon. American Birds 35 (3): 251-254.
- Westerberg H. (1993): Effekter av ljus och vibrationer på fiskvandring i området kring Öresundsbron: En litteraturstudie. Öresundskonsortiet. Miljökonsekvensbeskrivning för Öresundsförbindelsen. 46. S. 1–16.
- Westerberg H, I. Lagenfelt, H. Svedäng (2007): Silver eel migration behaviour in the Baltic – ICES Journal of Marine Science, 64.
- Wiese, F. K., W. A. Montevecchi, G. K. Davoren, F. Huettmann, A. W. Diamond, J. Linke (2001): Seabirds at risk around offshore oil platforms in the north-west Atlantic. Marine Pollution Bulletin 42 (12): 1285-1290.
- Wiltschko, W., U. Munro, H. Ford, R. Wiltschko (1993): Red light disrupts magnetic orientation of migratory birds. Nature 364: 525-527.
- Wiltschko, W., R. Wiltschko (1995): Migratory orientation of European Robins is affected by the wavelength of light as well as by a magnetic pulse. Journal of Comparative Physiology 177: 363-369.
- Wiltschko, W., R. Wiltschko (2003): Mechanism of orientation and navigation in migratory birds. In: Berthold, P., E. Gwinner & E. Sonnenschein (eds.): Avian migration. Berlin, Heidelberg: 433-456 p.
- Wiltschko, W., U. Munro, H. Ford, K. Stapput, R. Wiltschko (2008): Light-dependent magnetoreception: orientation behaviour of migratory birds under dim red light. Journal of Experimental Biology, 211: 3344-3350.
- Wiltschko, R., K. Stapput, P. Thalau, W. Wiltschko (2010): Directional orientation of birds by the magnetic field under different light conditions. Journal of the Royal Society Interface 7: 163-177.
- Wiltschko, W., R. Wiltschko, T. Ritz (2011): The mechanism of the avian magnetic compass. Procedia Chemistry 3: 276–284.
- Wirooks, L. (2005): Die ökologische Aussagekraft des Lichtfangs. Eine Studie zur Habitatbindung und kleinräumigen Verteilung von Nachtfaltern und ihren Raupen. Havixbeck-Hohenholte, 302 S.

Woodhead P.M.J. (1957): Reactions of salmonid larvae to light. J.Exp.Biol, 34, 402–416.