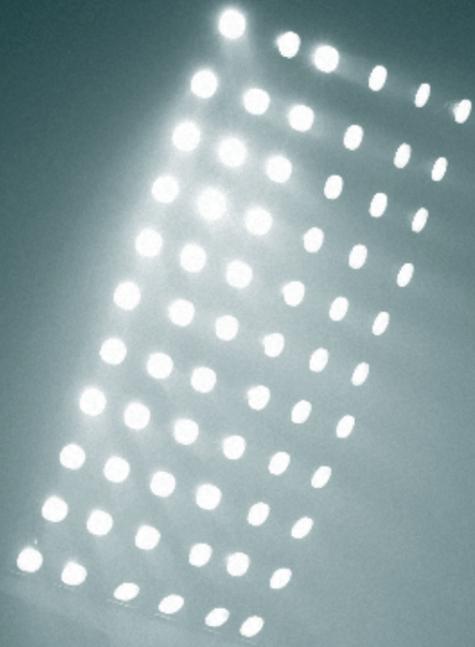

ENERGIEVERBRAUCH SENKEN, NACHHALTIGKEIT FÖRDERN

EINSATZ INNOVATIVER BELEUCHTUNGEN IM HAFEN

LEP-/LED-Bericht
2018

GEFÖRDERT DURCH





INHALT

1	Einleitung _____	4
	Anlass und Ziele _____	7
2	Partner _____	10
3	Pilotstudie _____	14
	Lichttechnische Begleituntersuchung _____	32
	Insektenstudie _____	52
4	Energie-Effizienz-Netzwerk _____	58
5	Zusammenfassung _____	66
	Empfehlungen _____	72
	Film _____	74
	Anhang _____	76



Werner Repenning (Niedersachsen Ports) (links), Katja Pape und Uwe von Barga (bremenports) gaben den Startschuss zur Pilotstudie.

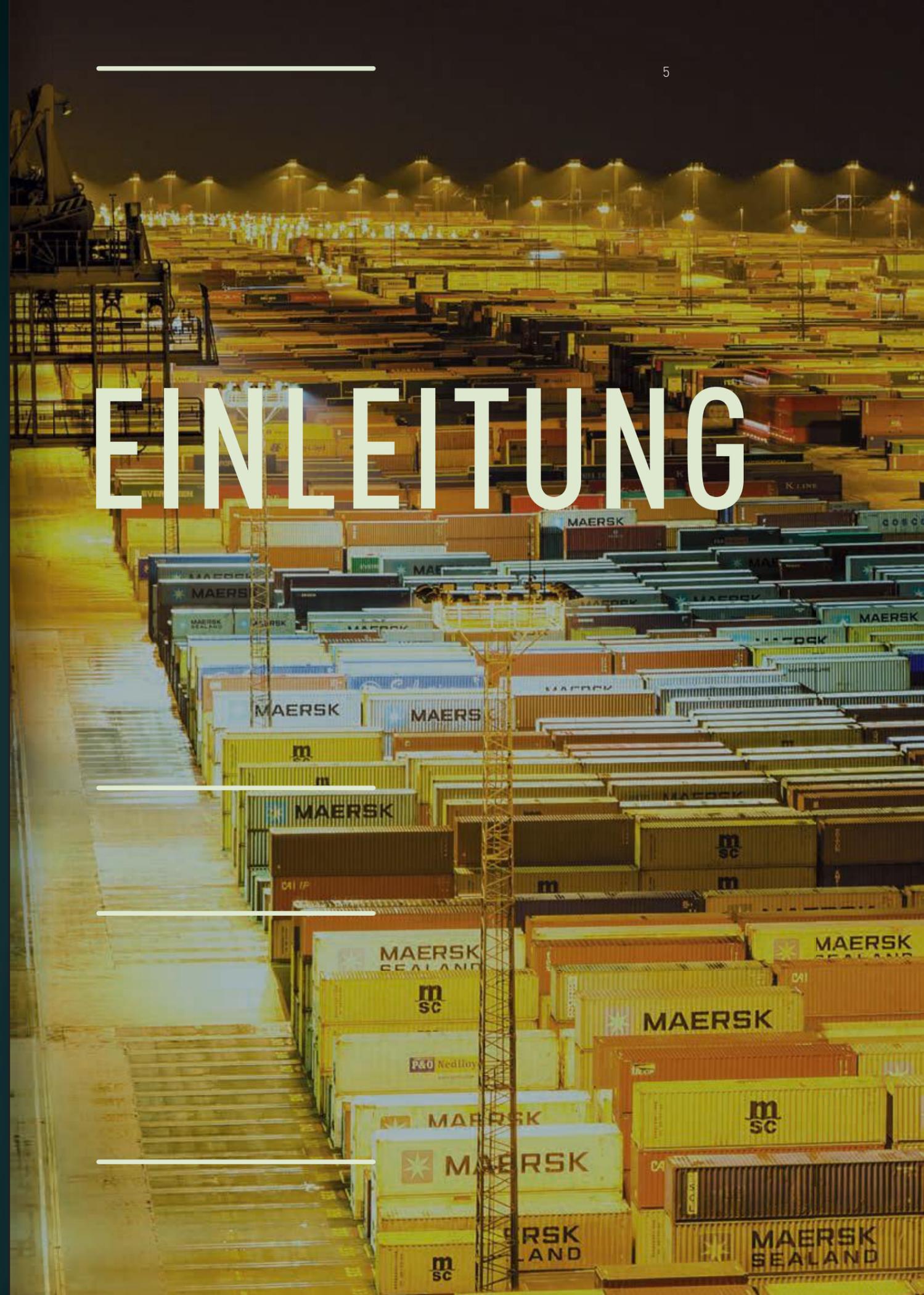
DANKSAGUNG

Ohne die Förderung und finanzielle Unterstützung des Projektes „Vergleichende Studie und Pilotanwendung von LEP- und LED-Leuchtmitteln in Häfen der Metropolregion Nordwest“ durch die Metropolregion Nordwest wäre diese Studie und die enge Kooperation der verschiedenen Partner aus der Wissenschaft, der Wirtschaft und den Behörden nicht erfolgt. Gleiches gilt für die eingebrachten Eigenmittel der Stadt Bremen bzw. den Innovationskostenzuschuss des Landes Bremen – beide vertreten durch den Senator für Wirtschaft, Arbeit und Häfen –, die für das Sondervermögen Hafen eingebrachten Investitionsmittel durch bremenports GmbH & Co. KG sowie die Investitionsmittel von Niedersachsen Ports GmbH & Co. KG. Weitere finanzielle Unterstützung erhielt die Studie durch Beiträge der Unternehmen JadeWeserPort RealisierungsGmbH & Co. KG, BLG LOGISTICS GROUP AG & Co. KG, Arts Outdoor Lighting Technology GmbH & Co. KG, iSiTEC GmbH, Glamox GmbH und CONLED Lichtcontracting GmbH.

Unser besonderer Dank gebührt den Projektpartnern für die sehr gute, engagierte und kooperative Zusammenarbeit und die vielen wichtigen Anregungen. Herzlich danken wir auch der Vielzahl von Netzwerkpartnern, die mit ihrem Wissen und sehr guten Beiträgen wichtige Anregungen zu dem Thema Energieeffizienz in Häfen geleistet haben.



DER EINSATZ ENERGIE-
SPARENDER LEUCHTMITTEL
IN DEN HÄFEN KANN DAZU
BEITRAGEN, DIE ENERGIE-
EFFIZIENZ ZU STEIGERN
UND DEN CO₂-AUSSTOSS
ZU REDUZIEREN – EINE
MASSNAHME MIT EINER
SEHR GUTEN KOSTEN-
NUTZEN-RELATION.



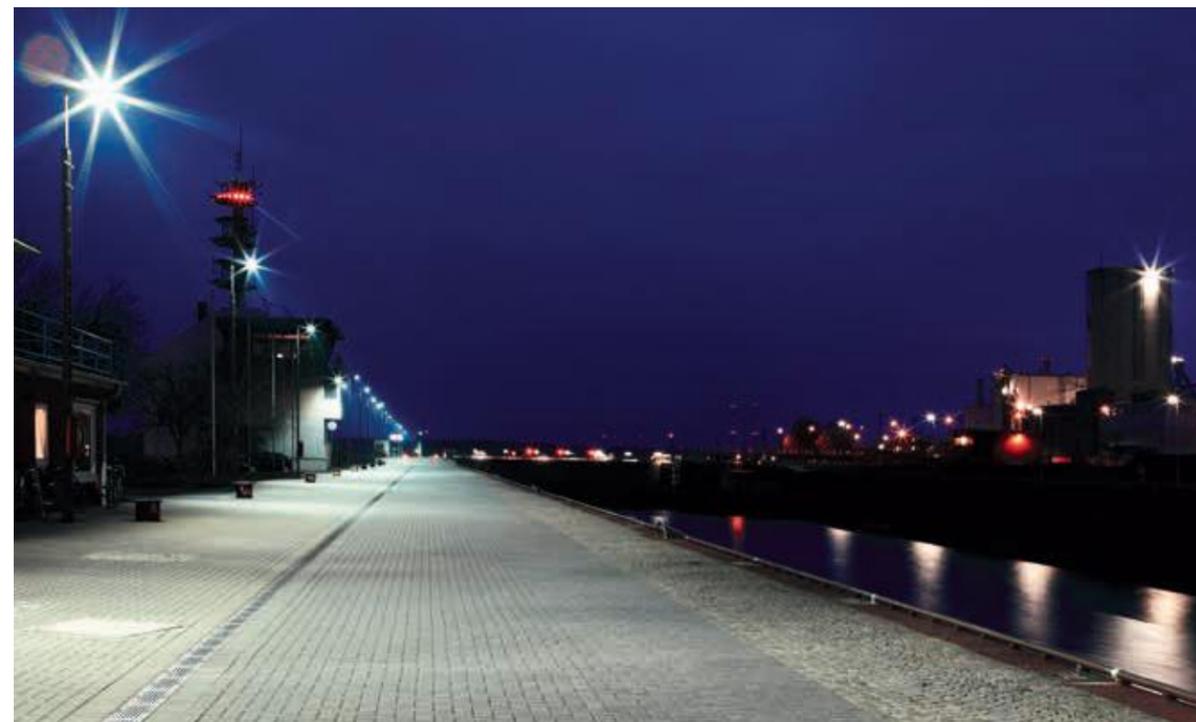
EINLEITUNG



EINLEITUNG

Um in Zukunft bei der Beleuchtung der Häfen Energie nachhaltiger zu nutzen, wurden in einer Pilotstudie verschiedene Leuchtmittel miteinander verglichen. Neben den herkömmlichen Leuchtmitteln wie Natriumdampflampen (NAV) und bereits eingesetzten LED kamen in diesem Projekt zusätzlich LEP-Leuchtmittel zum Einsatz. Diese vor circa fünf Jahren als „innovativ“ eingestuft Leuchtmittel wurden in den USA produziert und in Europa bis dahin noch nicht verwendet.

Das Ziel der Pilotstudie war es, diese neuartige Beleuchtung auf ihre Einsetzbarkeit in Häfen zu untersuchen. Dazu sollten die notwendigen Rahmenbedingungen für einen zukünftigen Einsatz definiert werden, als auch die Vor- und Nachteile, die sich im Einsatz beim LEP- und LED-Leuchtmitteln gegenüber herkömmlichen Leuchtmitteln ergeben. Eine unter dem Gesichtspunkt der Nachhaltigkeit ganzheitliche Betrachtung der verschiedenen Leuchtmittel wurde angestrebt. LEP steht für „Light Emitting Plasma“ – eine für Europa neuartige Technologie, um energieeffizient Licht zu erzeugen. Das Lichtspektrum ist dem Tageslicht sehr ähnlich. Diese Art der Lichterzeugung versprach bei hoher Beleuchtungsstärke Stromersparungen bis zu 80% im Vergleich zu konventionellen Leuchtmitteln. Insgesamt waren vier verschiedene Standorte in bremischen und niedersächsischen Häfen für den Test ausgewählt. Neben dem Einsatz an Hochmasten mit einer Lichtpunkthöhe von 40 Metern wurden LEP-Leuchten an Masten mit einer maximalen Höhe von 12 Metern sowohl im Schleusenbereich als auch im Bahnbereich eingesetzt. Unterstützt wurde das Projekt von verschiedenen Partnern aus der Wirtschaft, von Behörden und auch der Hochschule Bremen.



Die Oslebshuser Schleuse in Bremen mit LEP-Beleuchtung

Anlass

Der Klimawandel gehört zu den dringlichsten aktuellen globalen Problemen. Der Senat der Freien Hansestadt Bremen sieht in der Bekämpfung des Klimawandels eine zentrale Aufgabe und hat mit dem Beschluss des Klimaschutz- und Energieprogramms (KEP) 2020 konkrete Ziele vorgelegt. Um das ehrgeizige Ziel einer 40%igen Minderung der Treibhausgasemissionen bis 2020 im Vergleich zu 1990 zu erreichen, sind vielfältige Initiativen und Investitionen in allen gesellschaftlichen Bereichen notwendig.

So setzen sich die bremischen Häfen und Hafenbetreiber im Rahmen ihres Umweltmanagements und ihrer Nachhaltigkeitsstrategie „greenports“ bereits seit vielen Jahren intensiv mit dem Thema Klimawandel auseinander. Auch für Niedersachsen Ports ist eine verantwortungsvolle Unternehmensausrichtung ein Selbstverständnis, das unter dem Label Hafen+ gelebt wird. Ebenso hat die BLG Logistics Group AG ein ambitioniertes CO₂-Ziel festgelegt und mit der jährlichen Veröffentlichung eines Nachhaltigkeitsberichts ein Zeichen dafür gesetzt, vorausschauend und verantwortungsvoll zu agieren.

In diesem Sinne kann eine Steigerung der Energieeffizienz und die damit verbundene und angestrebte CO₂-Reduktion auch durch den Einsatz energiesparender Leuchtmittel in den Häfen als Maßnahme mit einer sehr guten Kosten-Nutzen Relation erreicht werden.

INFO

Wie lässt sich bei der Beleuchtung eines Hafens unter dessen spezifischen Randbedingungen Energie einsparen und eine gute Lichtqualität erreichen? Wie kommen die Leuchten mit den oftmals widrigen Witterungsbedingungen an der Küste klar und sind sie insektenfreundlich? Dies sind Fragestellungen, denen sich seit dem Januar 2016 ein von der Metropolregion Nordwest gefördertes Forschungs- und Entwicklungsprojekt gewidmet hat.



Hochmast auf dem Containerterminal,
Bremerhaven

Als neuere Entwicklung im Bereich innovativer Leuchtmittel enthielten bereits vor 2015 in der Presse Berichte über in den USA eingesetzte LEP-Leuchten. Diese Technologie versprach neben weiteren ökonomischen und ökologischen Vorteilen energieeffizient und nachhaltig Licht zu erzeugen. Ein Informationspapier der Port Equipment Manufacturers Association (PEMA), veröffentlicht im Mai 2016, benennt LEP-Leuchten als neue Technologie, die für bestimmte Einsatzbereiche im Hafen einsetzbar ist.

Die angepriesenen Vorteile der LEP-Leuchtmittel und die 2015 noch fehlenden Alternativen bei den LED-Leuchtmitteln, insbesondere für Hochmasten, wurden zum Anlass genommen, dieses Kooperationsprojekt zur Untersuchung der verschiedenen Leuchtmittel als Möglichkeit einer energieeffizienten Beleuchtung in den speziellen Einsatzbereichen in Häfen der Metropolregion Nordwest auf den Weg zu bringen.

Ziele

Dieses Kooperationsprojekt, das von bremenports als bremischer Hafenmanagementgesellschaft entwickelt wurde, sollte den Einsatz innovativer Beleuchtungstechnologien unterstützen. Die Häfen sehen darin eine Möglichkeit den Energieverbrauch zu senken, den CO₂-Ausstoß zu verringern und damit einen Beitrag zum Klimaschutz zu leisten.

Projektziel war eine Evaluation hinsichtlich der Einsatzbereiche von LED- bzw. LEP-Leuchtmitteln, der spezifischen Rahmenbedingungen und natürlich der Wirtschaftlichkeit gegenüber dem Einsatz herkömmlicher Leuchtmittel. Darüber hinaus wurden auch die Auswirkungen der beiden verschiedenen Leuchtmittel auf Mensch und Tier untersucht. Lichttechnische Untersuchungen, eine Befragung zur Funktionalität und Wahrnehmung durch die hier arbeitenden Menschen sowie eine Studie zur Insektenfreundlichkeit bildeten den inhaltlichen Rahmen für die Projektstudie.

INFO

Eine unter dem Gesichtspunkt der Nachhaltigkeit ganzheitliche Betrachtung der verschiedenen Leuchtmittel wurde angestrebt und ist im Sinne standörtlicher Nachhaltigkeitsstrategien bzw. einer nachhaltigen Unternehmenskultur sinnvoll. Eine ideale Beleuchtung im nachhaltigen Sinne bietet damit im gesamten Lebenszyklus (Herstellung, Betrieb, Recycling) einen niedrigen Energieverbrauch bei bestmöglicher Ausleuchtung und Lichtqualität, Einhaltung der Arbeitssicherheits- und Arbeitsstättenrichtlinien, einen geringen Ressourcenverbrauch und berücksichtigt die Effekte auf Mensch und Tier. Letzteres stellt insbesondere die Lichtplanung und eine lichttechnische Bewertung vor eine besondere Herausforderung: die subjektive Wahrnehmung der im Arbeitsbereich tätigen Menschen in ihrer Individualität.

Durch die enge Zusammenarbeit zwischen den beiden öffentlichen Hafeninfrastrukturgesellschaften in Bremen und Niedersachsen und die Beteiligung von regionaler Wirtschaft und Wissenschaft in diesem Forschungs- und Entwicklungsprojekt wurde ein Beitrag zur stärkeren Vernetzung in der praktischen Zusammenarbeit angestrebt.

Der Aufbau eines dauerhaften „Energie-Effizienz-Netzwerkes zwischen den Häfen der Metropolregion“ war ein weiteres Ziel des Projektes. Unter dem Titel „Nordwesthäfen – effizient und innovativ!“ wurden Informationen rund um die Themen „Häfen & Energie“ ausgetauscht und diskutiert. Dabei wurden Gute-Praxis-Beispiele und innovative Technologien für spezielle Anwendungsbereiche in Häfen vorgestellt. Diese Treffen fanden eine gute Resonanz und veranlassen bremenports und Niedersachsen Ports das entstandene Netzwerk über die Projektlaufzeit hinaus fortzuführen.

Containerterminal Bremerhaven mit neuer LED-Beleuchtung



INFO

Im Fokus dieses Projektes lagen die Untersuchungen der in Europa bisher nicht eingesetzten LEP-Technologie hinsichtlich der in Publikationen zugeschriebenen Vorteile und deren Einsetzbarkeit in den Häfen. Damit sollten die Innovationspotenziale der „LEP“-Beleuchtung frühzeitig geprüft werden.

VERSCHIEDENE PARTNER AUS DEN HÄFEN SOWIE AUS WISSENSCHAFT UND WIRTSCHAFT HABEN SICH ZUSAMMENGEFUNDEN, UM DAS FORSCHUNGSPROJEKT ZUM EINSATZ INNOVATIVER BELEUCHTUNGSTECHNOLOGIEN UMZUSETZEN. AUS DIESER INITIATIVE ENTWICKELTE SICH ZUDEM DER AUFBAU EINES „ENERGIEEFFIZIENZ-NETZWERKS“ ZWISCHEN DEN HÄFEN DER METROPOLREGION.



PARTNER

2

PARTNER

Zur Umsetzung des Projekts haben sich 2015 neben den Hafeninfrastukturbetreibern bremenports und Niedersachsen Ports sowie dem Hafensuprastrukturbetreiber BLG verschiedene Partner aus der regionalen Wirtschaft und Wissenschaft sowie Behörden zusammengefunden. Als Projektentwickler wurde die bremenports GmbH & Co. KG vom Senator für Wirtschaft, Arbeit und Häfen der Freien Hansestadt Bremen auch mit der Umsetzung als Projektträger beauftragt.

Zusätzlich zu den Partnern, die das Projekt von Anfang an begleiteten, wurden im Juli und August 2016 zwei neue Partner für das Projekt gewonnen. Anlass war die Insolvenzbekanntmachung der Firma A&O Lighting Technology GmbH Ende Mai 2016. Die Firma A&O war für die Beschaffung der LEP-Leuchten im Projekt eingeplant. Daher war es wichtig, schon vor einer möglichen Insolvenz der Firma einen Partner an Bord zu haben, der diese Aufgabe übernehmen konnte. In Vorgesprächen im Juli 2016 wurde mit den Geschäftsführern von Glamox Aqua Signal aus Bremen und von CONLED mit Sitz in Bremerhaven die zukünftige Rolle und Aufgabe einer Partnerschaft im Projekt diskutiert. Beide Unternehmen waren an dem Projekt sehr interessiert und haben sich dem Partnerkreis angeschlossen.

Arts Outdoor Lighting blieb dem Projekt dank abgewendeter Insolvenz - aber mit neuem Zuschnitt - als europäischer Vertriebspartner des Leuchtenherstellers Brightlightsystems aus den USA dem Projekt erhalten und es konnten gegenüber der Projektbewilligung zwei neue Unternehmenspartner hinzugewonnen werden.

Projektförderung

Metropolregion Nordwest – Ziel und Aufgabe der Metropolregion Nordwest sind die regionale Entwicklung, die Förderung der Wettbewerbsfähigkeit sowie die Stärkung der Metropolfunktionen.

Partner aus Hafenmanagement-Gesellschaften und Hafenwirtschaft

bremenports GmbH & Co. KG – Die Hafenmanagement-Gesellschaft bremenports betreibt im Auftrag der Freien Hansestadt Bremen die Infrastruktur der Hafengruppe Bremen/Bremerhaven.

Niedersachsen Ports GmbH & Co. KG – Die Hafengesellschaft Niedersachsen Ports betreibt die niedersächsischen öffentlichen Seehäfen an 15 Hafenstandorten.

BLG Logistics Group AG & Co. KG – Die BLG ist ein international tätiges Seehafen- und Logistikunternehmen mit Hauptsitz in Bremen. Die BLG ist an 27 Standorten und in 12 Ländern vertreten.

JadeWeserPort Realisierungs GmbH & Co. KG – Die Gesellschaft betreibt in Wilhelmshaven den gemeinsamen Containerhafen von Niedersachsen und Bremen.

Partner aus der Wirtschaft

Arts Outdoor Lighting Technology GmbH – Arts Outdoor Lighting unterstützt regional und international die effektvolle Beleuchtung von Architektur und Events. Dabei kommt auch bewährte Lichttechnik (u.a. Plasmaleuchten) aus eigener Fertigung zum Einsatz.

Glamox GmbH – Das Unternehmen der Glamox Gruppe ist ein norwegischer Industriekonzern und entwickelt, produziert und vertreibt professionelle Beleuchtungslösungen für den globalen Markt. Glamox ist ein führender Anbieter von Lichtlösungen für den professionellen, landbasierten Beleuchtungsmarkt in Deutschland, Österreich und der Schweiz.

CONLED Lichtcontracting GmbH – CONLED bietet ein Spektrum von differenzierten, optimierten Lösungen rund um die LED-Beleuchtung und Lichtcontracting an.

Innovative System- und Informationstechnologien GmbH – iSITEC bietet für wissenschaftlich-technische Systeme und für Automatisierungssysteme eine Betreuung von der Projektplanung bis zur Realisierung/Fertigung und technischen Betreuung an.

Fachliche Unterstützung/Beratung

Hochschule Bremen – Fakultät 2: Architektur, Bau und Umwelt; Masterstudiengang „Zukunftsfähige Energie- und Umweltsysteme“

Senator für Umwelt, Bau und Verkehr der Freien Hansestadt Bremen
Referat Eisenbahn und Stadtbahnaufsicht

Hansestadt Bremisches Hafenamts (HBH) – Das HBH ist im Lande Bremen für verschiedene hoheitliche Aufgaben im Bereich der Häfen zuständig





INHALT

Hintergrundinformationen zu ausgewählten Leuchtmitteln	20
Partnertreffen	24
Übersicht über die Standorte und die eingesetzten Leuchten	27
Lichttechnische Begleituntersuchung	32
A. Technische Messungen	33
B. Mitarbeiter-/Nutzerbefragung	49
Insektenstudie	52

PILOTSTUDIE



3

PILOTSTUDIE

Zum Zeitpunkt der Projektentwicklung waren LED-Leuchten im Außenbereich der Häfen, insbesondere an Hochmasten auf den Terminals – bis auf Ausnahmen – nicht im Einsatz. So gab es für Masten mit einer Lichtpunkthöhe von circa 40 Metern keine LED-Leuchten mit einer ausreichenden Lichtausbeute. Im Folgenden soll kurz beschrieben werden, wie sich die Ausgangssituation bei den Partnern zu Beginn des Projektes darstellte.

Bremische Häfen (bremenports)

bremenports arbeitet in den bremischen Häfen verstärkt seit Vorstellung der „greenports“-Nachhaltigkeitsstrategie im Jahre 2009 an Möglichkeiten zur Energieeinsparung und der damit verbundenen Reduzierung von CO₂-Emissionen auch im Beleuchtungsbereich. Im Bereich der Kaje-, Dalben-, Anleger-, Leinenpfad- und Seezeichenbeleuchtung obliegt die Freigabe neuer Beleuchtungsanlagen im Allgemeinen der Wasser- und Schifffahrtsverwaltung (WSV) und/oder dem Hansestadt Bremischen Hafenamts (HBH). Die Anforderungen in diesen Einsatzbereichen sind vielfältig und machen den Einsatz neuer Leuchtmittel schwierig. So wurden erste - schwer zugängliche - Beleuchtungsanlagen wie Dalbenbeleuchtungen unter Einbeziehung der Genehmigungsbehörden mit zum Teil beschränkten Genehmigungen auf LED umgerüstet. In Bezug auf die Lebensdauer wurden dabei bereits sehr positive Erfahrungen gemacht. Auch bei weiteren LED-Umrüstungen wie der Akzentbeleuchtung, der Flächen- und der Wegebeleuchtung wurden weitere positive Erkenntnisse zu den LED-Leuchten und Leuchtmitteln gesammelt.

So war das Interesse an dem schnell wachsenden, komplexen und unübersichtlichen LED-Beleuchtungsmarkt groß und ein Austausch von Erfahrungen im Rahmen eines Kooperationsprojektes der Häfen er-

INFO

Zum Zeitpunkt des Projektbeginns gab es für viele Spezialanwendungen noch keine LED-Lösungen. So war z.B. für den Bahnbereich eine einzige LED-Außenleuchte auf dem Markt, die befristet bis Ende 2017 für den Einsatz zugelassen war. Ebenso gab es insbesondere für den Außenbereich kaum Retrofit-Lösungen, die eine kostengünstige und schnelle Umrüstung zu Testzwecken ermöglicht hätten.



Containerterminal Bremerhaven mit neuer LED-Hochmastbeleuchtung bei Nacht

wünscht, um weitere Beleuchtungsanlagen im Hafen mit energieeffizienten Leuchtmitteln auszurüsten. Auch die Untersuchung von alternativen Beleuchtungstechnologien wie LEP-Leuchtmitteln versprach eine weitere Option, energieeffiziente Leuchtmittel im Hafen zu nutzen.

Ein erster Test zum Einsatz von LED-Leuchten an Hochmasten auf dem Containerterminal in Bremerhaven wurde ab Ende 2015 von Eurogate durchgeführt. Erste Ergebnisse aus diesen Untersuchungen wurden im Rahmen eines Energie-Effizienz Netzwerktreffens bei bremenports im Dezember 2016 präsentiert. Bei dieser Untersuchung wurde neben den lichttechnischen Parametern bereits die subjektive Wahrnehmung der Beleuchtungssituation durch die Arbeiter auf dem Terminal mit in die Beurteilung der Leuchten einbezogen.

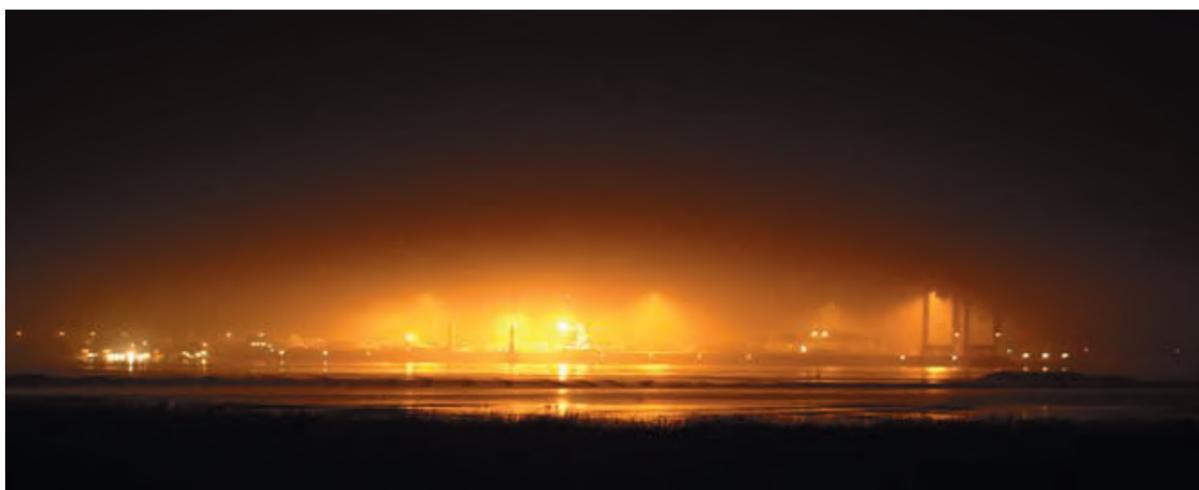
Niedersächsische Häfen (Niedersachsen Ports)

Zu Beginn des Kooperationsprojektes 2016 wurden bei Niedersachsen Ports in Brake bereits die ersten Straßen- und Wegebeleuchtungen auf LED-Beleuchtung umgestellt. Die Anschaffungskosten für LED-Technik waren zu diesem Zeitpunkt noch relativ hoch und die technische Einsetzbarkeit der am Markt erhältlichen LED-Leuchten noch relativ gering. Eine weitere Herausforderung bei der Umrüstung der Bestandsbeleuchtung auf LED Technik war, dass die vorhandenen Lichtmasten und die verfügbaren LED-Systeme oft noch nicht gut zusammenpassen, so dass man entweder zusätzliche Leuchten pro Mast oder ergänzende Masten hätte aufstellen muss. Im Hafen Brake waren zu diesem Zeitpunkt cirka ein Fünftel der Verkehrswegebeleuchtungen in Höhen größer 25 Meter verbaut, also auf Hochlichtmasten, sowie an den Siloanlagen oder diversen Lagerhallen.

Bei Projektstart waren LEP-Leuchten in der Niederlassung Brake noch keinem Mitarbeiter ein Begriff, versprachen allerdings einen großen Effekt bezüglich der Energieeinsparung und Hafenausleuchtung.

Die Ergänzung der Vergleichsstudie um eine Insektenstudie war ebenfalls für Niedersachsen Ports sehr interessant, um anzuschaffende Produkte auch bezüglich der Insektenverträglichkeit zu betrachten. Dies war bis dahin – mangels Wissens – noch nicht Bestandteil der Auswahlkriterien für die Beleuchtung.

Niedersachsenkai in Brake mit NAV-Beleuchtung zur Dokumentation der Aufhellung des Nachthimmels



INFO

Für Hochlichtmasten (höher 25 Meter) gab es 2015 noch keine brauchbaren alternativen LED-Produkte am Markt. Hersteller wie Philips, Siteco, Sill usw. gaben an, noch cirka zwei Jahre zu brauchen, bis LED-Leuchten für Höhen von mehr als 25 Meter angeboten werden könnten.



Partnertreffen bei der BLG in Bremen
- Vorstellung der LEP-Leuchte

Bremen: Neustädter Hafen (BLG)

Bereits vor Projektbeginn hatte die BLG in verschiedenen Beleuchtungsprojekten LED-Leuchten eingesetzt. Dabei sind gute Erfahrungen im Bereich der Hallenaußen- und Innenbeleuchtung als auch bei der Kajen- und Straßenbeleuchtung gesammelt worden. Zum Zeitpunkt des Projektstarts war bereits im Neustädter Hafen ein Hochpunktmast mit LED-Leuchten ausgerüstet, der Energieverbrauch dokumentiert und ausgewertet. Eine Motivation am Projekt teilzunehmen, war für die BLG neue LED-Leuchten an den Hochmasten durch Messungen und Labortests überprüfen zu lassen. Auch sollten die ersten Erfahrungen der BLG im LED-Bereich an die Partner weitergeben und der eigene Wissensstand erweitert werden.

Darüber hinaus war die BLG der LEP-Technologie gegenüber offen und sehr interessiert an weiteren energieeffizienten Beleuchtungslösungen mit entsprechender Lichtqualität.



Hintergrundinformationen zu ausgewählten Leuchtmitteln

Berichte über in den USA eingesetzte LEP-Leuchten gab es bereits in der Presse vor dem Jahr 2015. Diese Technologie versprach neben weiteren ökonomischen und ökologischen Vorteilen energieeffizient und nachhaltig Licht zu erzeugen.

In verschiedenen Veröffentlichungen wurden folgende Vorteile und Merkmale beim Einsatz von LEP-Leuchten genannt:

- aufgrund der punktförmigen Lichtquelle ist eine bessere „Lenkung“ des Lichts durch die LEP möglich
- blendfrei
- die LEP weist eine hohe „Lumendichte“
 - bis zu 160.000 Lumen pro Lichtquelle auf
- die Leuchte besitzt eine hohe Effizienz
 - 80-160 Lumen pro Watt
- Energieeinsparungen bis zu 80% gegenüber NAV (Natriumdampflampe - Hochdrucklampe)
- die LEP hat ein kontinuierliches Lichtspektrum
 - ähnlich dem Sonnenlicht
- Farbwiedergabeindex (CRI) 81 – 96 der LEP ist hoch

Die LEP soll sich zudem durch:

- eine hohe Lebensdauer von circa 50.000 Stunden,
- einen geringen Anteil an UV-Strahlung (<0,1%) und
- durch fehlendes Lampenflackern auszeichnen.

Des Weiteren werden genannt:

- geringer Wartungsaufwand und Ressourcenverbrauch
- die LEP ist dimmbar (bis 20%) und
- besitzt eine niedrige Temperaturempfindlichkeit und
- erzeugt eine geringere Abwärme als z. B. LED.
- LEP ist schadstoffarm und umweltverträglicher.

Diese Leuchten wurden vertrieben von der amerikanischen Firma „Brighlightsystems“ und wiesen 2015 in Europa noch eine geringe Marktpräsenz auf. Mit der Firma „Arts Outdoor Lighting Technology“ (bis 2016 noch A&O Lighting Technology) mit dem Standort in Bremen gab es nur einen uns bekannten Hersteller von Plasma-Leuchten für den Einsatz in der Architektur und bei Events (in Deutschland). Der Vollständigkeit halber muss an dieser Stelle erwähnt werden, dass das Unternehmen Luxim, das zur Luma-Gruppe gehört und die LEP-Leuchten in den USA produziert hat, während der Projektlaufzeit die Produktion von LEP-Leuchten aus wirtschaftlichen Gründen und aufgrund der extremen Weiterentwicklung der LED-Leuchten eingestellt hat. Ein Teil der im Projekt verwendeten LEP-Leuchten stammt bereits von einem nicht weiter bekannten Hersteller aus China. Sowohl die Leuchten aus China als auch die LEP-Leuchten, die noch in den USA gefertigt wurden, sind über das amerikanische Unternehmen Brighlightsystems und unseren Partner Arts Outdoor Lighting Technology beschafft worden.

Im Folgenden werden die zur Lichterzeugung im Projekt verwendeten drei Technologien kurz vorgestellt:

Natriumdampfleuchte

Im Hafengebiet wurden bis zur rasanten Entwicklung der LED-Beleuchtung der letzten Jahre vorwiegend Natriumdampfleuchten verwendet, da diese im Vergleich zu anderen Leuchtmitteln eine verhältnismäßig hohe Lichtausbeute bei geringerem Energiebedarf und eine hohe Lebensdauer aufwiesen. Das praktisch monochromatische Licht (gelbes Licht) ermöglicht kaum Farbsehen, durchdringt allerdings Dunst und Nebel und bietet Kontrastsehen. Die Bestandsbeleuchtung an den Hochmasten in Brake und am Neustädter Hafen in Bremen als auch die der Masten an der Oslebshäuser Schleuse war somit (und ist teilweise noch) die Natriumdampfbeleuchtung. Als herkömmliche Beleuchtung wurde diese in den Vergleich der Leuchtmittel untereinander in die lichttechnische Begleituntersuchung einbezogen.

Eine herkömmliche Natriumdampfleuchte.



Light Emitting Plasma (LEP)

Ein Schwerpunkt der lichttechnischen Untersuchung in diesem Forschungs- und Entwicklungsprojekt war der Einsatz von Leuchten mit LEP-Leuchtmitteln. Bei dieser Technologie wird Licht ohne den Einsatz von Elektroden erzeugt. Eine erste Plasmaleuchte wurde bereits in den 1890ern von Nikola Tesla entwickelt. Die Lichtquelle ist ein Glaskolben, der mit Gasen und Zusätzen gefüllt ist. Mithilfe eines elektrischen Feldes wird hier das Licht generiert.

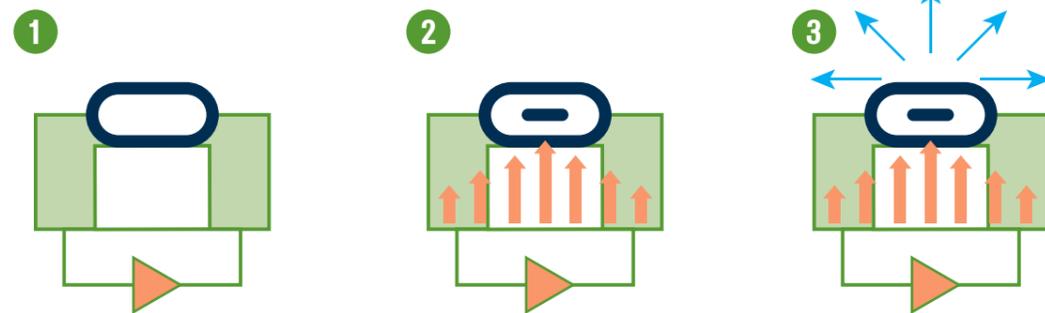
Erst kommerzielle Plasmaleuchten, gefüllt mit Argon und Quecksilber erzeugten ein ultraviolettes Licht. Im nächsten Entwicklungsschritt in den 1990ern entstand die Schwefelplasmaleuchte. Hier wird Licht mithilfe eines Mikrowellenfelds erzeugt, das tageslichtähnlich und sehr effizient ist. Ende der 1990er stagnierte die Entwicklung. Ab 2005 wurden dann die Schwefelplasmaleuchten wieder kommerziell gefertigt. Auch unser Partner im Projekt Arts Outdoor Lighting Technology produzierte eine Schwefelplasmaleuchte am Standort Bremen für den Einsatz im Eventbereich.

Bereits im Jahr 2000 wurde ein neues System im Bereich LEP entwickelt. So wurde eine Leuchte hergestellt, bei der im Gegensatz zur Schwefelplasmaleuchte die Größe des Glaskolbens deutlich reduziert ist. Dieser Glaskolben („Tictac“) wurde in einem keramischen Resonator platziert, an dem ein hochfrequentes Feld, ähnlich dem einer Mikrowelle, angelegt wurde. Das erzeugte weiße Licht ist von hoher Intensität. Dieses Verfahren wurde von Luxim entwickelt. In diesem Projekt wurden Leuchten dieses Herstellers verwendet.



Der Glaskolben („Tictac“) einer neuen LEP-Leuchte ist deutlich kleiner als herkömmliche Leuchtmittel.

Licht durch Plasma – Im Folgenden wird vereinfacht die Lichterzeugung durch ein Plasma dargestellt:



Der blau umrandete „Tictac“, die Glaskapsel, ist in dem keramischen Resonator, auch „Puck“ genannt, eingebaut (1). Die spezielle Füllung ist nicht bekannt (Halogenide und Gase, wahrscheinlich Edelgase). An den Puck wird mithilfe eines Verstärkers ein hochfrequentes Feld angelegt, so dass eine stehende Welle erzeugt wird, die begrenzt ist auf die Größe des Pucks (2).

Das entstandene elektrische Feld ist am stärksten in der Mitte der Leuchte und ionisiert dort das Gas. Das ionisierte Gas erhitzt sich und verdampft die zugesetzten Halide. Dabei entsteht ein Plasma in der Glaskapsel. In diesem Plasma kollidieren die entstandenen freien Elektronen mit den Gasatomen und den Halogeniden. Dabei werden Elektronen aus der Hülle der

Atome und Moleküle in einen höheren energetischen Zustand gebracht. Bei dem Übergang der Elektronen zurück in ihren energetischen Grundzustand emittieren diese Elektronen ein Photon, ein intensives weißes Licht. Das Spektrum des Lichts ist abhängig von der Zusammensetzung der Füllung in der Glaskapsel (3).



Eine LED-Leuchte, wie sie auch im Hafbereich zum Einsatz kommt.

Light Emitting Diode (LED)

Neben der LEP-Technologie wurden in diesem Projekt auch LED-Leuchten getestet. LED steht für „Light-emitting Diode“. In dieser Leuchtdiode wird das Licht durch Elektrolumineszenz in einem lichtemittierenden Halbleiterelement erzeugt. Diese Technologie wurde 1962 erfunden und 1968 kamen erste LEDs auf den Markt, zunächst als rote Anzeige- und Funktionslichter an technischen Geräten. In den 1990er Jahren wurde durch die Erfindung effizienter blauer Leuchtdioden die Entwicklung von energiesparenden und weißen Lichtquellen ermöglicht.

Seither haben die Entwicklung der LED und die Lichtausbeute der LED (Lumen pro Watt) eine exponentielle Entwicklung durchgemacht. Blaue LED der Firma Nichia erreichten 2006 in Labortests mit einer Lichtausbeute von 150lm/W eine Effizienz, die mit den Leuchtmitteln von Natriumdampfleuchten vergleichbar ist. Auch die Unternehmen Cree und Osram entwickelten und entwickeln kalt- und warmweiße LED weiter, so dass heute bereits kommerzielle Lichtausbeuten von 160lm/W mit guter Lichtqualität angeboten werden können.

Auch der Marktanteil der LED-Leuchtmittel gegenüber Halogen- und Energiesparlampen ist in den letzten Jahren stetig gestiegen, so dass diese heute marktführend sind. Dabei stand jahrelang die hohe Effizienz von LED-Leuchtmitteln im Vordergrund. Mittlerweile rückt die Art und Qualität einer Lichtquelle mehr und mehr in den Vordergrund, da diese die menschliche Farbwahrnehmung beeinflussen. Eine exakte Farbwiedergabe und die Entwicklung der dafür erforderlichen Spektren sind Herausforderungen, denen sich die Leuchtenhersteller heute stellen müssen.

Interessant für das Projekt waren LED-Leuchten, die für Hochmasten mit einer Lichtpunkthöhe von circa 40 Meter geeignet sind und die erforderliche Beleuchtungsstärke erbringen. Erste Lampen mit LED-Leuchtmitteln, die diese Anforderungen erfüllten, kamen 2016 auf den Markt, so dass diese im Projekt zum Vergleich mit den LEP-Leuchten untersucht werden konnten. Im Projekt wurden LED-Leuchten verschiedener Hersteller verwendet.

Partnertreffen

Die Projektbearbeitung wurde im Januar 2016 aufgenommen. Insgesamt fanden im Zeitraum bis September 2018 zehn Partnertreffen statt. Neben der jeweiligen Darlegung des Projektstands und des weiteren Vorgehens wurden weitere spezielle Themen auf den Treffen behandelt.

Durchführung Pilotstudie

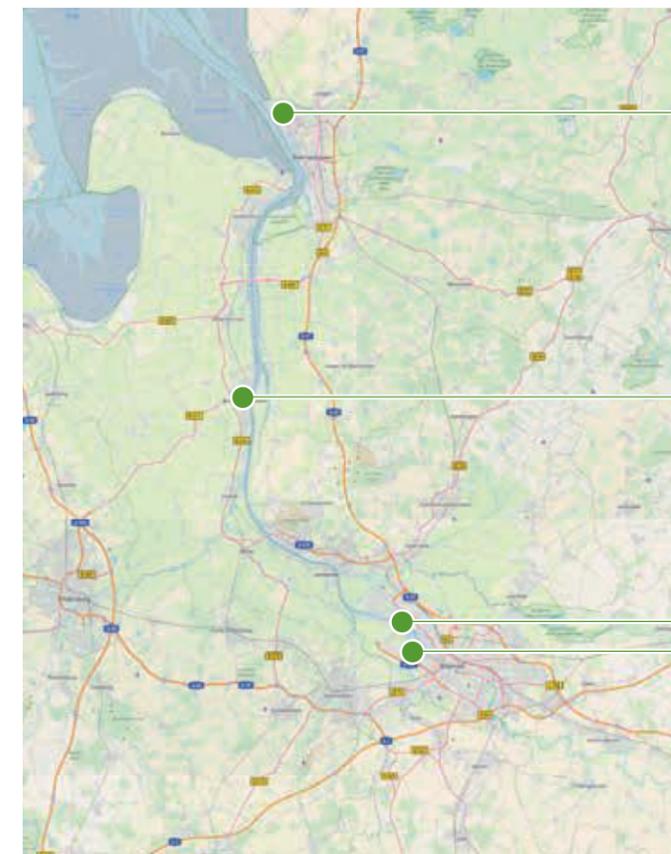


Standorte und Leuchtenauswahl

Im Folgenden wird die Auswahl der Teststrecken an den Standorten Bremerhaven, Brake und Bremen für den Einsatz von LED- bzw. LEP-Leuchten beschrieben. Dabei ist zu beachten, dass die Auswahl der Teststrecken, als auch die Auswahl der Leuchten nicht frei nach wissenschaftlichen Kriterien durchgeführt werden konnte. Die Auswahl der Standorte orientierte sich an Bedarf, Machbarkeit und den Anforderungen an die Arbeitssicherheit und wurde letztlich von den jeweiligen Verantwortlichen bei den Partnern getroffen.

Für die Durchführung der Studie boten sich in den Häfen vier Standorte an, die durch unterschiedliche Hafennutzungen gekennzeichnet sind. So weisen die Teststrecken unterschiedliche Beleuchtungssituationen mit unterschiedlichen Beleuchtungsanforderungen auf. Es wurden Leuchten auf Stückgutlagerflächen, Containerlagerflächen, am Gleisbereich und an einer Schleuse für die Studie installiert. Bei Lichtpunkthöhen bis zwölf Meter zur Beleuchtung kleinerer Flächen und Lichtpunkthöhen bis 38 Meter zur Beleuchtung großflächiger Umschlag- und Lagerflächen wurden somit Leuchten für unterschiedliche Anforderungen eingesetzt und verglichen.

Übersicht über die Standorte



Standort Bremerhaven
(Zolltor/Gleisanlagen)

Standort Brake
(Umschlagsflächen
Niedersachsenkai)

Standort Bremen
(Oslebshauser Schleuse)
(Neustädter Hafen)



Vergleich zwischen LEP-Leuchte (vorn) und Natriumdampfleuchten (hinten) in Brake.

LEP-Leuchten

Im LEP-Bereich war die Leuchtauswahl durch das Angebot von LEP-Leuchten des Unternehmens Bright Light Systems Inc. aus den USA auf zwei beschränkt. Für die Hochmasten wurde die BLP 1100 Highmast, für den Einsatz an den Masten im Eisenbahnbereich und im Schleusenbereich die BLP 250 Roadway eingesetzt. Photometrische Untersuchungen der Leuchte BLP 1100 im Lichtlabor des Partners Glamox ergaben, dass der gemessene Lichtstrom um 40% von dem im Datenblatt angegebenen Wert abweicht. Der im Labor gemessene Wirkungsgrad der Leuchte beträgt rund 52 lm/W. Auffällig war, dass die Leuchte circa 3–4 Minuten benötigt, bis sie die volle Leuchtkraft erreicht hat, weiterhin ist das Einschaltverhalten lageabhängig. Weiterhin weist die Leuchte ein sporadisches Flackern von 14% der Leuchtkraft auf, auch dieses ist lageabhängig ($>30^\circ$).

Nicht getestet wurde, ob Vibrationen einen Einfluss auf die Leuchtkraft haben können. Allerdings wurde dies aufgrund der Bauart der Leuchten vermutet. Eine weitere Vermutung war, dass der Füllung im Glaskolben Schwermetalle zur Zündung des Gemisches zugesetzt wurden. Leider kann zu den Inhaltsstoffen der Füllung der LEP-Leuchtmittel keine weitere Aussage gemacht werden, da Massenanteile $<2\%$ nicht deklarationspflichtig sind und auch keine weiteren Informationen recherchiert werden konnten. Hinsichtlich einer Bewertung der Umweltbelastung einer LEP-Leuchte ist die Identifizierung der Inhaltsstoffe allerdings essentiell. Aus diesem Grund konnte eine vergleichende Bewertung der Umweltbelastung von LEP- und LED-Leuchtmitteln nicht durchgeführt werden.

Im Endergebnis ergaben die Laboruntersuchungen, dass die LEP-Leuchte „einen guten Eindruck“ macht und für den Einsatz im Hafen geeignet ist.

LED-Leuchten

Die LED-Leuchten für die jeweilige Teststrecke wurden durch den Verantwortlichen des jeweiligen Standortes ausgewählt. Für diese LED-Leuchten sind keine Untersuchungen im Lichtlabor durchgeführt worden.



Übersicht über die Standorte und die eingesetzten Leuchten

Bremische Häfen (bremenports) Zolltor Imsumer Deich, Bremerhaven

Dieser Standort befindet sich an der Senator-Borttscheller-Straße in Bremerhaven am nordöstlichen Rand des Containerhafens. Hier wurde im Gleisbereich für den Güterverkehr der Hafeneisenbahn ein Mast (Masthöhe elf Meter) errichtet, um das Gleisbett besser auszuleuchten. Dieser Bereich ist kein permanenter Arbeitsplatz, sollte aber aus Sicherheitsgründen für den Zoll und die Zugführer beleuchtet sein.

Es wurde ein einzelner Mast mit Beleuchtung untersucht. Der Ende 2016 neu errichtete Mast wurde zunächst mit einer bewährten LED-Leuchte von Siteco ausgestattet und nach erfolgter erster Messung der lichttechnischen Parameter auf LEP umgerüstet. Abschließend wurde im März 2018 eine LED-Leuchte des Partners Glamox installiert, die eine ähnliche Lichtverteilung und einen vergleichbaren Lichtstrom wie die LEP-Leuchte aufweist. Für eine lichttechnische Bewertung ist ein Aufbau mit lediglich einer Leuchte nicht hinreichend. Im Gleisverlauf werden in der Regel fortlaufend Beleuchtungspunkte angeordnet. Die Beleuchtungsstärke an einem Punkt ergibt sich daher aus der Überlagerung des Lichtstroms von wenigstens 2 Leuchten. Dennoch ist eine Bewertung der verwendeten LED- und LEP-Leuchten möglich.





Niedersächsische Häfen (Niedersachsen Ports) Niedersachsenkai, Brake

Diese Teststrecke befindet sich in einem Teil des Braker Hafens. Die große Stückgutlagerfläche westlich des Niedersachsenkais wird durch drei Hochmasten (Masthöhe 36 Meter) ausgeleuchtet. Am südlichen Rand der Teststrecke verlaufen Gleisanlagen und eine Verkehrsfläche für PKW und vereinzelt Fußgänger. Die Haupttätigkeit in dem Bereich ist das Umlagern von Stückgut.

Zum Zeitpunkt der Auswahl von geeigneten LED-Leuchten für die Teststrecke in Brake hatten die Hersteller Siteco und Philips fast gleichwertige Produkte auf den Markt gebracht, die den Anforderungen auf Hochmasten von 38 Meter erfüllen konnten. Weitere Alternativen konnten von Niedersachsen Ports nicht ermittelt werden. Nach einer Bewertung beider Produkte, hat sich Niedersachsen Ports aus wirtschaftlichen Gründen für das Produkt der Firma Siteco entschieden. Im LEP-Bereich war die Vorgabe der Leuchtauswahl durch das Angebot von LEP-Leuchten beschränkt. Die entsprechende LEP-Beleuchtung für die Hochmasten wurde über das Projekt von einem Hersteller aus den USA bezogen. Die Natriumdampfleuchte kam aus dem eigenen Bestand. Die Produktqualität (Gehäuse, Glas, elektrischer Anschlussbereich, Verschraubungen sowie Wartungsfreundlichkeit usw.) der beiden neuen Testprodukte (LED und LEP) wurde von den Niedersachsen Ports Handwerkern als gut beurteilt. Für den Standort Brake wurde eine eigene Lichtberechnung von Niedersachsen Ports durchgeführt, um eine ausreichende und arbeitssichere Beleuchtungssituation zu gewährleisten.



In Brake werden Natriumdampfleuchten gegen LEP-Leuchten ausgetauscht.



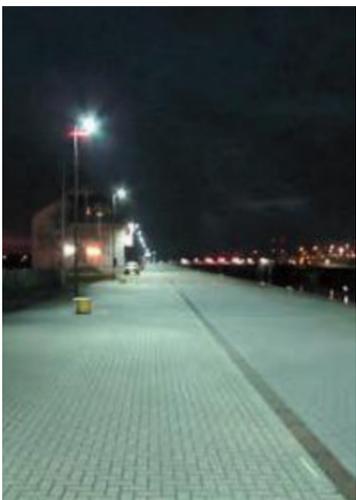
Drei Beleuchtungsvarianten auf einem Terminal, hier auf dem Niedersachsenkai in Brake.



Oslebshuser Schleuse (bremenports) Industriehafen, Bremen

Dieser Standort befindet sich in Bremen südlich anschließend an die Oslebshuser Schleuse und den Schleusenvorhafen. Dabei handelt es sich um eine Kaianlage als Verkehrsfläche für PKW und Fußgänger, die mit 21 Mastleuchten (Masthöhe cirka elf Meter) ausgeleuchtet wird. Die Haupttätigkeit in dem Bereich ist das Festmachen von Schiffen.

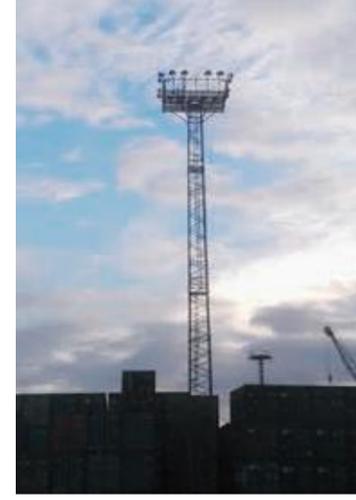
An der Oslebshuser Schleuse wurden 21 Masten im Schleusenbereich mit LEP-Leuchten ausgerüstet. Die erste Messung der lichttechnischen Parameter erfolgte mit der NAV-Bestandsbeleuchtung. Aufgrund der Zwischenergebnisse der Messungen mit der LEP-Beleuchtung und der daraus resultierenden Empfehlungen wurde eine letzte Messung mit LED-Leuchten durchgeführt. Zur Auswahl standen mehrere Leuchten marktführender Hersteller. Mit diesen Leuchten wurde vorab eine Beleuchtungsberechnung durchgeführt mit der Zielvorgabe, die bestmögliche Ausleuchtung an der Wasserkante zu liefern.



Neustädter Hafen (BLG) Bremen

Bei dieser Teststrecke auf dem Betriebsgelände der BLG wird eine Lagerfläche für Container durch einen Hochmast (Nr. 5, Masthöhe 35 Meter) ausgeleuchtet. Die Haupttätigkeit in diesem Bereich ist das Umlagern von Containern mit Reach-Stackern (Flurförderfahrzeuge mit hoher Hublast, speziell für das Stapeln und Umschlagen von Containern und Wechselbrücken).

Im Neustädter Hafen wurde auf dem Gelände der BLG ein Hochmast mit LED-Leuchten ausgerüstet. Diese Glovis-Strahler wurden vom verantwortlichen Elektrotechniker am Standort ausgewählt.



Ein Überblick über die eingesetzten Leuchten mit den Herstellerangaben ist im Anhang (Seite 76) zu finden.

Lichttechnische Begleituntersuchung

Die lichttechnischen Untersuchungen wurden von TARA Ingenieurbüro NordWest GmbH & Co. KG mit Sitz in Varel in Zusammenarbeit mit der e2 Ingenieurgesellschaft mbH durchgeführt und gliedert sich in zwei Schwerpunkte:

A. Objektivität – Technische Messungen

Für die lichttechnische Begleituntersuchung wurden, um vergleichende Aussagen über die Beleuchtungsqualität, die Energieeffizienz oder die Wirtschaftlichkeit unterschiedlicher Leuchten und Leuchtmittel zu erhalten, zunächst Kenngrößen und Parameter, wie beispielsweise die Beleuchtungsstärke und elektrische Leistungsaufnahme, festgelegt.

Weiterhin müssen bei einer Lichtplanung und bei der Auswahl der Beleuchtung die Arbeitssicherheit und der Gesundheitsschutz für die Beschäftigten im Hafensbereich gewährleistet sein. So sind für das Arbeitsumfeld allgemeine technische Regeln, wie die Arbeitsstättenrichtlinie und spezifische Anforderungen, zum Beispiel die Blendungsbegrenzung seitens der Wasserstraßen- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes, zwingend einzuhalten.

B. Subjektivität – Mitarbeiterbefragung

Neben den messbaren Güteigenschaften der Beleuchtung wurde im Rahmen der Studie auch die subjektive Wahrnehmung des Lichts untersucht. Diese ist von vielen Einflussfaktoren, wie bspw. Alter, Ermüdung und der Sehstärke abhängig und nur durch eine direkte Befragung der Mitarbeitenden möglich. Eine statistische Auswertung kann Tendenzen aufzeigen und einen Handlungsbedarf ermitteln.



Lichttechnische Messungen Oslebshäuser Schleuse

INFO

Die Beleuchtungsstärke E wird in Lux (lx) gemessen und ist der Lichtstrom, der von einer Lichtquelle auf eine bestimmte Fläche trifft. Wenn der Lichtstrom von 1 Lumen 1 Quadratmeter Fläche gleichmäßig beleuchtet, beträgt sie 1 Lux. E_m bezeichnet den Wertungswert der Beleuchtungsstärke, unter den die mittlere Beleuchtungsstärke auf einer bestimmten Fläche nicht sinken darf.

Die Gleichmäßigkeit U_0 ist als der Quotient \bar{E}_{min}/\bar{E} – aus der minimalen und der mittleren Beleuchtungsstärke – ist für Tätigkeitsbereiche unterschiedlich definiert.

Zur objektiven Kennzeichnung der Farbwiedergabe-Eigenschaften einer Lichtquelle wurde der Allgemeine Farbwiedergabe-Index „Ra“ eingeführt.

INFO

Der höchstmögliche Ra-Wert ist 100, der einer Farbwiedergabe bei Tageslicht entspricht und somit die Farben natürlich wiedergibt. Die Skala reicht von Ra = 90–100 sehr gute Farbwiedergabeeigenschaften, Ra = 80–90 Gute Farbwiedergabeeigenschaften, Ra = 60–80 Mittlere Farbwiedergabeeigenschaften, Ra < 60 Mangelhafte Farbwiedergabeeigenschaften. Mit einem höheren Ra-Wert ist ebenfalls ein besseres Kontrastsehen verbunden.

Zur Bewertung der physiologischen Blendung wird das vereinheitlichte UGR Verfahren herangezogen. Es berücksichtigt alle Leuchten einer Anlage sowie die Reflexionen, die zu einem Blendeindruck beitragen.

Die Lichtausbeute (luminous efficacy) ist das Maß für die Wirtschaftlichkeit/Effizienz von Lichtquellen. Sie ist rechnerisch der Quotient aus dem vom Leuchtmittel abgegebenen Lichtstrom und der von ihr aufgenommenen Leistung und sagt aus, wie viel Lichtstrom in Lumen (lm) pro Watt (W) ein Leuchtmittel erzeugt. Je höher das Verhältnis Lumen/Watt, desto besser setzt ein Leuchtmittel die eingebrachte Energie in Licht um.

Die Farbtemperatur ist eine Maßeinheit, die die Farbe einer Lichtquelle beschreibt und in Kelvin (K) gemessen wird. Je höher der Wert der Farbtemperatur ist, desto weißer die Lichtfarbe.

Die spezifische installierte Leistung beschreibt die installierte Leistung der Anlage bezogen auf die Fläche.

A. Technische Messungen

Parameterauswahl

Für jeden Standort wurden spezifische Parameter und deren Zielwerte festgelegt, auf deren Einhaltung die Beleuchtung durch die Lichtmessungen hin überprüft werden sollte.

Maßgeblich einzuhaltendes Regelwerk und Richtlinien sind dabei:

§ Technische Regeln für Arbeitsstätten (ASR)

§ Berufsgenossenschaftliches Regelwerk (BGR), seit 2014 Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung (DGUV Informationen)

§ DIN EN 12464

„Licht und Beleuchtung – Beleuchtung von Arbeitsstätten“
„Teil 1: Arbeitsstätten in Innenräumen“ und
„Teil 2: Arbeitsplätze im Freien“

Für die meisten Arbeitsplätze in Innenräumen, im Freien und deren zugehörige Flächen legt die Norm in Bezug auf Quantität und Qualität der Beleuchtung die Anforderungen an die Beleuchtungssysteme fest.

Aus den Regelwerken und in Diskussion mit den Betreibern ergeben sich für die Standorte die zusammengestellten Parameter und lichttechnischen Zielwerte:

Standort / Parameter	Beleuchtungsstärke E_m in Lux	Gleichmäßigkeit U_c	Farbwiedergabe R_a	Blendungsbegrenzung GR_L
Zolltor Imsumer Deich	≥ 10	$> 0,25$	≥ 25	≤ 50
Neustädter Hafen	≥ 20	$> 0,25$	≥ 25	≤ 50
Oslebshäuser Schleuse*	≥ 20	$> 0,25$	≥ 25	≤ 50
Niedersachsenkai	$\geq 20-30$	$> 0,25$	≥ 25	≤ 50

* Für die Kaiante gilt die Mindestbeleuchtung von 10 Lux

Die Beleuchtungsstärke in Lux wurde hierbei an den Standorten durch die Lichtmessungen erfasst, wobei der Zielwert sich auf die mittlere Beleuchtungsstärke bezieht.

Durchführung der lichttechnischen Messungen

Standort	Messung und Datum			
	I (Altanlage)	II (Neuanlage)	III	IV
Zolltor Imsumer Deich	/	26.01.2017	13.09.2017	07.05.2018
Neustädter Hafen	09.11.2016	09.03.2017* 10.05.2017 22.05.2017	25.01.2018	24.05.2018
Oslebshauer Schleuse*	08.12.2016	23.03.2017	30.01.2018	21.06.2018** 16.07.2018
Niedersachsenkai	02.02.2017	28.03.2017	13.02.2018	15.08.2018

* Es waren weitere Messungen erforderlich aufgrund Aufneigungsempfehlung und Umsetzung.
 ** Messung wegen Baustelle nur noch in Teilbereichen durchführbar. Danach erneute Umrüstung.

Am Standort Zolltor (Bremerhaven) wurde zu Projektbeginn eine neue Mastleuchte installiert. Aus diesem Grund gab es keine Altanlage zum Vergleich zu messen.

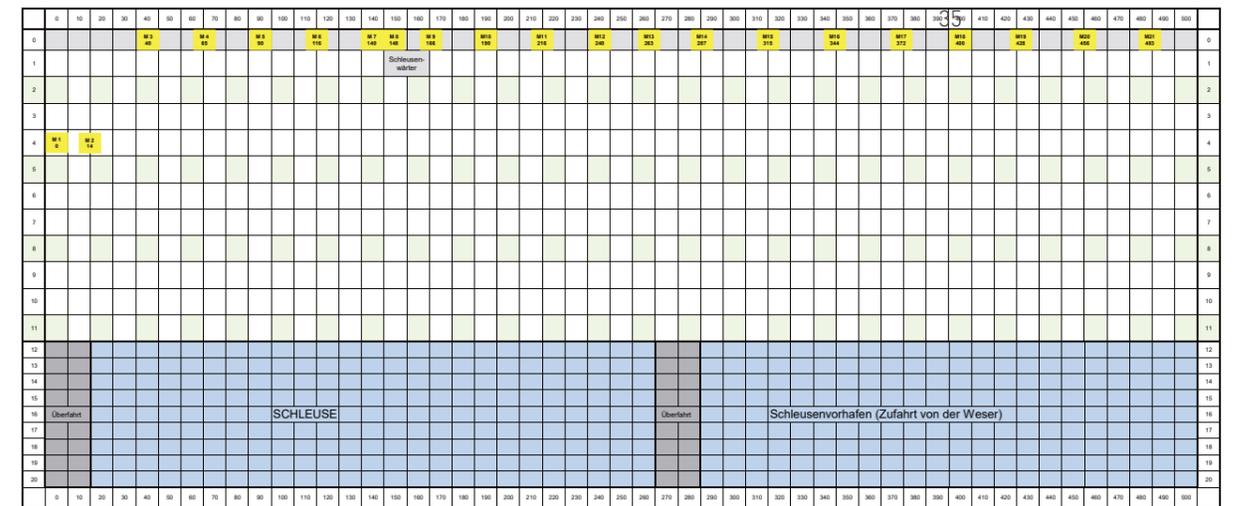
Beim Standort Neustädter Hafen (Bremen) wurde nach der ersten Messung der Neuanlage eine Aufneigung der Leuchten empfohlen. Bei der ersten Wiederholungsmessung zeigte sich eine fehlerhafte Umsetzung der Empfehlung und es musste eine Nachjustierung stattfinden. Nach der Durchführung erfolgte eine zweite abschließende Wiederholungsmessung mit korrekter Ausführung der Aufneigung.

Ziel der wiederholten Messungen nach der Umrüstung ist die Überprüfung und der Nachweis von möglichen Leistungsverlusten der Leuchten in einem Zeitraum von ungefähr sechs Monaten bis minimal einem Jahr.

An den Standorten Zolltor (Bremerhaven) und Oslebshauer Schleuse (Bremen) wurden die Leuchten nach der Messung I und Messung III gewechselt, an den anderen beiden Standorten jeweils nur nach der Messung I.

Vor der Lichtmessung erfolgt für jeden Standort eine Lichtsimulation bzw. Lichtberechnung mit DIALUX 4.13, einer Software zur professionellen Lichtplanung. Die Lichtberechnung wird auf Basis der Herstellerdaten durchgeführt und bezieht einen Wartungsfaktor ein. Bei Neuanlagen wird ein Wartungsfaktor von 1,0 angesetzt, wohingegen bei Altanlagen je nach Standort ein Wartungsfaktor von 0,5 (sehr hohe Betriebsdauer) und 0,8 (hohe Betriebsdauer) für die Berechnung verwendet werden.

Bei einer ersten Bestandsaufnahme der Teststrecken wurde ein Messraster mit passenden Messabständen entwickelt. Nach diesem Messraster erfolgten alle Messungen an den Standorten, so dass eine Vergleichbarkeit der Ergebnisse gewährleistet ist.



Beispiel Messraster für Lichttechnische Untersuchung an der Oslebshauer Schleuse (Messraster 500 Meter x 11 Meter)

Durch ein Iterationsverfahren auf Basis der Messwerte (im Folgenden kurz Interpolation) wird unabhängig von der Belegung der Lagerflächen eine Freifläche simuliert, wodurch Flächen trotz unterschiedlicher Belegungen miteinander vergleichbar werden. Zusätzlich kann ein Gleichmäßigkeitsfaktor über die Freifläche ermittelt werden.

Zusätzlich erfolgte bei den Leuchten eine Überprüfung der von den Herstellern angegebenen Werte der elektrischen Leistungsaufnahmen durch Messungen.

Steuerung Lichttechnik



wahrgenommen wurde. Die letzte Lichtmessung (Messung IV) mit der installierten LED-Technik zeigt insgesamt eine hohe und gleichmäßige Beleuchtungsstärke, bei der von der Kaikante gesehen, im hinteren und mittleren Arbeitsbereich der Zielwert 20 Lux deutlich übertroffen wird. Im Bereich der Kaikante sind Werte um 10 Lux ersichtlich.

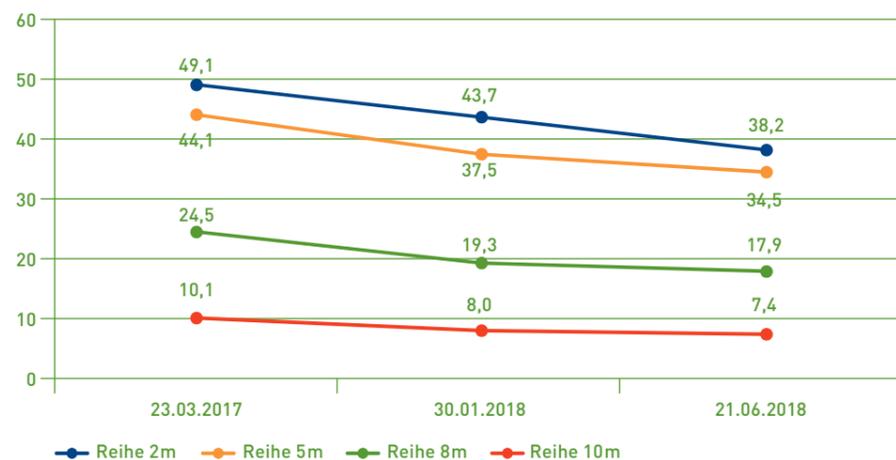
Da es sich bei der Kaikante um einen Arbeitsplatz mit erhöhtem Risiko handelt, wurde die Kaikante zusätzlich separat betrachtet. Dabei werden, wie bereits bei den Lichtmessungen beschrieben, im Nahbereich um die Leuchten höhere Beleuchtungsstärken erzielt als erwartet, wohingegen in Richtung der Kaikante die Werte geringer werden. Unter Beachtung der geltenden Richtlinien und Genehmigungen kann eine leichte Aufneigung der Leuchten die Gleichmäßigkeit und damit auch die Werte an der Kaikante verbessern. Dies gilt sowohl für LEP- als auch für die LED-Leuchten.

Eine dritte Lichtmessung als Wiederholungsmessung der LEP-Leuchten ergab, dass die mittleren Beleuchtungsstärken sich im Mittel um circa 17% in 11 Monaten gegenüber der Neuanlage verringert haben. Dies ist nicht allein durch Verschmutzung zu erklären. Insgesamt hat sich die LEP-Anlage als sehr reparaturanfällig erwiesen. Neben defekten Vorschaltgeräten und Treibern mussten diverse defekte Leuchtmittel ausgetauscht werden, wodurch die Leuchten mit neuen Leuchtmitteln dadurch quasi in einen Neuzustand zurückversetzt wurden. Dieser Umstand ist in der Lichtmessung nicht mehr zu bereinigen. Eine konkrete Ursache für die zahlreichen Störungen konnte bisher nicht ergründet werden. Messungen der Netzqualität zu Beginn der Studie ergaben zum Beispiel keine Auffälligkeiten in der Spannungsversorgung.

Die wichtigste Erkenntnis der durchgeführten Messung ist, dass die mittlere Beleuchtungsstärke an der Kaikante durch die Abnahme der Beleuchtungsstärke nicht mehr die geforderten Sollwerte erreicht. Da es sich hierbei um Sicherheitsaspekte handelt, bestand deutlicher Handlungsbedarf.

Eine letzte abschließende Wiederholungsmessung der LEP-Leuchten konnte wegen Bauarbeiten im Untersuchungsbereich und ausgefallener Leuchten nur noch in einem Teilbereich erfolgen. Hierbei zeigte sich, dass in dem Bereich eine Abnahme der mittleren Beleuchtungsstärke um insgesamt circa 23% in circa 16 Monaten stattgefunden hat.

Messwertverlauf je Messreihe / m Mastabstand



Abnahme der Beleuchtungsstärke über die Zeit bei verschiedenen Abständen von den Masten

Die Reparaturanfälligkeit und Unzuverlässigkeit der LEP-Beleuchtung führte bereits vor Ende des Projektes zu der Entscheidung, dass LEP-Leuchten gegen LED-Leuchten zu tauschen (Juli 2018). Neben ökonomischen Gründen lag diese Entscheidung besonders in der Arbeitsplatzsicherheit begründet. Für das neu installierte LED-System wurde im Juli 2018 eine zusätzliche Messung durchgeführt.

An dem Standort wurden zwei Lastgangmessungen (NAV und LEP) durch die Elektro-Strohschein GmbH durchgeführt. Zusätzlich wurde das Netz auf Oberschwingungen, Netzflicker und Störanteile analysiert. Festgestellt werden konnte, dass sich das Netz durch den Umbau auf LEP-Leuchten kaum geändert hat. Alle netzkritischen Werte sind nahezu identisch. Somit kann man davon ausgehen, dass die LEP-Leuchten nur sehr kleine Rückwirkungen auf das Netz haben. In Bezug auf die elektrische Leistung der Leuchten zeigt die Lastgangmessung einen maximalen Leistungsbezug von circa 6,9 kW für die Altanlage. Für die teilweise umgerüstete Anlage (LEP/NAV jeweils 50%) ergibt sich eine insgesamt erhöhte maximale Leistungsaufnahme von circa 7,2 kW.

Ergänzend zu der Untersuchung durch die Firma Elektro-Strohschein GmbH wurden Leistungsmessungen durchgeführt. Hier wurde eine deutliche Abweichung bei der LEP-Leuchte von 17,5% über der Herstellerangabe erkennbar. Diese deutliche Abweichung entspricht nicht mehr den maximalen Abweichungstoleranzen nach der IEC 62722, wobei sich dieser Wert auf LED-Technik bezieht. Eine vergleichbare Aussage über LEP ist nicht vorhanden, eine Abweichung $\geq 10\%$ ist allerdings bereits aus ökonomischen Gründen nicht zu tolerieren und sollte aufgeklärt werden.

Eine Auswertung der gemessenen und simulierten Werte ergab für den Standort Oslebshäuser Schleuse:

- sowohl die LEP- als auch die LED-Anlage liefern die geforderte Beleuchtungsstärke
- der Energieverbrauch und die resultierenden CO₂-Emissionen der LEP-Leuchte sind gegenüber der Altanlage durch einen Energie-mehrverbrauch von 25% deutlich erhöht
- durch den Einsatz von LED-Leuchten wird ein Minderverbrauch von circa 34% erreicht
- die Farbwiedergabe und das Kontrastsehen sind sowohl bei der LEP-Anlage als bei der LED-Anlage gegenüber der Altanlage erheblich verbessert
- bei der Gleichmäßigkeit der Beleuchtungsstärke erreicht die LEP-Anlage nicht die rechnerische Prognose, die LED-Anlage fällt im Kaibereich unerwartet stärker ab
- im Bereich des Schleusenwärter-Gebäudes werden die geforderten Blendungsgrenzen bei der LEP-Anlage nicht eingehalten (bei der LED-Anlage sind hier Leuchten mit geringerer Leistungsaufnahme und Lichtstrom installiert)
- die spezifische Leistung gegenüber dem Altsystem ist bei der LEP-Anlage geringfügig schlechter (auf den gleichen Nutzungszustand bezogen), bei der LED-Anlage deutlich verbessert

Standort Niedersachsenkai (Brake)

Der Standort Brake liefert eine besondere Teststrecke, da drei unterschiedliche Leuchtentypen (NAV, LEP, LED) an den drei nebeneinander zur Verfügung stehenden Hochmasten installiert werden konnten. Die zu Beginn der Messreihe installierten NAV-Leuchten waren bereits einige Jahre in Betrieb, weswegen die Lichtberechnung zur Simulation des Istzustandes mit einem Wartungsfaktor von 0,8 für die Altanlage durchgeführt wurde.

Bei der Umrüstung der Leuchten wurden auch die NAV-Leuchtmittel des Mastes M14 erneuert und die weiter eingesetzten Leuchten gereinigt, um alle Anlagen als Neuanlagen miteinander vergleichen zu können. Es ist zu erkennen, dass die Lichtmessung die Lichtberechnung in Bezug auf die Lichtverteilung bestätigt. Insgesamt hat sich durch den Austausch der Leuchten keine signifikante Änderung der mittleren Beleuchtungsstärke eingestellt (Messung 33 Lux zu 34 Lux). Um mögliche Veränderungen durch den Austausch besser beziffern zu können, werden die Masten im Folgenden durch eine Reduzierung des Betrachtungsbereiches einzeln analysiert. (Lichtberechnung mit DIALUX 4.13 siehe Seite 43)

Es zeigte sich, dass bei einem Wartungsfaktor von 1,0 nicht bei allen Leuchten gleichermaßen eine höhere mittlere Beleuchtungsstärke gegenüber der Altanlage erzielt wird. Während sich bei der NAV neu sowohl rechnerisch als auch messtechnisch eine Verbesserung von 10-20% ergibt, stellt sich bei der LED-Anlage eine Verbesserung von 50% ein. Die durch diesen Anstieg erreichten Werte zeigen eine deutliche Überdimensionierung der LED-Leuchten an, die sich auch durch eine Aufneigung der Leuchten nur unwesentlich besser auf die Fläche verteilen lässt.

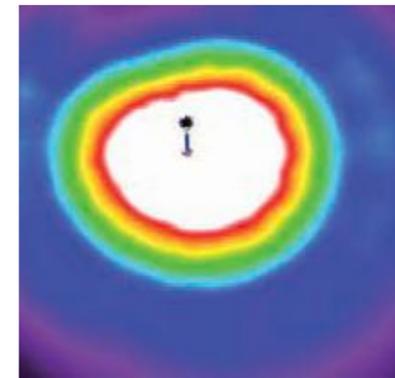
Komplett gegensätzlich ist die Entwicklung der mittleren Beleuchtungsstärke bei dem Mast M13 mit den LEP-Leuchten. Hier zeigt sich eine deutlich geringere spezifische Lichtausbeute bei insgesamt geringerer installierter Leistung. Demnach tritt durch den Einsatz der LEP eine Verschlechterung gegenüber der Altanlage ein.

Bei den Wiederholungsmessungen lag jedes Mal eine unterschiedliche Belegung der Lagerfläche vor. Dies erschwerte teilweise die Messungen erheblich und führte dazu, dass eventuell leicht abweichende Messpunkte gewählt werden mussten. Durch die unterschiedlichen Güter und deren Helligkeit und Farbe veränderte sich auch die Lichtreflexion. Zusätzlich war teilweise ein Gütertransport auf dem Gleis abgestellt.

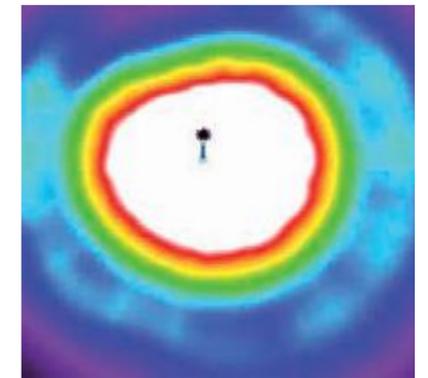
Nach der Auswertung der Messungen und der mittleren Beleuchtungsstärken zeigen sich deutliche Unterschiede in der Entwicklung. Bei der LED-Anlage war ein Rückgang um 1,7% ersichtlich, während bei der NAV-Anlage sogar eine Verbesserung um 1,3% zu verzeichnen war. Diese Veränderungen sind sicherlich auf eine Kombination der oben bereits aufgeführten Gründe zurückzuführen. Zusätzlich ist eine bereits geringfügige Verschmutzung der Lichtaustrittsfläche genauso denkbar wie eine geringe Lichtstromveränderung der Systeme.

Lichtberechnung mit DIALUX 4.13

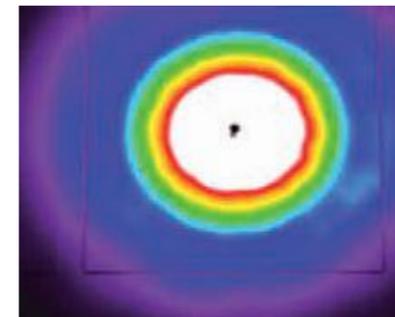
Altanlage NAV (WF 0,8)
 $E_m = 32 \text{ Lux}$



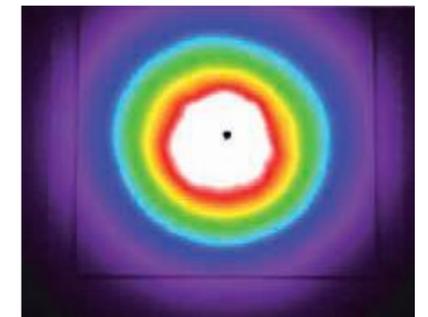
Neuanlage NAV neu (WF 1,0)
 $E_m = 39 \text{ Lux}$



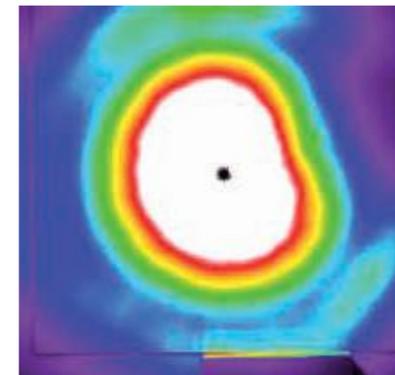
Altanlage NAV (WF 0,8)
 $E_m = 31 \text{ Lux}$



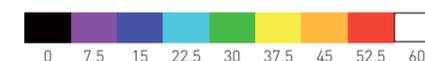
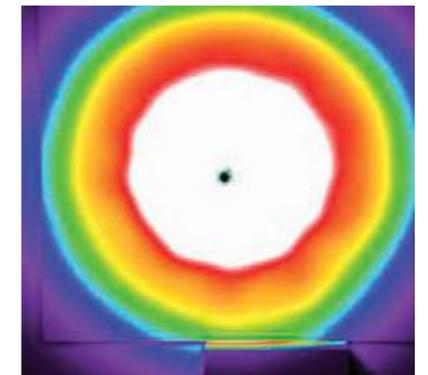
Neuanlage LEP neu (WF 1,0)
 $E_m = 25 \text{ Lux}$



Altanlage NAV (WF 0,8)
 $E_m = 32 \text{ Lux}$



Neuanlage LED (WF 1,0)
 $E_m = 48 \text{ Lux}$



Die ungewöhnlich hohe Reduzierung der Beleuchtungsstärke von 9,2% bei dem LEP-System muss auf eine andere Ursache zurückzuführen sein. Zum Vergleich ist die ebenfalls deutliche Abnahme der Beleuchtungsstärke der LEP-Leuchten an der Oslebshäuser Schleuse von circa 17% in dem gleichen Betrachtungszeitraum zu berücksichtigen.

Zur Klärung inwieweit die definierte Betrachtungsfläche einen Einfluss auf die Werte haben, und ob die LEP-Anlage in den Randbereichen durch die gute Performance der Nachbarsysteme profitiert, wurden weitere Analysen mit den Interpolationen der Messwerte durchgeführt.

Einfluss der Verringerung der Betrachtungsfläche (Interpolation)

a. Betrachtungsfläche maximal

m	90	75	60	45	30	15	0	15	30	45	60	75	87,5	75	60	45	30	15	0	15	30	45	60	75	87,5	75	60	45	30	15	0	15	30	45	60	75	90	m
80			5	8	12	15	18	20	23	22	16	13	11	10	8	6	5	7	6	5	4	5	6	8	9	13	13	13	18	23	27	25	20	15	10	7		80
60			9	16	23	29	32	33	33	32	22	19	17	14	12	9	10	14	15	13	8	9	8	9	10	14	15	27	34	43	43	40	33	26	18	12		60
45			13	25	36	45	47	48	42	29	29	30	22	18	17	16	19	26	25	25	17	14	10	9	8	17	25	41	47	52	49	51	46	36	26	15		45
30			24	34	50	63	96	86	74	46	32	35	23	20	21	24	32	47	44	40	26	19	10	8	10	21	33	50	61	84	84	80	63	47	35	24		30
15			29	37	46	105	114	147	117	64	27	30	25	20	22	31	46	73	79	61	42	27	14	9	12	25	40	57	93	106	121	110	78	55	42	33		15
0			27	40	72	114	NAV	136	78	38	31	26	21	23	34	54	LEP	82	55	31	12	10	15	25	39	55	95	116	LED	81	54	44	40		0			
15			27	39	58	95	106	112	104	61	36	29	24	19	21	30	52	68	80	66	54	32	17	10	12	23	34	50	76	108	105	95	75	50	42	33		15
30			27	33	38	58	74	78	66	45	31	26	23	17	18	21	38	50	57	52	36	25	13	10	11	20	29	47	57	68	80	78	56	42	35	25		30
45			26	27	25	34	44	49	42	35	30	29	22	17	14	16	23	29	36	32	25	18	14	12	11	15	24	42	40	48	48	49	39	33	21	15		45
60			26	24	20	20	26	30	32	34	36	31	23	15	13	12	14	17	19	20	19	20	19	19	16	14	17	23	31	36	39	38	32	23	14	8		60
75			25	24	21	23	26	28	28	24	30	29	25	19	14	13	9	14	15	18	19	19	17	22	22	20	17	16	17	23	24	23	20	12	7	4		75
90			25	27	30	27	29	29	29	28	28	25	22	16	13	12	13	16	18	19	17	20	22	21	20	19	19	14	14	16	16	16	12	6	4	2		90
105			24	28	32	32	32	31	31	30	29	28	26	20	17	15	17	19	21	23	25	33	39	35	22	18	14	12	12	10	10	8	6	3	2	1		105
m	90	75	60	45	30	15	0	15	30	45	60	75	87,5	75	60	45	30	15	0	15	30	45	60	75	87,5	75	60	45	30	15	0	15	30	45	60	75	90	m

Interpolation 28.03.2017
LED: 44,5 Lux 100%
LEP: 26,1 Lux 100%
NAV: 46,9 Lux 100%

Interpolation 13.02.2018
LED: 43,7 Lux -1,8%
LEP: 23,4 Lux -10,3%
NAV: 46,1 Lux -1,7%

Interpolation 15.08.2018:
LED: 44,3 Lux -0,5%
LEP: 23,6 Lux -9,6%
NAV: 46,7 Lux -0,4%

b. Betrachtungsfläche 45m x 45m

m	90	75	60	45	30	15	0	15	30	45	60	75	87,5	75	60	45	30	15	0	15	30	45	60	75	87,5	75	60	45	30	15	0	15	30	45	60	75	90	m
80			5	8	12	15	18	20	23	22	16	13	11	10	8	6	5	7	6	5	4	5	6	8	9	13	13	13	18	23	27	25	20	15	10	7		80
60			9	16	23	29	32	33	33	32	22	19	17	14	12	9	10	14	15	13	8	9	8	9	10	14	15	27	34	43	43	40	33	26	18	12		60
45			13	25	36	45	47	48	42	29	29	30	22	18	17	16	19	26	25	25	17	14	10	9	8	17	25	41	47	52	49	51	46	36	26	15		45
30			24	34	50	63	96	86	74	46	32	35	23	20	21	24	32	47	44	40	26	19	10	8	10	21	33	50	61	84	84	80	63	47	35	24		30
15			29	37	46	105	114	147	117	64	27	30	25	20	22	31	46	73	79	61	42	27	14	9	12	25	40	57	93	106	121	110	78	55	42	33		15
0			27	40	72	114	NAV	136	78	38	31	26	21	23	34	54	LEP	82	55	31	12	10	15	25	39	55	95	116	LED	81	54	44	40		0			
15			27	39	58	95	106	112	104	61	36	29	24	19	21	30	52	68	80	66	54	32	17	10	12	23	34	50	76	108	105	95	75	50	42	33		15
30			27	33	38	58	74	78	66	45	31	26	23	17	18	21	38	50	57	52	36	25	13	10	11	20	29	47	57	68	80	78	56	42	35	25		30
45			26	27	25	34	44	49	42	35	30	29	22	17	14	16	23	29	36	32	25	18	14	12	11	15	24	42	40	48	48	49	39	33	21	15		45
60			26	24	20	20	26	30	32	34	36	31	23	15	13	12	14	17	19	20	19	20	19	19	16	14	17	23	31	36	39	38	32	23	14	8		60
75			25	24	21	23	26	28	28	24	30	29	25	19	14	13	9	14	15	18	19	19	17	22	22	20	17	16	17	23	24	23	20	12	7	4		75
90			25	27	30	27	29	29	29	28	28	25	22	16	13	12	13	16	18	19	17	20	22	21	20	19	19	14	14	16	16	16	12	6	4	2		90
105			24	28	32	32	32	31	31	30	29	28	26	20	17	15	17	19	21	23	25	33	39	35	22	18	14	12	12	10	10	8	6	3	2	1		105
m	90	75	60	45	30	15	0	15	30	45	60	75	87,5	75	60	45	30	15	0	15	30	45	60	75	87,5	75	60	45	30	15	0	15	30	45	60	75	90	m

Interpolation 28.03.17 +45/-45:
LED: 67,7 Lux 100%
LEP: 41,1 Lux 100%
NAV: 67,4 Lux 100%

Interpolation 13.02.2018 +45/-45:
LED: 67,7 Lux ±0,0%
LEP: 36,6 Lux -11,0%
NAV: 67,4 Lux ±0,0%

Interpolation 15.08.2018 45/-45:
LED: 67,1 Lux -0,9%
LEP: 36,2 Lux -11,9%
NAV: 67,0 Lux -0,6%

Durch eine Verringerung der Betrachtungsfläche in der Simulation auf 45 m x 45 m zeigt sich deutlich, dass die Nachbarbereiche der LEP-Anlage durch die schlechte Leistung des LEP-Systems in Mitleidenschaft gezogen werden. Aus dieser Auswertung wird ersichtlich, dass die NAV-Leuchten und die LED-Leuchten über die Nutzungsdauer von fast 15 Monaten keinen signifikanten Leistungsverlust aufweisen. Die LEP-Leuchten haben einen Leistungsverlust von circa 10% erfahren.

Die Leistungsmessung ergab eine Abweichung bei der LED um über 5%. Dies liegt noch in dem Toleranzbereich von maximal 10% (IEC627722).

Eine Auswertung der gemessenen und simulierten Werte ergab für den Standort am Niedersachsenkai:

NAV

- die neuen NAV-Leuchtmittel ergaben eine messtechnische Verbesserung in der Beleuchtungsstärke von 10-20%
- die Beleuchtungsstärke hat in dem Betrachtungszeitraum nicht oder nur sehr geringfügig abgenommen
- das System ist in dem Betrachtungszeitraum nicht oder nur kaum gealtert

LEP

- die LEP-Anlage ist mit einer um 20% geringeren Lichtausbeute ineffizienter als die Altanlage
- die Beleuchtungsstärke ist geringer als die der Altanlage
- auf der vorgegebenen Betrachtungsfläche ist die Beleuchtungsstärke grenzwertig und der Zielwert für die Gleichmäßigkeit wird nicht erreicht
- bei einer reduzierten Betrachtungsfläche ist die mittlere Beleuchtungsstärke mit 31 Lux in Ordnung und die Anforderungen an die Gleichmäßigkeit wird knapp erfüllt
- die LEP-Anlage hat in dem Betrachtungszeitraum erheblich an Lichtstrom eingebüßt, dabei hat eine Stabilisierung zwischen der zweiten und der dritten Messung stattgefunden

LED

- die LED-Leuchte weist eine höhere Lichtausbeute als die anderen beiden Beleuchtungssysteme auf, damit ist sie effizienter
- die LED-Anlage ist überdimensioniert, die installierte Leistung kann reduziert werden
- durch eine Reduzierung wird eine weitere Einsparung im Energieverbrauch erreicht
- das LED-System ist in dem Betrachtungszeitraum nicht oder nur kaum gealtert
- die Beleuchtungsstärke hat über den Betrachtungszeitraum nicht oder nur sehr geringfügig abgenommen

Bei den Wiederholungsmessungen zeigte sich keine Leistungsminderung und die Leuchten erfüllen damit die gesetzten Zielwerte.

Es wurde an zwei Masten die Leistungsaufnahme gemessen. An beiden Masten war eine erhöhte Leistung der einzelnen Leuchten gegenüber den Herstellerangaben nachzuweisen. Bei der hohen Anzahl an Leuchten wirkt sich diese erhöhte Leistung deutlich als Mehrverbrauch aus.

Die Auswertung der Lichtsimulationen und Lichtmessungen ergaben für den Standort:

- die gemessene Leistungsaufnahme und damit der Energieverbrauch liegt 5% über der Herstellerangabe
- die LED-Leuchte ist effizienter als die NAV-Leuchte, die Farbwiedergabe ist deutlich höher
- die Richtwerte für die Aufhellung des Nachthimmels werden eingehalten
- Energieverbrauch und CO₂-Emissionen sind durch das neue LED-System deutlich vermindert
- Zur Erreichung der geforderten lichttechnischen Zielwerte sind zusätzliche Leuchten erforderlich: Nachrüstungen weiterer Leuchten auf dem Mast, Nachrüstungen von Lichtmasten in den Randzonen, Ertüchtigung der Straßenbeleuchtung am Ende der Betrachtungsfläche
- bei einer Nachrüstung auf den Masten bleiben Energie- und Umweltbilanz positiv



Lichtmast im Neustädter Hafen in Bremen.

B. Mitarbeiter-/Nutzerbefragung

Neben den messbaren Güteigenschaften der Beleuchtung, die sich an den Mindestvoraussetzungen für die Beleuchtungsqualität auf Grundlage bestehender Normen und Richtlinien orientiert, wurde im Rahmen der Studie die subjektive Wahrnehmung des Lichts anhand einer Befragung der im Anlagenbereich tätigen Mitarbeiter/Nutzer untersucht. Es sollten die Stärken und Schwächen der Ausgangsbeleuchtung und der Beleuchtungssituation nach der Umrüstung aus der Sicht der Nutzer an den Teststrecken erfasst werden, um abschließend eine Korrelation mit den Messwerten durchzuführen.

An jedem Standort wurden eine Befragung vor der Umrüstung und eine Befragung nach der Umrüstung durchgeführt:

Standort	Befragung und Zeitraum	
	I (Altanlage)	II (Neuanlage)
Zolltor Imsumer Deich	Jan. 2017	Nov. 2017
Neustädter Hafen	/	jan./Feb. 2018
Oslebshauser Schleuse*	Jan. 2017	Nov. 2017
Niedersachsenkai	Jan. 2017	Nov. 2017 – März 2018

Für den Standort Neustädter Hafen wurde von diesem Vorgehen abgewichen (s.u.).

Zum Fragebogen

Der Fragebogen wurde in Abstimmung mit den Partnern erstellt. Es wurden hauptsächlich Fragen zum Ankreuzen gewählt, Wahrnehmungsaspekte wurden als Balken dargestellt, auf dem die Bewertung durch eine Markierung eingetragen werden konnte. Um die Befragten nicht in eine Richtung zu lenken, wurden neutrale Adjektive verwendet. Daneben gab es die Möglichkeit, einen Freitext zu schreiben.

Die Fragebögen sind so konzipiert, dass sie durch eine Einleitung mit Hintergrund zur Befragung, Hinweise zur Anonymität und Freiwilligkeit, sowie einer Kurzanleitung zur Ausfüllung und Dauer der Befragung selbständig an den Standorten ausgefüllt werden konnten. Neben den Fragen gibt es eine Übersichtskarte zur freien Eintragung von Bereichen, die den Mitarbeitenden positiv oder negativ auffällig erschienen. Zum Zweck der statistischen Auswertung der Fragebögen startet jeder Fragebogen mit Angaben zum Geschlecht, dem Alter, der ausgeübten Tätigkeit im Untersuchungsgebiet und der durchschnittlichen Dauer dieser Tätigkeit pro Woche.

Es wurden im Vorfeld folgende Wahrnehmungsaspekte gemeinsam mit bremenports definiert, die durch die Mitarbeitenden bewertet werden sollte (Fragen 1–6):

- Farbton/Farbtemperatur
- Wahrnehmung (angenehm/störend)
- Gleichmäßigkeit
- Helligkeit
- Blendung
- Farberkennung
- Formerkennung

Zusätzlich sollte die Einschätzung folgender Aspekte zum Einfluss der Beleuchtung auf den Menschen erfolgen:

- Leistungsfähigkeit
- Ermüdung
- Zufriedenheit

Ergebnisse der Befragung

In der Auseinandersetzung mit dem Thema hat es sich gezeigt, dass es richtig und wichtig ist, die subjektive Wahrnehmung durch die Nutzer zu erfassen und auch ein Feedback zu verschiedenen Beleuchtungssituationen bei den Nutzern abzufragen.

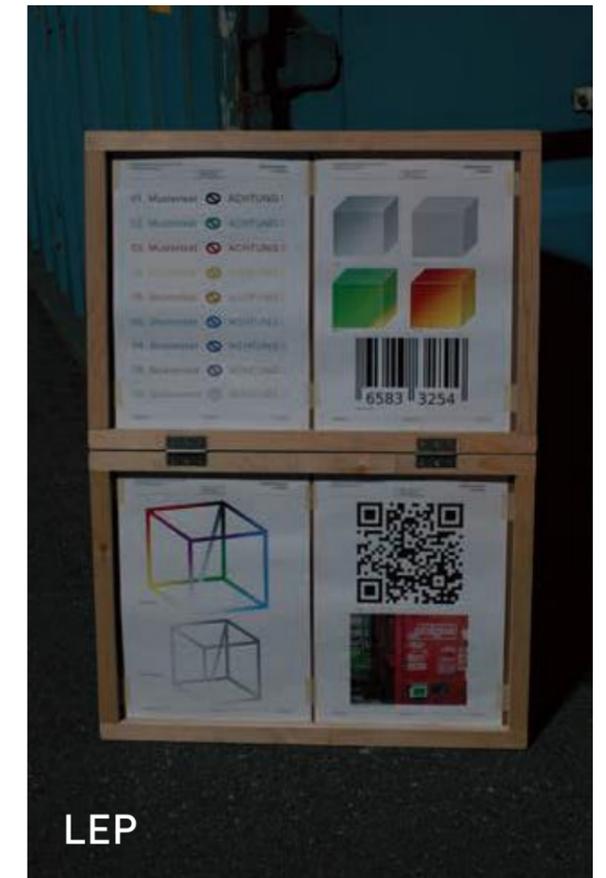
Allerdings hat es an allen Standorten Probleme mit dem Rücklauf aus der zweiten Befragung gegeben, so dass an dieser Stelle lediglich Empfehlungen gegeben werden, die sich aus der Diskussion im Partnerkreis ergeben haben:

Um eine aussagekräftige und auswertbare Befragung inklusive ausreichender Rückläufer gewährleisten zu können, ist eine intensivere Einführung und Vorbereitung der Mitarbeiter/Nutzer und auch eine engere Betreuung bei dem Ausfüllen der Fragebögen an den Standorten erforderlich, um aufkommende Fragen direkt zu klären.

Eine Durchführung einer Informationsveranstaltung im Vorhinein wäre hilfreich. Dabei könnten den Mitarbeitern/Nutzern das Thema und vor allem das Ziel des Projektes bzw. der Befragungen nähergebracht werden.



NAV



LEP

Wahrnehmungsaspekte der
Leuchtmittel NAV, LEP, LED bei Nacht



LED

Insektenstudie

Anlass für die Untersuchung

Künstliches Licht lockt Insekten an und diese können empfindlich in ihrem natürlichen Lebensrhythmus gestört werden. Die Wirkungen unterschiedlicher Lichtquellen auf Insekten waren daher auch bereits Gegenstand einer Vielzahl von Untersuchungen. Diese berücksichtigten auf dem Markt befindliche bzw. installierte Leuchten mit Quecksilberdampf-Hochdrucklampen, Halogen-Metall dampflampen, Natriumdampf-Hochdrucklampen und erste LED-Lampen. Die Ergebnisse der durchgeführten Studien an Straßenbeleuchtungen zeigten, dass der Leuchtmitteltyp großen Einfluss auf die Anziehung nachtaktiver Insekten hat und eine warm-weiße LED-Beleuchtung unter den verglichenen Leuchten die geringsten Anlockwirkungen auf Insekten entfaltet. Für viele nachtaktive Insekten gilt, dass sie besonders von Lichtquellen angezogen werden, die einen hohen UV-Anteil aufweisen, d. h. insbesondere kurzwelliges Licht zwischen 350nm und 500nm übt die größte Anziehung auf Insekten aus.

Das Richtlinienpapier der Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft für Immissionsschutz (LAI) empfiehlt daher Lichtquellen mit für Insekten wirkungsarmem Spektrum zu verbauen.

Für LEP-Beleuchtung war eine vergleichende Einordnung der Insektenfreundlichkeit noch nicht bekannt. Gerade in Häfen, die durch die Lage an Flüssen, Strömen bzw. der offenen See auch bedeutsame Insektenlebensräume in der Nachbarschaft aufweisen, war dieser Aspekt daher frühzeitig zu klären.

LICHT IST MIT WIRKUNGEN AUF DIE TIERWELT VERBUNDEN



Nicht nur der Mensch, sondern auch die Tier- und Pflanzenwelt reagiert auf künstliches Licht. Zu den sensiblen Tierarten zählen u. a. Insekten, Fledermäuse und Vögel, auf die künstlich erzeugtes Licht Irritations-, Anlock- und Kollisionswirkungen entfalten kann.

Die Wahl der Beleuchtung beeinflusst den Grad der Auswirkungen. Mit dem Ziel eine nachhaltige und umweltfreundliche Beleuchtung für Häfen in Einsatz zu bringen, wurde deshalb auch der Faktor Licht in seinen Auswirkungen auf nachtaktive Insekten in der Studie berücksichtigt.

Ziel

Im Rahmen der Studie sollte das Anflugverhalten von Insekten auf eine LEP-Beleuchtung im Vergleich mit einer LED-Beleuchtung untersucht werden, um Aufschluss über die Lichtattraktion der beiden unterschiedlichen Lichtquellen auf die Tiere zu erhalten.

Messung der Insektenanflüge mit Flugfallen

Die Untersuchungen wurden von Peter Pauschert durchgeführt und fanden im Sommerhalbjahr 2017 von Mai bis Ende August auf dem Hafengelände von Niedersachsen Ports in Brake statt. Zwei bestehende Straßenleuchten am Übergang von Hafengelände zur freien Landschaft wurden für den Versuchsaufbau umgerüstet und mit Flugfallen versehen.



Standorte der Masten (📍) im Hafengebiet von Brake (Open Streetmap)

Dieses Untersuchungsgebiet wurde ausgewählt, da die angestrahlten Flächen sich hinsichtlich ihrer Biotop- und Vegetationsstruktur wenig unterscheiden und die Umgebung eine gewisse „Insektenhöflichkeit“ aufweist. So wurden durch die Versuchsanordnung verfälschende Einflüsse vermieden. Ursprünglich war geplant, die Anziehung des Lichtes auf nachtaktive Insekten direkt an den verwendeten Leuchten auf den Test-Strecken zur lichttechnischen Begleituntersuchung zu untersuchen. Da dieses Vorhaben an keinem der Teststandorte aus verschiedenen Gründen (fehlende Nähe zu Biotop- und Vegetationsstruktur, wenig oder keine Insektenhöflichkeit, Konstruktion der Fallen an Hochmasten nicht möglich, LEP- und LED-Leuchtmittel nicht parallel im Einsatz) nicht durchgeführt werden konnte, wurde oben genanntes Gelände mit entsprechender Versuchsanordnung ausgewählt. Installiert wurden die Leuchten

BLP1100 High Mast sowie die Siteco Floodlight 20 maxi LED PL. Beide Leuchtentypen wurden auch auf der Teststrecke auf dem Niedersachsenkai verwendet. Jeder Mast wurde mit jeweils einer LED- und einer LEP-Leuchte bestückt. Es wurde in Kauf genommen, dass die LED-Leuchte erheblich lichtstärker als die verwendete LEP-Leuchte ist.

Die Fangeinrichtung wurde eigens für die Insektenstudie durch Mitarbeiter des Hafens Betriebs Niedersachsen Ports angefertigt und erwies sich im Verlauf der Erhebungen als sehr praktikabel und störungsfrei.

Um ein stabiles Ergebnis für den vergleichenden Test zu erhalten und Schwankungen der Flugaktivität einzubeziehen, wurde der Insektenanflug an insgesamt 16 Nächten und 8 Fangblöcken bei möglichst günstiger Witterung erfasst und bei jedem Erhebungsdurchgang wurden je eine LED- und eine LEP-Leuchte parallel betrieben. Die Fänge wurden in der Regel in Blöcken von zwei aufeinanderfolgenden Tagen durchgeführt. Um dem Erhalt verfälschter Ergebnisse durch mögliche Unterschiede hinsichtlich Habitatstruktur und -qualität im Einzugsbereich der Leuchten entgegenzuwirken, wurden die Standorte „vorn“ und „hinten“ der gegeneinander zu testenden Leuchten im Wechsel getauscht.

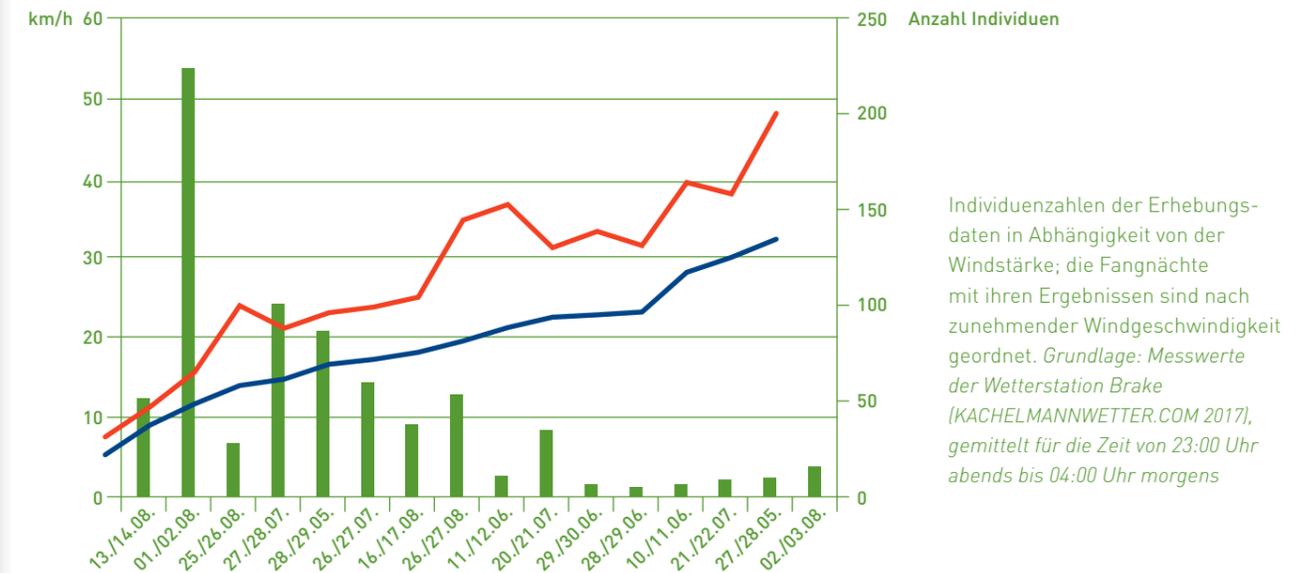
Fangergebnisse

In den Fangeinrichtungen wurden 765 Insekten erfasst, wobei sich das Gros der Individuen auf wenige Erhebungsnächte im Jahr 2017 konzentrierte. Als entscheidender Faktor für die Fangresultate erwies sich neben Temperatur und Stand des Entwicklungszyklus der jeweiligen Art die Windstärke. Die nachstehende Abbildung zeigt die starke Abhängigkeit der Anflugergebnisse von der Windgeschwindigkeit.



Leuchten und Fangeinrichtung
(Foto P. Pauschert)

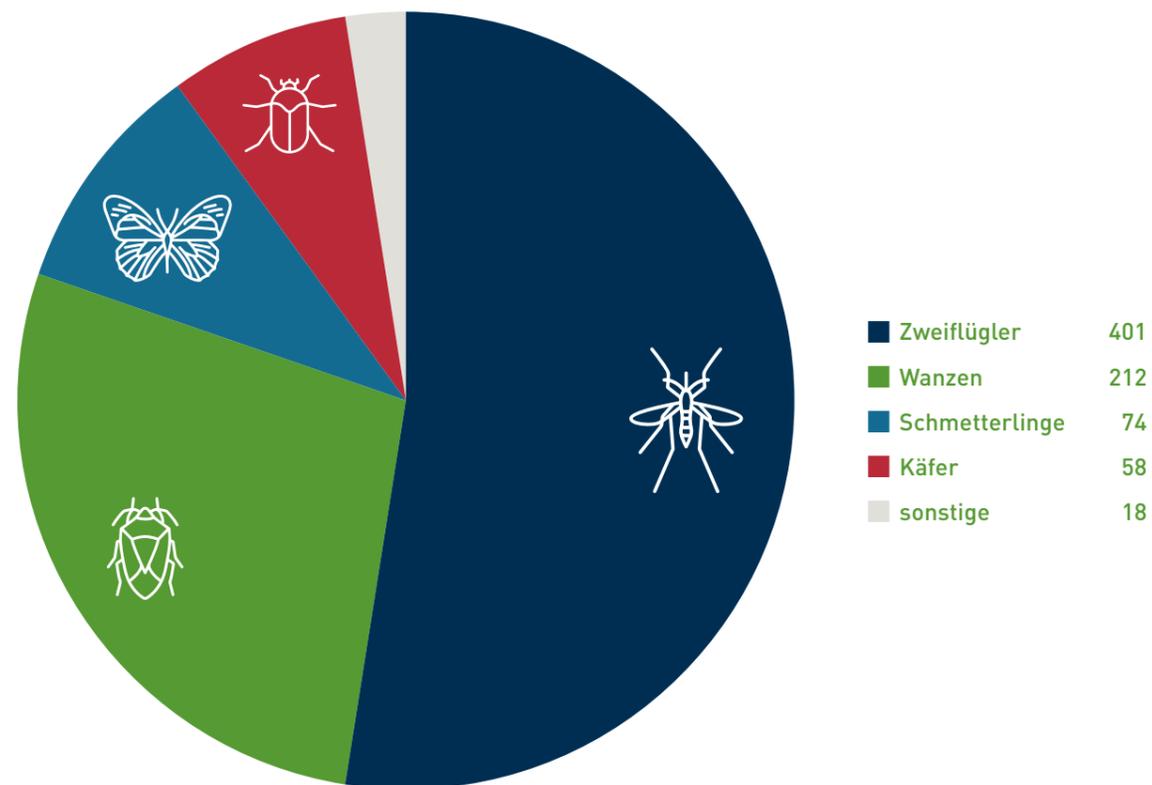
Witterung und Fangergebnisse



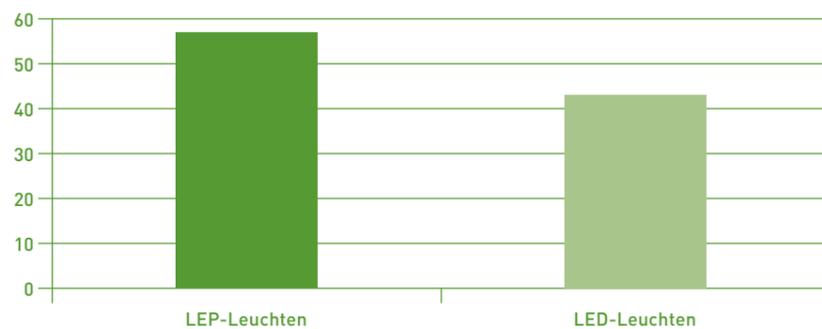
Im Verlauf der 16 Fangnächte wurden 437 Individuen an der LEP-Beleuchtung und 328 Individuen an der LED-Beleuchtung erfasst (s. folgende Abbildung). Die Anlockwirkung der getesteten Lichtquellen ergab ein Verhältnis von 1,3:1. Mehr als die Hälfte der angelockten Individuen zählten zu der Ordnung der Zweiflüglern (vergleiche Tortengrafik). Hier wurde der weit überwiegende Teil durch die Familie/Unterordnung der Mücken mit insgesamt 371 Tieren gestellt. Die zweite große Gruppe bildete die Unterordnung der Wanzen, vorrangig Wasserwanzen. Es folgten die Ordnung der Schmetterlinge mit 74 und die Ordnung der Käfer mit 58 Individuen. Alle übrigen Taxa traten mit weniger als 10 Tieren deutlich zurück.

	Gesamt	LEP	LED	vorn	hinten
Eintagsfliegen (Ephemeroptera)	4	4	0	0	4
Wanzen (Heteroptera)	212	114	98	85	127
Pflanzenläuse (Sternorrhyncha)	2	2	0	2	0
Netzflügler (Plecoptera)	3	0	3	0	3
Käfer (Coleoptera)	58	32	26	28	30
Zweiflügler (Diptera)	401	224	177	180	221
Hautflügler (Hymenoptera)	6	3	3	6	0
Köcherfliegen (Trichoptera)	3	3	0	1	2
Schmetterlinge (Lepidoptera)	74	53	21	31	43
unbestimmt	2	2	0	0	2
Summe:	765	437	328	333	432

Ergebnisse – Gesamtschau



Gesamte Fangresultate im Vergleich



57% aller erfassten Tiere wurden von den LEP`s angelockt, 43% entfielen auf die LED-Leuchte.

Die zahlenmäßigen Unterschiede in den Fängen in Bezug auf die LED- und LEP-Beleuchtung sind zunächst wenig signifikant. Gleichwohl ließ sich ein Unterschied zwischen den Leuchtmitteln in ihrer spezifischen Lichtattraktion auf Insekten feststellen. Aufgrund der Ergebnisse liegt eine gewisse Präferenz von nahezu allen unterschiedenen Insektengruppen bei der LEP-Beleuchtung vor.

Bewertung

Bei Betrachtung der Ergebnisse muss die große Verschiedenheit der Lichtstärken der getesteten Leuchten berücksichtigt werden. So ist die verwendete Siteco-LED-Leuchte um mindestens den Faktor 3 lichtstärker als die dagegen zu prüfende LEP-Leuchte. Es ist anzunehmen, dass die Differenz der Fangergebnisse zwischen LEP- und LED-Leuchte bei gleicher Lichtstärke beider Typen wesentlich eindeutiger zugunsten der LED-Leuchte ausgefallen wäre. In anderen Untersuchungen konnte für Nachtfalter nachgewiesen werden, dass bei Abnahme der Beleuchtungsstärke nicht nur die Gesamtzahl der Anflüge drastisch abnahm, sondern sich auch die Zahl der gefangenen Arten verringerte.

Das Resultat fügt sich in bestehende Untersuchungsergebnisse insofern ein, als dass die verwendete LEP-Leuchte Anteile kurzwelligem Spektralbereich mit kleiner als 380 nm aufweist, während die LED-Leuchtmittel keine Strahlungen in diesem Spektrum und weniger Streulicht aufweisen.

Es ist somit anzunehmen, dass die Differenz der Fangergebnisse zwischen LEP- und LED-Leuchte bei gleicher Beleuchtungsstärke – in Hinsicht auf eine mindere Fangquote – noch eindeutiger zugunsten der LED-Leuchte ausgefallen wäre.

Empfehlungen

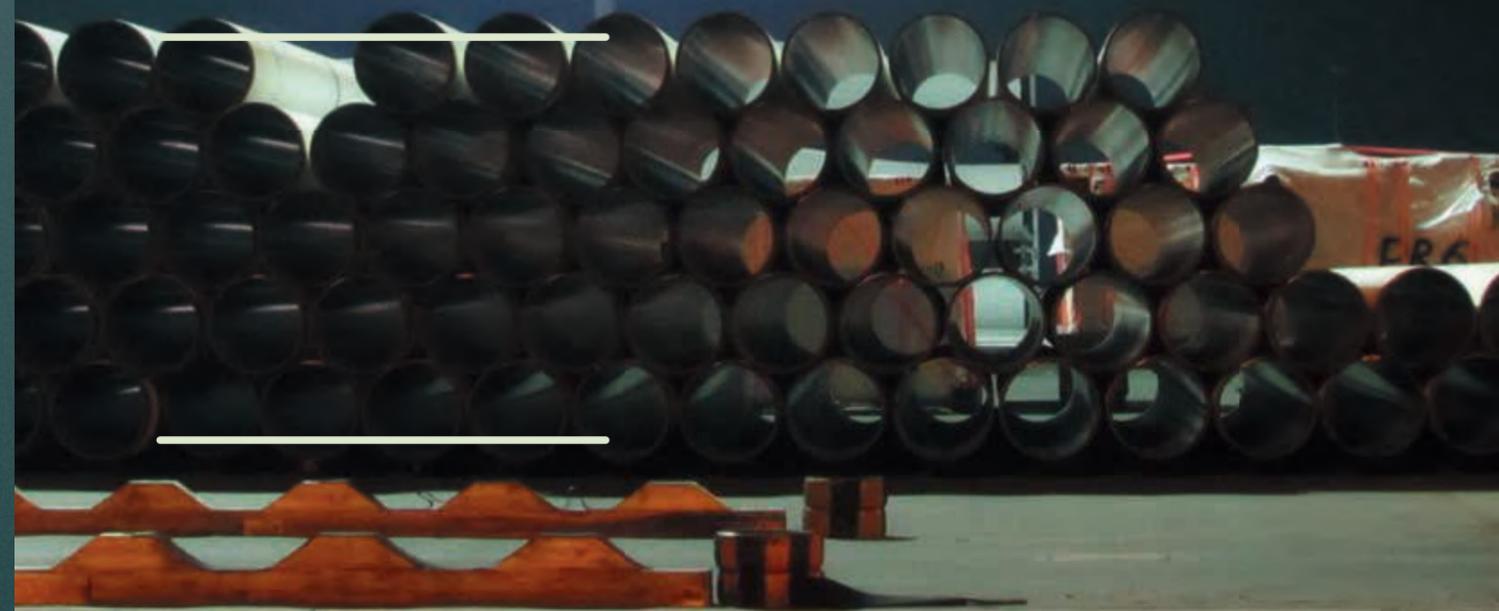
Aufgrund der Ergebnisse dieser Studie und mit Blick auf den Schutz nachtaktiver Insekten lassen sich die folgenden Empfehlungen ableiten:

- bei Neuanlagen sind LED-Leuchten gegenüber anderen Leuchten zu bevorzugen,
- bei der Installation sind warm-weiße LED-Leuchten vorteilhafter, da diese gegenüber dem Einsatz von kalt-weißen Leuchtmitteln eine reduzierte Lichtemission im kurzwelligem Spektralbereich aufweisen,
- bei den Beleuchtungskörpern sollte auf eine optimierte Strahlengeometrie geachtet werden, um ein Abstrahlen bzw. unnötige Streuverluste in angrenzende Landschaftsbereiche zu vermeiden,
- die Lichtstärke sollte auf das erforderliche Maß – unter Berücksichtigung zu gewährleistender Sicherheitsanforderungen im Hafenbereich – beschränkt werden.

Bei „insektenhöflichen“ Hafenbereichen empfiehlt der Gutachter die Einführung eines Beleuchtungsmanagements. Viele Insektenarten konzentrieren ihre Vermehrungs- und Verbreitungsaktivitäten auf warme, windstille Nächte. Für bestimmte Gruppen (z. B. Wasserwanzen), die nur an wenigen Tagen im Sommer schwärmen, können Lichtquellen mit starker Anlockwirkung mit erheblichen Wirkungen auf die Gesamtpopulation verbunden sein. Über ein intelligentes Lichtmanagementsystem könnte über eine Steuerung der Leuchten zu problematischen Zeitpunkten eine Reduzierung von Beeinträchtigungen möglich sein.

„NORDWESTHÄFEN – EFFIZIENT UND INNOVATIV“ – UNTER DIESEM SCHLAGWORT HABEN SICH HAFENBETREIBER UND HAFENNUTZER VERNETZT. ZIEL IST ES, DURCH STÄRKEREN ERFAHRUNGSAUSTAUSCH UND GEGENSEITIGE INFORMATION LÖSUNGEN RUND UM DIE THEMEN ENERGIE, EFFIZIENZ UND NACHHALTIGKEIT ZU ERREICHEN.

ENERGIE- EFFIZIENZ- NETZWERK



4

Energie-Effizienz-Netzwerk

Einführung

Ein weiteres Ziel des Kooperationsprojekts war die Vernetzung von Hafenbetreibern und Hafennutzern unter dem Schlagwort „**Nordwesthäfen – effizient und innovativ!**“. Ziel des Netzwerkes war der stärkere fachliche Erfahrungsaustausch und die gegenseitige Information zu Problemen und Lösungen rund um die Themen Energie, Effizienz und Nachhaltigkeit im Hafen. Die Ergebnisse sollten die Netzwerkpartner in ihren eigenen Unternehmen unterstützen. Die einzelnen Netzwerktreffen zeichneten sich durch unterschiedliche Formate aus, von der Mini-Messe über Vorträge von Referenten/Experten aus Wissenschaft und Wirtschaft bis zur Podiumsdiskussion. Während und auch am Ende jeder Veranstaltung gab es ausreichend Möglichkeit, die vorgestellten Projekte und Inhalte zu diskutieren und die eigenen „Netzwerke“ auszubauen.

Ziele der Netzwerktreffen

Vernetzung von Akteuren aus der Hafenwirtschaft in der Metropolregion Nordwest:

- Hafenbetreiber
- Hafennutzer
- Energieversorgungsunternehmen
- Wissenschaft
- Dienstleistungsunternehmen
- Anbieter von Produkten

Austausch von Informationen und Erfahrungen zu Problemen und Lösungen rund um das Thema Energie, Effizienz und Nachhaltigkeit.

Netzwerktreffen

Im Rahmen des Projekts wurden vier Netzwerktreffen mit unterschiedlichen Themenschwerpunkten durchgeführt :

Nachhaltige Beleuchtungstechnologien (1. Netzwerktreffen)

Thema des ersten Treffens waren Beleuchtungskonzepte und -technologien für Hafenbetreiber und Hafennutzer. Dazu wurden die thematisch Verantwortlichen aus den verschiedenen Hafenstandorten der Metropolregion am 14. Dezember 2016 nach Bremerhaven eingeladen. Auf dem Netzwerktreffen mit 32 Teilnehmern wurden vier Firmen die Möglichkeit gegeben ihre Produkte bzw. Dienstleistungen zu präsentieren. Diese Unternehmen bieten energieeffiziente Lösungen mit LED- und LEP-Leuchtmitteln von der Lichtplanung über das Angebot von Leuchtmitteln bis zum Lichtcontracting an; sowohl im Außen- als auch im Innenbereich. Weiterhin hat Jörg Dittmer von der e2- Ingenieursgesellschaft den damals aktuellen Flächenbeleuchtungstest mit LED-Leuchtmitteln an einem Hochmast bei Eurogate in einem Vortrag präsentiert. Auch das Thema „Loss of the night“-Lichtverschmutzung wurde durch Dr. Andreas Hänel vorgestellt.

Inhaltlich wurde deutlich, dass das Thema effiziente Beleuchtung deutlich komplexer ist, als allgemein erwartet. Effizienz und Nachhaltigkeit beim Einsatz von Leuchtmitteln ist mehr als nur Lichtausbeute in Relation zum Energieverbrauch. Neben der Energieeffizienz spielen auch die optische Effizienz, die Nutzungseffizienz und die Qualitätseffizienz eine Rolle.

Der Flächenbeleuchtungstest an Hochmasten bei Eurogate zeigte in ersten Ergebnissen, dass bei der Anwendung von „neuen“ LED-Leuchten auch neue Herausforderungen, z.B. beim Schattenwurf als unerwartetes Sicherheitsrisiko, zu bewältigen sind.

Blick auf den Bremerhavener Containerterminal, der teilweise bereits mit LED beleuchtet wird.



Energiemanagement in den Häfen (2. Netzwerktreffen)

Themen des zweiten Treffens mit 23 Teilnehmern am 31. Mai 2017 bei bremenports in Bremerhaven waren Energiemanagement, Energieaudits und Mitarbeitersensibilisierung. Zu diesem Zeitpunkt hatten die Partner im Projekt als auch der JadeWeserPort bereits erste Erfahrungen bei der Umsetzung eines Energiemanagements bzw. Energieaudits gemacht. Daher wurde die Möglichkeit zu einem Austausch zu diesem frühen Zeitpunkt sehr begrüßt und es wurden die eigenen Projekte zum Energiemanagement bzw. Energieaudit mit deren Problemen und Schwierigkeiten vorgestellt und diskutiert.

Als wichtigster Faktor bei der Umsetzung energieeffizienter und klimafreundlicher Maßnahmen wurden jedoch die Mitarbeiter eines Unternehmens identifiziert. Inhaltlicher Erfolg setzt fachkundige und engagierte Mitarbeiter voraus. Es gilt daher Wissen über klimafreundliches Verhalten im Arbeitsalltag zu vermitteln und Mitarbeiter zu sensibilisieren, um Kontinuität zu erreichen. So kann eine deutliche Steigerung der Energieeffizienz und die damit verbundene CO₂-Einsparung durch Mitarbeiterbindung und Sensibilisierung erreicht werden. Zum Einstieg in das Thema referierte Prof. Dr. Daniel Fischer von der Leuphana Universität zum Thema „Für Nachhaltigkeit werben: Praktische Beispiele und Inspirationen“. Im Anschluss daran wurde ein Workshop zu diesem Thema durchgeführt. Dazu gab es verschiedene Thementische, an denen zu verschiedenen Fragestellungen Lösungsvorschläge und Ideen erarbeitet werden konnten. Das Ziel des Workshops nach der World-Cafe-Methode war voneinander zu lernen.

Bei diesem Netzwerktreffen hat sich wieder gezeigt, wie wichtig der Austausch zwischen den Partnern, der Wirtschaft und der Wissenschaft zu Themen der Energieeffizienz ist. Es wurden die Unterschiede bei der Umsetzung des Energiemanagements als auch den Energieaudits bei den Partnern deutlich. So hat der JadeWeserPort ein „Port Energy Consumption Management Tool“ zur Datenerfassung entwickelt, da Excel für eine geordnete und revisionssichere Bearbeitung nicht geeignet ist. Für die BLG lag dagegen die Herausforderung bei der Erfassung von rund 60 Standorten in Deutschland. Hier besteht ein großer benötigter Zeitbedarf bei der Datenerfassung, es muss Wissen an die Mitarbeiter vermittelt werden und es muss ein Controlling durch eine übergreifende Datenbank stattfinden. Auch bei bremenports gibt es Besonderheiten durch die Berücksichtigung aller Anlagen der bremenports mit den Sondervermögen. Spannend für alle Partner ist die Bildung von sinnvollen und aussagekräftigen Kennzahlen, bei bremenports sind es hafenspezifische Kennzahlen beispielsweise für die Baggerschuten und Schleusen. Diese Energieleistungskennzahlen sind ein zentrales Steuerungselement im Energiemanagement.

INFO

Es hat sich gezeigt, dass neben dem Bewusstsein und Wissen um die Notwendigkeit von Energieeffizienz außer bei bremenports, wo bereits auf freiwilliger Basis am Energiemanagement gearbeitet wurde, für alle anderen Unternehmen die gesetzlichen Vorgaben ausschlaggebend waren, ein Energiemanagement oder Energieaudit einzuführen. Weiterhin benötigt eine gut funktionierende Umsetzung im Unternehmen immer die Unterstützung der Geschäftsführung und des Top-Managements. Da die Umsetzung natürlich in jedem Fall am Standort stattfindet, muss letztendlich eine Einbindung der Datenerfassung in die Routine der Mitarbeiter eingebunden werden. So sind die Mitarbeiter und deren Motivation eine wichtige Schlüsselgröße im Energiemanagement.

Digitalisierung in der Hafenwirtschaft – Intelligente und effiziente Häfen der Zukunft (3. Netzwerktreffen)

Die Digitalisierung durchdringt alle Wirtschaftsbereiche und ist somit auch in der Hafenwirtschaft ein zentrales Thema. Für einen modernen Hafen ist der Fortschritt in der Automatisierung von Prozessen und Arbeitsabläufen immanent, um im globalisierten maritimen Sektor auch in Zukunft zu bestehen. Digitalisierung birgt zudem große Potenziale für die Energieeffizienz in der maritimen Wirtschaft. Das 3. Netzwerktreffen wurde deshalb unter dem oben genannten Thema am 22. November 2017 in Brake mit rund 80 Teilnehmern durchgeführt.

Im Rahmen der Veranstaltung wurden aktuelle Projekte aus dem maritimen Bereich vorgestellt. Neun Vorträge spannten einen Bogen über die Möglichkeiten der Effizienz- und Qualitätssteigerung von logistischen Prozessen, der Vernetzung zum Informations- und Datenaustausch, der intelligenten Energienutzung, der Cybersicherheit und einer nachhaltig digitalen Unternehmensausrichtung. Zudem wurde ein Überblick über Fördermöglichkeiten für Innovationsprojekte gegeben.

Die Themen der Veranstaltung fanden unter den Teilnehmern reges Interesse, welches sich in der hohen Teilnehmerzahl widerspiegelte. Die informativen und aktuellen Praxis- und Forschungsbeispiele vermittelten einen unmittelbaren und eindringlichen Eindruck zu Themen der zukünftigen Hafenentwicklung und bildeten gleichzeitig ab, dass Gesellschaft und Wirtschaft bereits im digitalen Fortschritt verankert sind. Dies ist auch nötig, um im internationalen Wettbewerb bestehen zu können. Die Vorstellung innovativer Projekte und Forschungen bot hierfür die geeignete Gelegenheit für einen Wissenstransfer, um die Häfen der Nordwestregion nachhaltig mit einander zu vernetzen und gemeinsam für die zukünftige Entwicklung aufzustellen.

Drittes Netzwerktreffen im November
2017 in Brake.



Integration erneuerbarer Energien in Häfen (4. Netzwerktreffen)

Auf dem Weg zum klimaneutralen Hafen spielt auch das Thema der „Energienachhaltigkeit“ eine wichtige Rolle. Die Integration erneuerbarer Energien in den Häfen bietet eine entscheidende Voraussetzung, um CO₂-Emissionen zu verringern und damit dem Klimawandel entgegenzuwirken. So wurden auf dem 4. Netzwerktreffen am 29. Mai 2018 in Bremerhaven aktuelle Projekte zum Veranstaltungsthema vor 30 Teilnehmern vorgestellt und diskutiert.

Neben einem Überblick zur Energiewende im Hafen und den damit verbundenen Anforderungen an die Netzsicherheit, den Aufbau eines Quartiernetzes und den Möglichkeiten der Sektorenkopplung wurden praktische Herausforderungen bei der Nutzung regenerativer Energien im Hafenbereich angesprochen. Weiterhin wurde das Forschungsprojekt „SuStEnergyPort“ ebenso wie Technologien und Dienstleistungen zur Sektorenkopplung vorgestellt.

Auch das 4. Netzwerktreffen wurde von den Teilnehmenden als Informations- und Austauschplattform wieder gut angenommen. Die Praxis- und Forschungsbeispiele vermittelten einen aktuellen Überblick dieser Themen in der Hafenwirtschaft. Deutlich wurde, dass die Nutzung erneuerbarer Energien in der Hafenwirtschaft neben Kosteneinsparpotenzialen einen wichtigen Beitrag zur Reduktion der CO₂-Emissionen liefern kann, dabei ist ein wesentlicher Bestandteil dieser Integration die Kopplung unterschiedlicher Sektoren (z.B. Energie, Mobilität und Wärme/Kälte) innerhalb der Häfen. Mit der Entwicklung von Lösungen und Tools für den Hafensektor soll hier die Energiewende mit vorangetrieben werden. Für den optimierten Einsatz von erneuerbaren Energien in den unterschiedlichen Hafenbereichen gilt es zunächst, die Energieverbräuche im Hafen oder in Umschlagsbetrieben zu erfassen und darauf aufbauend potenzielle Maßnahmen zur Verbesserung der Energieeffizienz und zur Nutzung erneuerbarer Energien zu identifizieren und energetisch zu bewerten.



NORDWESTHÄFEN effizient und innovativ!

Ausblick Netzwerktreffen

Niedersachsen Ports und bremenports wollen die Netzwerktreffen aufgrund der gemachten guten Erfahrungen unter dem Label „Nordwesthäfen – effizient und innovativ!“ fortführen. Die positive Resonanz und das große Interesse an den Veranstaltungen sind hierfür ausschlaggebend. Die Treffen sollen zunächst zweimal im Jahr stattfinden und werden alternierend von Niedersachsen Ports und bremenports ausgerichtet.

Weitere angedachte Themenstellungen sind Intelligente Beleuchtungssteuerungen, Technologien zur Digitalisierung der Häfen, Landstromversorgung, Elektromobilität, Grüner Wasserstoff, Mobilität und Brennstoffzellentechnologie, alternative Kraftstoffe und autarke Inselnetze mit Energieversorgung und Speichertechnologien.



— DIE BELEUCHTUNGSSITUATION HAT SICH AN ALLEN STANDORTEN VERBESSERT. ES KÖNNEN ENERGIEEINSPARUNGEN BEI GUTER LICHTQUALITÄT ERZIELT WERDEN.

ZUSAMMEN- FASSUNG



5

ZUSAMMENFASSUNG

Pilotstudie

Grundsätzlich hat sich die Beleuchtungssituation an allen Standorten deutlich verbessert.

Die Ergebnisse zeigen, dass mit beiden Technologien, sowohl bei der LED- als auch der bei der LEP-Beleuchtungstechnologie, Energieeinsparungen bei guter Lichtqualität erreicht werden können. Bei dem Vergleich der beiden Leuchtmittel hinsichtlich Lichtqualität, Lichtausbeute und Energieeffizienz ist allerdings deutlich zu erkennen, dass die LED-Technologie in den letzten Jahren im Gegensatz zur LEP-Technologie eine rasante Entwicklung durchgemacht hat. Die lichttechnischen Untersuchungen zeigen, dass die LED-Leuchten an allen Standorten deutlich energieeffizienter sind als die LEP- und auch NAV-Leuchten. Insgesamt ist nach den Lichtmessungen festzuhalten, dass sich die LED-Leuchten aufgrund ihrer lichttechnischen Werte (Beleuchtungsstärke, Gleichmäßigkeit und Blendung), der Zuverlässigkeit (Ausfallquote) und der Wahrnehmung der Mitarbeitenden als am effektivsten herausgestellt haben.

Um diese Entwicklung ebenfalls zu durchlaufen und um das Potenzial der LEP-Technologie nutzen zu können, müssten Entwicklungsgelder in die LEP-Technologie fließen. Dies ist zum Zeitpunkt des Projektabschlusses seitens der Leuchtenindustrie nicht absehbar.

Langfristig wird bremenports eigene Beleuchtungsanlagen in den Häfen sukzessive auf LED-Beleuchtung umrüsten. Zusätzlich versprechen eine professionell ausgeführte Beleuchtungsberechnung zusammen mit einer intelligenten Beleuchtungssteuerung auf den Anlagen Einsparungen im Energieverbrauch, weniger Lichtverschmutzung und eine gute Lichtqualität bei Einhaltung der Anforderungen in den jeweiligen Arbeitsbereichen. Die in der Pilotstudie eingesetzten LEP-Leuchten werden aufgrund der hohen (nicht aufklärbaren) Ausfallrate nicht weiter eingesetzt. Der subjektive Eindruck und die Lichtqualität von LEP-Leuchten wurden jedoch als positiv bewertet, so dass den LEP-Leuchten ein Entwicklungspotenzial zubilligt wird.

„Im Großen und Ganzen haben wir von den Personen, die im Bereich der Teststrecke arbeiten, ein positives Feedback zu beiden neuen Beleuchtungsprodukten bekommen. Deutlich wurde aber, dass die große Mehrheit der Beschäftigten die LED-Beleuchtung als etwas „angenehmer“ empfinden und diese für die zukünftige Umrüstung des Niedersachsenkais bevorzugen würde. Auch die lichttechnischen Messungen haben gezeigt, dass die LED-Leuchten deutlich energieeffizienter sind und mit weniger Leistungsverlusten einhergehen. Hervorzuheben ist zudem die geringe Störanfälligkeit der LED-Technologie.“ Bei Niedersachsen Ports werden die für den Testaufbau angeschafften LEP-Leuchten zukünftig voraussichtlich als Kajen-Beleuchtung am Südpier zum Einsatz kommen und dort in circa 16 Meter Höhe montiert werden.

Niedersachsen
Ports

Der Standort Neustädter Hafen der BLG ist sehr zufrieden mit der gewählten LED-Leuchte und es sind weitere schrittweise Umrüstungen auf LED im Innen- und Außenbereich auch an anderen Standorten geplant.

BLG LOGISTICS

Weiterhin zeigen die Ergebnisse, dass die Lichtverteilungskurven von empfohlenen Leuchten verschiedener Hersteller sich mitunter deutlich unterscheiden, so dass erst eine Lichtberechnung aufzeigen kann, welche der Leuchten den gewünschten Bereich vernünftig und den Anforderungen entsprechend ausleuchtet. Die Vorteile einer professionellen Lichtplanung bei Neubauten liegen auf der Hand: Leuchtmittel, Abstand der Masten bzw. der Lichtpunkte und das Lichtmanagement können aufeinander abgestimmt werden.

Die Einführung einer energieeffizienten und nachhaltigen Beleuchtung ist eine komplexe Aufgabe, die viel Fachwissen erfordert. Für die Auswahl geeigneter Produkte sind die Klärung der Anforderungen, Lichtberechnungen und -planungen unumgänglich und für deren Einsatz ein geeignetes Lichtmanagement sinnvoll.

bremenports
:



Mitarbeiterbefragung

Grundsätzlich ist eine gute Beleuchtung in allen Arbeitsbereichen des Hafens von großem Interesse bei allen Beteiligten. Dabei ist das subjektive Empfinden der Kollegen in dem jeweiligen Arbeitsbereich eine ausschlaggebende Größe. Bei einer guten Lichtplanung sollte die Wahrnehmung und die Lichtqualität berücksichtigt werden.

Insektenstudie

Wie wissenschaftliche Studien zeigen, sind die Randbedingungen und Anforderungen für die Erstellung einer aussagefähigen Studie in Bezug auf die Anlockwirkung verschiedener Leuchtmittel auf Insekten sehr komplex.

Dennoch konnten die Ergebnisse aus anderen Studien für LED-Leuchten auch in diesem Projekt bestätigt werden, weiterhin wurden LEP-Leuchten hierzu in Vergleich gesetzt. Bei LED-Leuchten wird der Einsatz von warm-weißen Spektren in Kombination mit einer optimierten Strahlengeometrie und einer größtmöglichen Reduktion der Lichtstärke empfohlen.

Niedersachsen
Ports

„Die Ergänzung der Vergleichsstudie um eine Insektenstudie war für uns sehr interessant, um anzuschaffende Produkte auch bezüglich der Insektenverträglichkeit zu betrachten. Dies war bis dahin – mangels Wissens – noch nicht Bestandteil der Auswahlkriterien für Beleuchtung. Zukünftig wird aber auch dieser Faktor stärker berücksichtigt.“



Energie-Effizienz-Netzwerk und Partnertreffen

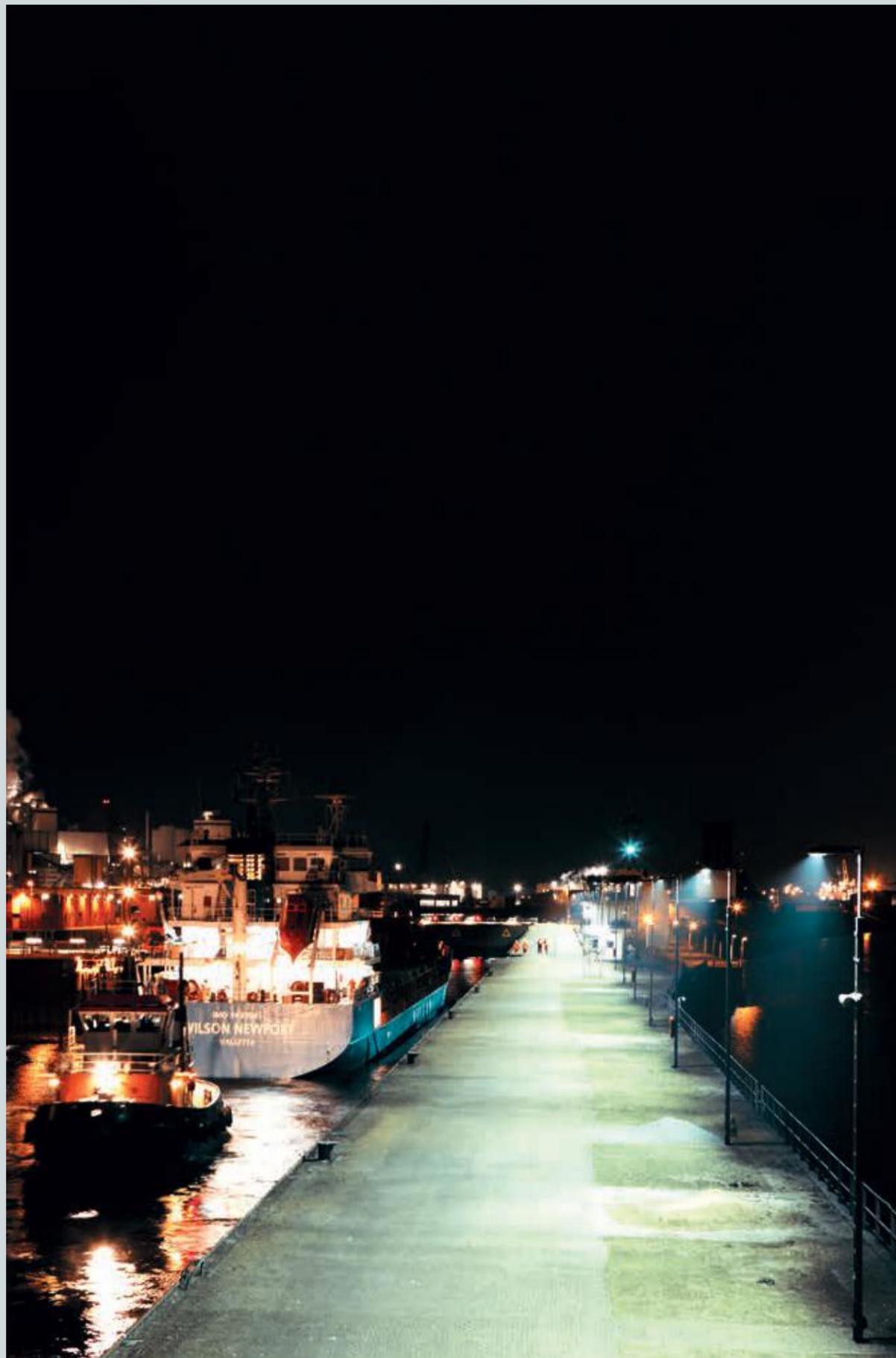
Wir freuen uns, die gute Zusammenarbeit mit Niedersachsen Ports fortzusetzen und wollen dem geäußerten Interesse nachkommen und das Energie-Effizienz-Netzwerk unter dem Label „Nordwesthäfen – effizient und innovativ!“ gemeinsam fortführen.

bremenports

„Der Informations- und Wissensaustausch bei den Partner- und Netzwerktreffen, war für alle Teilnehmer wichtig, um die allgemeine Wissensbasis in Bezug auf Beleuchtung zu verbessern, Erfahrungen auszutauschen und Verbesserungsanregungen rund um Energieeffizienz zu bekommen. Dies ermöglichte uns im Hafen Brake zum Beispiel im Bereich des Energiemanagements und der Beleuchtungssteuerung innovativere Überlegungen und Lösungskonzepte anzugehen.“

Niedersachsen
Ports

Auch die BLG hat von der guten und konstruktiven Zusammenarbeit profitiert. Insbesondere die Vorträge und Präsentationen zu den Beleuchtungsberechnungen und den Auswertungen der gemessenen Parameter haben für die BLG deutlich gemacht, wie wichtig eine gute Beleuchtungsplanung ist. Darüber hinaus wurde Fachwissen im Bereich Beleuchtung auch durch die Insektenstudie, die Vorträge über die Auswirkung von Licht auf den Menschen, dem Besuch des Lichtlabors und den Vorträgen auf den Netzwerktreffen erlangt.



bremenports
:

Niedersachsen
Ports

BLG LOGISTICS

EMPFEHLUNGEN

Aufgrund der durchgeführten Studien und den Erkenntnissen aus Partner- und Netzwerktreffen können folgende Empfehlungen gegeben werden:

- Bei neuen Beleuchtungsanlagen, als auch bei Umrüstung von Bestandanlagen in kritischen Bereichen sollte eine professionelle Lichtplanung durchgeführt werden.
- Bei Neuanlagen sind LED-Leuchten aufgrund aktueller Vorteile gegenüber anderen Leuchten zu bevorzugen, wobei warm-weiße LED aufgrund geringerer Lichtemissionen im kurzwelligen Bereich insektenfreundlicher sind.
- Bei den Beleuchtungskörpern sollte auf eine optimierte Strahlengeometrie geachtet werden, um ein Abstrahlen bzw. unnötige Streuverluste in angrenzende Landschaftsbereiche zu vermeiden.
- Die Lichtstärke sollte auf das erforderliche Maß – unter Berücksichtigung zu gewährleistender Sicherheitsanforderungen im Hafbereich – beschränkt werden.
- Um die Arbeitsbedingungen für die im Hafen tätigen Nutzer nicht zu verschlechtern, sollten Erkenntnisse zu Wahrnehmungsaspekten und Akzeptanzfragen berücksichtigt werden.
- Die geltende DIN-Norm sollte überprüft und angepasst werden, um die Möglichkeiten des LED-Einsatzes unter Berücksichtigung der Lichtqualität zu optimieren.

Der LEP-Technologie wäre aufgrund der guten Lichtqualität eine Weiterentwicklung zu wünschen, dafür ist jedoch eine wirtschaftliche Perspektive nötig, wie sie sich unter Umständen im Pflanzenbau (Gewächshausbeleuchtung) bietet.

QR-Code

FILM

Unter dem Label „**Nordwesthäfen – effizient und innovativ!**“ ist ein Kurzfilm erstellt worden, der das Projekt und die Pilotstudie in Grundzügen vorstellt. Die Dreharbeiten wurden von Kursnet-Media (Geestland/Langen) durchgeführt und erfolgten in Kooperation mit den Partnern bremenports, Niedersachsen Ports und der BLG.

Es wurden Aufnahmen per Drohne und mittels Kamera an den Standorten Containerterminal Bremerhaven, im Neustädter Hafen, an der Oslebshauser Schleuse und am Niedersachsenkai in Brake als Tages- und teils Nachtaufnahmen vorgenommen. Gleichfalls konnte das 4. Netzwerktreffen am 23.05.2018 mit einbezogen werden.



**HERSTELLERANGABEN
DER INSTALLIERTEN LEUCHTEN**

Messung	I (Altanlage)	II (Neuanlage)	III	IV
Messdatum	/	26.01.2017	13.09.2017	07.05.2018
Zolltor Imsumer Deich	/	1 x SITECO Streetlight 10 LED → Straßenleuchte asymmetrisch strahlend → Elektrische Leistungsaufnahme 70 Watt → Leuchten-Lichtstrom circa 7.480 Lumen; 107 lm/W → Unverzögert schaltbar, optional dimmbar → Lichtfarbe 4.000 oder 5.000 K → Farbwiedergabe Ra >= 70 → Lebensdauer 100.000 h (L85/B10)	1 x Bright Light BLP250 Roadway W/ STA25-03 LEP → Straßenleuchte asymmetrisch strahlend → Elektrische Leistungsaufnahme 160 Watt → Leuchten-Lichtstrom 9.932 Lumen; 62 lm/W → Schaltverzögerung circa 90 sec., optional dimmbar → Lichtfarbe 5.700 K → Farbwiedergabe Ra >= 75 → Lebensdauer 50.000 h (L70/B50)	1 x GLAMOX OS 52 LED → LED-Straßenleuchte, asymmetrisch strahlend → Elektrische Leistungsaufnahme 78 Watt → Leuchten-Lichtstrom circa 9.300; 119 lm/W → Unverzögert schaltbar, optional dimmbar → Lichtfarbe 4.000 K → Farbwiedergabe Ra >= 70 → Lebensdauer 80.000 h (L70/B50)
Messdatum	09.11.2016	09.03.2017	25.01.2018	24.05.2018
Neustädter Hafen	20 x Philips SNF 111 o.g. NAV → Asymmetrischer Scheinwerfer → Natriumdampf-Hochdrucklampe(n) hier 1x1000 W → Gute Lichtausbeute → Geringe Blendung → Schlechte Farbwiedergabe (Ra <= 25 !) → Schlecht schaltbar, nicht dimmbar → Wartungsaufwändig	16 x GLOVIS APACK F400T ASM LED → Asymmetrischer Scheinwerfer → LED 400 W → Sehr gute Lichtausbeute → Geringe Blendung → Gute Farbwiedergabe (Ra >= 70) → Sehr gut schaltbar, optional dimmbar → Wartungsarm	Wie Messung II	Wie Messung II
Messdatum	08.12.2016	23.03.2017	30.01.2018	16.07.2018
Ostlebshauser Schleuse*	21 x keine Bezeichnung NAV → Kofferleuchte, asymmetrisch → Natriumdampf-Hochdrucklampe 150 W → Gute Lichtausbeute → Geringe Blendung → Schlechte Farbwiedergabe (Ra <= 25 !) → Schlecht schaltbar → Wartungsaufwändig	21 x Bright Light BLP250 LEP Roadway W/STA25-03 LEP → Asymmetrische Straßenleuchte → Light Emitting Plasma™ LEP 160 W → Gute Farbwiedergabe (Ra = 75) → Gut schaltbar (60 sec), optional dimmbar 100-20% → Wartungsarm	Wie Messung II	21 x Philips BGP623 LED-4S/740 PSR DM12 CLO LED → Asymmetrische LED-Straßenleuchte → Leistung 106, 90, 45 Watt, Constant Light Output (CLO) → Gute Farbwiedergabe (Ra = 70) → Unverzögert schaltbar LED → Zwei Leistungsstufen ansteuerbar (50%/100%) → Wartungsarm
Messdatum	02.02.2017	28.03.2017	13.02.2018	15.08.2018
Niedersachsenkai	M12/M13/M14 mit jeweils 10 x SILL Planstrahler 2000 NAV → Asymmetrischer Scheinwerfer → Natriumdampf-Hochdrucklampen 2x600 W (mit VG > 1.367 W) → Gute Lichtausbeute → Geringe Blendung → Schlechte Farbwiedergabe (Ra <= 25 !) → Schlecht schaltbar, nicht dimmbar → Wartungsaufwändig	M14: Neuinstallation, analog Altanlage NAV M13: 18 x Bright Light BLP1100 High Mast LEP → Asymmetrischer Scheinwerfer → 2 High-Power LEP, zusammen 540/554 W → Gute Lichtausbeute → Geringe Blendung → Gute Farbwiedergabe (Ra >= 75) → Gut schaltbar (60 sec) optional dimmbar 100-20 % → Wartungsarm M12: 12 x Siteco Floodlight 20 Maxi PL 43 LED → Asymmetrischer Scheinwerfer → Elektrische Leistungsaufnahme 903 W, mit VG 954 W → Sehr gute Lichtausbeute → Geringe Blendung → Gute Farbwiedergabe (Ra >= 70) → Sehr gut schaltbar, optional dimmbar → Wartungsarm	Wie Messung II	Wie Messung II

**Herausgeber**

bremenports GmbH & Co. KG
Bereich Umwelt und Nachhaltigkeit
Am Strom 2
27568 Bremerhaven

Auftraggeber

Senator für Wirtschaft, Arbeit und Häfen
Referat 32
Zweite Schlachtpforte 3
28915 Bremen

Projektleitung

Katja Pape, bremenports

Texte

Katja Pape, bremenports
Birte Kittelmann-Grüttner, bremenports
Uwe von Barga, bremenports
Matthäus Wuczkowski, Niedersachsen Ports
Linda Rehnen, BLG

Bilder

wurden bereitgestellt von Dr. Andreas Hänel,
Birte Kittelmann-Grüttner, Kursnet Media,
Glamox GmbH, Frank Neßlage, Katja Pape,
Peter Pauschert und der Metropolregion
Nordwest. Weiterhin wurden Bilder aus
dem Archiv bremenports und Niedersachsen
Ports verwendet.

Gestaltung

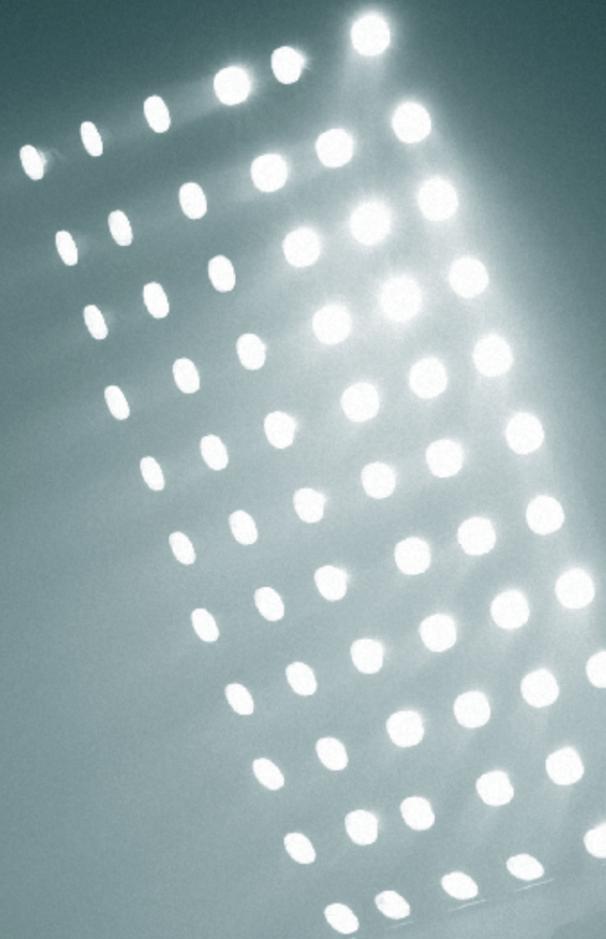
GuS Kommunikation GmbH

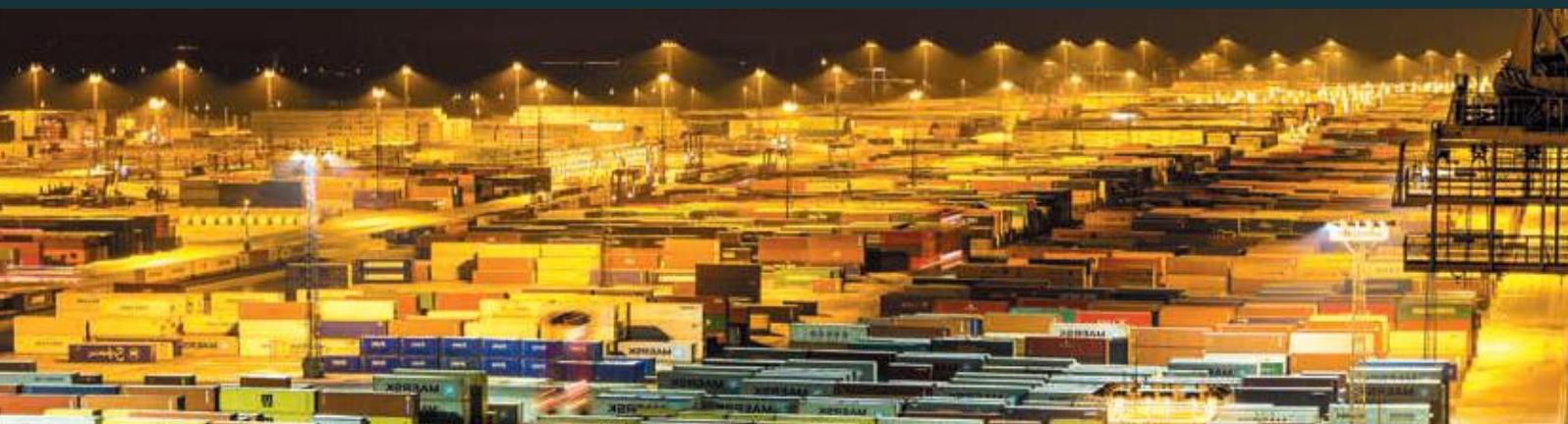
Druck

Goihl Druck GmbH, Bremen

Papier

*Im Interesse der Leserfreundlichkeit
verzichten wir im Text auf geschlechts-
bezogene Doppelnennungen und
verwenden die männliche Form.*





HERAUSGEBER

bremenports
: