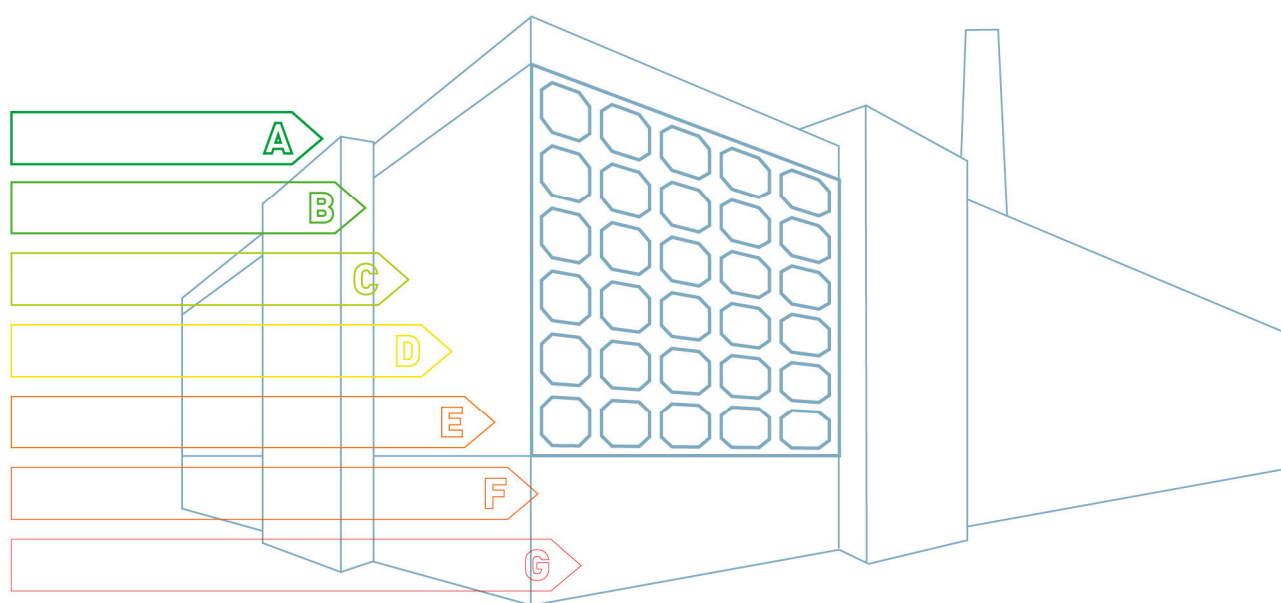




LimeSpec

Messinstrument zur Charakterisierung
von Beleuchtungsinstallationen und zur
Standorterkundung von Solaranlagen



VORWORT

Die Publikationsreihe **BLUE GLOBE REPORT** macht die Kompetenz und Vielfalt, mit der die österreichische Industrie und Forschung für die Lösung der zentralen Zukunftsaufgaben arbeiten, sichtbar. Strategie des Klima- und Energiefonds ist, mit langfristig ausgerichteten Förderprogrammen gezielt Impulse zu setzen. Impulse, die heimischen Unternehmen und Institutionen im internationalen Wettbewerb eine ausgezeichnete Ausgangsposition verschaffen.

Jährlich stehen dem Klima- und Energiefonds bis zu 150 Mio. Euro für die Förderung von nachhaltigen Energie- und Verkehrsprojekten im Sinne des Klimaschutzes zur Verfügung. Mit diesem Geld unterstützt der Klima- und Energiefonds Ideen, Konzepte und Projekte in den Bereichen Forschung, Mobilität und Marktdurchdringung.

Mit dem **BLUE GLOBE REPORT** informiert der Klima- und Energiefonds über Projektergebnisse und unterstützt so die Anwendungen von Innovation in der Praxis. Neben technologischen Innovationen im Energie- und Verkehrsbereich werden gesellschaftliche Fragestellung und wissenschaftliche Grundlagen für politische Planungsprozesse präsentiert. Der **BLUE GLOBE REPORT** wird der interessierten Öffentlichkeit über die Homepage www.klimafonds.gv.at zugänglich gemacht und lädt zur kritischen Diskussion ein.

Der vorliegende Bericht dokumentiert die Ergebnisse eines Projekts aus dem Forschungs- und Technologieprogramm „Neue Energien 2020“. Mit diesem Programm verfolgt der Klima- und Energiefonds das Ziel, durch Innovationen und technischen Fortschritt den Übergang zu einem nachhaltigen Energiesystem voranzutreiben.

Wer die nachhaltige Zukunft mitgestalten will, ist bei uns richtig: Der Klima- und Energiefonds fördert innovative Lösungen für die Zukunft!

A handwritten signature in black ink, reading 'Theresia Vogel'.

Theresia Vogel
Geschäftsführerin, Klima- und Energiefonds

A handwritten signature in black ink, reading 'Ingmar Höbarth'.

Ingmar Höbarth
Geschäftsführer, Klima- und Energiefonds

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis	2
Kurzfassung	3
Abstract	4
1 Einleitung	5
1.1 Aufgabenstellung	5
1.2 Schwerpunkte des Projekts	5
1.3 Einordnung in das Programm	6
1.4 Verwendete Methoden	6
1.5 Aufbau der Arbeit	7
2 Inhaltliche Darstellung	9
2.1 LimeSpec Systembeschreibung	9
2.2 LimeSpec Messinstrument	10
2.3 Technische Details	11
2.4 OT-Sensor Programm	13
2.5 Messungen im Labor	14
Messungen im Feld	17
2.6 Auswertung und Präsentation der Messungen	18
„Highlights“ des Projekts	24
2.7 Dissemination	25
3 Ergebnisse und Schlussfolgerungen	26
3.1 Allgemein	26
3.2 Hardware	26
3.3 Bedienung	26
3.4 Software	27
3.5 Messtechnik	27
4 Ausblick und Empfehlungen	27
4.1 Notwendige Verbesserungen	28
4.2 Wünschenswerte Verbesserungen	28
4.3 Anwendungsgebiete	29
4.4 Markt	30
4.5 Produkte	31
4.6 Marktpotential	32
5 Anhang	33
LimeSpec - TN1 - Anforderungen und Spezifikationen v6	33
LimeSpec - TN4a - Testprogramm Labor v1	33
LimeSpec - TN4b - Testprogramm Feld v1	33
LimeSpec - TN5 - Evaluierung der Projektergebnisse und Nachfolgeaktivitäten	33
LimeSpec - Messprotokoll Felixdorf	33
LimeSpec - Messprotokoll Brunn	33
LimeSpec - Messprotokoll A21 Südost-Tangente	33
6 Literaturverzeichnis	33

Kurzfassung

Ausgangssituation/Motivation

Es gibt zur Zeit kein Messinstrument, mit dem die signifikanten Parameter von Beleuchtungs- und Photovoltaik effizient charakterisiert, evaluiert und dargestellt werden können.

Inhalt und Zielsetzungen

LimeSpec ist ein kompaktes Messinstrument zur detaillierten und zeitsparenden Charakterisierung von Installationen der Beleuchtung und Photovoltaik. Die generierten und graphisch dargestellten Daten unterstützen Entscheidungen für energiebezogene Investitionen.

Methodische Vorgehensweise

LimeSpec misst die Beleuchtungsstärke samt spektralen Bändern (RGB/IR/UV, Spektrum) und erfasst zusätzlich wichtige Variable für den Kontext der Lichtmessung (Datum/Uhrzeit, Temperatur, Taupunkt, globale Position, Orientierung der optischen Achse). Es implementiert eine Kameraschnittstelle zur Aufnahme der Lichtquelle(n) bzw. deren Umgebung.

Erwartete Ergebnisse

Neben anderer Effizienzoptimierungen hilft **LimeSpec** weitere 10% an Energie für Beleuchtung einzusparen. Das entspricht einem Betrag von ca. 500 Millionen Euro pro Jahr europaweit.

Abstract

Initial situation / motivation

Currently there is no measuring device available that can efficiently characterize, evaluate and document the variety of important parameters of lighting installations.

Topic and objective targets

LimeSpec is a compact and autonomous instrument for detailed and time-saving characterization of illumination and photovoltaic facilities, yielding data und graphic representations that support decisions on energy relevant investments.

Methodical approach

LimeSpec monitors light intensity and irradiance in spectral bands (RGB/IR/UV, spectrum) and records additional important variables that specify the context of the light measurement (date and time, temperature, humidity, global position, orientation of optical axis). The device also implements a camera interface for recording photographs of light sources.

Anticipated results

Complementing other efficiency optimizations, LimeSpec helps to save an additional 10% of energy for illumination, corresponding to an amount of 500 million Euros per year Europe-wide.

1 Einleitung

1.1 Aufgabenstellung

Im Bereich Beleuchtung werden in den kommenden Jahren signifikante Veränderungen erwartet die europaweit Investitionen mehrerer Milliarden Euros bedürfen. Diese notwendigen Modernisierungen der Beleuchtungsinfrastruktur werden durch EU-Verordnungen und verbindliche Klimaschutzziele bedingt (EuP-Richtlinie „Eco-Design Requirements for Energy-Using Products“, 2005/32/EG). Die Verfügbarkeit neuer und besonders energiesparender Lichttechnologien (z.B. LED-Technologie) unterstützt diese dabei.

Es gibt keine aktuellen und umfassenden Aufzeichnungen über die Beleuchtungssituation in Österreich oder in der EU. Auch gibt es derzeit kein Messinstrument mit dem die wichtigen Variablen von Beleuchtungsinstallationen in effizienter Weise gemessen werden können. Von dieser Ausgangssituation leitet sich das Ziel dieses Projektes ab:

Das Ziel des Projektes LimeSpec ist die Entwicklung eines kompakten, tragbaren und autonomen Messinstruments zur detaillierten und zeitsparenden Charakterisierung von Installationen in den Anwendungsbereichen Straßenbeleuchtung, Außen- und Innenbeleuchtung sowie Solarenergie. Im Vergleich zu bestehenden Lösungen soll LimeSpec den Messvorgang vor allem vereinfachen und Zeit bzw. Personalkosten einsparen. Die mit LimeSpec gemessenen Daten werden Entscheidungen über Investitionen in die Verbesserung und/oder Erneuerung von Lichtinstallationen unterstützen.

1.2 Schwerpunkte des Projekts

Das Projekt LimeSpec wurde von den Projektpartnern WOLF Technologieberatung, Brenner GmbH und Magistrat der Stadt Wien MA-39 in einem Zeitraum von 2 Jahren in 5 Arbeitspaketen durchgeführt. In einem ersten Arbeitsschritt wurden die Anforderungen potentieller Nutzer erhoben und mit technischen, operationellen und durch Standards und Normen festgelegten Vorgaben ergänzt. Aus dieser Liste wurden die technischen Spezifikationen und ein Systemkonzept für LimeSpec erstellt. Danach wurden detaillierte Fertigungsdokumente entwickelt, ein Prototyp gebaut und die zugehörige Firmware und Software entwickelt. 3 Iterationen des Entwurfs mit nachfolgender Fertigung waren notwendig, um einen funktionstüchtigen LimeSpec Prototypen zu bauen. Anschließend wurde ein umfangreiches Testprogramm im Labor und im Feld durchgeführt. LimeSpec wurde sowohl mobil wie auch stationär eingesetzt. Die Messdaten wurden nachfolgend aufbereitet, graphisch dargestellt und teilweise mit Referenzmessungen verglichen.

Am Ende des Projektes erfolgte eine kritische Evaluierung des Systementwurfes, der entwickelten Hardware und Software, der Messergebnisse und der erzeugten Messberichte.

1.3 Einordnung in das Programm

Das Projekt LimeSpec wurde aufgrund des Projektgegenstands (Entwicklung eines Prototypen) als „experimentelle Entwicklung“ (EE) eingereicht. Die Projektform ist ein kooperatives Projekt mit drei Projektpartnern auf Basis eines Konsortialvertrages.

Die Kooperationskriterien für eine höhere Förderungsintensivität wurden erfüllt da,

- a. die beteiligten Unternehmen eigenständig und voneinander unabhängig sind
- b. kein Partner mehr als 70% der Projektgesamtkosten trägt und
- c. ein KMU mindestens 10% der Gesamtkosten trägt.

1.4 Verwendete Methoden

AP1

- Verteilung von Fragebögen zu potentiellen zukünftigen Nutzern von LimeSpec, und nachfolgende Auswertung der Fragebögen.
- Interviews mit ausgewählten potentiellen zukünftigen Nutzern von LimeSpec.
- Literaturrecherche, Marktanalyse, Durchsicht von Datenblättern und Testberichten von bereits am Markt verfügbaren Systemen zur Lichtmessung.
- Durchsicht der relevanten Standards und Normen.
- Recherche nach Schutzrechten (z.B. Patenten) die eventuell bei der Entwicklung von LimeSpec zu berücksichtigen sind.

AP2

- Suche nach geeigneten Komponenten
- Analyse und Berechnung
- Optisches Design, elektronisches Design, mechanisches Design, Software-Design, Datenbank-Design
- Versuchsaufbauten, Tests im Labor
- Entwicklung von Testsoftware

AP3a Prototypenerstellung, Messungen im Labor, Kalibrierung

AP3b Prototypenerstellung, Messungen im Labor, Kalibrierung

AP4a Messungen im Labor, Softwareentwicklung, Datenanalyse

AP4b Messungen von realen Anwendungen im Feld (Straßenbeleuchtung, Beleuchtungen von Parkgaragen, Büros, etc.), Softwareentwicklung, Datenanalyse

- AP5** Interviews, Datenauswertung, Analyse, Diskussion in Fachgremien (z.B. LTG), auf Kongressen und Tagungen
- AP6** Planung, Koordination, Verhandlung, Erstellung von Verträgen und Berichten, Veröffentlichung der Ergebnisse in Fachmagazinen, auf Tagungen und Kongressen

1.5 Aufbau der Arbeit

Das Projekt LimeSpec wurde in 5 aufeinanderfolgenden Arbeitspaketen (AP) durchgeführt:

AP1 Anforderungen und Spezifikationen: Am Anfang des Projektes wurden die Anforderungen potentieller zukünftiger Nutzer von LimeSpec erhoben. Diese Benutzer-Anforderungen wurden durch technische und operationelle Anforderungen ergänzt (wie z.B. publiziert in relevanten Standards und Normen). Eine Analyse von bereits am Markt verfügbaren Systemen zur Lichtmessung trug weitere Anforderungen bei. Diese Liste von Anforderungen diente nachfolgend als Leitlinie zur Entwicklung der technischen- und operationellen Spezifikationen für LimeSpec. Eine Recherche nach eventuell registrierten Schutzrechten wurde durchgeführt. Am Ende wurde ein vorläufiges Systemkonzept erstellt.

AP2 Design: In diesem AP wurden zuerst alle erforderlichen optische, elektronische, und mechanische Komponenten und Sub-Systeme ausgewählt und geeignete Lieferfirmen gesucht. Entwicklungswerkzeuge für System Hardware und -Software wurden identifiziert, bestellt, und getestet. Der optische Sensor-Kopf wurde entworfen, unterstützt durch Testaufbauten im Labor. Das elektronische Schaltungsschema wurde entwickelt, und die Leiterplatten, das Gehäuse und die mechanischen Strukturen wurden in einem integrierten, iterativen Prozess entworfen.

Die Algorithmen und die Architektur der Mikrocontroller Software und PC Software wurden entworfen. Das Kommunikationsprotokoll zwischen LimeSpec und PC, und das Format der Datenbankeinträge wurden im Detail spezifiziert. Die Benutzerschnittstelle wurde entworfen. Kritische Unsicherheiten im Design wurden identifiziert und durch Analyse, kleine Testaufbauten im Labor, und SW-Testprogramme gelöst. Am Ende dieses Schrittes waren alle wesentlichen Unsicherheiten im Design beseitigt und detaillierte Fertigungsdokumente für LimeSpec verfügbar.

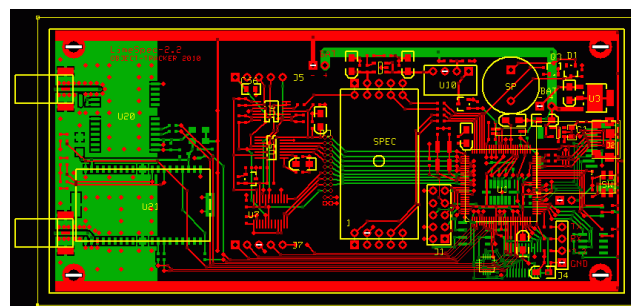


Abbildung 1: Zweiter Entwurf der LimeSpec Leiterplatte (Abmessungen 120 x 55 mm)

AP3 Fertigung eines Prototypen: In diesem AP wurden die benötigten elektronischen, mechanischen, und optischen Bauteile, Gehäuse, Verbrauchsmaterial, Werkzeugen, und Entwicklungswerkzeuge für Hardware und Software bestellt und nach Empfang geprüft. Die Fertigung der Leiterplatten wurde beauftragt, nach Lieferung werden diese bestückt, gelötet und getestet. Mechanische Bauteile wurden so nötig vorbearbeitet und angepasst und mit der Elektronik und Optik integriert. Firmware wurde schrittweise entwickelt und getestet. PC Software wurde schrittweise entwickelt und getestet, dabei wurden zahlreiche Software Module verwendet die bereits bei Projektpartner Wolf Technologieberatung verfügbar waren. Die Funktion des Prototypen und der zugehörigen Software wurde im Labor getestet und charakterisiert, und eine erste Kalibrierung der integrierten Sensoren wurde durchgeführt. Aktivitäten in AP2 Design und AP3 Fertigung wurden miteinander verkettet. Insgesamt waren 3 Iterationen des Entwurfs mit nachfolgender Fertigung notwendig, um einen funktionsfähigen LimeSpec Prototypen zu bauen.

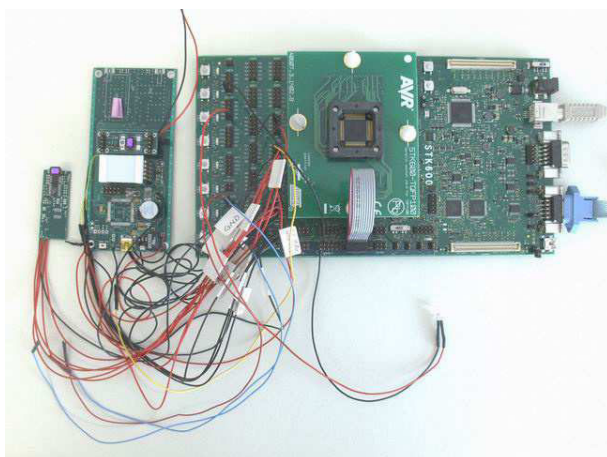


Abbildung 2: Versuchsaufbau von Kernfunktionen des LimeSpec Instruments



Abbildung 3: Teilweise bestückte LimeSpec Leiterplatte in einem LimeSpec Roh-Gehäuse

AP4 Testprogramm und Datenanalyse: Zu Beginn dieses AP wurde eine Teststrategie und ein Testplan erstellt und zwischen den Projektpartnern harmonisiert. Der Testplan wurde nachfolgend ausgeführt. Messungen im Labor und im Feld wurden parallel durchgeführt. Der

Beleuchtungsstärke Sensor eines LimeSpec Prototypen wurde im Detail im Labor charakterisiert (MA39). Ein weiterer LimeSpec Prototyp wurde auf einem Fahrzeug montiert und zahlreiche Lichtinstallationen von der mobilen Plattform aus gemessen. Die Messdaten werden nachfolgend verarbeitet und aufbereitet, graphisch dargestellt und mit Referenzmessungen verglichen. Zu diesem Zweck wurden ein eigener Software Modul entwickelt der die Analyse, Verrechnung, Formatierung, Darstellung und Archivierung der Daten unterstützt.

AP5 Evaluierung der Projektergebnisse: In diesem AP wurden die LimeSpec Prototypen anhand der Ergebnisse des Testprogramms und Erfahrungen der am Messprogramm beteiligten Personen kritisch evaluiert. Messergebnisse wurden mit potentiellen Nutzern besprochen. Dabei wurden technische und operationelle Aspekte berücksichtigt, und notwendige Verbesserungen und wünschenswerte Erweiterungen wurden identifiziert.

2 Inhaltliche Darstellung

2.1 LimeSpec Systembeschreibung

Im Rahmen dieses Projektes wurde ein Prototyp Messsystem (LimeSpec) zur zeitsparenden Charakterisierung von Beleuchtungsinstallationen und zur Standorterkundung von Solaranlagen entwickelt und dessen Funktion durch Messungen im Labor und an realen Beleuchtungsinstallationen nachgewiesen. LimeSpec unterscheidet sich durch eine kompakte Bauweise, Robustheit, und eine einzigartige Kombination von Sensoren mit denen wichtigen lichttechnischen Kenngrößen zusammen mit den Messort und die Messbedingungen beschreiben Kenngrößen gemessen und ausgewertet werden. Das LimeSpec Messsystem besteht aus 3 Komponenten:

- 1) dem LimeSpec Messinstrument,
- 2) einem PC, und
- 3) der OT-Sensor Software.

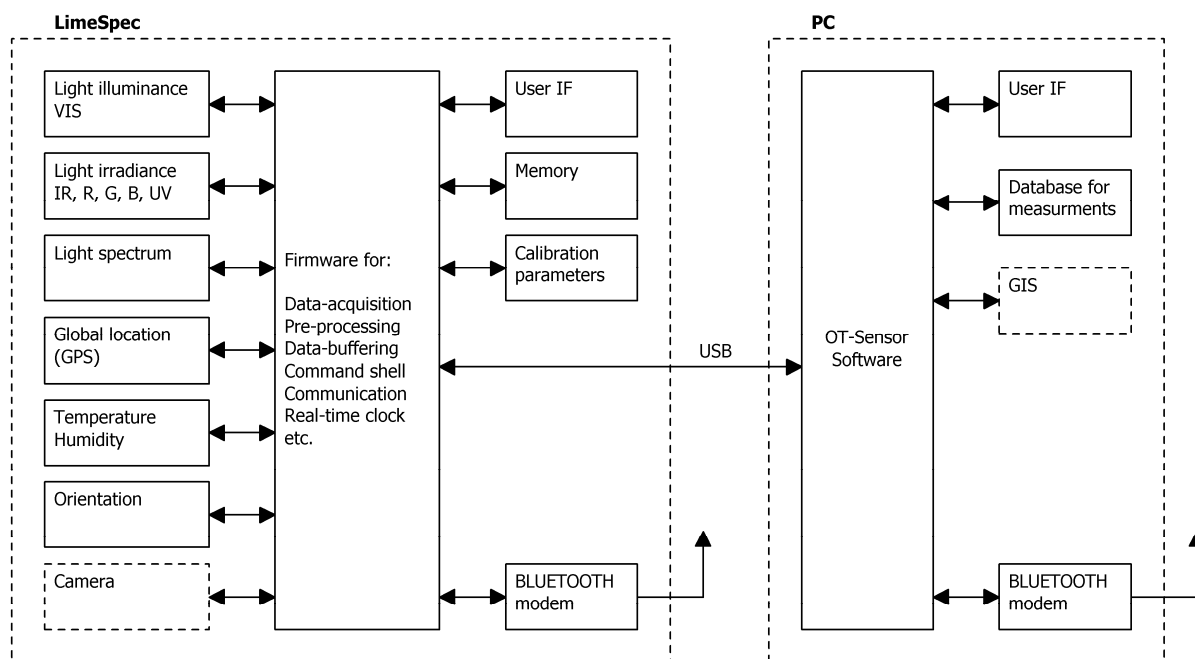


Abbildung 4: LimeSpec Systemdiagramm

2.2 LimeSpec Messinstrument

Das LimeSpec Messinstrument misst 120 x 65 x 40 mm (ohne Optik und Anschlüsse) und hat eine Masse von ungefähr 500 Gramm. Das Gehäuse besteht aus 2 mm starkem, eloxiertem Aluminium. Alle Durchführungen sind abgedichtet, alle Anschlüsse sind spritzwasserfest ausgeführt. An der Oberseite befindet sich 3 Öffnungen für die 3 Sensorgruppen (VIS, UV+RGB+IR, SPEC). Die Öffnungen sind mit s.g. S-Mount Gewinden versehen, wodurch bei Bedarf ein breites Spektrum an kommerziell erhältlichen Objektiven vor die Sensoren gesetzt werden kann. Die optischen Durchführungen für die 3 Sensoren sind mit einer dünnen PTFE Platte abgedeckt (Sandwich zw. Gehäuse und Gewindeplatte).



Abbildung 5: LimeSpec Messinstrument

An der Unterseite des Gehäuses befindet sich eine Montageplatte mit standardisierten 16 UNC / 20 UNC Gewinden zur einfache Befestigung des Messgerätes im Laborbetrieb. Als

zusätzliche Montagemöglichkeit sind an den Seiten des Gehäuses Schwalbenschwanz-Führungen vorgesehen, die eine sehr feste Verbindung mit einer Montagevorrichtung ermöglichen. Auf der Gehäusehinterseite befinden sich zwei SMA Antennenbuchsen für den Anschluss der GPS Antenne und der Bluetooth Antenne. Auf Gehäusevorderseite befinden sich eine Buchse für den USB Stecker, ein Druckknopf, und zwei LEDs (grün und rot).

Die Stromversorgung von LimeSpec erfolgt über die eingebaute, aufladbare LiPo Batterie, bzw. über die USB Schnittstelle. Eine Batterieladung reicht für eine Betriebszeit von ca. 5 Stunden.

LimeSpec hat eine USB Schnittstelle eine drahtlose Bluetooth Schnittstelle. Beide Schnittstellen können - in Kombination mit geeigneter Software (OT-Sensor) - zur Einstellung von Messparametern und zum Übertragen von Messdaten verwendet werden.

Die Bedienung des LimeSpec Messinstrumentes erfolgt über einen einzigen Druckknopf, mit dem ein Messvorgang gestartet bzw. gestoppt wird. Zwei LEDs (Grün, Rot) und ein akustisches Signal informieren den Benutzer über den Betriebszustand des Messgerätes.

Nr	Betriebszustand	LED grün	LED rot	Akustisches Signal
1	Einschalten	1 s	-	Ansteigender Ton
2	Ausschalten	-	1 s	Abfallender Ton
3	Messung OK	100 ms / s	-	-
4	Fehler		100 ms / s	-
5	Batteriespannung < 3.3V		100 ms / 8s	Kurzer Ton

Abbildung 6: LimeSpec Betriebszustände

2.3 Technische Details

Die LimeSpec Elektronik ist auf einer 4-lagigen Printplatte aufgebaut. Den Kern der Elektronik bildet der 32-bit RISC Mikrokontroller AVR AT32UC3A von ATMEL. Dieser Prozessor ist mit einem reichen Set an Schnittstellen ausgestattet und übernimmt alle Steuerungs- Kommunikationsaufgaben. Die Programmierung des Mikrocontrollers erfolgt über ein JTAG Schnittstelle.

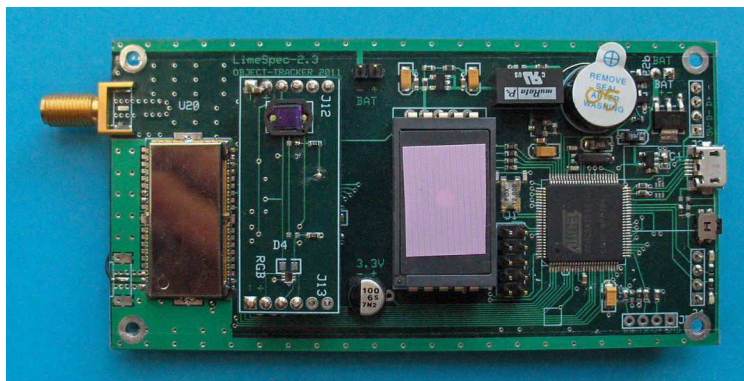


Abbildung 7: LimeSpec Elektronik

Zur Messung der Position wurde der GPS Modul NEO-6 der Firma uBlox integriert. Die externe aktive GPS Antenne wird über eine SMA Buchse mit LimeSpec verbunden. Die Kommunikation mit externen Systemen (OT-Sensor Programm) erfolgt wahlweise über eine USB Schnittstelle, oder über eine drahtlose Bluetooth Schnittstelle.

Variable	Beschreibung
Abmessungen	130 mm x 65 mm x 40 mm
Gewicht	500 Gramm
Stromversorgung	über USB Anschluss, 200 mA max.
Batterie	Li-Polymer Akku, 3.7 V, 1000mAh, wiederaufladbar
Datenspeicher	Mikro-SD Karte mit 2 GByte
Speicherkapazität	500.000 Messungen
Speicherrate	16 Messungen / sec. max.
Datenschnittstelle	USB-2
Drahtlose Schnittstelle	Bluetooth
Variable	Beleuchtungsstärke, 0.1 - 10,000 Lux Bestrahlungsstärke (IR-A,R,G,B,UV-A) Bestrahlungsstärke Spektrum, 400 - 800 nm Beschleunigung, 3-Axen, -2.0 bis +2.0 g Temperatur, -40 bis +80 deg C Barometrischer Druck, 0 - 1500 hPa Relative Luftfeuchte, 10 bis 98 %

	GPS Batteriespannung
Echtzeituhr	± 10 ppm, ± 1 Sekunde/Tag
Stand-by Zeit	1 Monat
Befestigung	1/4" - 20 UNC (DIN 4503 / ISO 1222)
Abdichtung	IP67

Abbildung 8: LimeSpec Spezifikationen

2.4 OT-Sensor Programm

Das LimeSpec Messinstrument wird von einem PC aus mit der Software OT-Sensor gesteuert. Mit diesem Programm erfolgt die Einstellung der Messparameter und das Übertragen, Auslesen, Bearbeiten, Anzeigen, Analysieren und Archivieren der Messdaten. Die Software unterstützt auch die Kalibrierung der Sensoren. Eine Besonderheit ist das Datenanalyse Modul, welches Messdaten automatisch analysiert, Lichtpunkte erkennt, und einen detaillierten Messbericht in Microsoft Word Format erstellt. Die Software hat eine komfortable graphische Benutzerschnittstelle mit der alle wichtigen Parameter des Gerätes eingestellt, ausgelesen und verwaltet werden können. Die folgenden Abbildungen zeigen die Benutzeroberfläche dieses Programms:

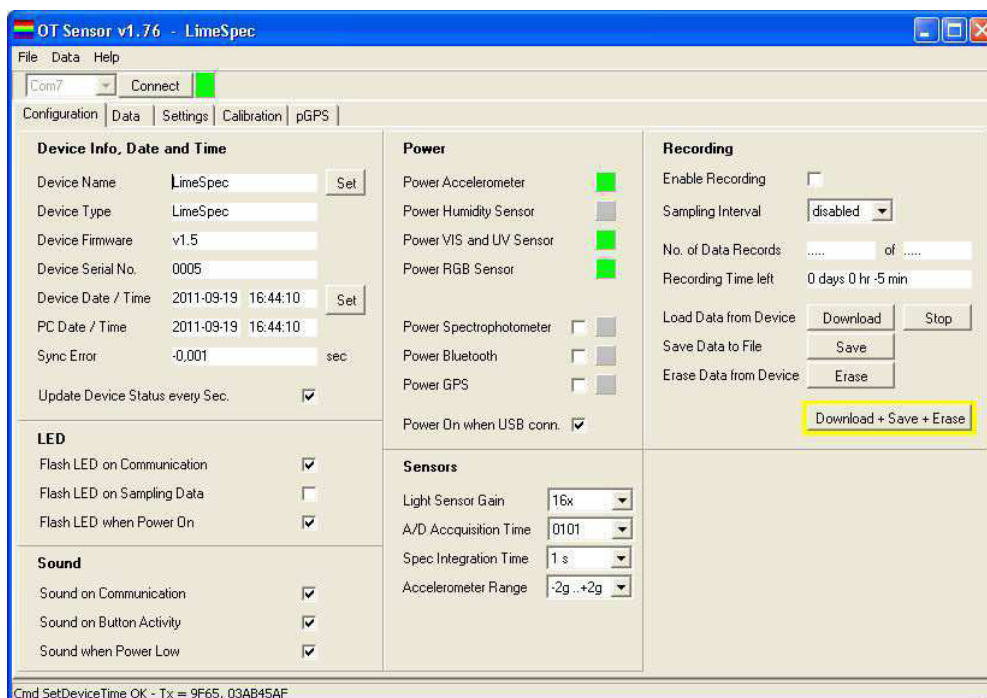


Abbildung 9: OT-Sensor Programm, Konfiguration der Messparameter

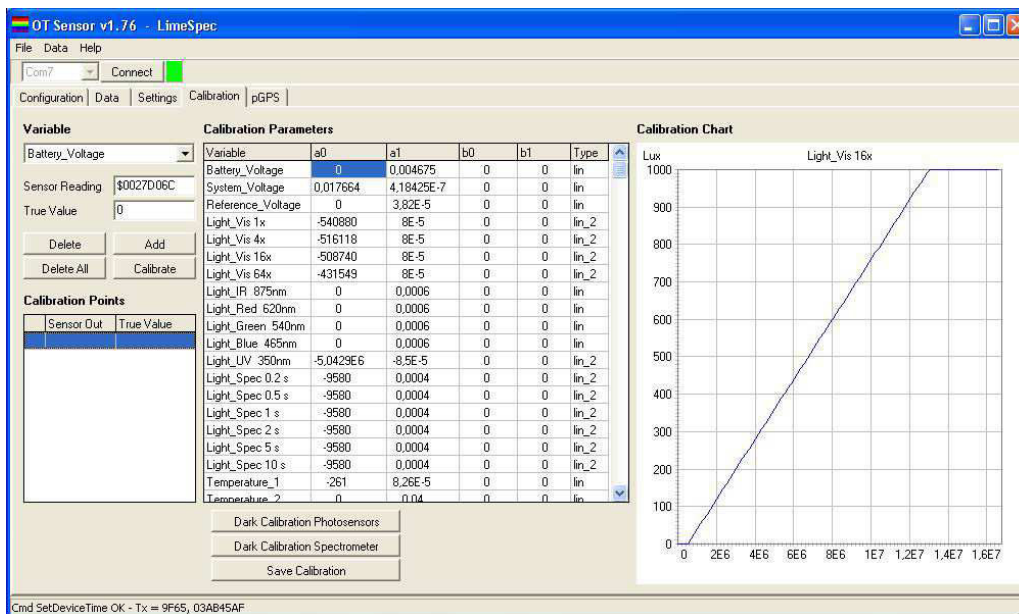


Abbildung 10: OT-Sensor Programm, Kalibrierung des LimeSpec Messinstrumentes.

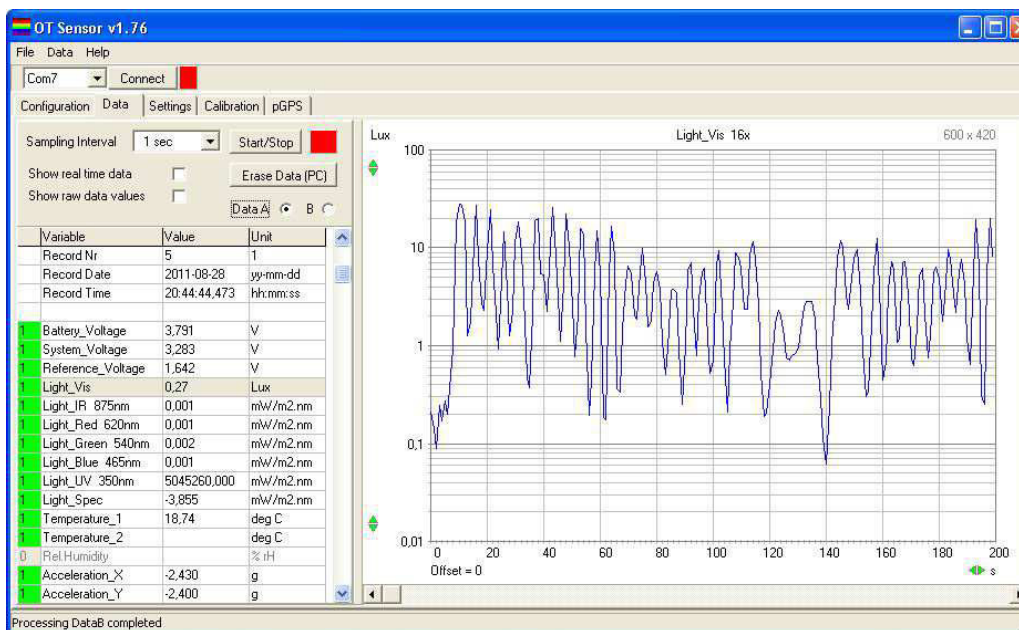


Abbildung 11: OT-Sensor Programm, Anzeige von Messdaten. Die Tabelle (links) zeigt alle gemessenen Sensorsignale, die Graphik (rechts) den zeitlichen Verlauf eines ausgewählten Sensorsignals.

2.5 Messungen im Labor

Die Messungen im Labor dienen zum Nachweis der prinzipiellen Funktionsfähigkeit ausgewählter Sensoren von LimeSpec. Vorerst wurden die beiden aus Sicht der Lichttechnik

wichtigsten Sensoren charakterisiert – der $V(\lambda)$ -angepasste VIS-Sensor und das Diodenarray Spektrometer.

Der VIS-Sensor wurde dafür durch Vergleichsmessungen mit einem kalibrierten, extrafein $V(\lambda)$ angepassten Referenzgerät an einer Halogenglühlampe eingemessen und die entsprechenden Kalibrierdateien durch die Software OT-Sensor erstellt. Anschließend wurden sowohl die Cosinus Anpassung des VIS-Sensors messtechnisch ermittelt wie auch Testmessungen an unterschiedlichen Lichtquellen durchgeführt. Bei den Testmessungen an unterschiedlichen Lichtquellen wurden als Referenzen wiederum hochwertige kalibrierte Messgeräte verwendet. Das gesamte Prüfprogramm sowie Details der einzelnen Prüfungen können im Bericht MA39 – VFA 2009-0964.04, der als „LimeSpec - TN4a - Testprogramm Labor“ im Anhang enthalten ist, nachgelesen werden.

Nachfolgende Abbildungen zeigen beispielhaft Prüfanordnungen auf der optischen Bank. Das erste Bild zeigt die Justage von LimeSpec mit Hilfe einer Laserdiode. Das zweite Bild zeigt den Aufbau einer Testmessung. Die Blenden zur Vermeidung unerwünschter Reflexionen sind gut zu erkennen, als Quelle dient im gegenständlichen Fall eine Halogenglühlampe, beim Empfänger handelt es sich um den COS-Diffuser eines Spektrometers.



Abbildung 12: Justage von LimeSpec mit Hilfe des Lasers (links). Messaufbau mit Blenden zur Vermeidung von Streulicht bei der Messung mit einem Referenzgerät (rechts).

Während die Vermessung der COS-Anpassung ein für den gewünschten Einsatzbereich von LimeSpec durchaus zufriedenstellendes Ergebnis liefert ergibt die Vermessung unterschiedlicher Lichtquellen bei den typischen Linienspektren von Gasentladungslampen deutlichen Abweichungen zwischen dem Referenzgerät und dem $V(\lambda)$ angepassten VIS-Sensor von LimeSpec. Bei den kontinuierlichen Spektren von Temperaturstrahlern und weißen LED hingegen zeigt sich eine gute Übereinstimmung zwischen Referenzgerät und LimeSpec. Dies ist unter anderem auch auf die Tatsache zurück zu führen, dass der $V(\lambda)$ angepasste VIS-Sensor von LimeSpec an einem Temperaturstrahler kalibriert wurde.

Die nachfolgende Tabelle zeigt die Differenzen zwischen LimeSpec und Referenzgerät an unterschiedlichen Lichtquellen.

Beleuchtungsstärken bei unterschiedlichen Lichtquellen [Lux]					
	Halogen Glühlampe	Globe Glühlampe beschlämmt	Natriumdampf Hochdrucklampe	Metallhalogen- dampf Hochdruck-Lampe	Hochleistungs LED kaltweiss
LMT	249	59,5	1155	1390	5580
LimeSpec	250,7	60,0	899,3	1239,1	5711,3
Fehler [%]	0,69	0,88	-22,14	-10,85	2,35

Um eventuelle Wechselwirkungen zwischen der Konversionszeit des A/D-Wandlers von LimeSpec und der mit Netzfrequenz modulierten Strahlungsleistung der Gasentladungslampen am KVG auszuschließen wurden ergänzende Messungen mit unterschiedlichen Konversionszeiten sowie mit am EVG betriebenen Lampen durchgeführt. Bei diesen Messungen konnte jedoch keine Verringerung der Abweichung zwischen LimeSpec und Referenzgerät festgestellt werden. Die nachfolgende Tabelle zeigt die Ergebnisse der Ergänzungsmessungen.

Natriumdampf-Hochdrucklampen am EVG Beleuchtungsstärken bei unterschiedlichen A/D - Wandlerzeiten [Lux]			Quecksilberdampf-Hochdrucklampe am KVG Beleuchtungsstärken bei unterschiedlichen A/D - Wandlerzeiten [Lux]		
	A/D 0101	A/D 1001		A/D 0101	A/D 1001
LMT	1028	1028	LMT	316	316
LimeSpec	802,4	802,1	LimeSpec	273,0	273,2
Fehler [%]	-21,94	-21,97	Fehler [%]	-13,60	-13,54

Obgleich in der zum Zeitpunkt der Laborversuche aktuellen Softwareversion von OT-Sensor noch keine vollständige Kalibrierung für das Diodenarray Spektrometer von LimeSpec vorgesehen war, wurde dieses sowohl hinsichtlich seiner Intensitätsmessung wie auch seiner Wellenlängenzuordnung überprüft. Aus den Messergebnissen kann in Folge ein sinnvoller Kalibrieralgorithmus für das Spektrometer von LimeSpec abgeleitet werden.

Die Prüfung der Intensitätsmessung erfolgte durch Vergleichsmessung mit einem kalibrierten Diodenarray Spektrometer. Für die Überprüfung der Wellenlängenzuordnung wurde ein Wellenlängennormal verwendet. Um die Relevanz sowohl der Intensitäts- wie auch der Wellenlängenkalibrierung und Justage aufzuzeigen wurden zusätzlich die Spektren einer Halogenlampe und einer weißen LED vermessen. Das nachfolgende Diagramm zeigt die Abweichungen der Wellenlängen des in Spektrometers von LimeSpec.

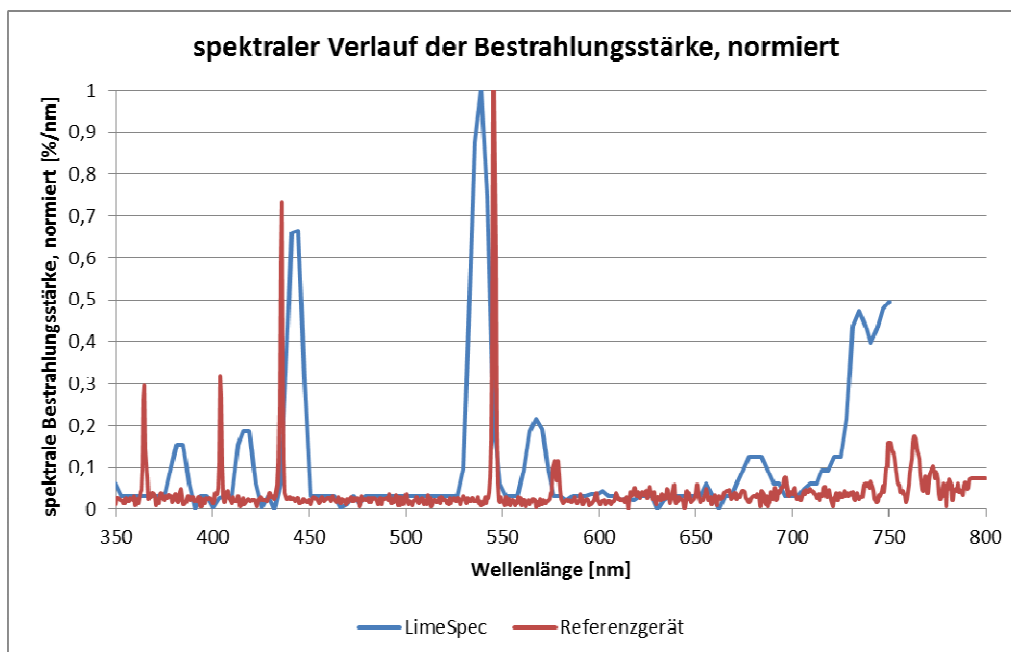


Abbildung 13: Messung mit Referenz Spektrometer und LimeSpec Spektrometer

Messungen im Feld

Zur Durchführung der mobilen Feldmessungen wurde ein LimeSpec Messinstrument auf einer modifizierten Haltevorrichtung auf der Kühlerhaube eines Fahrzeugs montiert. Die GPS Antenne wurde in einem Horizontalabstand von 5 cm neben der Haltevorrichtung ebenso auf der Kühlerhaube fixiert. Diese Art der Fixierung hat sich bei zahlreichen Messfahrten bewährt, die Saughalterung blieb auch bei Geschwindigkeiten von bis zu 130 km/h stabil. Bei den Messfahrten zur Erfassung der Straßen- und Außenbeleuchtung lagen die Messwerte zwischen nahezu 0 und maximal 100Lux, im Mittel zwischen 5 und 50Lux. Diese Werte entsprechen den Vorgaben der Europannorm EN 13201-Teil 2, Straßenbeleuchtung, CE Beleuchtungsklassen.

Besonders beeindruckt hat die Reproduzierbarkeit der Luxmessungen und der GPS-Messungen. Insbesondere die Messreihen „Felixdorf“ und „Brunner Straße“ zeigten bei mehrmaligen Messungen eine hohe Übereinstimmung an denselben Messpunkten.



Abbildung 14: LimeSpec auf Fahrzeug montiert (3 Bilder)

Bei Feldmessungen in kleinen Bereichen (Firmengelände, Montage- und Lagerhallen, Parkanlagen, Parkgaragen, etc.) hat sich das Tragen in der Hand bewährt. Bei wesentlichen Lichtpunkten bzw. Flächen von großem Interesse kann LimeSpec für einige Sekunden auf den Boden oder auf die Arbeitsfläche gelegt werden um so möglichst stabile und exakte Messwerte auf einer definierten Ebene zu erhalten. Zur zeiteffizienten Messung großer Flächen (Parkplätze, Fußballfelder, Hallen etc.) wird LimeSpec hinkünftig auch auf einem fernsteuerbares Chassis montiert. Wichtig dabei ist eine möglichst konstante, niedrige Geschwindigkeit und exakte Lenkung. Diese Anwendung ermöglicht beschattungsfreie Messdatenerfassung in unmittelbarer Bodennähe.

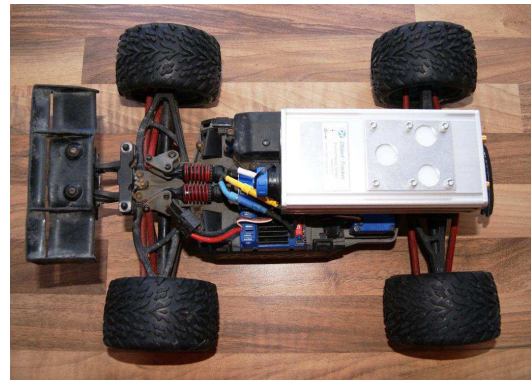


Abbildung 15: LimeSpec auf fernsteuerbarem Chassis montiert

Stationäre Messungen (insbesondere zur Standorterkundung für Photovoltaik-Installationen bzw. zur energieautarken Versorgung von Außenleuchten, Ticketautomaten oder Messgeräten) wurden auf einem mobilen Stativ aufgebaut. Das LimeSpec Messinstrument wurde nach Süden ausgerichtet und im optimalen Winkel justiert. Der Messwerte bei den 24-Stundenmessungen lagen zwischen nahezu 0 und knapp 100.000 Lux.



Abbildung 16: LimeSpec stationär montiert (3 Bilder)

2.6 Auswertung und Präsentation der Messungen

Die Auswertung der Messdaten erfolgt mit einem Datenanalyse Modul im OT-Sensor Programm. Alle Datenverarbeitungs- und Analyseschritte werden automatisch ausgeführt, als Ergebnis wird automatisch ein umfangreicher Messbericht in Microsoft Word Format erstellt. Im Folgenden werden typische Schritte einer Datenauswertung in abgekürzter Form beschrieben:

Die Datenserien 'Beleuchtungsstärke als Funktion der Messzeit' (Abbildung 17a) und 'Weg als Funktion der Messzeit' (Abbildung 17b) werden zur Datenserie 'Beleuchtungsstärke als Funktion des Weges' (Abbildung 18a - 18b) verknüpft. Lichtpunkte sind in dieser Datenserie bereits als lokale Funktionsmaxima erkennbar. Um die Position der Lichtpunkte genau zu bestimmen, wird die Datenserie 'Beleuchtungsstärke' mit einer idealisierten Beleuchtungsstärkeverteilungsfunktion korreliert. Lichtpunkte werden automatisch erkannt, nummeriert und graphisch dargestellt (Abbildung 19). Für jeden Lichtpunkt werden die zugehörigen GPS Koordinaten, das Beleuchtungsstärkemaximum, und weitere charakteristische Kennwerte errechnet und in die Lichtpunktetabelle eingetragen (Abbildung 20).

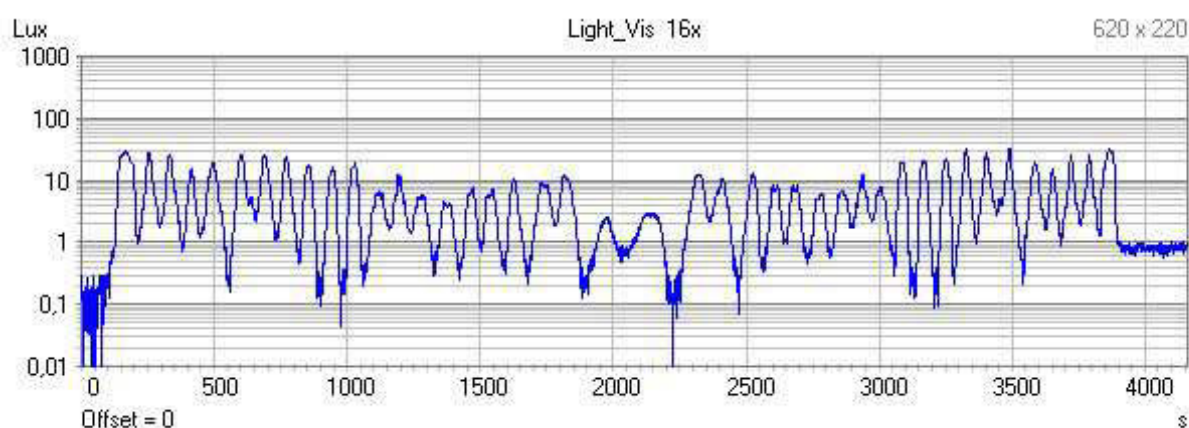


Abbildung 17a: Beleuchtungsstärke als Funktion der Messzeit

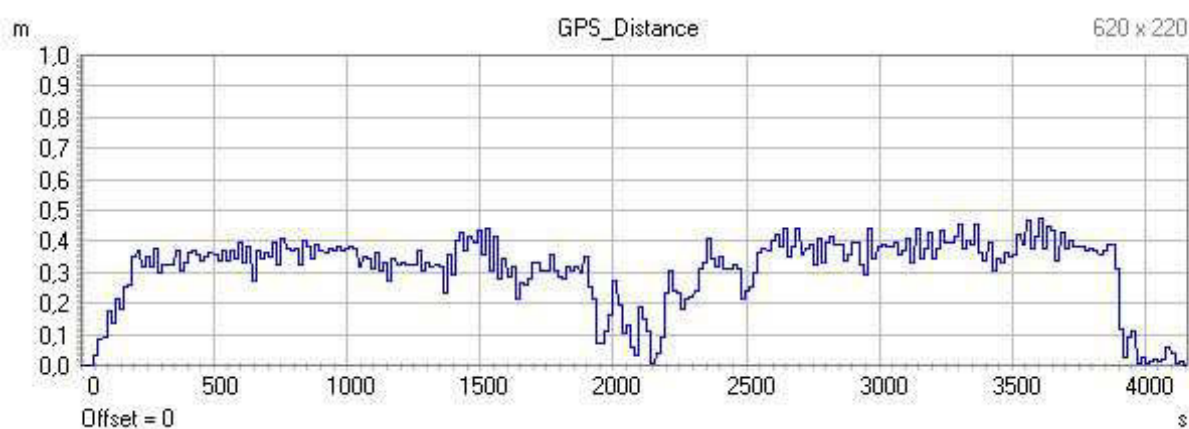


Abbildung 17b: Zurück gelegter Weg als Funktion der Messzeit

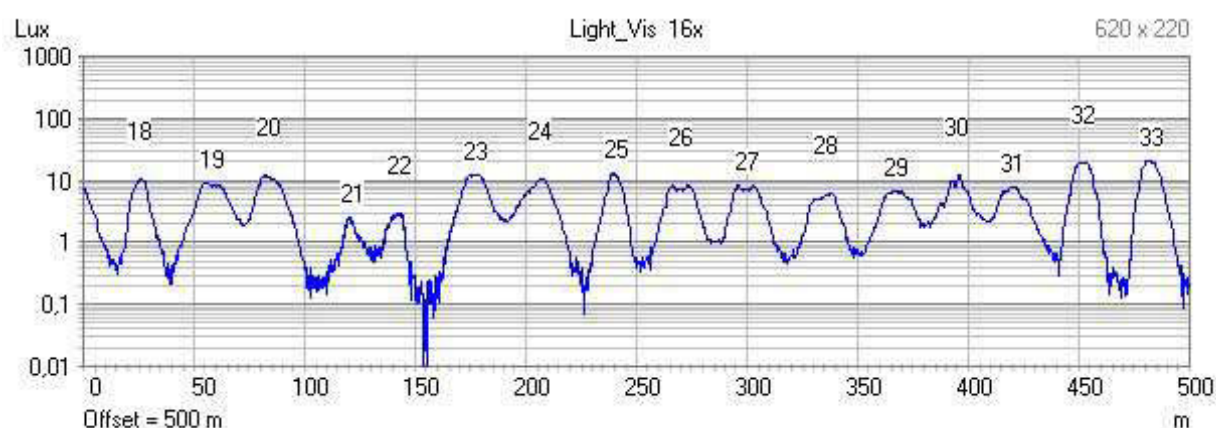
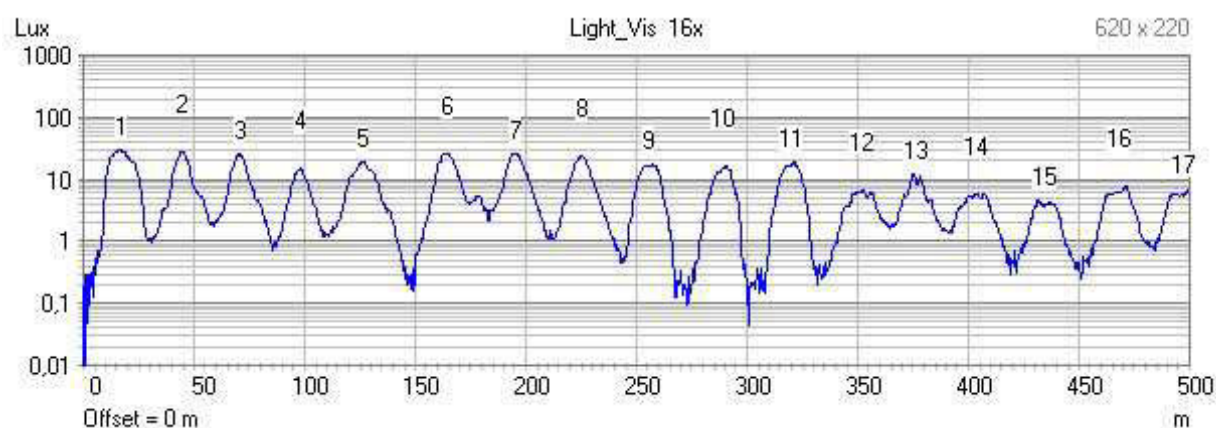


Abbildung 18a - 18b: Beleuchtungsstärke als Funktion des Weges

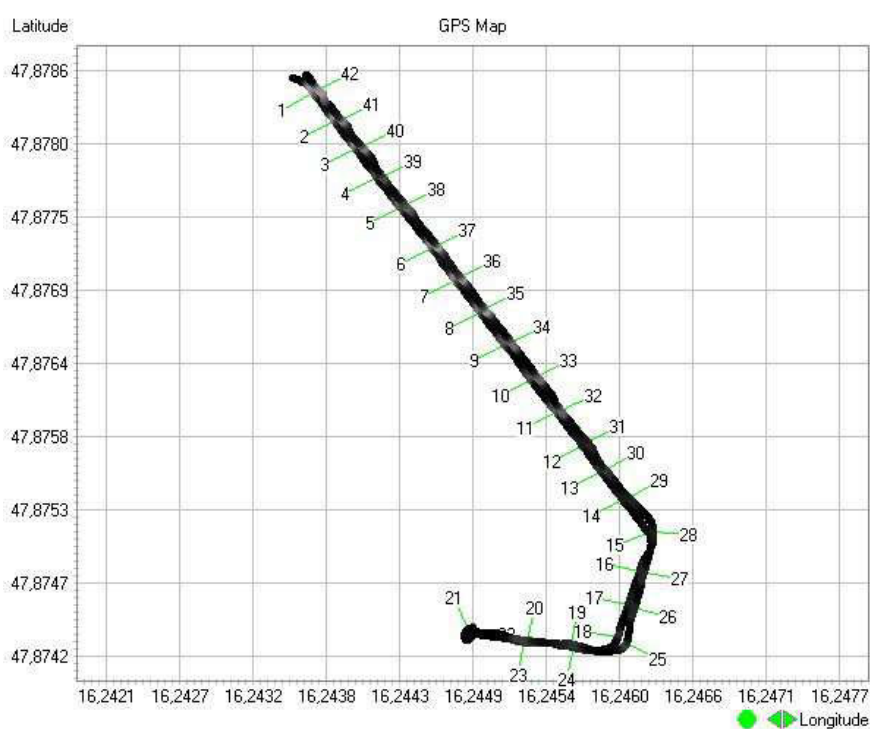
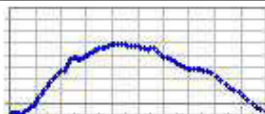
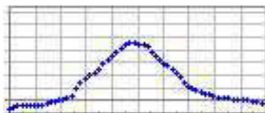
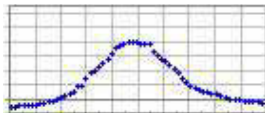
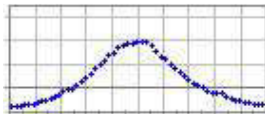
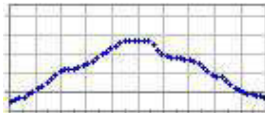
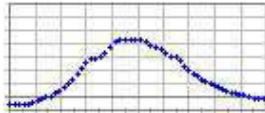
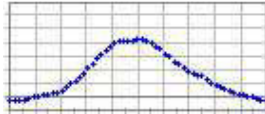


Abbildung 19: Graphische Darstellung der Beleuchtungsstärke und der Lichtpunkte.

Nr	Geo Breite Geo Länge Zeit		Distanz Gschw	Index	Rot Grün Blau	Imax	Verteilung der Beleuchtungsstärke	S
	deg deg hh:mm:ss		m m km/h		mW / m2.nm	Lux	Lux	
1	47,878420 16,243689 20:44:50		17,6 0,0 12,6	42 83	0,005 0,010 0,020	29,7		
2	47,878201 16,243854 20:44:55		44,9 27,3 19,8	28 59	0,266 0,147 0,007	28,1		
3	47,877993 16,244011 20:45:00		70,8 25,9 19,9	28 60	0,168 0,112 0,023	25,2		
4	47,877772 16,244170 20:45:05		98,1 27,3 20,2	28 56	0,204 0,136 0,024	14,8		
5	47,877550 16,244349 20:45:10		126,4 28,3 21,0	27 57	0,110 0,127 0,021	18,8		
6	47,877247 16,244584 20:45:17		164,4 38,0 22,0	25 56	0,025 0,022 0,003	26,5		
7	47,876996 16,244766 20:45:22		195,5 31,1 21,1	28 57	0,104 0,056 0,017	26,3		

8	47,876760 16,244950 20:45:27		225,2 29,7 22,3	26 53	0,046 0,030 0,008	23,8		
---	------------------------------------	--	-----------------------	----------	-------------------------	------	--	--

Abbildung 20: Auszug aus einer Lichtpunktetabelle.

Nr ist die fortlaufende Nummer des Lichtpunktes. **Geo. Breite / Geo. Länge / Zeit** sind die GPS-Koordinaten des Lichtpunktes und der Zeitpunkt der Messung. **Distanz** ist die Distanz des Lichtpunktes zum Startpunkt der Messreihe bzw. zum vorhergehenden Lichtpunkt.

Geschw ist Geschwindigkeit der Messplattform (des Fahrzeugs) zum Zeitpunkt der Messung. **Imax** ist die maximale gemessene Beleuchtungsstärke des Lichtpunktes. Das Diagramm **Verteilung** zeigt die gemessene Verteilung der Beleuchtungsstärke des Lichtpunktes im Intervall [-10,+10] Meter um das Maximum. Das Diagramm ist proportional zum Maximalwert der Beleuchtungsstärke skaliert.

Bei typischen Feldmessungen werden beleuchtete Straße u.U. mehrfach durchfahren und damit Lichtpunkte mehrfach gemessen. Diese mehrfach gemessenen Lichtpunkte werden durch das OT-Sensor Programm automatisch erkannt und in eine eigene Tabelle eingetragen.

Nr	Geo Breite Geo Länge Zeit	Abweichung tang. norm.	Distanz Gschw	Index	Rot Grün Blau	Imax	Verteilung der Beleuchtungsstärke	
	deg deg hh:mm:ss	m m	m m km/h		mW / m2.nm	Lux	Lux	
1	47,878420 16,243689 20:44:50		17,6 0,0 12,6	42 83	0,005 0,010 0,020	29,7		
42	47,878438 16,243729 20:48:41	-0,2 3,6	1255,0 28,4 22,8	24 53	0,103 0,077 0,013	31,2		
2	47,878201 16,243854 20:44:55		44,9 27,3 19,8	28 59	0,266 0,147 0,007	28,1		
41	47,878213 16,243896 20:48:36	0,2 3,4	1226,6 26,4 23,0	26 53	0,195 0,107 0,020	24,9		

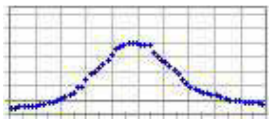
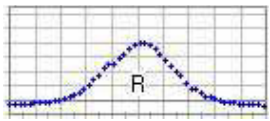
3	47,877993 16,244011 20:45:00		70,8 25,9 19,9	28 60	0,168 0,112 0,023	25,2		
40	47,878007 16,244061 20:48:32	0,2 4,1	1200,2 27,5 23,4	25 52	0,115 0,149 0,021	25,0		

Abbildung 21: Auszug aus einer Tabelle mehrfach gemessener Lichtpunkte. Identische Lichtpunkte sind in Gruppen zusammengefasst ((1,42), (2,41), (3,40)). Aus dem Vergleich der GPS Koordinaten und der maximalen Beleuchtungsstärke I_{max} können Qualitätsmerkmale der Messung abgeleitet werden.

Die notwendigen Zuordnungen der mit LimeSpec erfassten GPS-Daten zu lokalen Fixpunkten erfolgte per händischer Eingabe der Wertepaars (Latitude/Longitude) in das Programm der Webseite „<http://www.gorissen.info/Pierre/maps/googleMapLocationv3.php>“. Anschließend wurde per mehrmaligem Mausklick das Kartenfenster auf die gewünschte Ansicht vergrößert und der definierte Fixpunkt in die jeweiligen Excel-Grafiken eingefügt.

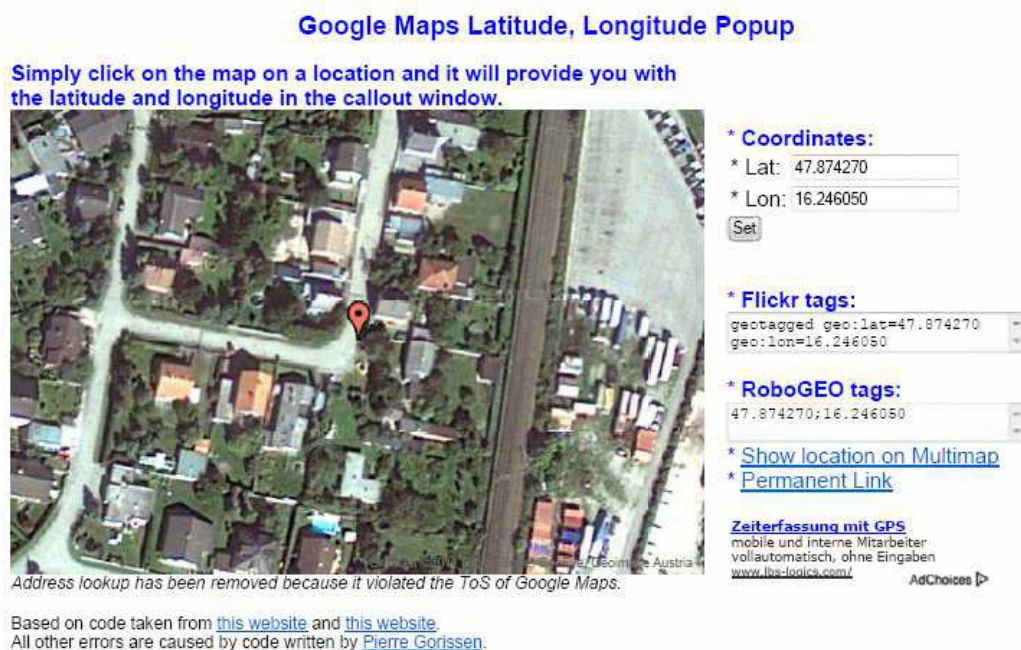


Abbildung 22: Screenprint von Koordinateneingabe zur Fixpunktzurordnung

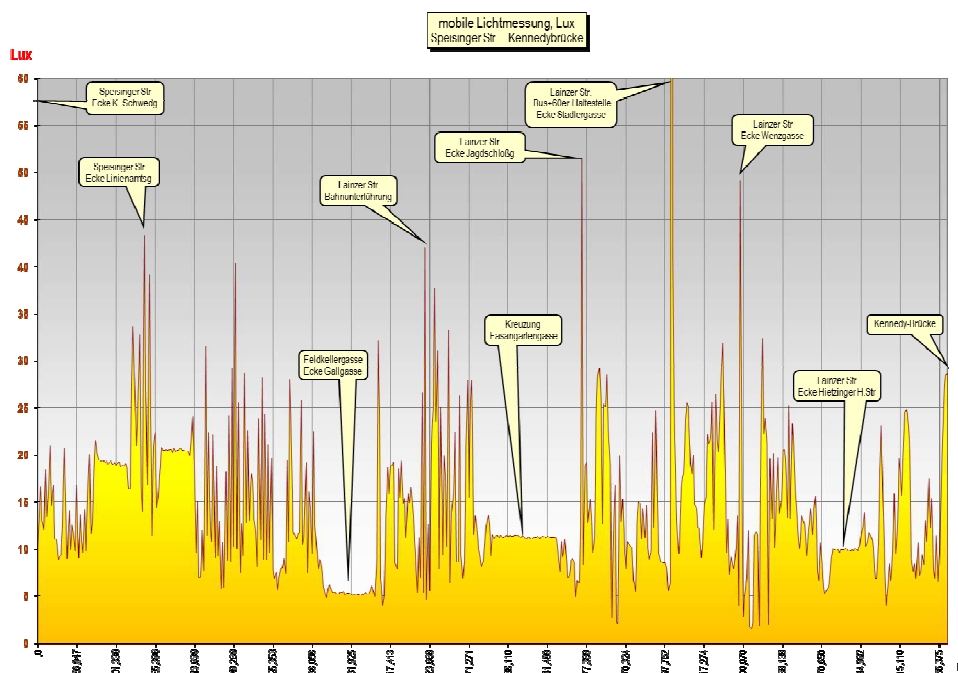


Abbildung 23: Fixpunktzuordnung (Legenden) aus erfassten GPS-Daten

„Highlights“ des Projekts

Ein 'Highlight' des Projektes ist die Feldmessung in der Gemeinde Felixdorf in Niederösterreich und die nachfolgende Analyse der Messdaten. Zur Unterstützung dieser Messung stellte das Unternehmen EVN ein detailreiches orthogonales und eingemessenes Luftfoto der Messregion zur Verfügung. Die mit LimeSpec gemessenen Positionen der Lichtpunkte sind in Abbildung 22 mit roten Sternen markiert. Gemessene und tatsächliche Position der Lichtpunkte zeigen eine ausgezeichnete Übereinstimmung.



Abbildung 24: Feldmessung in Felixdorf

Ein weiteres „Highlight“ ist die Messung Brunner Straße - Knoten A21/A2. Diese Messung wurde mit Fahrgeschwindigkeiten mit bis zu 70 km/h durchgeführt und hat beeindruckende Übereinstimmungen bei den viermal pro Lichtpunkt gemessenen Werten gezeigt. Diese exakte Reproduzierbarkeit auch bei höheren Geschwindigkeiten ist für großflächige Messungen von hoher Relevanz und beweist die Effizienz des Messgeräts hinsichtlich der Zeitökonomie und daraus resultierender Wirtschaftlichkeit in der realen Anwendung.



Abbildung 25: Feldmessung Brunner Straße
Knoten A21/A2

2.7 Dissemination

Mit folgenden Institutionen als potentielle Kunden fand während des zweiten Projektjahres ein laufender und besonders intensiver Austausch statt:

- EVN – Energie Versorgung Niederösterreich, Abteilung Lichtservice
- Energie Graz GmbH, Abteilung Beleuchtung
- Magistrat der Stadt Salzburg – Straßenamt, Abteilung öffentliche Beleuchtung

Das Projekt LimeSpec wurde bei der Tagung Licht 2010, einer internationalen Gemeinschaftstagung der Lichttechnischen Gesellschaften Österreichs, Deutschlands, der Niederlande und der Schweiz (17. bis 20.10.2010, Wien - VIC), einigen Fachleuten, interessierten Kunden und potentielle Vertriebspartner vorgestellt. Diesen Kongress mit angeschlossener Ausstellung besuchten 850 Fachleute, rund 25 Unternehmen aus der Lichttechnik waren ebenso vertreten.

Bei der Fachtagung der LTG (Lichttechnische Gesellschaft Österreich) im Mai 2011 in Steyr/Oö wurde LimeSpec in persönlichen Gesprächen österreichischen Fachleuten vorgestellt. Diese jährlich stattfindende und wesentlichste Veranstaltung der österreichischen Lichttechnik ermöglichte die Information namhafter potentieller Kunden aus unterschiedlichen Segmenten.

Die Online-Stellung von LimeSpec auf der Webseite der Brenner GmbH sowie auf der Webseite WienWin (<http://www.wienwin.at/innovationen?anwendung=12&projekt=363>)

hat zahlreiche Interessenten des kommunalen wie gewerblichen Bereichs auf LimeSpec aufmerksam gemacht.

Neben dem Vertrieb des LimeSpec Messsystems bietet sich auch das Angebot einer Dienstleistung an. Zahlreiche Kommunen aus Österreich, Deutschland und Südtirol haben bereits bezüglich Dienstleistung angefragt, ein Geräteankauf kommt für sie aus preislichen und personellen Gründen nicht in Frage.

Ein Workshop des ZiT im Juli 2011 mit folgender Vertiefung durch Dozenten der WU Wien hat uns darin bekräftigt die Dienstleistungsvariante näher zu betrachten.

3 Ergebnisse und Schlussfolgerungen

3.1 Allgemein

Die zu Projektbeginn definierten Projektziele wurden erreicht. Im Rahmen dieses Projektes wurde ein LimeSpec System Prototyp entwickelt und gebaut, und die Funktion dieses System in einem umfangreichen Messprogramm im Labor und im Feld an realen Beleuchtungsinstallationen demonstriert. LimeSpec wurde sowohl stationär als auch auf einem Fahrzeug montiert eingesetzt. Nach den Tests erfolgte eine kritische Evaluierung des Systementwurfes, der entwickelten Hardware und Software, der Messergebnisse und der erzeugten Messberichte. Dabei wurden die Beiträge der Projektpartner und die Beiträge mehrerer potentieller Anwendern von LimeSpec berücksichtigt.

3.2 Hardware

Die LimeSpec Hardware macht einen soliden Eindruck. Die Elektronik ist durch ein robustes Gehäuse aus Aluminium geschützt. Alle Bedienungselemente und Durchführungen sind gegen das Eindringen von Staub und Spritzwasser geschützt. Der USB Kabelanschluss kann verschraubt werden und ist wasserdicht. Eine robuste Montageplatte mit standardisierten Gewinden an der Unterseite des Gehäuses ermöglicht eine sichere mechanische Fixierung von LimeSpec.

3.3 Bedienung

Die Bedienung von LimeSpec ist einfach und kann mit einer Hand erfolgen, auch ohne Sichtkontrolle. Durch Drücken des (einzigen) Druckknopfes für 2 Sekunden wird der Messvorgang ein- bzw. ausgeschaltet. Zwei LEDs und ein akustisches Signal informieren über den aktuellen Betriebszustand des Messgerätes. Eine schwache Batterieladung wird durch periodisches Aufleuchten der roten LED und ein dezentes akustisches Signal angezeigt. Die detaillierte Einstellung des Messvorganges sowie das Auslesen der Messdaten erfolgt auf einem PC mit dem Programm OT-Sensor. Zur Messung wird

LimeSpec über eine USB Kabelverbindung mit einem PC verbunden, bei Bedarf kann anstatt der USB Verbindung aber auch die integrierte drahtlose Bluetooth Schnittstelle verwendet werden.

3.4 Software

Die Einstellung der Messparameter und das Übertragen, Auslesen, Bearbeiten, Anzeigen, Analysieren und Verwalten von Messdaten erfolgt auf dem PC mit dem Programm OT-Sensor. Dieses Programm ist derzeit für eine Bedienung durch den geschulten Benutzer ausgelegt.

Bemerkenswert sind die Datenanalysefunktion dieser Software und die Möglichkeit, einen umfangreichen, detaillierten Messbericht in Microsoft Word Format auf Knopfdruck automatisch zu erzeugen. Dieser Messbericht enthält praktisch alle wichtigen Ergebnisse einer Messfahrt und kann nach Kontrolle und einigen manuell ausgeführten Anpassungen direkt an den Auftraggeber der Messung weitergegeben werden.

3.5 Messtechnik

Die durchgeführten Testmessungen liefern gute Ergebnisse und bestätigen das LimeSpec Messkonzept. Die Beleuchtungsstärkemessung an Glühlampen ist stabil und zeigt eine gute Übereinstimmung mit Messergebnissen die mit Referenzgeräten gewonnen wurden.

Beleuchtungsstärkemessungen an Gasentladungslampen zeigen eine gewisse Abweichung von mit Referenzgeräten gewonnen Messungen. Die Ursache für diese Abweichungen ist noch nicht bekannt. Die Genauigkeit der Positionsmessung mittels GPS liegt wie erwartet im Bereich von ± 3 Meter. Bei Verwendung von LimeSpec zur Bestimmung der exakten Position von Lichtpunkten ist eine Erhöhung dieser Genauigkeit wünschenswert.

4 Ausblick und Empfehlungen

Das LimeSpec Messsystem hat ein ausgezeichnetes Potential um in ein kommerzielles Produkt bzw. eine kommerzielle Dienstleistung weiterentwickelt zu werden. Dazu wäre es notwendig, die in der kritischen Auswertung der Projektergebnisse gewonnenen Erkenntnisse und die Anregungen potentieller Nutzer zu berücksichtigen und nach Abschluss dieses Projektes in einer weiteren Projektphase einige notwendige Verbesserungen und wünschenswerte Erweiterungen vorzunehmen.

4.1 Notwendige Verbesserungen

- Erhöhung der Stabilität der Lichtmessung (LimeSpec Elektronik). Die "Langzeitdrift" des Dunkelstroms könnte bei längeren Messfahrten an Bedeutung gewinnen und sollte verringert werden.
- Die $V(\lambda)$ Anpassung des VIS Sensors sollte verbessert werden.
- Die Kalibrierung des Spektrometers fertig gestellt werden.
- Verbesserung des Gehäuses, insbesondere Versenken der Schrauben, und Abrunden der Kanten (LimeSpec Gehäuse), Schutz der SMA Buchsen gegen mechanische Beschädigung, Verbesserung der Beschriftung.
- Erweiterung der Fehlerbehandlung bei fallweise auftretenden Fehlern in der Datenübertragung (LimeSpec Firmware).
- Vereinfachung der Benutzerschnittstelle (OT-Sensor Programm).
- Erkennen und Abfangen von durch wenig geschulte Benutzer verursachte Eingabefehler.
- Eine Dosenlibelle an der Oberseite des Messgeräts zur einfachen waagerechten Justierung
- Dichtheit des Messgeräts gegenüber Spritzwasser, z.B. Schutzart IP64 staubdicht + Schutz gegen allseitiges Spritzwasser
- Festigkeit des Messgeräts gegenüber Stößen, z.B. IK07 - Schlagenergie von bis zu 2 Joule

4.2 Wünschenswerte Verbesserungen

- Verbesserung der Kosinus Anpassung der Lichtmessung (LimeSpec Optik).
- Erhöhung der zeitliche Auflösung des RGB Sensors und des Spektrometers.
- Erhöhung der Genauigkeit der Positionsmessung mit GPS, eventuell durch Auswertung der Phase der GPS Trägersignale (LimeSpec Firmware).
- Speicherung der Einstellungen im LimeSpec Messinstrument (LimeSpec Firmware).
- Ausweitung der Datenauswertung (OT-Sensor Programm).
- Entwicklung einer Schnittstelle zu einer Kamera und automatische photographische Dokumentation der gemessenen Lichtpunkte.
- Verbesserung der GIS Funktionalität des OT-Sensor Programms mit Darstellung von Karten.
- Das Datenformat sollte erweitert werden um die Abspeicherung von Meta-Daten zu ermöglichen.
- Während Messfahrten sollte es möglich sein über eine definierte Taste (z.B. Leertaste) Marker zu setzen. Damit kann man bei der Auswertung zu den markierten Lichtpunkten Bemerkungen hinzufügen.
- Vor oder nach Messfahrten Eingabe der Sensorhöhe bezogen auf Fahrbahnoberfläche und automatische Kompensation insbesondere des Luxwertes bei Datenauswertung.

- Bei der offline-Datenauswertung wäre es hilfreich, wenn bei Anklicken der lagemäßigen GPS-Koordinaten (Latitude+Longitude) ein Link hinterlegt wäre der ein zugehöriges Fenster bei z.B. Google-Maps öffnet und man automatisch die Örtlichkeit angezeigt erhält.
- Einfaches Zusammenführen von Messreihen gleicher Orte zu unterschiedlichen Zeiten basierend auf identen GPS-Koordinaten.
z.B. ein Straßenzug vor und nach der Umrüstung der Beleuchtung, vor und nach einer Nachtabsenkung bzw. bei Kontrollmessungen innerhalb von Mehrjahreszyklen.

4.3 Anwendungsgebiete

Die sechs diskreten Sensoren von LimeSpec ermöglichen durch ihre Empfindlichkeit eine komfortable Messung von Straßenbeleuchtungsanlagen. Hier gilt es meist horizontale Beleuchtungsstärken zwischen $E = 0,1 \text{ Lux}$ und $E = 50 \text{ Lux}$ messtechnisch zu erfassen, wobei die Empfängerebene des Messkopfes möglichst bodennah angeordnet werden soll. Mit dem $V(\lambda)$ angepassten Sensor wird in diesem Fall die Beleuchtungsstärke direkt gemessen, durch eine getaktete Messserie z.B. aus einem fahrenden Kraftfahrzeug sind somit Aussagen über die Qualität der Beleuchtungsanlage hinsichtlich der Gleichmäßigkeit sowie Einhaltung der normativ geforderten Gütekriterien möglich. Die synchron dazu ablaufenden Messungen mit den drei Photodioden im sichtbaren Bereich des Spektrums ermöglichen eine grobe Bestimmung des Farbortes sowie der Farbtemperatur und damit wiederum den Rückschluss auf die eingesetzten Leuchtmittel sowie deren Betriebszustand. Durch die zusätzlich erfassten GPS- und Geometriedaten ist aus den Messwerten eine Interpolation auf die Positionen des normativen Messrasters möglich.

Auch auf Hauptverkehrsstraßen ist durch getaktete Messungen aus dem fahrenden Fahrzeug eine Zustandserhebung leicht möglich. Hat man die Möglichkeit stationäre Messungen durchzuführen, z.B. bei der messtechnischen Verifizierung von Anrainerbeschwerden hinsichtlich eventueller Beeinträchtigungen durch Lichtimmissionen, kann zusätzlich zu den integralen Sensoren eine Messung der Spektralverteilung des einfallenden Lichts und somit eine tiefergehende Beurteilung der Störwirkung erfolgen. Im Zuge von Recherchen und zahlreichen Gesprächen mit potentiellen Kunden konnte ein erheblicher Bedarf auch im Bereich der Messung von Beleuchtungsstärken in Gebäudeinneren festgestellt werden. Insbesondere gilt dies für Parkgaragen, Lager- und Montagehallen. Für vorgenannte Anwendungen gibt es arbeitsrechtliche Vorgaben, Normen und Richtlinien die Mindestbeleuchtungsstärken vorschreiben. Diese liegt je nach Tätigkeit der Mitarbeiter zwischen 100 und 1.000 Lux, bei besonders hochwertigen Arbeiten (Grafiker, Elektronikmontage, optische Qualitätskontrolle etc.) bis 2.000 Lux. Für Parkgaragen ist eine Mindestbeleuchtungsstärke von 75 Lux im gesamten Parkbereich vorgeschrieben, ausgenommen sind Ein- und Ausfahrtswege (während des Tages) und Schalter mit mindestens 300 Lux. Nur wenige der von uns besuchten Garagen entsprechen lichttechnisch diesen Vorgaben.

9. Elektrotechnische Industrie		
9.1	Kabel- und Leitungsherstellung, Lackieren und Tränken von Spulen, Montage großer Maschinen, einfache Montagearbeiten, Wickeln von Spulen und Ankern mit grobem Draht	300 Lux
9.2	Montage von Telefonapparaten, kleine Motoren, Wickeln von Spulen und Ankern mit mittlerem Draht	500 Lux
9.3	Montage feiner Geräte, Rundfunk- und Fernsehapparate, Wickeln feiner Drahtspulen, Fertigung von Schmelzsicherungen, Justieren, Prüfen und Eichen	1000 Lux
9.4	Montage feinsten Teile, elektronische Bauteile	1500 Lux

Abbildung 26: Auszug aus DIN 5035 - Teil 2 / ÖNORM O 1040

Weitere bedeutende Anwendungsbereiche von LimeSpec sind die (gebäudeintegrierte) Photovoltaik (elektrische Energie aus Sonnenlicht) bzw. der Einsatz energieautarker Außenbeleuchtung mit photovoltaisch basierter Energieversorgung. Zum standortoptimierten Einsatz dieser Technologie bedarf es einer aussagekräftigen Evaluierung des geplanten Einsatzortes (Sonnenstunden, Einfallswinkel, Verschattung, Mikroklima, etc.). Für die Standorterkundung von Solaranlagen ist ein Cosinus-korrigierter Vorsatz an der Lichteintrittsöffnung des Spektrometers zu verwenden.



Abbildung 27: Außenleuchten mit Photovoltaikversorgung (Solar-Paneele)

4.4 Markt

LimeSpec ist im Prinzip für alle Personen / Kommunen / Unternehmen interessant, zu deren Aufgabenbereich die Planung, Herstellung, Errichtung, Installation, Wartung, Optimierung, Reinigung, Überprüfung, Vermessung, und Zertifizierung von Beleuchtungsinstallationen

gehören. Potentielle Kunden werden unseren Recherchen nach in folgenden Sektoren gefunden:

Öffentlicher Sektor: Potentielle Kunden sind Kommunen (2.357 Kommunen in Österreich, 130.000 Kommunen in Europa), Betreiber (ASFINAG, Autostrade/I ...), Dienstleister, Hersteller von Verkehrs- und Außenbeleuchtung (Philips, Zumtobel, GE, Schreder, ...), Zertifizierungsinstitution (MA39, Joanneum Research, Bartenbach, internationale Stellen...). Grundsätzlich gibt es in der Verkehrsbeleuchtung drei unterschiedliche Bereiche: Autobahnen, Europastraßen und andere Straßen. In Ergänzung zu den Verkehrswegen ist der Markt der allgemeinen öffentlichen Beleuchtung vielversprechend. Dazu gehören Bahn- und Busstationen, U-Bahnen, Tunnels, Flughäfen, Hafenanlagen, Parks, Parkgaragen, Gebäude (Objektbeleuchtung).

Privatwirtschaftlicher Sektor: Neben dem öffentlichen Sektor existiert ein privatwirtschaftlicher Markt mit ähnlichen Anforderungen. Dieser umfasst neben der Außenbeleuchtung auch Innenbeleuchtung, Bürobeleuchtung, Arbeitsplatzbeleuchtung, Geschäftsbeleuchtung, Sportstättenbeleuchtung (Stadien, Schipisten (indoor/outdoor), Sporthallen, ...), Parkgaragen (APCOA, BOE, Wipark,...), Objektbeleuchtung, Hersteller von LCD/Plasma/LED-Display sowie Hersteller beleuchteter Werbeflächen, Hersteller und Betreiber von Photovoltaik- und Solaranlagen.

Konsulenten-, Planungs- und Ingenieurbereich: Nahezu alle Neuinstallationen ab einer gewissen Größenordnung bedürfen einer professionellen Vorbereitung, Planung und Designentscheidung. LimeSpec ermöglicht zur Unterstützung der Planung eine einfache Evaluierung der bestehenden Situation sowie eine Miteinbeziehung gemessener Daten in eine technische Berechnung mit dem Ziel einer optimierten Auslegung eines neuen Lichtsystems.

4.5 Produkte

Um dem oben beschriebenen Markt geeignete Lösungen anbieten zu können, überlegen wir die Entwicklung der folgenden Produkte bzw. Dienstleistungen:

LimeSpec Mess-System: Dieses Produkt besteht aus allen Komponenten die ein Kunde benötigt um Messungen an Beleuchtungsanlagen selbst vorzunehmen. Das Angebot beinhaltet ein LimeSpec Messinstrument, Montagevorrichtungen, OT-Sensor Software, Software Updates und Schulungen. Bei Vollauslastung beträgt die Messkapazität einer Messeinheit ungefähr 100.000 Lichtpunkte pro Jahr.

Kunden wären v.a. große Kommunen mit eigenem Fachpersonal (z.B. Wien, Graz, Salzburg), Unternehmen mit zahlreichen Standorten (Lebensmittelketten, Baumarktketten, Automobilindustrie), Lichtnetzbetreiber (EVN, Wien Energie, Citelum), Schienennetzbetreiber

(ÖBB, DB, TrenItalia), überregionale Straßen- und Tunnelbetreiber (ASFINAG, Autostrade), Errichter von Photovoltaikanlagen (ErtexSolar, Phoenix, Schott), Dienstleister und Lichtplaner, Lichtlabors (Bartenbach, Arsenal, MA39, Universitäten), Installationsunternehmen (ELIN, YIT, Siemens), Wiederverkäufer, Vertriebspartner.

Vermietung des LimeSpec Mess-Systems: Kunden wären v.a. kleinere bis mittlere Kommunen mit eigenem Fachpersonal, Lichtnetz-Betreiber und Industrie- bzw. Gewerbebetriebe mit eigenem Fachpersonal, Planer und Errichter von Photovoltaikanlagen, Dienstleister und Lichtplaner, Lichtlabors, Installationsunternehmen. Die Verrechnung der Gerätevermietung wird voraussichtlich über Mietdauer und Zahl gemessener Lichtpunkte erfolgen.

LimeSpec Mess-Service: Dieses Produkt ist eine Dienstleistung, bei dem der Kunde die Charakterisierung / Messung der Beleuchtungsanlagen in einer definierten Region in Auftrag gibt und einen ausführlichen Bericht über den Ist-Zustand der Beleuchtungsanlagen mit Vorschläge für notwendige Instandhaltungsarbeiten und Verbesserungen enthält. Das Angebot einer Servicewoche enthält zum Beispiel: 2 Nächte Messungen, mit Charakterisierung von 1.000 bis 2.000 Lichtpunkten, 2 Tage Datenaufbereitung, 1 Tag Präsentation der Ergebnisse mit Beratung. Kunden wären v.a. Endkunden (Kommunen, Industriebetriebe, Bürogebäude, etc.), Unternehmen, die unsere Leistung an- und an deren Kunden weiterverkaufen. Aus geografischen und logistischen Gründen werden wir unsere Dienstleistung voraussichtlich nur in Österreich, Süddeutschland, Norditalien und in grenznahen Regionen der im Osten angrenzenden Länder anbieten können. Verrechnung unserer Dienstleistung wird über Zahl der gemessenen Lichtpunkte, Länge der Messstrecke und einer Entfernungspauschale (An-/Abreise) erfolgen. Bei dieser Variante beauftragt der Kunde ein Komplettpaket und erhält vorlagefähige Ergebnisse in Form von Papierkopien und die Messdaten auf einem elektronischen Speichermedium.

4.6 Marktpotential

Der Hauptteil des Marktes in Europa wird durch öffentliche Beleuchtungseinrichtungen repräsentiert. Es gibt ungefähr 58 Millionen Lichtpunkten bei einer Verkehrsweglänge von ungefähr 4,5 Millionen Kilometer für 500 Millionen Einwohner in etwa 130.000 Kommunen.

Wenn wir annehmen dass europaweit 5% der Betreiber von öffentlichen Beleuchtungs-Anlagen die Anlagen in Ihrem Verantwortungsbereich charakterisieren lassen wollen, entspricht das einem Potential von $0.05 * 58 \text{ Millionen} = 3 \text{ Millionen Lichtpunkte}$, die charakterisiert werden müssen.

LimeSpec Mess-System: Um die oben genannten 3 Millionen Lichtpunkte in einem Jahr charakterisieren zu können, werden bei einer Geräteauslastung von 30 % insgesamt

$3 \text{ Millionen} / (0.3 * 100,000) = 100$ LimeSpec Geräte benötigt. Bei einem Richtpreis von ungefähr 10,000 - 12,000 Euro wäre ein einmaliger Umsatz von **1,0 - 1,2 Millionen Euro** realisierbar.

LimeSpec Mess-Service: Um die oben genannten 3 Millionen Lichtpunkte charakterisieren zu können, werden $3 \text{ Millionen} / 1,500 = 2000$ Servicewochen benötigt. Bei einem Richtpreis für eine Serviceweche von 5,000 Euro wäre ein Umsatz von $2,000 * 5,000 \text{ Euro} =$ **10 Millionen Euro** realisierbar. Da eine regelmäßige Wiederholung der Messungen im Abstand von ungefähr 3 bis 5 Jahren sinnvoll ist und gut argumentiert werden kann, könnte dieser Umsatz in einer Periode von 3 bis 5 Jahren wiederholt werden. Die Entwicklung des LimeSpec Mess-Service erscheint aus wirtschaftlicher Sicht daher besonders interessant.

5 Anhang

LimeSpec - TN1 - Anforderungen und Spezifikationen v6

LimeSpec - TN4a - Testprogramm Labor v1

LimeSpec - TN4b - Testprogramm Feld v1

LimeSpec - TN5 - Evaluierung der Projektergebnisse und Nachfolgeaktivitäten

LimeSpec - Messprotokoll Felixdorf

LimeSpec - Messprotokoll Brunn

LimeSpec - Messprotokoll A21 Südost-Tangente

Tomic - GIS for LimeSpec

6 Literaturverzeichnis

- EuP-Richtlinie „Eco-Design Requirements for Energy-Using Products“, 2005/32/EG
- Verordnung (EG) Nr. 245/2009 der Kommission vom 18. März 2009 zur Durchführung der Richtlinie 2005/32/EG
- Verordnung (EG) Nr. 347/2010 der Kommission vom 21. April 2010 zur Festlegung von Anforderungen an die umweltgerechte Gestaltung von Leuchtstofflampen ohne integriertes Vorschaltgerät, Hochdruckentladungslampen sowie Vorschaltgeräten und Leuchten zu ihrem Betrieb
- ÖNORM O 1051 "Straßenbeleuchtung, Beleuchtung von Konfliktzonen"
- ÖNORM O 1052 "Lichtimmissionen"
- ÖNORM O 1053 "Berücksichtigung des situativen Verkehrsflusses"
- EN 12193 "Licht und Beleuchtung, Sportstättenbeleuchtung"
- EN 12464-2 (DIN 5035) "Arbeitsstättenbeleuchtung im Freien"
- EN 12665 "Licht und Beleuchtung, Grundlegende Begriffe und Kriterien für die Festlegung von Anforderungen an die Beleuchtung"

- EN 13201 "Straßenbeleuchtung, Teil 1-4"
- RVS "Richtlinien und Vorschriften für das Straßenwesen"
- Magazin Licht 10/2008: Erfassung des Ist-Zustandes der Straßenbeleuchtung, Prod. Dr.-Ing Jürgen Krochmann
- Magazin Licht 5/2009: Messtechnik für die Inspektion der Straßenbeleuchtung
- Optimon-SBL Handbuch OPTIMIERUNG und MONITORING von STRASSENBELEUCHTUNGEN in steirischen Gemeinden

IMPRESSUM

Verfasser

Luzian Wolf Technologieberatung

Luzian Wolf
Elisabethstraße 4
A-2380 Perchtoldsdorf
Tel. +43 664 73449967

Magistrat der Stadt Wien,
Magistratsabteilung MA-39

Eigentümer, Herausgeber und Medieninhaber

Klima- und Energiefonds
Gumpendorfer Straße 5/22
1060 Wien
office@klimafonds.gv.at
www.klimafonds.gv.at

Disclaimer

Die Autoren tragen die alleinige Verantwortung für den Inhalt dieses Berichts. Er spiegelt nicht notwendigerweise die Meinung des Klima- und Energiefonds wider.

Der Klima- und Energiefonds ist nicht für die Weiternutzung der hier enthaltenen Informationen verantwortlich.

Gestaltung des Deckblattes

ZS communication + art GmbH