

Energieforschungsprogramm

Publizierbarer Endbericht

Programmsteuerung:

Klima- und Energiefonds

Programmabwicklung:

Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft mbH (FFG)

Endbericht

erstellt am

31/01/2017

SIRIUS+

Projektnummer: FFG 843901

Ausschreibung	4. Ausschreibung e!Mission.at
Projektstart	01/04/2014
Projektende	30/09/2016
Gesamtprojektdauer (in Monaten)	30 Monate
ProjektnehmerIn (Institution)	SWARCO FUTURIT Verkehrssignalsysteme GmbH
AnsprechpartnerIn	Dr. Thomas Novak
Postadresse	Mühlgasse 86, 2380 Perchtoldsdorf
Telefon	+43-1-895 79 24 711
Fax	+43-1-894 21 48
E-mail	Novak.futurit@swarco.com
Website	www.swarcofuturit.com

SIRIUS+

Sensorbasiertes Smart Lighting für verkehrsadaptives Beleuchtungsmanagement zur Steigerung der Energieeffizienz

AutorInnen:

Klaus Pollhammer

Thomas Novak

Wolfgang Wimmer

Heimo Zeilinger

Joseph Wenninger

Sergey Golovkin

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	5
	Aufgabenstellung.....	5
	Schwerpunkte des Projektes und Einordnung in das Programm	7
	Verwendete Methoden und Aufbau der Arbeit	9
2	Inhaltliche Darstellung	9
	AP1 – Projektmanagement.....	9
	AP2 – Anforderungen und Konzeptentwicklung.....	9
	AP3 – Implementierung Systemebene	11
	AP4 – Implementierung Feldebene	12
	AP5 – Pilotinstallationen.....	13
	AP6 – Evaluierung.....	14
	AP7 – Dissemination	16
3	Ergebnisse und Schlussfolgerungen	16
	AP1 – Projektmanagement.....	16
	AP2 – Anforderungen und Konzeptentwicklung.....	17
	AP3 – Implementierung Systemebene	20
	AP4 – Implementierung Feldebene	21
	AP5 – Pilotinstallationen.....	21
	AP6 – Evaluierung.....	22
	AP7 – Dissemination	40
4	Ausblick und Empfehlungen.....	41
	Projekt-Highlights	41
	Wirtschaftliche Verwertung.....	41
	Wissenschaftliche Verwertung.....	42
5	Kontaktdaten.....	43

1 Einleitung

Aufgabenstellung

Die Beleuchtung aller Verkehrsflächen im öffentlichen Raum hat einen nicht zu unterschätzenden Anteil am Gesamtenergieverbrauch von Gemeinden. Dies liegt einerseits an der meist schon veralteten Technologie der Beleuchtung und andererseits an den, wenn vorhanden, zeitgesteuerten Management- und Steuerungskonzepten. Gerade durch die neuen Entwicklungen im Bereich der LED-Leuchten können innovative Beleuchtungskonzepte erstmalig umgesetzt werden. Im vorliegenden Projekt soll mit Hilfe von hocheffizienten LED-Leuchten und effizienter Präsenzsensoren ein System zur Umsetzung von verkehrsadaptivem Beleuchtungsmanagement umgesetzt werden. Dabei soll das Hauptaugenmerk nicht wie in vergleichbaren Vorhaben nur auf die Beleuchtung von Hauptverkehrswegen gelegt, sondern auch Lösungen für Nebenstraßen sowie Rad- und Fußwege gefunden werden. Hauptziel ist es eine signifikante Energieeinsparung über alle Systemebenen hinweg zu erzielen.

Innerhalb des Projektes soll mit Hilfe eines experimentellen Ansatzes die Machbarkeit sowohl in technischer Sicht als auch aus Sicht der möglichen Anwendungen gezeigt werden. Dazu soll ein offenes System auf Basis der Erkenntnisse aus relevanten Vorprojekten sowie innerhalb des Projektes zu entwickelnden Lösungen, insbesondere im Bereich der Kopplung von Präsenzsensoren und Beleuchtung geschaffen werden. Neben den eigentlichen Systemkomponenten soll es möglich sein auch Messdaten von Bestandssensoren (so vorhanden) und Daten aus der Verkehrsmanagementzentrale einzubinden und so das Beleuchtungssystem nicht als insulare Lösung alleine zu betreiben, sondern bereits vorhandene Datenquellen zu nutzen und gegebenenfalls zu erweitern. Der Aspekt des Datenschutzes soll ebenfalls innerhalb des Projektes schon beim Design berücksichtigt werden um diesen integralen Bestandteil von Beginn an ausreichend zu berücksichtigen.

Teil des Projektes soll neben der eigentlichen Entwicklung des Beleuchtungssystems auch eine Evaluierung einerseits der Akzeptanz von BenutzerInnen und AnrainerInnen als auch eine umfassende Evaluierung der erreichten Energieeinsparung bei Komponenten, Gesamtsystem und Anwendungen sein. Ein wichtiger Teilaspekt hierfür sind geplante Pilotinstallationen in unterschiedlichen Gemeinden.

Als grundlegendes Projektziel ist die Schaffung eines offenen und integrierten Beleuchtungssystems zur verkehrsadaptiven Beleuchtungssteuerung zu nennen. Dieses System soll durch die ganzheitliche Betrachtung des öffentlichen Raums sämtliche Teilnehmer und ihre Bedürfnisse in das Beleuchtungskonzept einbeziehen. Durch die bereits in der Designphase angestrebte Energieeinsparung in allen Systembereichen soll eine signifikante Effizienzsteigerung im Bereich des Energieverbrauchs angestrebt werden. Diese Effizienzsteigerung soll sowohl bei den Einzelkomponenten als auch beim Gesamtsystem und den angestrebten Zielanwendungen erfolgen. Darüber hinaus soll mit geeigneten Methoden die Nutzerakzeptanz evaluiert werden und die entwickelten Schnittstellen und Lösungen in Standardisierungsprozesse eingebracht werden.

Aufbauend auf den Vorgängerprojekten soll in SIRIUS⁺ der grundlegende Gedanke zur Umsetzung einer verkehrsadaptiven, intelligenten Beleuchtung des öffentlichen Raumes überdacht und konsequent weiter ausgebaut werden. Es sollen die in SIRIUS aufgetretenen Probleme und Herausforderungen als „Lessons Learned“ in SIRIUS⁺ einfließen, um ein vollständiges Gesamtkonzept zu erhalten sowie die Energieeffizienz des gesamten Beleuchtungssystems deutlich zu steigern.

Eine der Annahmen im Vorgängerprojekt SIRIUS war, dass sämtliche notwendige Sensorik zur Umsetzung von verkehrsadaptivem Beleuchtungsmanagement bereits auf der Straße vorhanden ist. Es war geplant mit Hilfe geeigneter Schnittstellen auf diese Bestandssensorik zugreifen um die dort gemessenen Daten nutzen zu können. Es hat sich gezeigt, dass die Annahme sämtliche notwendige Messgeräte seien bereits vorhanden, nur in großen Städten, auf Hauptstraßen und einigen Autobahnabschnitten zutrifft. Überall sonst zeigte es sich, dass in ländlichen Gemeinden und kleinen Städten kaum Bestandssensorik vorhanden ist, jedoch fast überall Potential für intelligentes Beleuchtungsmanagement.

Auch bei bereits vorhandener Bestandssensorik hat sich das Problem ergeben, dass es sich in sehr vielen Fällen um geschlossene Systeme unterschiedlicher Betreiber handelt und ohne die Mitarbeit dieser Betreiber kein Zugriff auf die Daten und darüber hinaus keine „offene“ Schnittstellenspezifikation zu erlangen ist. Neben diesen technischen Problemen hat sich auch gezeigt, dass die Zuständigkeiten (und Betreiber) für die Sensorik selbst, innerhalb eines Straßenzuges mehrmals wechseln können. Zusammenfassend kann gesagt werden, dass es selbst innerhalb eines wissenschaftlich, experimentellen Ansatzes nicht immer möglich war Zugriff auf Bestandsdaten zu erhalten, um damit eine verkehrsabhängige Lösung zu realisieren. Soweit dieses Hauptproblem technisch lösbar ist, soll das vorliegende Projekt eine geeignete Lösung aufzeigen.

Nicht nur wegen der vorhandenen Bestandssensorik, sondern auch auf Grund der Tatsache, dass an diesen Stellen zumeist die Leuchten mit der höchsten Leistung und damit Verbrauch verbaut sind, konzentriert sich das intelligente Beleuchtungsmanagement bisher primär auf Hauptstraßen. Die Steuerung solcher Systeme wird in den meisten vorhandenen Systemen auf Basis eines zentralen Steuerungskonzeptes umgesetzt, das entweder als geschlossenes oder wie in SIRIUS als offenes System mit vertikaler Integration umgesetzt wird. Einzig bei einer Testinstallation in Innsbruck, wurde eine dezentrale und in sich geschlossene lokale Lösung für Fußgänger realisiert, allerdings in sehr kleinem Maßstab, da es sich um gerade einmal 5 Leuchten handelt¹.

Zentrale Systeme haben neben einigen unbestreitbaren Vorteilen auch einige Nachteile. So geht bei einem Kommunikationsverlust mit der Zentrale die Funktionalität vollständig verloren. Außerdem müssen sämtliche im System gesammelten und verschickten Informationen immer zuerst von der zentralen Steuereinheit bewertet und verarbeitet werden. Die Stärke von dezentralen Ansätzen ist es, dass Teilsysteme in sich geschlossene Funktionalitäten für das Gesamtsystem anbieten können und nur für die Änderung von Stellwerten oder Statusinformationen Kommunikation mit höheren Ebenen notwendig ist. Dieser Ansatz wird bei Beleuchtungssystemen bisher allerdings nicht verfolgt und umgesetzt (mit Ausnahme der bereits erwähnten Testinstallation in Innsbruck).

¹ <http://www.kommunal.at/kommunal/online-lesen/archiv/ausgaben-2013.html> (letzter Aufruf 06/09/2013)

Die Betrachtung von lokalen Straßen sowie Rad- und Fußwegen wird bei verkehrsadaptiven Lösungsansätzen zur Beleuchtung fast immer gänzlich ausgeklammert, obwohl eine große Anzahl an Straßenleuchten gerade in diesem Bereich installiert ist. Wie bereits im Abschnitt zum State-of-the-Art beschrieben, gibt es laut Homepage des Magistrats 33 der Stadt Wien, alleine im Gebiet der Bundeshauptstadt 150.000 Beleuchtungskörper. Es ist anzunehmen, dass davon ein großer Anteil nicht auf Hauptverkehrswegen installiert ist, besonders da laut der Webseite² der Stadt Wien von 2.763 km Straßen nur 222 km als Hauptstraßen deklariert sind. Zusätzlich gibt es im Gebiet der Stadt Wien noch 51 km Autobahn, die aber von der ASFINAG betreut werden und deswegen gesondert zu sehen sind. Nichtsdestotrotz steht diesen beiden Werten ein Wert von 2.541 km Gemeindestrassen und bis zu 1.100 km Radwege alleine in Wien gegenüber. Diese Verkehrsflächen müssen natürlich ebenfalls beleuchtet werden. Da es allerdings zumeist keinerlei Sensorik für die Messung des Verkehrsaufkommens gibt (in Wien sind nur 8 Zählstellen für das Messen des Radfahreraufkommens installiert³) können keine intelligenten Konzepte auf Basis von Bestandssensorik umgesetzt werden. Aus diesem Grund wird das dort vorhandene Potential zur Steigerung der Effizienz durch verkehrabhängiges Beleuchtungsmanagement bisher nicht beachtet. Eine Herausforderung für das vorgestellte Projekt wird es sein, eine bestmögliche, umfangreiche Lösung für sämtliche Verkehrswege zu ermöglichen.

Durch die Konzentration auf einzelne Subaspekte innerhalb unterschiedlicher Projekte wurde in den meisten Fällen nicht darauf geachtet, ob die Einzelkomponenten ihre Effizienzsteigerung auch im Verbund mit anderen Komponenten zur Bildung eines Gesamtsystems voll ausschöpfen können. Diese Problemstellung kann nur mit einem ganzheitlichen Designansatz ausreichend behandelt werden.

Aus diversen Vorprojekten in diesem Bereich hat sich gezeigt, dass immer noch eine große Skepsis gegenüber innovativen Beleuchtungskonzepten und –systemen bei den Betreibern und Anwendern konventioneller Systeme vorherrscht. Diese Problematik stellt auch im vorgestellten Projekt einen wichtigen Faktor dar und eine Änderung in der öffentlichen Meinung gegenüber hocheffizienten Beleuchtungssystemen ist nur sehr langsam auszumachen. Ebenso ist der Themenkomplex Datensicherheit in der öffentlichen Wahrnehmung von steigender Bedeutung und muss innerhalb des Projektes behandelt werden.

Schwerpunkte des Projektes und Einordnung in das Programm

Das Projekt behandelt prioritär:

Schwerpunkt: Themenfeld 2 – Energieeffizienz und Energieeinsparung

Subschwerpunkt: TF2/2.2 – Energieeffiziente Produkte und Systemlösungen / Beleuchtung

Begründung:

² <http://www.wien.gv.at/verkehr/strassen/fakten.html> (letzter Aufruf 06/09/2013)

³

<http://www.wien.gv.at/stadtentwicklung/projekte/verkehrsplanung/radwege/erhebungen/dauerzaehlung/zaehlstellen.html> (letzter Aufruf 06/09/2013)

Im Bereich der Beleuchtung von öffentlichen Räumen wird in den letzten Jahren verstärkt auf die Effizienzsteigerung bei Straßenbeleuchtung Wert gelegt. Der erste Schritt ist der Tausch von bestehenden Leuchten durch hocheffiziente Leuchtmittel wie LED Straßenleuchten, nachfolgend eine zeitbasierte Regelung der Beleuchtung. Das Hauptaugenmerk lag dabei auf Hauptverkehrswegen, wobei Straßen mit überwiegend lokalem Verkehr (z.B. Neben- oder Wohnstraßen) sowie Rad- und Fußwege meist nicht in die Betrachtung mit einbezogen wurden. Gerade hier wird allerdings noch ein beträchtliches Potential zur Einsparung erwartet und deswegen soll das in den Vorgängerprojekten erworbene Wissen nun die Erstellung einer gesamtheitlichen Lösung für alle Verkehrswege ermöglichen. Durch eine umfassende verkehrsadaptive Steuerung der Beleuchtung soll eine wesentliche Effizienzsteigerung umgesetzt werden.

Ausschreibungsziele:

Durch eine noch höhere Energieeffizienz und der Miteinbeziehung bisher noch nicht umfassend betrachteter Bereiche in energieoptimierte Beleuchtungssteuerungskonzepte (Straßen mit überwiegend lokalem Verkehr, Fuß- und Radwege) soll das Projekt maßgeblich zu **Ziel 1: Beitrag zur Erfüllung der energie-, klima- und technologiepolitischen Vorgaben** des Förderprogrammes beitragen.

Das Projekt liefert weiters Beiträge zu

Schwerpunkt: Themenfeld 1 - Emerging Technologies

Subschwerpunkt: TF1/1.1 - Energieeffizienz durch neue Materialien und Technologien / Optische Technologien / Smart Lighting

Begründung:

Öffentliche Beleuchtung als Energieverbraucher stellt Kommunen wie Betreiber vor die Herausforderung, dass gerade herkömmliche Beleuchtungstechnologien wie Natrium-Dampf-Lampen sehr langsam auf Stellsignale reagieren bzw. die kurzfristige Berücksichtigung des situativen Verkehrsflusses auf diese Art und Weise nicht umsetzbar ist. Durch die Kombination von hocheffizienter LED-Technologie auf Seite der Leuchte sowie State-of-the-Art Kommunikations- und Sensortechnologie ist es erstmalig möglich „Smart Lighting“ umzusetzen. Im vorliegenden Projekt soll dieser Ansatz konsequent weiterentwickelt werden.

Ausschreibungsziele:

Durch die Umsetzung von „Smart Lighting“ wird erwartet, dass die Kosten für den Energieverbrauch im Vergleich zu herkömmlichen Technologien drastisch gesenkt werden können. Es wird außerdem erwartet, dass die im Vergleich zu herkömmlichen Technologien höheren Innovationskosten in kurzer Zeit amortisiert werden können und so wesentlich zu **Ziel 2: Erhöhung der Leistbarkeit von nachhaltiger Energie und innovativen Energietechnologien / Kostensenkung bei hochinnovativen Technologien** des Förderprogramms (neben dem Beitrag zu Ziel 1) beigetragen werden kann.

Verwendete Methoden und Aufbau der Arbeit

Das Projektziel wurde in einzelne Arbeitspakete aufgeteilt, welche in Folge von unterschiedlichen Subteams be- und abgearbeitet wurden. Die Arbeitspakete wurden so koordiniert, dass der Projektverlauf bestmöglich unterstützt werden konnte und um gleichzeitig für einen reibungslosen Projektverlauf zu sorgen, wurde bei regelmäßigen Konsortialtreffen (und einigen bilateralen Meetings zur genaueren Koordination und Abstimmung) der Projektfortschritt präsentiert und bewertet und gegebenenfalls das geplante weitere Vorgehen angepasst.

Die eigentliche Entwicklungsarbeit selbst wurde nach dem Top-Down Prinzip strukturiert, das bedeutet nach einer Konzeptphase, welche unter anderem die Definition und Ausarbeitung einzelner Use Cases beinhaltet, folgte die Entwicklungsphase. Daran anschließend wurden die Ergebnisse getestet und die daraus resultierenden Testreihen analysiert und gegenüber den Projektzielen bewertet. Daneben wurde mit Hilfe einer Nutzerbefragung auch die gesellschaftliche Relevanz und Akzeptanz von LED-basierten Beleuchtungssystemen und verkehrsadaptiver Beleuchtung ermittelt.

2 Inhaltliche Darstellung

AP1 – Projektmanagement

Im Berichtszeitraum wurden Meetings abgehalten und einige Telefonkonferenzen durchgeführt. Die Arbeitsverteilung erfolgte durch Zuteilung von Verantwortlichkeiten und der klaren Definition der Schnittstellen. Die Erwartungshaltung der einzelnen Partner wurde abgestimmt. Der Projektfortschritt wurde überwacht und mit den geplanten Meilensteinen verglichen. Abweichungen und Änderungen wurden unter den Partnern diskutiert und der Zeitplan wenn nötig adaptiert.

AP2 – Anforderungen und Konzeptentwicklung

Aufgaben des Arbeitspakets waren die Konzepterstellung für intelligentes Management der Beleuchtung, Erstellung von Use Cases, Konzepterstellung für die Evaluierung der Energieeffizienz, Erstellung einer Anforderungsspezifikation, Erstellung eines Konzepts zur Erhebung der Nutzerakzeptanz.

Konzept intelligentes Management

Eine Evaluierung der im Vorprojekt SIRIUS entwickelten Schnittstellen besonders zwischen der eigentlichen Steuerungslogik (Business Logik, BL) und den direkt damit verbundenen Komponenten wurde durchgeführt. Dies umfasste sowohl die Schnittstellen zur grafischen Benutzeroberfläche (GUI) als auch zur Communication Engine (CE), welche die low-level Befehle für die oberen Systemebenen abstrahiert und die Protokollumsetzung zwischen Management und Feldebene

übernimmt. In beiden Fällen wurden umfassende Änderungen vorgenommen, welche bei der Schnittstelle BL \leftrightarrow GUI vor allem formaler Natur waren und nur wenige Änderungen im funktionalen Umfang umfassten. Die Schnittstelle BL \leftrightarrow CE wurde angepasst, um die Erweiterungen um Gruppen- und Sammelbefehle bestmöglich abzudecken und so eine Optimierung der Kommunikation zu erreichen.

Innerhalb des Berichtszeitraums wurde das im Rahmen des SIRIUS Projektes definierte Konzept übernommen und bzgl. der für Sirius+ definierten Ziele analysiert. Die ganzheitliche Betrachtung umfasste dabei das System (Komponenten, Informationsquellen, Schnittstellen), benötigte Services aufgrund der involvierten Verkehrsteilnehmer sowie Betrachtungen bzgl. der Leistungsfähigkeit und Erweiterbarkeit des Systems.

Bei der Evaluierung hat sich herausgestellt, dass die Einbindung verschiedener Sensortypen und –technologien prinzipiell auf zwei unterschiedlichen Wegen möglich ist. Einerseits ist es möglich die Sensoren direkt in das Feldnetzwerk, gemeinsam mit den Beleuchtungskörpern, zu integrieren, andererseits gibt es die Möglichkeit, die Sensordaten erst auf Ebene der Steuerungslogik in das System einzubringen. Beide Möglichkeiten sollten dabei letztendlich umgesetzt werden um größtmögliche Flexibilität bei der Sensorik zu gewährleisten. Umgelegt auf das existierende SIRIUS-System sollte die unterschiedliche Sensorik mittels zweier unterschiedlicher Interfaces realisiert werden. Abbildung 1 unter „Ergebnisse“ zeigt die angestrebte Systemarchitektur. Wie dargestellt soll es möglich sein mittels eigens entwickelter ZigBee-CDM-Module und einer zu spezifizierenden seriellen Kommunikation über UART Sensoren in das Feldnetzwerk einzubinden. Ebenso soll es die Möglichkeit geben Sensoren über externe Netzwerke einzubinden.

An Hand der Erkenntnisse aus den Vorgängerprojekten und in Rücksprache mit den Sensorverantwortlichen konnten die Anforderungen von Sensoren an die Kommunikationstechnik formuliert werden. Es wurden zuerst die notwendigen grundlegenden Anforderungen festgelegt und danach ein Konzept für die Adaption des Sensorknoten an diese Erfordernisse erstellt. Zusätzlich wurde ein internes Interface zwischen Sensorknoten und Sensor selbst spezifiziert und ausgelegt.

Use Cases

Des Weiteren wurden Use-Cases erstellt die Situationen und Szenarien für den Anwendungsfall entsprechend abbilden. Die daraus resultierenden Anforderungen an das Steuermodul werden nach ihrer Umsetzbarkeit evaluiert und gefundene Lösungen in einem Systemkonzept zusammengefasst auf dem das nachfolgende Software-Design aufbaut. Bzgl. der Schnittstellen wurde die Abstimmung mit den Projektpartnern entsprechend intensiviert, um die Interoperabilität mit anderen Systemkomponenten zu gewährleisten.

Konzept Energieevaluierung

Im Rahmen der Konzepterstellung für die Energieevaluierung wurden folgende Arbeiten durchgeführt:

- Festlegung von Zielen und Umfang der Evaluierung (Fragestellungen, Detaillierungsgrad, UseCases, Zeitdauer)
- Ableiten der Anforderungen an die Messungen (Messgrößen, Messzeitpunkte bzw. –

intervalle, Fehlererkennung und -toleranz), Datenerfassung/-speicherung und Analyse[^]

- Ableiten der Anforderungen an die Protokollierung der Management-Software
 - Vergleich, Test und Auswahl von Softwaretools zur effizienten Verarbeitung der großen Datenmengen
 - Recherche geeigneter Messgeräte und Anbieter bzw. Kauf-/Mietmodelle
 - Anforderungen intelligentes Management
- Fragebogen zur Erhebung der Nutzerakzeptanz

AP3 – Implementierung Systemebene

Aufgaben des Arbeitspakets sind Erstellung der Softwarearchitektur und Datenmodellierung, Technologiewahl, Erstellung eines Software Designs, Implementierung und Evaluierung des Software Designs.

Eine besondere Herausforderung war die Einbindung von Sensoren in das bereits bestehende System ohne grundlegende Änderung in den bereits entwickelten Abläufen. Die gesamte Sensorinfrastruktur und –kommunikation sollte in das Bestandssystem mit aufgenommen werden, wobei die bereits entwickelten weitgehend getesteten Abläufe so wenig wie möglich beeinflusst werden sollten. Aus diesem Grund wurden zwei unterschiedliche Konzepte zur Integration der Sensorik entwickelt und ausgearbeitet. Das erste (Sensor Type 1) geht davon aus, dass die Sensorik bereits auf Feldebene in das Kommunikationssystem integriert werden kann und somit die vorhandene Infrastruktur bestmöglich genutzt wird. Die zweite (Sensor Type 2) geht davon aus, dass externe Kommunikationskanäle notwendig sind um eine Verbindung zum Steuerungssystem zu ermöglichen. Letzteres ist vor allem dafür gedacht systemfremde Sensoren einbinden zu können und soll somit auch als Testfall für die Schaffung einer offenen Schnittstelle herangezogen werden. Letztgenannte Schnittstelle soll so allgemein und offen gehalten sein, dass Sensorik vom Type 1 (interne Kommunikationskanäle) und von Type 2 (externe Kommunikationskanäle) gleichermaßen darüber eingebunden werden kann. Eine Gesamtdarstellung aller funktionaler Komponenten sowie der Schnittstellen kann Abbildung 1 entnommen werden.

Während Sensoren vom Typ 2 durch die Offenlegung der und Verbindung zur eigens entwickelten Sensorschnittstelle der Business-Logik sich ohne große Designänderung eingebunden werden konnte, sind gerade für Sensoren des Typs 1, welcher eine Integration bereits auf Feldebene vorsieht, umfangreiche Änderungen notwendig. Diese Änderungen umfassen unter anderem:

- Neustrukturierung und Auslegung ZigBee Kommunikation
- Adaption in ZigBee-Koordinator Knoten (u.a. Erweiterung der Kommunikationsfunktionalität um Multicast und Sammelbefehle, sowie der Ermöglichung von Push-Mechanismen im Kommunikationsaufbau)
- Entwicklung einer Zwischeninstanz zur Analyse und Weiterleitung etwaiger Sensordaten an

die Sensorschnittstelle bzw. Durchreichen von Leuchtenbefehlen und –statusdaten.

Aus dem im Arbeitspaket 2 definiertem Konzept wurde das Softwaredesign für das Steuermodul erstellt. Dabei wurden über objektorientierte Analyse und Design die Software-Struktur sowie das funktionelle Zusammenspiel der einzelnen Software-Komponenten definiert. Weiters wurden in enger Kooperation zwischen den Projektpartnern die Interfaces zu den anliegenden Komponenten (GUI, Verkehrsinfrastruktur) spezifiziert und die Möglichkeiten zur Umsetzung der im Konzept festgelegten Fehlerbehandlung evaluiert.

Das Steuermodul selbst wird innerhalb des Projektes als Servlet in Java EE realisiert. Als Server Infrastruktur wurde Glassfish herangezogen, da es darauf aufbauend bereits Erfahrungen im Projektteam gibt und der System-Support zukunftssicher scheint. Für die Schnittstellen wurde die JavaScript Object Notation (JSON) gewählt, da diese einen geringen Protokolloverhead, sowie gute Wart- und Erweiterbarkeit verspricht.

Im Rahmen des Berichtszeitraums wurde daraus die konkrete Struktur für die Implementierung geformt, die zum Zeitpunkt der Berichtslegung im Gange ist. Die Evaluierung des Software Designs ist für einen späteren Projektzeitraum geplant.

AP4 – Implementierung Feldebene

Aufgaben des Arbeitspakets sind Integration von Präsenzsensoren, Integration Low Power Kommunikation in Knoten und Gesamtsystem, Erst-Untersuchung des Energieverbrauchs der integrierten Feldkomponente.

Die Kommunikation auf Feldebene basiert auf Ergebnissen aus einem Vorgängerprojekt mit Namen wiTAV. Sie wurde damals für eine reine Steuerung von Aktoren entwickelt und im Rahmen des gegenständlichen Projekts nun für den Datenaustausch Sensor zu Zentrale erweitert.

Am Beginn stand daher eine Untersuchung, wie die Sensorik in das bestehende System eingebunden werden kann (d.h. kommunikationstechnische Integration). Die Lösung diesbezüglich war, dass die bestehende Hardware unverändert übernommen werden kann. Über eine serielle Schnittstelle (RS232) wird der Sensor an den Sensorknoten angebunden. Die Firmware auf dem Sensorknoten ist zu modifizieren, um die Kommunikation zur Zentrale und zum Sensor zu ermöglichen.

Zwischen Sensor und Sensorknoten wurde ein Protokoll spezifiziert. Es wurde darauf geachtet, dass mit vorhandenen Lösungen Synergien erzielt und die Daten effizient ausgetauscht werden können. Sensor mit Lichteinheit und Sensorknoten werden gemeinsam in einer Box verbaut (mechanische Integration). Zu diesem Thema wurde ein erstes Konzept entwickelt, das folgenden Anforderungen genügt.

- rasche Assemblierung und Tausch der Komponenten
- lange Haltbarkeit der Halterungen (Schraubverbindungen statt einfacher Kleber)
- leichte Montage vor Ort
- Dichtheit gemäß IP6x

- kosteneffiziente Umsetzung (Bauteile, Durchlaufzeit bei der Montage)
- Feldfirmware (Low Power Kommunikation)
- Integrationsplan Feldebene
- Sensorik

AP5 – Pilotinstallationen

Aufgaben des Arbeitspakets sind Evaluierung Teststandorte, Installation der notwendigen Infrastruktur, Validierung der einzelnen Komponenten und der gesamten Systemfunktionalität im Feldversuch, Betreuung und Wartung des laufenden Testbetriebes.

Evaluierung Teststandort und Installation

Die Auswahl der Teststandorte erfolgte nach unterschiedlichen Kriterien. Einerseits sollten die geplanten Abläufe und Prinzipien bestmöglich in einer realistischen Umgebung umgesetzt und getestet werden können. Andererseits sollten die Testumgebungen auch verschiedene (möglicherweise im eigentlichen Straßenverkehr nicht umsetzbare) Testszenarien unterstützen, um das volle Optimierungs- und Verbesserungspotenzial abschätzen zu können. Folgende Kriterien wurden für die Auswahl herangezogen:

- Adaptierung bereits existierender Testumgebungen und Nutzung von Synergien mit Vorgängerprojekten
- Leichte Erreichbarkeit für Service und „Vor-Ort-Tests“
- Einfache Möglichkeit unterschiedliche und möglicherweise suboptimale Betriebsstrategien zu testen
- Möglichkeit Langzeittests innerhalb realistischer Rahmenbedingungen durchführen zu können
- Voller Zugriff auf die gesamte Infrastruktur, um neue Entwicklungen eingehend testen zu können.

Wegen der sehr unterschiedlichen Anforderungen wurde innerhalb des Konsortiums beschlossen diesem Umstand folgendermaßen Rechnung zu tragen. Einerseits wurden die Teststandorte (Waidhofen, Neunkirchen, Krems) aus dem direkten Vorgängermodell SIRIUS übernommen und weitergeführt. Diese Standorte übernahmen dabei die Rolle der „realen“ Umsetzungen. Als reine „Teststandorte“ wurden hingegen ein Teststandort in Perchtoldsdorf, direkt am Standort eines Projektpartners, sowie ein „virtueller“ Teststandort in Form einer Simulationsumgebung etabliert. Während es bei ersterem vor allem darum ging vollen Zugriff auf Infrastruktur und System zu haben, wurde zweiter es dazu genutzt umfangreiche Optimierungs- und Simulationsläufe durchführen zu können. Die Simulationsumgebung wurde dafür eigens von der TU Wien zu diesem Zweck entworfen und entwickelt.

Systemtests und Testergebnisse

Am Standort von SWARCO Futurit wurde ein „Living Lab“ eingerichtet, in welchem verschiedene Konfigurationen und Setups im Livebetrieb getestet werden können. Innerhalb des Projektes wurde diese Vorgehensweise beschlossen, da durch die Komplexität des Gesamtsystems ein immer umfangreicherer System- und Funktionstest bei der Inbetriebnahme an einem Standort notwendig ist. Um diese Prozesse eingehend testen zu können und für die Durchführung unterschiedlicher Einsatz- und Testszenarien, welche nicht an „eentlichen“ Produktivstandorten erprobt werden können, wurde eine Testinstallation im direkten Umfeld des Projektkonsortiums initiiert.

Für den „Teststandort Perchtoldsdorf“ wurden auf dem Gelände der SWARCO Futurit insgesamt 22 Leuchten und 4 Sensoren verbaut. 5 Leuchten (und zwei Sensoren) wurden auf dem Betriebsparkplatz installiert, 7 Leuchten (und zwei Sensoren) wurden auf der Zufahrtstrasse vor dem Gebäude (wird auch von anderen Betrieben genutzt) installiert und 10 weitere Leuchten wurden im Keller installiert. Mit Hilfe dieses Setups ist es möglich unterschiedliche Testfälle und Konfigurationen eingehend zu testen, bevor das System in dieser Form an seinem eigentlichen Bestimmungsort in Betrieb genommen wird.

AP6 – Evaluierung

Aufgaben des Arbeitspakets sind Energieeffizienz-Evaluierung: Messungen, Datenanalyse und –auswertung, Akzeptanz-Evaluierung: Erhebung, Auswertung, Evaluierungsbericht

Energieevaluierung

Die Energieevaluierung bestand aus den folgenden Teilen:

- Messung des Energieverbrauchs an Teststandorten
- Simulation unterschiedlicher Szenarien
- Analysen der Mess- und Simulationsergebnisse
- Recherche über Einsparungsmöglichkeiten durch effiziente Kommunikationsprotokolle,
- Gegenüberstellung, Vergleich und Interpretation der Einzelergebnisse.

Zusätzlich wurden die Möglichkeiten der Effizienzerhöhung durch Erfassung von Fußgängern (nicht nur von Fahrzeugen) ermittelt. Wenn kein Fahrzeug und kein Fußgänger auf der Straße bzw. dem Gehsteig ist, kann dann die Helligkeit noch weiter reduziert werden, ohne auf eine Grundbeleuchtung zu verzichten. Dazu wurde jeweils auch der Fußgängerverkehr am Standort erhoben (Zählung vor Ort an den Standorten, Hochrechnung auf andere Tage im Jahr unter Berücksichtigung von Unterschieden zwischen Arbeits- und Nichtarbeitstagen).

Simulationsrechnungen waren nötig, um Verbesserungen in Parametrierung und/oder Algorithmik der Managementsoftware bzw. Anpassung an Gegebenheiten am Standort zu testen, ohne dazu in reale Installationen eingreifen zu müssen. Daher wurde ein Modell der Managementsoftware erstellt und in mehreren Simulationsdurchgängen verschiedene Verkehrsszenarien und Parameterkonfigurationen für die realen Teststandorte durchgerechnet. Die Simulation wurde

genutzt, um die Überlegungen zu unterstützen bzw. zu untersuchen, welche Parameter für welches Nutzungsprofil geeignet sind, um das System zu optimieren.

Die Simulation kann auch zukünftig bei der Konfiguration von Neuinstallationen verwendet werden. Eine a priori Optimierung der Parameter (generisch) für den jeweiligen Standort scheint schwierig. Vielmehr wird eine Abstimmung durch Messung (Verkehrsaufkommen) für bestimmten Zeitraum und auf Basis dieser Verkehrsdaten eine Optimierung durch eine Simulationsrechnung nötig sein.

Nutzerbefragung

Die Nutzerbefragung umfasste einerseits eine Befragung von Nutzern (Passanten) und eine ergänzende Online-Umfrage, andererseits wurden Gemeinden (als Betreiber von Straßenbeleuchtungen) und Experten interviewt.

Die Befragung von Passanten fand in Waidhofen an der Thaya statt, wo 1.500 Lichtpunkte auf LED umgerüstet wurden und wo auch eine der Testinstallation betrieben wurde. Am 3.9.2016 waren 4 Mitarbeiter unterwegs und befragten fast 150 Passanten im Einkaufszentrum Thayapark sowie auf den Parkplätzen von Supermärkten in Waidhofen an der Thaya. Dazu wurden standardisierte Fragebögen eingesetzt.

Begleitend wurde eine Online-Befragung im September 2016 durchgeführt. Ein Online-Fragebogen wurde basierend auf dem standardisierten Fragebogen der Vor-Ort-Befragung entwickelt und auf der Umfrageplattform q-set.de veröffentlicht. Einladungen und Aufrufe zur Teilnahme wurden über einen Newsletter und einen Artikel auf der Website von oekonews.at, einen Newsletter und einen Eintrag auf der Website von Energy Changes und über Verteiler von KEM-Regionalmanagern ausgesandt. Wie zu erwarten war, ließ die Beteiligung zu wünschen übrig, jedoch konnten immerhin fast 80 vollständig ausgefüllte Fragebögen erzielt werden.

Erhoben und ausgewertet wurden:

- Zufriedenheit mit der neuen Beleuchtung
- Vergleich der neuen mit der alten Beleuchtung
- Unterschiede in der Bewertung nach Geschlecht oder Art der Verkehrsteilnahme (Fußgänger, Nicht-Fußgänger)
- Erwartungen und Bedenken vor Umstellung
- Einstellung zu verkehrsadaptiver Beleuchtungssteuerung und Erfassung von VerkehrsteilnehmerInnen

Zusätzlich wurden Verantwortliche aus sechs Gemeinden (von 2.300 bis 21.000 EinwohnerInnen, 500 bis 3.600 Lichtpunkte) als Betreiber der Straßenbeleuchtung und Experten (Planer und ein Betreuer seitens eines Contractors) befragt, die Interviews wurden ebenfalls anhand von standardisierten Fragebögen (Fragenkatalogen) geführt, bestehend aus zwei Fragenkomplexen: (1) Erneuerung von Straßenbeleuchtung (Umstellung auf LED) und (2) Dimmen bzw. verkehradaptive Steuerung.

Evaluierung der Funkprotokolle

Die bestehende Lösung wurde analysiert und eingehend getestet und mit anderen auf dem Markt verfügbaren Lösungen verglichen. Bei diesen Vergleichen sollte einerseits darauf geachtet werden, dass die vorhandene Funktionalität so weit möglich abgebildet werden kann, andererseits auf den Energieverbrauch der gesamten Lösung. Zusätzlich sollte evaluiert werden, ob eine funktionale Verbesserung im Sinne von Übertragungssicherheit mit Hilfe anderer Technologien möglich ist. Für die Evaluierung wurde zuerst eine eingehende Marktanalyse vorhandener und verfügbarer Systeme vorgenommen und dann der aussichtsreichste Kandidat im Labor untersucht und mit der bereits bestehenden auf ZigBee-basierten Lösung verglichen.

Im Zuge eines Labortests wurden ZigBee und WirelessHART auf ihre Leistungsfähigkeit für die Applikation „Verkehradaptive Straßenbeleuchtung“ getestet: Während für ZigBee eine bereits bestehende, auch dem Vorgängerprojekt SIRIUS stammende Lösung, verwendet werden konnte und somit Entwicklungssynergien bestmöglich ausgenutzt werden konnten, musste für WirelessHART ein Testaufbau erst realisiert werden. Dieser bestand in erster Linie aus einem Knoten mit einem Schalter – um Sensoren zu simulieren, welche Nachrichten im Netz versenden können, sowie einem Knoten, welcher eine Kommunikationseinheit einer Lichtquelle realisiert. Bei beiden Knoten war neben der eigentlichen Kommunikationseinheit auch ein eigener Mikrocontroller notwendig, da die Kommunikationsknoten bei WirelessHART sich als nicht frei programmierbar erwiesen haben.

AP7 – Dissemination

Aufgaben des Arbeitspakets sind Veröffentlichung von Konferenz- und Fachpublikationen, Ergebnispräsentation auf Fachtagungen und Messen. Ergebnisse wurden auf den Messen Light & Building 2016 in Frankfurt, der Intertraffic 2016 in Amsterdam präsentiert. Publikationen wurde auf dem ITS Europe Congress 2014 in Helsinki, dem ITS World Congress 2015 in Bordeaux und den wissenschaftliche Konferenzen ETFA 2014 in Barcelona und der Internationalen Energiewirtschaftstagung an der TU Wien in Wien präsentiert.

3 Ergebnisse und Schlussfolgerungen

AP1 – Projektmanagement

Es wurden 10 Konsortialmeetings und mehrere Telefonkonferenzen im Projektzeitraum durchgeführt, in denen Lösungsvorschläge präsentiert und diskutiert wurden. Review und Anpassung von Zeitplänen war ein weiteres Ergebnis. Neben den Konsortialmeetings wurden auch bilaterale Treffen zwischen einzelnen Partnerorganisationen koordiniert, um die jeweiligen Entwicklungsschritte abzustimmen und Ergebnisse abzugleichen. Test- und Integrationstage mit den technischen Verantwortlichen dienten dem Testen des Systems unter Laborbedingungen.

AP2 – Anforderungen und Konzeptentwicklung

Innerhalb der Konzeptphase wurden unterschiedliche Anforderungen an intelligentes Management formuliert und aus Vorprojekten vorhandene Konzepte evaluiert.

Konzept Anforderungen intelligentes Management

Die Projektziele betreffend wurden außerdem die folgenden Punkte ausgearbeitet (siehe Abbildung 1 für die Systemübersicht):

- Zwei verschiedene Umsetzungskonzepte zur Integration von Sensorik in das bestehende SIRIUS-System
- Interfacespezifikation zwischen Business-Logik und Communication Engine basierend auf offenen Standards (HTTP/JSON)
- Interfacespezifikation zwischen Business-Logik und GUI bzw. übergeordnetem Monitoring-System basierend auf offenen Standards

Die Business-Logik (auch Steuermodul genannt) wurde ebenfalls evaluiert und das im Rahmen des Vorprojekts Sirius definierte Konzept des verkehrsadaptiven Steuermoduls wurde im Hinblick auf eine Generalisierung der Schnittstellen sowie der Effizienzsteigerung der Architektur analysiert und umfangreich überarbeitet. Dabei wurden neue Anforderungen an die verkehrsadaptive Steuerung festgelegt die in das Systemdesign einfließen. Diese betreffen

- Generalisierung des Interfaces zu verteilten Software und Hardware Komponenten. Damit wird das Interface unabhängig von Type der Peripheriekomponenten (Sensoren, Aktoren). Dies zielt vor allem auf eine zukünftige Erweiterung und Wiederverwertbarkeit der Interface-Komponente hin.
- Aufgrund der Auswirkungen der Zuverlässigkeit des Systems auf die funktionale Sicherheit der Anwendung ist es vorgesehen, die Auswertung der Fehlerfälle (Leuchten, Übertragungsmedium, Systemkomponenten) zu optimieren und die Ergebnisse als Antwort auf einen Steuerbefehl an das Steuermodul zu senden. Dafür wurde das Sensorinterface abgeändert und das Steuermodul dahingehend ausgelegt, dass Fehlerfälle entsprechend behandelt werden (Logging, Alarm, periodische Wiederholung des Steuerbefehls)
- Etliche Konzepte zur Optimierung und Flexibilisierung des Betriebs des Steuersystems wurden erarbeitet und umgesetzt. Dadurch konnten entscheidende Verbesserungen in der Gesamtsystemperformance erreicht werden.

Zusammengefasst kann gesagt werden, dass das Konzept ein bzgl. der Erweiterbarkeit sowie der funktionalen Sicherheit, signifikant verbessertes Sensorinterface beinhaltet, sowie höhere Flexibilität bzgl. der Skalierbarkeit. Dies hat positive Auswirkungen auf die Wiederverwendbarkeit sowie mögliche Erweiterungen.

Konzept, Anforderungen Feldebene

Für die Feldebene wurden die folgenden Anforderungen an das Kommunikationskonzept ausgearbeitet (siehe Abbildung 1 für die Systemübersicht).

- Konzept und Funktionsbeschreibung für das zusätzlich notwendige ZigBee-Kommunikationsmodul „Sensorknoten“ für „Sensor Type 1“ wurden erstellt.
- Konzept und Funktionsbeschreibung (Adaption) für das ZigBee-Kommunikationsmodul „Gateway“ wurden erstellt. Hier wurde neben der Änderung in der Kommunikationsstruktur (Sensor in Feldnetzwerk sendet selbstständig nach Events) auch hinsichtlich der funktionalen Umsetzung von Gruppen- und Sammelbefehlen der gesamte Funktionsumfang evaluiert. Ebenso wurde auf eine Sicherheitsstandard-konforme Umsetzung Wert gelegt (eine Zertifizierung laut TÜV wird außerhalb des Förderprojekts angestrebt).

Grundsätzlich sollten zwei unterschiedliche Arten der Sensoreinbindung in das Endsystem ermöglicht werden. Dazu wurde eine allgemeine Sensorschnittstelle entwickelt, welche sowohl für den internen, wie den externen Datenpfad als Senke dient. Dadurch sollte eine einheitliche Behandlung unterschiedlicher Sensoren ermöglicht werden. In Abbildung 1 sind diese unterschiedlichen Kommunikationspfade im Detail dargestellt. Sensoren des Typs 1 sollen direkt in das Feldnetzwerk eingebunden werden und somit direkt von bereits existierender Kommunikationsinfrastruktur profitieren. Sensoren des Typs 2 sind weiterhin abhängig von einer externen Kommunikationsinfrastruktur. Während die zweite Option bereits erfolgreich innerhalb des Vorgängerprojektes getestet und verifiziert wurde, war der prinzipielle Fokus der Integration für die Feldebene Option 1 erfolgreich umzusetzen und zu testen.

Für die Kommunikation des Sensors mit dem Sensorknoten wurde die RS232 Schnittstelle ausgewählt und das erstellte Konzept für die interne Schnittstelle umgesetzt. Die kommunikationstechnische Integration erfolgte in zwei Schritten.

Im ersten Schritt wurde der Standardsensor, jedoch mit niedriger Framerate und ohne Bilddaten zu senden, verwendet, um das Konzept für die Kommunikation erfolgreich zu verifizieren. Im zweiten Schritt wurde – nach Definition der zu übermittelnden Daten – eine erste projektspezifische Firmware für den Sensor entwickelt, die bereits Daten im finalen Format (mit zufälligem Inhalt für die Präsenzdetection) versendet. Weiters wurden im Hinblick auf Störungserkennung regelmäßige Dummy-Nachrichten definiert.

Energieevaluierung

Inhalt und Umfang der Energieevaluierung wurden festgelegt:

- Messung des Energieverbrauchs (Lastgangs: Scheinleistung, Wirkleistung, gesamtes System wird einbezogen: Leuchten, Kommunikationseinheiten, Server, Sensorik) des Systems am Teststandort und Auswertung der Messdaten über mind. 4 Monate im laufenden Betrieb und Referenzmessung vor Systeminstallation
- Kontrolle der Daten (periodische Überprüfung auf Ausfälle und Fehler)
- Erfassung der Sensor-Events und der Steuerbefehle

- Vergleich von gemessenem Lastgang und mittels Rechenmodell aus protokollierten Steuerbefehlen errechneten Lastgang
- Gegenüberstellung mit Referenzsystemen (aus Vorprojekten bzw. mittels Simulation)
- Bewertung des Einspareffekts der Managementsoftware
- Ableiten von Anforderungen an Simulation zur Optimierung von Systemparametern

Messgeräte und Anbieter sowie Evaluierungstools wurden ausgewählt (Octave + Excel)

Nutzerbefragung

Methodiken wurden bestimmt:

- Vorher-/Nachher-Befragungen von PassantInnen mittels standardisiertem Fragebogen
- unterstützende Online-Umfrage wird durchgeführt (wird vom standardisierten Fragebogen abgeleitet)
- in Abstimmung mit der Standortgemeinde kann eine Postwurfsendung die Reichweite erhöhen
- Kriterien für die Eignung eines Standorts für zeit- und kosteneffiziente Befragungen wurden bestimmt (Art der Verkehrsteilnehmer, Passantenfrequenz, Möglichkeit der Befragung am Abend bei eingeschalteter Beleuchtung)
- standardisierte Fragebögen wurden erstellt
- Plattform für Online-Umfrage wurde ausgewählt
- Detailplanung für Erhebung ist vorhanden

Systemdesign

Im Bereich Systemdesign wurden verschiedene Tasks erfolgreich durchgeführt. Diese führten unter anderem zu den Ergebnissen:

- Die Architektur des Systems wurde hinsichtlich der Erfordernisse zur Integration von Sensorik entworfen.
- Alle Interfacebeschreibungen wurden auf Basis von offenen Standards umgesetzt.
- Bei der Sensorintegration wurden hinsichtlich der unterschiedlichen Möglichkeiten des Kommunikationspfades auf hohe Flexibilität und Modularität gesetzt und deswegen zwei unterschiedliche Möglichkeiten derselben ausgearbeitet.

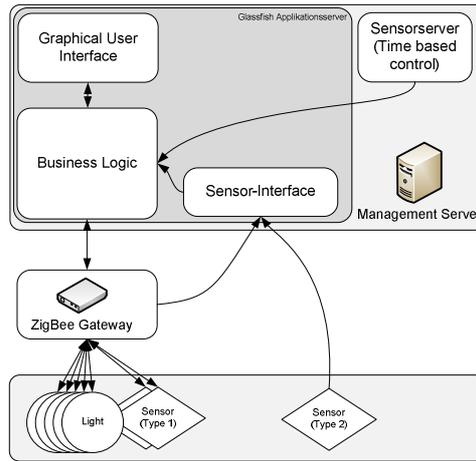


Abbildung 1: Systemdesign

Abbildung 1 zeigt einen Überblick des umgesetzten Systemdesigns. Es zeigt das funktionelle Zusammenspiel der einzelnen Funktionsblöcke. Dabei wird grundlegend zwischen der internen Kommunikation und der externen Kommunikation unterschieden. Für Sirius+ betrifft dies zum einen die Verkehrsinfrastruktur und zum anderen die GUI. Als einheitliches Datenformat zum Informationsaustausch wurde die JavaScript Object Notation (JSON) gewählt.

Aufgrund der im Konzept definierten Anforderungen, wurde eine Bearbeitung von fehlgeschlagenen Nachrichten sowie den entsprechenden Fehlermeldungen eingeführt. Dabei ist auch ein Retry-Mechanismus vorgesehen mit dem fehlgeschlagene Nachrichten periodisch wiederholt werden können, was zu einer höheren Zuverlässigkeit des Systems führen soll. Im Fehlerfall wird die Nachricht zur späteren Wiederholung in die Retry-Queue geschrieben sowie die genaue Fehlermeldung ausgewertet und geloggt. Damit können die Anforderungen bzgl. der Sicherheit und Zuverlässigkeit erfüllt werden.

AP3 – Implementierung Systemebene

Für die Umsetzung der Steuerungsplattform zur Realisierung von intelligenten Steuerungskonzepten für Straßenbeleuchtung wurde ein modularer Ansatz gewählt, mit dessen Hilfe Sensoren auf unterschiedliche Weise eingebunden werden konnten, sowie verschiedene Steuerungskonzepte evaluiert werden konnten (z.B. Event-basierte Steuerung und Zeitsteuerung). Auf Grund der Erfahrungen aus dem Vorgängerprojekt SIRIUS wurde als Grundsystem wiederum eine auf einem offenen Applikationsserver (Glassfish), inklusive Datenbank (Java Derby), basierende Architektur gewählt. Die unterschiedlichen Schnittstellen zu Aktorik und Sensorik, sowie zu Datenbank und GUI, aber auch die Steuerungslogik selbst konnten so aufbauend auf so genannten Servlets realisiert werden. Durch die sehr modulare Architektur konnten der Test- sowie Entwicklungsaufwand geringgehalten, mögliche unterschiedliche Testsetups allerdings trotzdem rasch realisiert werden.

AP4 – Implementierung Feldebene

Als Sensorik für die Detektion wurde die Time-of-Flight (ToF) Technologie gewählt. Das verwendete ToF-Modul der Firma Bluetechnix (siehe Abbildung 2) basiert auf dem neuen Tiefensensor epc610 der Fa. Espros. Die vollständige Funktionalität der Tiefensensorik ist auf einem Modul in der Größe von nur 25 mm x 40 mm integriert. Die Hauptkomponenten sind der ToF-IC und eine Verarbeitungseinheit (ARM Cortex M3). Der voll integrierte ToF-Sensor ist über einen einzigen Anschluss zugänglich und leicht verwendbar in einer embedded Anwendung (siehe Abbildung 3). Für den Tiefensensor wurde eine neue Firmware entwickelt, die aus den Tiefendaten die im Projekt geforderte Präsenzdetection durchführt. Die Daten werden auf der ARM-Prozessoreinheit verarbeitet. Mit Hilfe der gewählten Optik wird ein Öffnungswinkel von 20° für die Überwachung eines Fahrstreifens erreicht. Der Sensor ermöglicht präzise Messungen bis zu einer Entfernung von 5 Metern.

Der Sensor soll zusammen mit einer Basisplatine verwendet werden, die robuste Steckverbindungen zum Anschluss an den Sensorknoten Type 1 besitzt, und weiters eine einfache Montage ermöglicht.



Abbildung 2: Bild des epc610 Sensormoduls

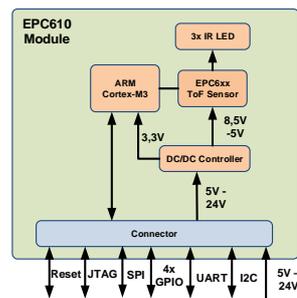


Abbildung 3: Blockdiagramm des epc610 Sensormoduls

Zusätzlich zum Sensor kommt eine Beleuchtungseinheit zum Einsatz, die durch ihren modularen Charakter jederzeit erweitert oder verkleinert werden kann. Die Beleuchtungseinheit sendet gepulstes Licht im Infrarot-Bereich aus, welches der Sensor registriert und so die Tiefendaten erstellen kann. Die Ansteuerung der Beleuchtungseinheit übernimmt vollständig der Sensor. Die Kommunikation mit dem Sensorknoten erfolgt über eine RS232-Schnittstelle. Das vorhandene UART-Protokoll des Sensors wird weiterverwendet. Der Inhalt der Nachrichten wurde der Anwendung entsprechend festgelegt.

AP5 – Pilotinstallationen

Der Teststandort Perchtoldsdorf Mühlgasse wurde mit 4 Sensoren und 22 Leuchten sowie einer komplett eigenständigen Steuerinfrastruktur umgesetzt (Überblick siehe Abbildung 4).

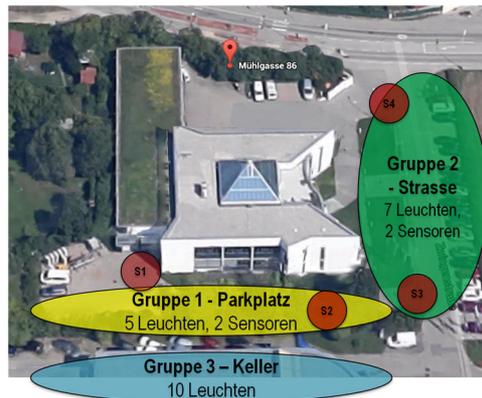


Abbildung 4: Teststandort Perchtoldsdorf Mühlgasse

Durch die Installation der Infrastruktur direkt am Betriebsort von SWARCO Futurit (und teilweise im nicht-öffentlichen Bereich) konnten unterschiedliche Steuerungsabläufe ohne Sicherheitsbedenken getestet werden. Ebenso konnte der Energieverbrauch in unterschiedlichen Situationen auf diese Weise genauer erhoben werden, was für die spätere Simulation und Optimierung des Systems Vorteile hatte.

Darüber hinaus wurden Tests in den im Vorgängerprojekt SIRIUS ausgestatteten Teststandorten Neunkirchen, Waidhofen/Thaya und Krems durchgeführt. Die Anlagen wurden an die neuen Gegebenheiten hinsichtlich Sensorik und Firmware angepasst.

Ein weiterer „Teststandort“ wurde als umfassende Simulation realisiert, da auf diese Weise umfassende Optimierungs- und Ablaufsimulationen durchgeführt werden konnten, ohne die Sicherheit realer Umgebungen zu kompromittieren.

AP6 – Evaluierung

Energieevaluierung

Die folgende Tabelle 1 gibt eine Übersicht über die Energieeinsparungen, die durch die Steuerung der Beleuchtungshelligkeit an den unterschiedlichen Standorten mit verschiedenen Simulationsszenarien bzw. Betriebsarten zu erzielen sind.

Tabelle 1: Übersichtsmatrix der Energieeinsparungen je nach Standort und Simulationsszenario

Betrieb/Szenario	Reduktion des Energieverbrauchs		
	Nebenstraße, schwach frequentiert	Hauptstraße	Hauptstraße, schwach frequentiert
ungeregelt (immer 100%)	0%	0%	0%
fixes Zeitprofil	52%	15%	21%
sensorgesteuert, ohne Detektion der Fußgänger	59%	16%	34%
sensorgesteuert, mit Detektion der Fußgänger	69%	18%	43%
sensorgesteuert, ohne Detektion der Fußgänger, mit Safety Time	60%	19%	35%
sensorgesteuert, ohne Detektion der Fußgänger, mit Safety Time	69%	21%	44%

Die angegebenen Einsparungen sind jene, die noch zu einer akzeptablen Schaltbelastung zwischen verschiedenen Helligkeitsstufen führen. Je nach Standort sind diese Schalthäufigkeiten verschieden, richten sich aber nach dem Prinzip, dass durchfahrende Verkehrsteilnehmer nicht abgelenkt werden sollen. Einflussfaktoren sind daher die ohnehin notwendige Durchfahrtszeit („Passing Time“) sowie die Verkehrsfrequenz (weniger Fahrzeuge bedeuten weniger Schaltvorgänge, dadurch ist eine Reduktion der Zeit bis zur Änderung der Helligkeitsstufe („Delay before Dimming“) auf einen deutlich kleineren Wert möglich, ohne die max. Schalthäufigkeit zu überschreiten). Die Simulationen zeigen eine mögliche weitere Reduktion des Energieverbrauchs um 3-4%, bei Verdopplung der vorgegebenen Schaltvorgänge. Ob der Nutzen des geringfügig niedrigeren Energieverbrauchs größer ist, als die wahrscheinlich negative Auswirkung auf die Lebensdauer der Elektronik (und LEDs) zu haben, kann wohl mit nein beantwortet werden.

Ergebnisse aus Teststandorten

Der Betrieb mit fest eingestelltem Zeitprofil (d.h. Änderung der Helligkeitsstufe zu einem fixen Zeitpunkt) bedeutet gegenüber dem verkehrsadaptiven sensorgesteuerten Betrieb (d.h. Änderung der Helligkeitsstufe aufgrund der Verkehrsaufkommen) einen Mehrverbrauch an Energie, denn um auf der sicheren Seite zu bleiben, wurde einerseits ein einfaches Profil programmiert, andererseits wurden die jeweiligen Helligkeitsstufen an den stärksten frequentierten Tagen ausgerichtet. Je nach Standort kommt es abhängig von den tatsächlichen Einstellungen und dem Verkehrsaufkommen zu Mehrverbrauch von 1% in der „Hauptstraße“ (Neunkirchen), ca. 7% Mehrverbrauch in der schwach frequentierten Nebenstraße (Krems) oder 13% in der „schwach frequentierten Hauptstraße“ (Waidhofen). Es zeigt sich daher, dass die verkehrsadaptive sensorgesteuerte Lösung überall dort von Vorteil ist, wo es kurze Verkehrsspitzen gibt (d.h. Hauptstraßen), sonst aber geringer Verkehr in den Dunkelstunden herrscht (d.h. schwach frequentierte Hauptstraßen)

Simulationsergebnisse

Je nach Standort (Verkehrsaufkommen) haben die Optimierungen

- durch Fußgängerdetektion und entsprechende Helligkeitsreduzierung auf die Stufe „no pedestrians“, wenn keine Fußgänger (und keine Fahrzeuge) anwesend sind,
- der Parameter Pass Time/Delay before Dimming bzw. Safety Time (Parameter definieren unterschiedliche Beobachtungs- und Analysezeiträume)

unterschiedliche Auswirkungen. Dies liegt einerseits am standorttypischen Verkehrsaufkommen – v.a. an der Häufigkeit der Situation, in der keine Verkehrsteilnehmer auf der Straße sind, und an dem Helligkeitsniveau, das am Standort mindestens notwendig ist. Andererseits hängen Resultate der Optimierungen der Zeitparameter der Steuerung von der Verkehrsdichte (statistische Häufigkeit und Verteilung detektierter Verkehrsteilnehmer) ab. Dies wird illustriert durch die Diagramme in Abbildung 6. Ohne Detektion der Fußgänger könnte nie auf das niedrigste Helligkeitsniveau „no pedestrians“ geschaltet werden. In der schwach frequentierten Nebenstraße ist zu sehen, dass

gerade dieser Zustand deutlich über 90% der Zeit von 22:00 bis 5:00 vorherrscht. Folglich ist hier durch die Detektion von Fußgänger auch ein deutlicher Energiespareffekt zu erzielen. Die Zeitparameteroptimierungen greifen hier hingegen kaum, da sie erst in Phasen mit höherer Verkehrsdichte Wirkung erzielen können.

Anders im Fall der „Hauptstraße“, wo Verschiebungen zwischen den Stufen „low traffic“, „med traffic“ und „high traffic“ zu erkennen sind, wenn die Zeitparameter geändert werden. Entsprechende Energieeinsparungen sind in den Diagrammen auf der rechten Seite zu erkennen.

Die Beschreibung der Ergebnisse aus den Simulationen hinsichtlich des Verbesserungspotentials durch Parameteroptimierung ist in Tabelle 2 zusammengefasst.

Simulationsumgebung

Im Folgenden sei eine vereinfachte Darstellung des Simulationsansatzes sowie des Simulationsmodells erläutert. Anzumerken ist, dass bei der Entwicklung des Simulationsmodells Realweltdaten herangezogen wurden. Dies war insbesondere von großem Vorteil, da die Genauigkeit des Modells an Hand unterschiedlichster Daten getestet und verbessert werden konnte. An Hand der vorhandenen Daten wurde das Simulationsmodell angepasst und damit dann die Simulationen durchgeführt (siehe Abbildung 5).

Bei der Entwicklung der Simulationsumgebung wurde darauf geachtet, dass das simulierte Steuerungsmodul nicht nur dieselbe Funktionalität gewährleistet, sondern weitgehend auch dieselben Ein- und Ausgabeformate unterstützt. Auf diese Weise konnten Realwelt- und Simulationsexperimente auf vier unterschiedliche Arten verknüpft werden

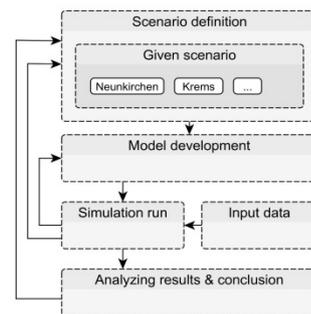


Abbildung 5: Methodologie Simulation

e!Mission.at - 4. Ausschreibung

Klima- und Energiefonds des Bundes – Abwicklung durch die Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft FFG

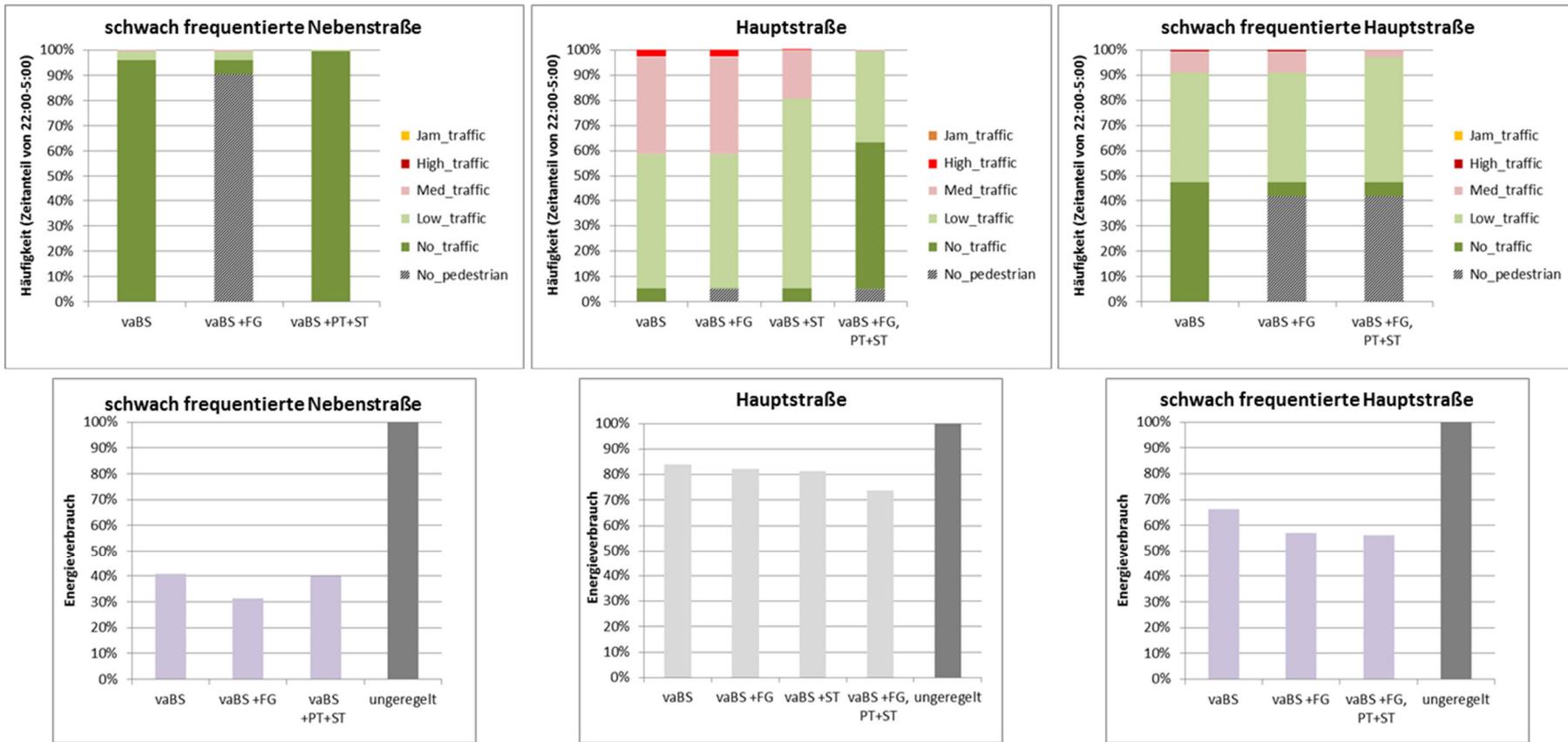


Abbildung 6: Gegenüberstellung verschiedener Simulationsszenarien

Oben „schwach frequentierte Nebenstraße“, Mitte „Hauptstraße“, unten „schwach frequentierte Hauptstraße“.

Die linken Diagramme zeigen die Häufigkeitsverteilung der Verkehrsdichtestufen, die rechten den Energieverbrauch im jeweiligen Szenario (stets bezogen auf den unregelmäßigen Betriebsfall).

vaBS = verkehrsadaptive Beleuchtungssteuerung, FG = Fußgängerdetektion, PT = Passing Time optimiert, ST = Safety Time optimiert

Tabelle 2: Zusammenfassung der Simulationsergebnisse

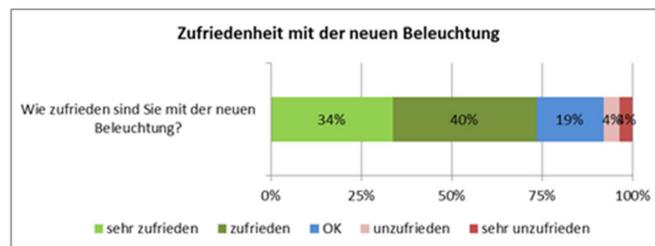
	schwach frequentierte Nebenstraße	Hauptstraße	schwach frequentierte Hauptstraße
Detektion von Fußgängern	<p>Reduktion des Energieverbrauchs ca. 10%.</p> <p>Diese Einsparung ist wohl auch für ähnliche Standorte (Nebenstraßen, Wohnstraßen, Wohnsiedlungen) durchaus möglich, wo es in den Nachtstunden keinen nennenswerten Fahrzeug- oder Fußgängerverkehr mehr gibt.</p>	<p>Reduktion des Energieverbrauchs < 2%.</p> <p>Aufgrund des hohen Fahrzeugverkehrsaufkommens und des extrem geringen Fußgängeraufkommens kann nur in 5% der Zeit auf die niedrigste Helligkeitsstufe „no pedestrians“ (weder Fahrzeuge noch Fußgänger) geschaltet werden).</p>	<p>Reduktion des Energieverbrauchs ca. 9%.</p> <p>Die Detektion der Fußgänger ermöglicht es, über immerhin 40% der Zeit die Helligkeit auf den minimalen Pegel „no pedestrians“ zu senken.</p>
Optimierung Pass Time und Delay before Dimming	<p>Reduktion des Energieverbrauchs ca. 1%.</p> <p>Die Optimierung der Passing Time zeigte nur geringen Einfluss auf den Verbrauch, da das ursprüngliche System schon beinahe optimal abgestimmt war und da das sehr geringe Verkehrsaufkommen nur wenig Wirkung von Optimierungen zulässt.</p>	<p>Reduktion des Energieverbrauchs ca. 10%.</p> <p>Siehe Simulation „vaBS +FG, PT+ST“: Reduktion der Passing Time auf ein absolutes Minimum. Das bedeutet allerdings:</p> <ul style="list-style-type: none"> geringe Zeitreserve für sehr langsam fahrende Fahrzeuge - die eventuell noch in der Zone sind, wenn das Lichtniveau schon wieder sinkt. deutliche Erhöhung der Anzahl der Schaltvorgänge auf das Doppelte des Optimums 	<p>Reduktion des Energieverbrauchs ca. 4%.</p>
Optimierung Safety Time	<p>Aufgrund der extrem niedrigen Verkehrsdichte ist hier kein Effekt zu erzielen.</p>	<p>Reduktion des Energieverbrauchs ca. 1%.</p> <p>Siehe Simulation „vaBS +ST“: Safety Time (von 13 s) führt zu deutlicher Verschiebung des Zeitraums von „mittlerer Verkehr“ zu „wenig Verkehr“. Gleichzeitig verschwindet „viel Verkehr“ fast völlig. Geringe Reduktion des Verbrauchs, da die Helligkeitsniveaus für „med_traffic“ und „low_traffic“ wenig differieren und nur weniger als 3% „high_traffic“ entschieden wurde.</p>	<p>Reduktion des Energieverbrauchs ca. 1%.</p> <p>Optimierung der Safety Time reduziert die Zeit, in der auf das relativ hohe Lichtniveau („mittlere Verkehrsdichte“) geschaltet werden muss, um 5%, dennoch geringe Reduktion des Verbrauchs (siehe Standort „Hauptstraße“).</p>

Nutzerbefragung

Die Nutzerbefragung umfasste einerseits eine Befragung von Nutzer (Passant) und eine ergänzende Online-Umfrage, andererseits wurden Gemeinden (als Betreiber von Straßenbeleuchtungen) und Experten interviewt.

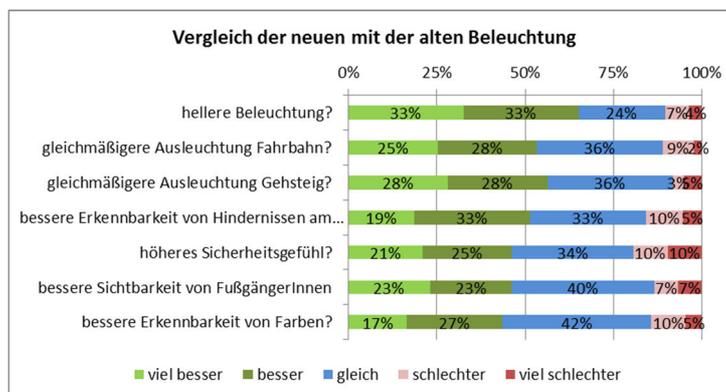
Befragung in Waidhofen an der Thaya

Zufriedenheit mit der neuen Beleuchtung. Die neue Beleuchtung bekommt insgesamt eine sehr gute Bewertung durch die Befragten: Rund 75% sind zufrieden bis sehr zufrieden, nur weniger als 10% geben negative Bewertung ab.



Im Detail:

- Die Helligkeit der neuen Beleuchtung wird von 65% der Befragten mit gut bis sehr gut bewertet.
- Über 50% sprechen von besserer Gleichmäßigkeit der Ausleuchtung, sowohl auf Fahrbahn als auch auf Gehsteig, nur rund 10% sprechen von Verschlechterung.
- 46% fühlen sich sicherer, aber immerhin 20% fühlen sich weniger sicher als vorher (diese Aussage wurde nicht weiter hinterfragt)
- Sichtbarkeit von Fußgängern wird überwiegend gut bis sehr gut bewertet (46%), nur 14% sehen hier eine Verschlechterung gegenüber der früheren Beleuchtung



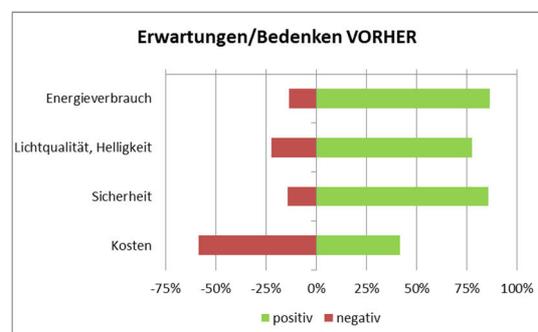
Unterschiede in der Bewertung nach Geschlecht. Frauen und Männer geben ziemlich übereinstimmend ein positives Gesamturteil über die neue Beleuchtung ab, über 75% sind mit der neuen Beleuchtung zufrieden oder sehr zufrieden. Interessant ist: Frauen bewerten die Steigerung der Helligkeit (der neuen Beleuchtung ggü. der alten) und die Steigerung der Gleichmäßigkeit der Ausleuchtung sowohl auf der Fahrbahn als auch am Gehsteig signifikant geringer als Männer, ebenso die Verbesserung der Erkennbarkeit von Farben. Dennoch wird die Steigerung der Sicherheit (des Sicherheitsempfindens) durch die neue Beleuchtung von Frauen und Männern wiederum etwa gleich bewertet (gut 50% sprechen von besser bis viel besser). Diese (scheinbare) Diskrepanz könnte daher rühren, dass Frauen zwar ebenso wie Männer ein Mehr an Sicherheitsgefühl konstatieren, aber sich dennoch unsicherer fühlen bzw. mit dem Sicherheitsgefühl noch nicht zufrieden sind. Dieses „absolute Sicherheitsgefühl“ wurde aber nicht abgefragt.

Unterschiede in der Bewertung zwischen Fußgänger und Nicht-Fußgänger. Da auch die Art der Verkehrsteilnahme abgefragt wurde, konnte ein Vergleich angestellt werden zwischen der Bewertung von Befragten, die Alltagswege „regelmäßig zu Fuß“ zurücklegten, und der Bewertung jener, die ihre Wege „nie zu Fuß“ erledigen.

Die auffälligsten Unterschiede sind:

- Fußgänger bewerten die Verbesserung der Helligkeit weniger gut: zwar sagen 60%, dass die Helligkeit besser oder viel besser ist – unter den Nicht-Fußgänger sind dies aber sogar 70%.
- Die Gleichmäßigkeit der Ausleuchtung des Gehsteigs benoten die Fußgänger zu 58% mit besser bis viel besser (und geben damit ein positiveres Urteil ab als die Nicht-Fußgänger, die wohl auch relativ weniger intensive Erfahrungen damit machen).
- Das Sicherheitsgefühl ist nur bei 44% der Fußgänger besser oder viel besser als früher. Die Nicht-Fußgänger beurteilen dies mit 50% positiver.

Erwartungen/Ansprüche/Bedenken vor Umstellung: Nur 30% der Befragten gaben an, sich vor der Umstellung darüber Gedanken gemacht zu haben (Erwartungen oder Bedenken), einige meinten, im Vorfeld nichts davon gewusst zu haben. Die Erwartungen waren aber größtenteils positiv, nur der Kostenfaktor wurde kritisch gesehen (Befürchtung zu hoher Kosten, schlechte Amortisation).



Verkehradaptive sensorgesteuerte Beleuchtung. Die verkehradaptive Steuerung der Beleuchtung am Teststandort wurde von knapp 90% der Befragten aus Waidhofen nicht wahrgenommen, einige gaben an, keine Änderungen der Helligkeit bemerkt zu haben obwohl sie darüber informiert waren. Nur etwa 10% der befragten erklärten, die Helligkeitsänderungen bemerkt zu haben, wobei fast alle einen positiven Eindruck hatten, lediglich 2 der Befragten klagten einerseits über zu grelles, andererseits zu wenig Licht.

Fast 100% der Befragten waren der Ansicht, dass eine verkehradaptive Beleuchtungssteuerung eine gute Idee sei, die einerseits Energie spare und andererseits die Sicherheit erhöhen würde. 78% stimmten sogar zu, dass für die Helligkeitssteuerung mittels Detektion von Verkehrsteilnehmer (v.a. auch von Fußgänger) sogar Mehrkosten in der Anschaffung akzeptabel wären.

Bei der Erfassung von Personen und Fahrzeugen wurde dann aber erwartungsgemäß die Notwendigkeit für Datenschutz und Anonymität geäußert: 83% gaben an, dass sie nicht über ihre Mobiltelefone detektiert werden wollten (wobei hier auch oftmals Kritik am Einsatz von zu viel und zu komplexer Technik angebracht wurde). Weniger als 10% könnten sich vorstellen, aktiv (z.B. über eine App am Smartphone) nach mehr Helligkeit zu verlangen – davon der Großteil in der Altersgruppe unter 40 Jahren. Immerhin sprachen sich 43% der Befragten dafür aus, dass ein Bewegungsmelder an der eigenen Haustür in die Sensorik des Beleuchtungssystems (zur Detektion von Fußgänger) eingebunden werden sollte.

Online Befragung

Die Teilnehmer an der Online-Befragung wurden zuerst gefragt, ob sie über eine erneuerte LED-Straßenbeleuchtung Auskunft geben können. Diese Teilnehmer wurden in der Gruppe „Gr_neueBel“ zusammengefasst, die anderen in der Gruppe „Gr_alteBel“. Die Antworten wurden teilweise getrennt betrachtet.

Zufriedenheit mit der neuen Beleuchtung. Die Gruppe „Gr_neueBel“ gab eine höchstgradig gute Bewertung auf die Frage nach der Zufriedenheit mit der neuen Straßenbeleuchtung ab: 95% sind zufrieden bis sehr zufrieden! Eine Vermutung über die Erklärung für dieses Ergebnis ist, dass über die Kanäle, über die eingeladen wurde, v.a. Menschen erreicht wurden, die sehr umweltbewusst sind und dass auch nur jene tatsächlich teilgenommen haben, die an der Sache interessiert sind – in weit höherem Ausmaß als bei der Passantenbefragung.

Die Antworten auf die Fragen bzgl. der Verbesserung der Beleuchtung (Helligkeit, Gleichmäßigkeit, Sichtbarkeit von Fußgängern, etc.) zeigen deutlich positivere Bewertung als bei der Passantenbefragung, die Aussagen gehen aber in dieselbe Richtung. Sehr gute

Bewertungen gibt es gerade bei der Helligkeit (84% benoten mit „besser“) und bei der Erkennbarkeit von Hindernissen am Gehsteig (76% sagen „besser“).

Die Gruppe „Gr_alteBel“ gab ebenfalls ein verhältnismäßig gutes Urteil über die bestehende „alte“ Beleuchtung ab – allerdings sind hier nur 7% sehr zufrieden, andererseits sind 73% zufrieden. Dieses positive Gesamturteil wird zwar bei Betrachtung der Detailfragen ein wenig relativiert, ist aber dennoch überraschend angesichts der landläufig immer wieder gehörten Kritik an altersschwachen Beleuchtungen.

Erwartungen/Ansprüche/Bedenken vor Umstellung. Über 80% der Befragten (Gruppe „Gr_neueBel“) gaben an, sich vor der Umstellung darüber Gedanken gemacht zu haben (Erwartungen oder Bedenken), nur einzelne meinten, im Vorfeld nichts davon gewusst zu haben. Die Erwartungen waren größtenteils positiv, nur der Kostenfaktor wurde kritisch gesehen (Befürchtung zu hoher Kosten, schlechte Amortisation). Damit ergibt sich in der Online-Befragung dasselbe Bild wie in der PassantInnenbefragung.

Die Befragten der Gruppe „Gr_alteBel“ gaben auf die Frage nach ihren Erwartungen ggü. einer hypothetischen Umstellung der Straßenbeleuchtung vergleichbare Antworten.

Befragung von Experten, Betreibern und Gemeinden

Die wichtigsten Aussagen der Interviewpartner sind in den Tabellen auf den folgenden Seiten zusammengefasst.

Tabelle 3: Zusammenfassung der Befragung von Experten und Gemeinden

Projekterfahrungen Umstellung auf LED	
Experten	Gemeinden
<p>Erneuerung der Straßenbeleuchtung fast ausschließlich mit LED (LED ist „in“ und wird quasi von der Öffentlichkeit verlangt)</p> <p>Natriumdampf-Hochdruck Leuchten werden oft nicht ersetzt (noch nicht sehr alt, ziemlich effizient, daher schlechte Wirtschaftlichkeit eines Tauschs).</p>	<p>Lichtpunkte von Leuchtstoffröhren und Quecksilberdampflampen auf LED getauscht (in allen befragten Gemeinden)</p> <p>Natriumdampf-Hochdruck Lampen bleiben bis auf weiteres.</p> <p>LED-Einsätze in dekorativen Leuchten (Altstadlaternen) eingebaut, um das Stadtbild nicht zu ändern.</p> <p>Neuinstallationen werden ausnahmslos mit LED bestückt.</p>
<p>Mastabstände aus Budgetknappheit oft nicht optimiert (verschlechterte Gleichmäßigkeit der Ausleuchtung)</p>	<p>Budgetbeschränkungen:</p> <ul style="list-style-type: none"> ⇒ neue Maste werden nur gesetzt, wenn sich die Beleuchtung sonst tatsächlich nicht mehr ausgeht, oft im Bereich von Kreuzungen. ⇒ Leitungen und Schaltschränke nur im absoluten Bedarfsfall erneuert.
	<p>Energiekostenreduktionen</p> <ul style="list-style-type: none"> • nicht in allen Gemeinden evaluiert, teils immer noch Pauschalverträge • 25% bis 50% Einsparung <p>Wartungskostenreduktionen</p> <ul style="list-style-type: none"> • 50% bis 75% Reduktion genannt • Meist neue Verträge (Lampentausch durch Lieferant oder Contractor, teils Einbindung der Ortselektriker) im Zuge der Umstellung abgeschlossen, Kosten sind besser budgetierbar! • weniger Aufwand für Reinigung (fast immer Zuständigkeit der Gemeinden): bis zu 80% Einsparung genannt.

Akzeptanz der Nutzer / Welche Bedenken treten auf?	
Experten	Gemeinden
<p>Anfangs gibt es fast immer Widerstand gegen „das Neue“.</p> <p>Nach wenigen Monaten wird meist Zufriedenheit geäußert: besseres, helleres Licht, bessere Sichtbarkeit, bessere Gleichmäßigkeit.</p>	<p>Erneuerung/Verbesserung der Beleuchtung großteils positiv aufgenommen.</p> <p>Nur wenige BewohnerInnen beschwerten sich (dafür oft umso lauter!). Beschwerden ebben nach wenigen Monaten völlig ab.</p> <p>Die Beschwerden betreffen meist:</p> <ul style="list-style-type: none"> • zu hell, zu weiß, „klinisches“ Licht • Blendung (aber: neue Leuchten werden bewusst betrachtet – man schaut daher direkt ins Licht) • Weniger Streulicht daher: zu wenig Licht im Vorgarten • Selten: Fenster zu stark angeleuchtet (Montage zusätzlicher Blenden) <p>Positive Rückmeldungen lauten meist:</p> <ul style="list-style-type: none"> • endlich gutes Licht auf der Straße • mehr Sicherheitsgefühl, weil keine dunklen Stellen mehr • Beleuchtung der Schutzwege bzw. Querungen wird gelobt (auch seitens der Polizei)
	<p>Bevölkerung wird nicht aktiv eingebunden sondern erst nach Beschlussfassung informiert.</p> <p>In einer Gemeinde: Musterleuchten in einem Straßenzug und Voting für die Leuchtauswahl</p>
<p>Gerade bei großen Projekten, bei denen auch Elektrik getauscht werden muss: Bedenken (seitens Politik und teils auch bei der Bevölkerung), dass die lokalen Betriebe (Elektriker) nicht mehr involviert werden, weil diese zu klein sind.</p>	

Dimmen/verkehrsadaptive Steuerung	
Experten	Gemeinden
<p>Dimmen ist eigentlich Standard!</p> <p>Bei LED: alle Lichtpunkte senken gleich ab, Lichtfarbe bleibt erhalten. Helligkeitsunterschied ist kaum zu sehen.</p>	<p>Dimmen zwischen 22h und 5h wurde überall diskutiert, aber nur in zwei der befragten Gemeinden implementiert. Teils aus technischen Gründen (gemischte Stränge), teils aus Befürchtung, dass die Schatten bei gedimmten Licht zu finster werden (v.a. wenn Lichtpunktabstände zu groß für optimale Ausleuchtung).</p>
<p>Für verkehrsadaptive Lösungen:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Effizienzerhöhung • weitere Verringerung der Lichtverschmutzung (Umweltschutzaspekt) • Sicherheit auf der Straße kann erhöht werden. 	<p>Verkehrsadaptive Lösung meist derzeit kein Thema.</p> <p>Gemeinden zeigen sich prinzipiell interessiert, Nebenstraßen dunkler zu schalten, nur bei Bedarf das Licht anzuheben (v.a. Kreuzungen, Querungen).</p>
<p>Adaptive Steuerungen der Beleuchtung seit mehreren Jahren von der ASFINAG auf Autobahnen erfolgreich eingesetzt: technische Machbarkeit ist erwiesen.</p>	<p>Zweifel, ob sich Komplexität und Mehrfunktionalität beherrschen lassen.</p> <p>Fachkundiges Personal nötig (Serviceverträge abschließen).</p> <p>Technische Zuverlässigkeit ist absolut unerlässlich, Angst vor Fehleranfälligkeit des komplexen Systems wurde mehrfach geäußert.</p>
<p>Problematisch: Angst (der Bevölkerung) vor zu wenig Licht (mangelnde Sicherheit und höheres Kriminalitätsrisiko).</p> <p>Meist unbegründet: Durch gleichmäßige Ausleuchtung neuer LED-Beleuchtung auch im gedimmten Zustand keine dunklen Schattenstellen (wenn gut geplant wurde – siehe optimale Mastabstände).</p>	<p>Befürchtung: Zu starkes Dimmen wird von Bevölkerung nicht akzeptiert werden, da die Menschen helle Straßen wollen (Sicherheitsgefühl!)</p>
<p>Gegen verkehrsadaptive Lösungen:</p> <p>erhöhte Anschaffungskosten, fragliche Amortisation über Kostenreduktion.</p> <p>Wenn Nebenstraßen mit möglichst niedriger Anschlussleistung beleuchtet sind, ist nur wenig Einsparung möglich.</p> <p>Es gibt noch keine (verlässlichen) Aussagen über Kosten für Betrieb und Wartung gibt. Hier wären gute Studien nötig.</p>	<p>Zweifel, ob enge Gemeindebudgets die Mehrinvestitionen erlauben.</p> <p>Zweifel, ob sich die Mehrkosten über Energiekosten zurückverdienen lassen. Die kleineren Gemeinden sind sehr skeptisch.</p> <p>Allerdings: Mehrkosten könnten auch mehr Sicherheit und Service (nicht nur Energieeffizienz) bringen.</p>
<p>kritischer Punkt: Haftungsfrage, gerade wenn Unfälle passiert sind.</p> <p>Gemeinden wollen sich oft selbst um das System kümmern - fraglich ist, ob das geht.</p>	<p>Haftungsfragen werden von allen Gemeindevertretern thematisiert.</p>
<p>Datenschutz im Zusammenhang mit Detektion von Personen auf der Straße kann technisch gewährleistet werden. Und darüber muss transparent informiert werden, dann können auch Bedenken ausgeräumt werden.</p>	<p>Erfassung von VerkehrsteilnehmerInnen:</p> <p>Datenschutz ist kein Problem, wenn die Anonymität sicher gewahrt bleibt (keine Kennzeichenerfassung, nur Erfassung eines Mobiltelefons aber keine Zuordnung zu Personen).</p>

e!Mission.at - 4. Ausschreibung

Klima- und Energiefonds des Bundes – Abwicklung durch die Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft FFG

	<p>Punktuelle Erfassung von Personen zur Erhöhung der Sicherheit ist kein Problem, aber eine flächendeckende Installation wäre als „Überwachung“ abzulehnen.</p> <p>Kameras werden sehr kritisch betrachtet.</p> <p>Keine Lichtpunkte einzeln (vor den Häusern) schalten sondern nur ganze Straßenzüge, damit Privatsphäre gewahrt bleibt.</p>
	<p>Aktive Eingreifmöglichkeit der NutzerInnen (z.B. über eine Smartphone-App) wird durchwegs wegen Missbrauchsmöglichkeit und Konfliktpotential abgelehnt.</p> <p>Für Busstationen/Bahnstationen wird sowohl die lokale Präsenzdetektion als auch die aktive Eingreifmöglichkeit (Befehl „mehr Licht“) als vielleicht sinnvoll angesehen.</p>

Evaluierung Funknetzwerke

Im Zuge der Energieevaluierung wurde auch die bestehende Lösung zur Kommunikation auf Feldebene, die auf dem ZigBee-Standard basiert, bewertet und evaluiert. Dazu wurde zuerst ein Kriterienkatalog aufgestellt, welcher die Anforderungen an ein Feldnetzwerk für eine verkehrsabhängige Straßenbeleuchtung umfasst.

Die folgenden wurden als die entscheidenden Anforderungen identifiziert. Jede der Anforderungen wird dabei kurz beschrieben, bzw. ihre Signifikanz herausgearbeitet.

1. Geringer Energieverbrauch: Funkprotokoll muss einen energiesparenden Betrieb erlauben.
2. Mittlere Übertragungsdistanzen: Die Übertragungsdistanz zwischen einzelnen Knoten soll zwischen 10 und 100 m betragen
3. Hop-By-Hop-Routing: Kann ein Knoten nicht direkt mit dem Koordinator sprechen sollen die Nachrichten von anderen Knoten übermittleit werden.
4. Geringe Datenrate: Lichtsteuerung benötigt keine großen Bandbreiten, da die Datenpakete für die Anwendung relativ klein gehalten werden können.
5. Verlässliche Kommunikation: die verwendete Technologie soll verlässlich Nachrichten übermitteln oder deren „Fehlen“ erkennen. Zusätzlich ist darauf zu achten, dass Daten Up- sowie Downstream gleichermaßen verlässlich ist (insbesondere, weil in SIRIUS+ Sensoren direkt in das Feldnetzwerk eingebunden werden sollen).
6. Etablierte Technologien: Es sollen keine experimentellen Ansätze oder unausgereiften Technologien untersucht werden. Entsprechende Komponenten sollen einfach verfügbar sein.
7. Sicherheit: Sichere Kommunikation soll möglich sein.
8. Offene Funkkommunikation ohne proprietäre Elemente im Kommunikationsstack

Auf Grund der ersten Anforderung 1-4 kommen vor allem solche Technologien in Frage, die auf dem offenen Kommunikationsstandard für Low-Energy-Wireless-Personal-Area-Networks (WPAN) IEEE 802.15.4 basieren. Dieser ist für niedrigen Energieverbrauch ausgelegt, ebenso für die gewünschten Distanzen und Bandbreiten. IEEE 802.15.4 unterstützt unterschiedliche Netzwerktopologien, darunter auch Mesh- oder Peer-to-Peer-Netzwerke, die Hop-By-Hop-Routing unterstützen. Andere offene Standards scheiden entweder auf Grund der zu geringen Distanzen (Bluetooth, IEEE 802.15.1) oder der zu hohen Leistungsaufnahme (WLAN, IEEE 802.11a-n) von vornherein aus.

Als mögliche zukünftige Kandidaten für diese oder ähnliche Applikationen wurden auch die folgenden gefunden, aber auf Grund des teilweise noch sehr experimentellen Charakters (oder der noch geringen Marktdurchdringung, sh. 802.11p) der Lösungen für dieses Projekt nicht in Betracht gezogen:

- LoRa – Low Power Wide Area Network: Schmalbandiges Funkprotokolls im 868 MHz Frequenzband
- IEEE 802.11s – Auf dem WLAN-Standard (802.11) basierende Kommunikation, die Mesh-Funktionalität ermöglichen soll.
- IEEE 802.11p – Auf dem WLAN-Standard (802.11) basierende Kommunikation, für diverse C2X- (Car2Car, Car2Infrastructure,...)-Applikationen

Auf dem WPAN-Standard 802.15.4 basieren einige unterschiedliche Übertragungstechnologien, die verschiedene Applikationsszenarien abdecken sollen. Folgende Technologien werden als die am weitesten verbreiteten angesehen: ZigBee, 6LoWPAN, WirelessHART, WIA-PA, ISA 100.11a.

Die angeführten Technologien sind wie die Recherche ergeben hat durchaus für den angestrebten Applikationsfall anwendbar, die ermittelten Anforderungen und Kennzahlen sollten von allen erfüllt werden. Bei einer Marktuntersuchung zu den einzelnen Technologien wurde festgestellt, dass es bei den Letztgenannten (WIA-PA, ISA 100.11a) keinerlei Produkte auf dem Markt gibt. Zwar finden sich in diesen Fällen einige wissenschaftliche Artikel und Untersuchungen, doch umgesetzte und verfügbare Produkte gibt es nicht. Aus diesem Grund wurden WIA-PA und ISA 100.11a als „experimentell“ eingestuft und nicht in den Labortest mit einbezogen.

Ebenso nicht im Labor getestet wurde 6LoWPAN, da auf Grund der Recherche abzusehen war, dass der notwendige Aufwand nicht in Relation mit dem möglichen Nutzen zu setzen war. Dies vor allem deswegen, da eine auf 6LoWPAN basierte Applikation nur mit einem nicht unerheblichen Entwicklungsaufbau zu realisieren wäre. Außerdem konnte abgeschätzt werden, dass keinerlei, oder nur eine sehr geringe, Einsparung im Bereich Energieverbrauch durch die Verwendung von 6LoWPAN ermöglicht werden könnte. Im Labortest wurden also ZigBee und WirelessHART miteinander verglichen.

Die folgenden Ergebnisse und Erkenntnisse konnten im Labortest gewonnen werden:

Tabelle 4: Ergebnisse Labortest Funktechnologien

	Versorgungsspannung	Mittlerer Stromverbrauch	Mittlere Übertragungsdauer	Max. Übertragungsdauer
WirelessHART	3,3 V	2,8 mA	0,3-10 s	70 s
ZigBee	3,3 V	3-4 mA	20-30 ms	60-70 ms

Anzumerken ist, dass der Upstream vom Sensor zum Koordinator bei WirelessHART um einige Größenordnungen schneller vonstattengeht, als das aus diesem Ergebnis sichtbar wird. Dies liegt offenbar daran, dass WirelessHART für Sensornetzwerke optimiert wird, also von einem hauptsächlich „Upstream“-orientierten Datenstrom ausgeht. Zwar können einzelnen Downstream-Kanäle priorisiert werden, doch Broadcast- oder Multicast Mechanismen sind nicht so einfach umzusetzen. Dies auch deswegen, weil wenig bis gar keine Möglichkeit bestehen den (sehr fest) vorgegeben WirelessHART-Kommunikationsstack zu konfigurieren.

Prinzipiell wurden aus den präsentierten Ergebnissen die folgenden Schlüsse gezogen:

1. Stromverbrauch bei WirelessHART und ZigBee-Knoten in derselben Größenordnung, mit leichten Vorteilen für WirelessHART
2. WirelessHART zeigt sehr unsymmetrisches Kommunikationsverhalten was Up- und Downstream angeht
3. ZigBee zeigt sehr viel geringere mittlere Übertragungsdauer

Zusammenfassen kann gesagt werden, dass für die Applikation „Verkehradaptive Straßenbeleuchtung“ WirelessHART nicht geeignet scheint, da insbesondere die langen Übertragungsdauern (im Gegensatz zu ZigBee) eine zeitnahe Steuerung einer ganzen Gruppe von Leuchten nicht realisierbar scheint.

Privacy

Wie im Bereich der Nutzerbefragung bereits erwähnt, ist das Thema Datenschutz, Anonymität, fachsprachlich unter „Privacy“ zusammengefasst von großer Bedeutung. Im Gegensatz zum Bereich Safety (Funktionssicherheit und Zuverlässigkeit), wo es die SIL (Safety Integrity Level) gibt, gibt es im Bereich der Personenrechte und des Datenschutzes keine derartigen Klassifizierungsebenen. Das österreichische Datenschutzgesetz umfasst Informationen die einen direkten Personenbezug haben (z.B. Adressdaten), sowie sensible Daten, die nicht anonymisiert sind. Im Rahmen des Datenverarbeitungsregisters wird auch die elektronische Zutrittskontrolle sowie Videoüberwachung behandelt. Indirekt personenbezogene Daten (jene Daten, die es einer Person nur unter Verwendung von illegalen Methoden ermöglichen einen direkten Personenbezug herzustellen) und deren Verwendung sind von Meldepflichten sowie Restriktionen ausgenommen. Unabhängig vom wortwörtlichen Gesetzestext ist dennoch eventuell eine Sensibilität der Daten gegeben. Sensordaten, die die Bewegung oder Anwesenheit von Personen oder Fahrzeugen feststellen, können indirekt Rückschlüsse auf Einzelpersonen erlauben. Dabei ist zu unterscheiden, wo genau die Rückschlüsse gezogen werden können (direkt im Feld oder im Datenzentrum). Darauf basierend, sind unterschiedliche Maßnahmen technischer Art zu treffen, um Risiken für Privatsphäre von Personen und deren Eigentum zu minimieren. Es werden zwei Kreuzungssituationen beschrieben, um das Risikopotential aufzuzeigen und daraus mögliche Rückschlüsse abzuleiten.

Situation 1: Stark befahrene Kreuzung im urbanen Bereich

Die Kreuzung liegt in dicht bebautem Gebiet und wird tagsüber stark befahren, auch nachts gibt es regelmäßige Fahrzeug- und Personenbewegungen. Nach Auslösen eines Sensors ist es nie möglich, Rückschlüsse zu ziehen, ob und zu welcher im Kreuzungsbereich befindlichen Wohn-/Büro-/Geschäftseinheit der Verursacher die Sensorauslösung gehört, wenn die Sensoren derart ausgerichtet sind, dass sie ausschließlich einen Eingangsbereich im Erfassungsbereich haben. Der Einzugsbereich um die Kreuzung garantiert eine ausreichende Anonymisierung.

Situation 2: Kreuzung bei der Einmündung einer Sackgasse im Wohngebiet

In der Nacht wird die Sackgasse in der Regel wenig befahren bzw. durchschritten, in vielen Fällen wahrscheinlich von Bewohnern der Gasse. Abhängig davon, kann durch die Reihenfolge des Auslösens der Sensoren bestimmt werden, ob die Sackgasse betreten oder verlassen wird, wodurch durch etwaige Ortskenntnisse ein Person Rückschlüsse darauf ziehen kann wann eine oder mehrere Wohneinheiten leer stehen oder nicht. Durch Ortskenntnisse, kann daher ohne Verwendung illegaler Methoden in vielen Fällen auf die Identität von Personen zurückgeschlossen werden.

Selbstverständlich können diese Informationen auch ohne die Ausnutzung intelligenter Lichtsteuerungen für Kreuzungsanlagen erworben werden, dennoch sollte oder muss das System so ausgelegt sein, dass die Informationsbeschaffung durch das System nicht erleichtert wird.

Folgende Abwehrmechanismen in der Feldebene sind denkbar:

- Im Falle, dass die Sensoren ausschließlich Daten senden, wenn eine Detektion eines Fahrzeuges oder einer Person erfolgt, kann mittels Richtfunkantenne(n) festgestellt werden, ob ein bestimmter Sensor ein Ereignis detektiert hat, auch bei verschlüsselter Kommunikation. Wenn der Sensor in regelmäßigen Abständen Pings an die Basisstation sendet, damit diese bzw. der Management-

Server Informationen darüber erhält, dass der Sensor noch funktionsfähig ist, dann kann ebenfalls das Auftreten eines Ereignisses detektiert werden, wenn ein Datenpaket azyklisch gesendet wird. Um ein solches Abhören zu erschweren gibt es zwei Möglichkeiten, die in Kombination am effektivsten sind. Wenn die Pings in unregelmäßigen Abständen an die Basisstation gesendet werden, fällt ein richtiges Sensorereignis weniger auf, es ist hierbei jedoch auf die Energieeffizienz zu achten. Wenn die Pings in kurzen Intervallen erfolgen, wird mehr Energie verbraucht, wenn die Abstände zu groß sind, stechen Nutzdaten aus den Pings hervor. Zusätzlich zu azyklischen Pings, können Datenpakete reguläre Pings ausfallen lassen, da sie der Basisstation implizit mitteilen, dass der Sensor aktiv ist. Dies funktioniert nur, wenn der ausfallende Ping im Rahmen der erlaubten Weiterleitungszeit von Sensor Ereignissen liegt.

- Jegliche Kommunikation zwischen Sensoren und Basisstation/Gateway muss verschlüsselt sein, ansonsten kann ein Unbefugter die Daten einfach selbst interpretieren. Bei ZigBee empfiehlt es sich auf AES-CCM mit 128 Bit zu setzen, wenn es die Hardwareplattform sowie die Energieverbrauchsrahmenbedingungen gestatten. Bei anderen existierenden und zukünftigen Funkprotokollen ist auf ausreichende Verschlüsselung zu achten. Es ist regelmäßig zu überprüfen ob Verschlüsselungen geknackt und unwirksam geworden sind, wie z.B. die WEP Verschlüsselung bei WiFi. Eventuell ist zusätzliche Application-Level Verschlüsselung notwendig, da diese auch im Betrieb durch Firmware-Updates, ohne Hardwareadaptierungen getauscht werden kann.
- Es ist auch möglich, speziell wenn die Kommunikation über das reguläre Internet erfolgt, den Datenverkehr zwischen der Funkbasisstation und dem Management Server abzufangen, daher ist es auf jeden Fall ratsam jegliche Kommunikation zu Verschlüsseln und die Schlüssel/Zertifikate in passenden Intervallen automatisch auszuwechseln. Auch hier sollten zusätzliche Kommunikationspakete im Protokoll vorgesehen werden, damit nicht durch einfaches mithören, durch das Auftreten von Datenpaketen an sich Rückschlüsse darauf getroffen werden können, dass ein Sensorereignis aufgetreten ist. Im Vergleich zur Richtfunkantenne, ist durch reines Detektieren von Datenpaketen (Verschlüsselung vorausgesetzt) für den Angreifer jedoch nicht leicht, herauszufinden, von welchem Sensor das auslösende Ereignis stammt.

Folgende Abwehrmechanismen in der Systemebene sind denkbar:

Am Kontrollserver für Straßenzüge oder ganze Dörfer/Städte, werden für die akkurate Entscheidungsfindung, welche Beleuchtungsgruppen mit welchem Helligkeitsgrad angesteuert werden soll, alle Sensorsignale benötigt, jedoch werde die einzelnen Sensordaten nach der Entscheidungsfindung und Ausführung der Aktion nicht mehr als Einzelwerte benötigt. Für statische Auswertungen, reichen in der Regel aggregierte Daten, daher sollten lediglich diese aggregierten Daten, falls überhaupt, in der Datenbank permanent gespeichert werden. Das gleiche gilt auch für Steuersignale an die intelligenten Beleuchtungsgruppen.

- Um Wartungsarbeiten oder die Inbetriebnahme von Sensoren und Aktoren zu ermöglichen, muss ein Techniker auf die aktuellen Sensor und Aktorzustände und Ereignisse, der Bereich der über die Steuersoftware ersichtlich ist, entspricht dem Zeitraum bis die Aggregation stattfindet, z.B.

Einzelevents der letzten 5 Minuten sichtbar, danach nur noch aggregierte Werte, entweder zeitlich, z.B. auf Stunden oder mehrere Stunden zusammengefasst, oder aber auch über mehrere, zwar räumlich zusammenliegende, aber dennoch steuerungstechnisch getrennt behandelte Straßenabschnitte.

- Die Steuersoftware muss unterbinden, dass z.B. ein Techniker Zugriff auf die noch nicht aggregierten Echtzeitdaten hat, d.h. direkte Datenbankzugriffe müssen genauso unterbunden sein, wie der z.B. Export von Daten als CSV, Excel-Sheet o.ä., ansonsten könnte dadurch die die Aggregation der exakten Ereignisse, über einen längeren Zeitraum hinweg umgangen werden. Indirekte Wege zum Zugriff, z.B. Screenshots, müssen ebenfalls programmtechnisch unterbunden werden. Aufnahmen mittels Videokamera oder Fotoapparat können natürlich nicht unterbunden werden, dies muss also auf vertraglicher, Geheimhaltungsebene erfolgen. Die Kommunikation zwischen Benutzerschnittstelle und Backend muss verschlüsselt sein, wenn die beiden Komponenten nicht auf demselben System laufen. Die Installation von Zusatzsoftware am Steuerungsserver ist zu unterbinden.
- Wenn die Benutzerschnittstelle webbasiert ist, dürfen für den Zugriff auf die Datenbestände nur gewisse vertrauenswürdige Arbeitsplätze (z.B. mittels Firewall) freigeschaltet sein, und der Backend oder API-Server sollte restriktive CORS (Cross-Origin Resource-Sharing) Policies für den Webbrowser verwenden, wenn ein genereller Internetzugang nicht gesperrt werden kann. Dadurch wird erschwert, mittels einer Mashup-Webseite oder einer lokalen HTML/Javascript-Kombination die Daten unbefugt abzufragen.
- Einen Großteil der vorgenannten Probleme (Programme, Browser) kann man von vornherein ausschalten, wenn man den Zugriff auf das Daten-Interface nur mittels eines Terminalservers (z.B. RDP oder Citrix) ermöglicht. Für den freigegebenen Bereich kann so die Installation von Software etc. unterbunden werden, ohne den eigentlichen Arbeitsplatzrechner des Operators einzuschränken.
- Die zuvor genannte Aggregation der Daten muss Sensor wie auch Steuerereignisse umfassen, da ansonsten anhand der Steuerevents Rückschlüsse auf das Verhalten von Einzelpersonen (besonders bei z.B. Szenario 2) geschlossen werden kann.
- Bei der Aggregation ist anzudenken, ob auch nach der Aggregation auf Einzelereignisse zurückgeschlossen werden kann. In diesem Fall können Sensor- bzw. Steuerereignisse von benachbarten Steuersegmenten mit in die Aggregation hinein zu nehmen. Es darf natürlich die grundsätzliche Statistik nicht verfälscht werden, ansonsten können eventuelle spätere Optimierungen der Regelung nicht mehr durchgeführt werden.

Innerhalb von SIRIUS+ wurden aufbauend auf der vorangegangenen Analyse die folgenden Maßnahmen ergriffen um das Thema Privacy bestmöglich schon innerhalb des Systemdesigns zu behandeln. Die umgesetzten Konzepte auf Feldebene umfassen:

- Jeglicher Datenverkehr ist verschlüsselt

- Sämtliche Sensor- und Steuerungsdaten haben annähernd die selbe Länge/Struktur
- Sensoren senden nicht nur bei Events, sondern auch zwischendurch „Status-Meldungen“
- „Statusmeldungen“ der Sensoren werden bei anfallenden „Event-Nachrichten“ ausgesetzt
- Feldebene kommuniziert über verschlüsselten VPN-Tunnel mit Backend-Server

Auf Server-Ebene wurden die oben angeführten Maßnahmen diskutiert und für die Umsetzung vorgesehenen (hier vor allem Konzepte zur Datenaggregation, Einschränkung von Systemberechtigungen und –zugriff). Da das Projekt SIRIUS+ aber einen experimentellen Charakter hat und eine tiefgehende Datenanalyse sowohl der Sensor- als auch der Steuerungsdaten für die Optimierung und Evaluierung notwendig war, wurden die Einzeldaten nicht verworfen. Es handelt sich bei dem umgesetzten System nicht um ein kommerzielles Produkt, sondern um eine rein akademische Umsetzungsstudie. Bei einem kommerziellen Produkt wäre eine durchgehende Behandlung aller Aspekte der Sicherung von Privatsphäre durchgehend umzusetzen. Bei den umgesetzten Experimenten wurden nur jene Teile gesichert, die (theoretisch) öffentlich zugänglich sind, da die Steuerungsserver und angefallenen Daten nur ausgewählten Mitgliedern des Projektkonsortiums zugänglich gemacht wurden.

AP7 – Dissemination



Abbildung 7: Intertraffic 2016



Abbildung 8: Light&Building 2016

Neben der Präsentation der Ergebnisse auf der Light&Building 2016 und Intertraffic 2016 wurden auch folgende Publikationen erstellt:

1. T. Novak, K. Pollhammer. Enhanced Urban Traffic Management by Intelligent Street Lighting. In Proceedings of 10th ITS European Congress 2014, pp. 1-8, 2014.
2. T. Novak, K. Pollhammer. Intelligent Streetlight Management in a Smart City. In Proceedings of 2014 IEEE 19th Conference on Emerging Technology and Factory Automation (ETFA), pp. 1-8, 2014.
3. H. Zeilinger, T. Novak, W. Wimmer. Energieevaluierung einer adaptiven LED Straßenbeleuchtung. Im

Tagungsband der 9. Internationalen Energiewirtschaftstagung an der TU Wien, 2015.

4. T. Novak, K. Pollhammer. Smart strategy to increase energy efficiency and safety in urban areas. In Proceedings of 22nd ITS World Congress 2015, pp. 1-9, 2015.

4 Ausblick und Empfehlungen

Projekt-Highlights

- Das Design des Steuermoduls (Business Logik) konnte aufgrund seines modularen Aufbaus derart erweitert werden, sodass Sensordaten von unterschiedlichen Sensoren effizient eingebunden werden können.
- Der eingesetzte ToF Sensor wurde mit dem Sensorknoten integriert und erfolgreiche Kommunikationstests durchgeführt.
- Am Teststandort Perchtoldsdorf wurde ein heterogenes Testsystem aufgebaut, in dem eine Vielzahl an Testfällen getestet werden können.
- Einzelne Szenarien wurden erfolgreich in den Teststandorten umgesetzt.
- Ein SIRIUS Simulator wurde entwickelt, um weitere Zukunftsszenarien zu evaluieren. Hinweise auf weitere Optimierungspotentiale konnten abgeleitet werden.
- Ein ganzheitliches Privacy Konzept wurde konzipiert
- 150 Fragebögen bei Vor-Ort-Befragung und 80 Fragebögen aus der Online-Befragung sowie die Antworten der befragten Experten und Gemeinden wurden ausgewertet und geben interessantes Feedback bzw. Hinweise für zukünftige Installationen und Verkauf des Systems.

Wirtschaftliche Verwertung

Intelligente Beleuchtungssysteme mit unterschiedlichen Steuerungsstrategien sind stark an die Marktpenetration von LED-Beleuchtung für den Außenbereich gekoppelt, denn nur mit einer solchen können verkehrsadaptive Lösungen realisiert werden. LED-Technologie erlaubt das Dimmen in mehreren Stufen und das beinahe verzögerungsfrei.

Abschätzen lässt sich der Markt für Straßenleuchten ungefähr folgendermaßen: Man geht von einer Summe von Einwohnerzahl/10 aus. Damit wäre der österreichische Gesamtmarkt mit ca. 800.000 Beleuchtungskörpern angegeben. Bei einer angenommenen Erneuerungsrate von 3-4% jährlich ergibt sich ein Markt von ~30.000 Leuchten jedes Jahr, von denen ca. 60% auf LED-Technologie basieren. Mit einer geeigneten Durchdringungsrate von LED Leuchten im Außenbereich ist daher erst in den nächsten 5-7 Jahren zu rechnen, was die Investitionsfreude bei Städten und Gemeinden in intelligente Beleuchtung geringhält.

Erschwerend für die Umsetzung und den Markterfolg von intelligenten Beleuchtungssystemen haben sich insbesondere zwei Umstände herausgestellt. Zuerst ist die Verkehrserkennung selbst mittels der existierenden Technologien umsetzbar, allerdings ist die großflächige Verfügbarkeit gleichwertiger

Sensoren immer noch nicht in zufriedenstellendem Maß gegeben. Damit ist eine großflächige Installation auch immer mit überdurchschnittlich hohen Erstanschaffungskosten für die Sensorik selbst verbunden. Das zweite wesentliche Problem ist die (bisher) immer noch nicht existierende Spezifikation und Umsetzung von Smart City Lösungen. Dies führt dazu, dass ein starkes Verkaufsargument – nämlich die übergeordnete Eingliederung in eine kooperative Smart City Plattform immer noch in weiter Ferne scheint. Aus diesem Grund muss der Fokus momentan auf dem Vertrieb solitärer Insellösungen und kleinerer unabhängiger Installationen liegen, die mit vorgesehenen offenen Schnittstellen in zukünftige Verbundsysteme eingebunden werden können.

Wissenschaftliche Verwertung

Abgesehen von den nun beginnenden Verwertungsmöglichkeiten der Ergebnisse nach Projektende, konnten bereits während der Projektlaufzeit einige herausragende Ergebnisse wissenschaftlich verwertet werden.

Herr MEng Alireza Estaji startete im Rahmen des Vorgängerprojektes SIRIUS seine Dissertation und kann diese mit Ergebnissen die er im Nachfolgeprojekt SIRIUS+ erarbeitet hat abschließen. Das Dissertationsprojekt nutzte unter anderem von SIRIUS gewonnene Mess- und Berechnungsdaten und bildete einige erstellten Use Cases im Verkehrssimulator ab.

Das Projekt SIRIUS+ konnte weiter Master- und Bachelorstudierenden in diversen Lehrveranstaltungen vorgestellt und die Konzepte nähergebracht werden. Auch wurden zu SIRIUS+ relevanten Themengebieten Studierende mit aktuellen Forschungs- und Entwicklungsthemen ausgeschrieben und es werden derzeit noch zwei Vertiefungsarbeiten in dem Themengebiet „Anforderungen an intelligentes Management“ betreut.

Lehre: Ausgerechnet Elektrotechnik: Diese verpflichtende Lehrveranstaltung gibt den Studienanfängerinnen und -anfängern ein Überblick zum Fachgebiet der Elektrotechnik und zum Studium der Elektrotechnik und Informationstechnik. Vier Institutsbesuche mit Workshops zum Projekt SIRIUS fanden in 2015 statt und verteilen sich über das ganze Wintersemester.

5 Kontaktdaten

ProjektleiterIn

Dr.Thomas Novak novak.futurit@swarco.com

SWARCO FUTURIT Verkehrssignalsysteme Ges.m.b.H
Verwaltung: Mühlgasse 86, A-2380 Perchtoldsdorf, Austria
T. +43-1-895-79-24-711 F. +43-1-894-21-48

Weitere Kooperationspartner

Energy Changes Projektentwicklung GmbH
Obere Donaustraße 12/28, 1020 Wien
<http://de.energy-changes.com/>

Technische Universität Wien, Institut für Computertechnik
Gusshausstrasse 27/E384, 1040 Wien
<http://www.ict.tuwien.ac.at>, www.tuwien.ac.at

Bluetechnix GmbH
Gutheil-Schoder-Gasse 17, 1230 Wien
<http://www.bluetechnix.at/>