

## Retrofittable monitoring of street lamps —

smart and cost-effective defect detection

Prototype sensor node installed in the Ilmenau urban area for automatic and wireless lamp monitoring as the first IMMS smart city test setup in the thurAI project. Photograph: IMMS.

### Motivation and overview

The maintenance of comprehensive street lighting is associated with considerable expense for local authorities. One problem that often remains unsolved is the prompt and automatic detection of defective streetlights across the entire area of responsibility, including surrounding municipalities. Defective or flickering lamps are detected during night-time inspections by municipal staff or are usually reported late by citizens.

With automatic monitoring, not only can defects be detected more quickly, but route planning for maintenance cases can also be optimised. LED-based smart lamps available on the market monitor and report their status themselves and often also include other functionalities, such as WLAN hotspots or electric charging points. However, it is financially impossible for many municipalities to switch to them on a large scale or even completely; at best, this is happening gradually. At the same time, in an increasingly connected world, municipalities also want to rely more on the Internet of Things (IoT) to collect data and carry out effective analyses.

[www.imms.de/  
thurai](http://www.imms.de/thurai)

In the thurAI research project at IMMS, a solution for monitoring streetlamps was therefore developed, set up, and evaluated with long-term measurements in

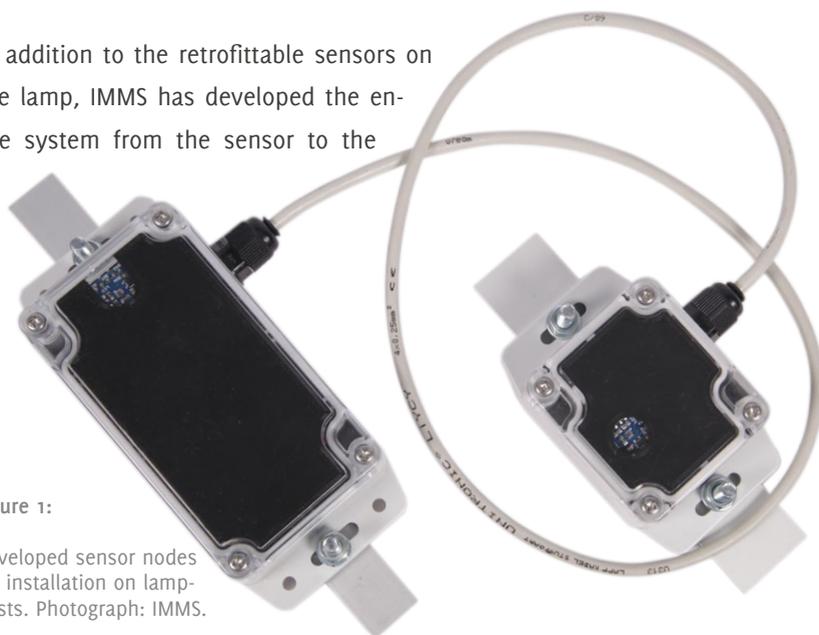
Annual Report  
© IMMS 2023

Ilmenau and surrounding municipalities, which can be retrofitted as a more cost-effective alternative. This implements defect detection with optical sensors in wireless sensor nodes, which can be easily installed on lampposts without interfering with the lamp's electrical system. The system of battery-operated and remotely configurable wireless sensor nodes and a gateway communicates via the LoRaWAN low-power wide-range radio technology. This energy-efficient communications technology enables a wide variety of sensors to be used and a wide range of solutions to be implemented. Local authorities can thus make every existing street lamp smart, promptly detect its condition and defects, plan maintenance work and inform citizens via a website.

### Complete system with modular platform for IoT systems

The solution for monitoring street lamps developed at IMMS in collaboration with the city of Ilmenau uses optical sensors to detect defects in wireless sensor nodes that are installed on lampposts. Due to the non-invasive installation, no integration with the electrical system of the lamp is required and retrofitting is therefore easy. The system consisting of wireless sensor nodes and a gateway communicates via LoRaWAN long-range radio technology. The sensor nodes are battery-powered and can be configured remotely. Defects are detected from the measurement data on the server side and the results are visualised in dashboards.

In addition to the retrofittable sensors on the lamp, IMMS has developed the entire system from the sensor to the



**Figure 1:**  
Developed sensor nodes for installation on lampposts. Photograph: IMMS.

visualisation for municipal offices. This was created on the basis of a modular platform for IoT systems developed at IMMS. It allows sensors, database and analysis tools, as well as visualisation options to be flexibly adapted to quickly implement application-specific solutions.

### **Configurable sensor nodes with independent power supply for heterogeneous lamp types and light sources**

For the solution presented, special sensor nodes were developed that are mounted on lamps to record the data required to monitor the lamp function by measuring the optical light intensity of the lamp and the ambient light (Figure 1). The values are periodically transmitted via LoRaWAN to a dedicated gateway with the ChirpStack as an implementation of the LoRaWAN protocol stack, from where they are quality-checked and stored in an InfluxDB database. The evaluation is currently carried out on the server side using a specially developed algorithm that relates the two values per lamp and can thus also draw attention to lamp faults, such as very bright ambient light that interferes with twilight switches on lamps. The result of the evaluation is then stored in the database and visualised on a map using Grafana.

Challenges in implementing the project were the large number of different physical lamp types (mast and lamp shape), a large number of heterogeneous light sources with different fault patterns and operation without integration with the lamp electrics to minimise installation and maintenance costs. The first two points require a certain degree of adaptability or configurability of the sensor nodes on the

[www.imms.de/](http://www.imms.de/)  
 thurai

**Figure 2:** Sensor nodes on lampposts in the Jesuborn district of Ilmenau. Photograph: IMMS.



lamps, while the last point requires energy-efficient operation by means of a self-sufficient energy supply. The latter is achieved by using batteries that are designed for an expected service life of at least two years with a measuring interval of 30 minutes at night. To put into effect the other points, IMMS has developed two basic variants of the sensor nodes.

- > *Integrated sensor systems*
- > *Distributed measurement + test systems*
- > *Mag6D nm direct drives*
- > *Contents*
- \* *Funding*

### Standard sensor node for day/night differentiation of measurements

The standard version has two light sensors and measures both the lamp light and the ambient light, enabling a direct comparison of the two values. This makes the difference between day and night clear. To save energy, the sensor for the lamp light is only used when it is dark; the second sensor is only activated when the ambient light falls below a configurable threshold value. This also enables automatic detection of the length of day throughout the year. The second sensor is positioned so that it faces away from the light source and captures as little light as possible from it.

### Simplified sensor node with indirect assignment of measurement periods

If this is not possible due to the lamp geometry, the second variant with just one sensor is used. This only measures the lamp light. On the server side, this lamp is then assigned another sensor for evaluating the ambient light, the start of the measurement periods (day/night) is determined on a daily basis and the sensor node is then configured accordingly.

Figure 3:

Status visualisation in dashboards, here with a status history over 90 days. Source: IMMS.





Figure 4: Status visualisation in dashboards. Top: current status top on a map of the district. Source: IMMS on the basis of OpenStreetMap (CC BY-SA 2.0).

## Remote configurability for specifics

To be able to respond to different light sources, IMMS has created a way of configuring the nodes remotely via messages in the return channel (LoRaWAN downlink). In addition to adjusting the measuring range of the sensors, this also makes it possible to start predefined special measurements, e.g., to detect flickering later.

## Proof of function and outlook

The system developed has been undergoing extensive testing in the Ilmenau district of Jesuborn since August 2023 (Figure 2). This district has a total of around 50 street lamps of various types. The sensors were installed under the lamps relatively high up on the masts using a hydraulic lift.

During the tests to date, the system has successfully detected first defects in lamps (Figures 3 and 4): defects caused by construction work and a traffic accident in which a pole was damaged were detected.

The data also shows a change in the intensity of the lamps when a bulb has been replaced, and thus, in addition to the currently possible status detection, another potential of such a system: in the long term, a database for analysing maintenance cycles can be built up, which can then also be used for AI models.

In addition to these functions, various suspected cases of flickering have also been identified, but these can only be clarified with a special measurement that takes place at shorter intervals. The system is already capable of carrying out such a measurement. However, the evaluation on the server side or, as soon as sufficient data is available, by AI is still open and is to be tackled as the next step.

**Contact person:** Dr.-Ing. Tino Hutschenreuther, [tino.hutschenreuther@imms.de](mailto:tino.hutschenreuther@imms.de)



Hier hat Zukunft Tradition.

The thurAI research project was funded by the German Land of Thüringen via the Thüringer Aufbaubank under the reference 2021 FGI 0008.

## Nachrüstbares Monitoring von Straßenlampen —

### smarte und kostengünstige Defekterkennung

Prototypischer Sensorknoten, der im Ilmenauer Stadtgebiet zur testweisen automatischen und funkbasierten Lampenüberwachung als erster Smart-City-Testaufbau des IMMS im Projekt thurAI installiert wurde. Foto: IMMS.

#### Motivation und Überblick

Die Instandhaltung flächendeckender Straßenbeleuchtung ist für Kommunen mit einem erheblichen Aufwand verbunden. Ein oft noch ungelöstes Problem ist die zeitnahe und automatische Erfassung defekter Straßenlampen im gesamten Verantwortungsbereich einschließlich umliegender Gemeinden. Defekte oder flackernde Lampen werden über nächtliche Kontrollen durch kommunales Personal festgestellt oder meist spät über die Bürgerschaft gemeldet.

Mit einem automatischen Monitoring lassen sich nicht nur Defekte schneller erkennen, sondern auch Tourenplanungen für Wartungsfälle optimieren. Am Markt verfügbare LED-basierte smarte Lampen überwachen und melden zwar ihren Status selbst und beinhalten oft auch weitere Funktionalitäten, wie z.B. WLAN-Hotspots oder Elektroladesäulen. Doch vielen Gemeinden ist es finanziell unmöglich, großflächig oder gar vollständig darauf umzustellen; dies geschieht bestenfalls allmählich. Gleichzeitig wollen in einer zunehmend vernetzten Welt auch Kommunen verstärkt auf das Internet der Dinge (IoT) setzen, um Daten zu sammeln und effektive Analysen durchzuführen.

Am IMMS wurde daher im Forschungsprojekt thurAI eine Lösung zum Monitoring von Straßenlampen entwickelt, aufgebaut und mit Langzeitmessungen in Ilmenau

[www.imms.de/  
thurai](http://www.imms.de/thurai)

Jahresbericht  
© IMMS 2023

und umliegenden Gemeinden evaluiert, die als kostengünstigere Alternative nachgerüstet werden kann. Diese realisiert die Defekterkennung mit optischen Sensoren in Funksensorknoten, die sich leicht an Lampenmasten ohne Eingriff in die Elektrik der Lampe installieren lassen. Das System aus batteriebetriebenen und aus der Ferne parametrierbaren Funksensorknoten und einem Gateway kommuniziert über die Low-Power-Weitbereichsfunktechnologie LoRaWAN. Durch diese energieeffiziente Kommunikationstechnologie können unterschiedlichste Sensoren eingesetzt und damit vielfältige Lösungen realisiert werden. Kommunen können somit jede vorhandene Straßenlampe smart machen, deren Zustand und Defekte zeitnah erkennen, Wartungseinsätze planen und Bürgerinnen und Bürger über eine Webseite informieren.

## Gesamtsystem mit modularer Plattform für IoT-Systeme

Die am IMMS in Zusammenarbeit mit der Stadt Ilmenau entwickelte Lösung zum Monitoring von Straßenlampen realisiert die Defekterkennung mit optischen Sensoren in Funksensorknoten, die an Lampenmasten installiert werden. Durch die nicht-invasive Montage ist kein Eingriff in die Elektrik der Lampe erforderlich und die Nachrüstung somit leicht möglich. Das System aus Funksensorknoten und einem Gateway kommuniziert per Weitbereichsfunktechnologie LoRaWAN. Die Sensorknoten sind dabei batteriebetriebenen und aus der Ferne parametrierbar. Die Defekte werden serverseitig aus den Messdaten erkannt und die Ergebnisse in Dashboards visualisiert.

Neben den reinen nachrüstbaren Sensoren an der Lampe hat das IMMS das gesamte System vom Sensor bis zur



Abbildung 1:

Entwickelte Sensor-  
knoten zur Installation  
an Lichtmasten. Foto: IMMS.

Visualisierung für städtische Stellen entwickelt. Dieses ist auf Basis der am IMMS entwickelten modularen Plattform für IoT-Systeme entstanden. Mit ihr lassen sich Sensoren, Datenbank- und Analyse-Tools sowie Visualisierungsoptionen flexibel anpassen, um anwendungsspezifische Lösungen schnell umsetzen zu können.

## Konfigurierbare Sensorknoten mit autarker Energieversorgung für heterogene Lampentypen und Leuchtmittel

Für die vorgestellte Lösung wurden spezielle Sensorknoten entwickelt, die an Lampen montiert werden, um dort per optischer Lichtintensitätsmessung der Lampe sowie des Umgebungslichts die notwendigen Daten zum Monitoring der Lampenfunktion zu erfassen (Abb. 1). Die Werte werden per LoRaWAN periodisch an ein eigenes Gateway mit dem ChirpStack als Implementierung des LoRaWAN-Protokoll-Stacks übertragen und von dort qualitätsgeprüft in einer InfluxDB-Datenbank abgelegt. Die Auswertung erfolgt momentan serverseitig über einen speziell entwickelten Algorithmus, der die beiden Werte je Lampe in Bezug setzt und so auch auf Fehlerfälle der Lampen, wie z.B. sehr helles Umgebungslicht, das Dämmerungsschalter an Lampen stört, aufmerksam machen kann. Das Ergebnis der Bewertung wird anschließend wieder in der Datenbank abgelegt und mit der Software Grafana auf einer Karte visualisiert.

Herausforderungen bei der Umsetzung des Projekts waren die Vielzahl an unterschiedlichen physischen Lampentypen (Mast- und Lampenform), eine Vielzahl heterogener Leuchtmittel mit unterschiedlichen Fehlerbildern und der Betrieb ohne

Abbildung 2: Sensorknoten an Lichtmasten im Ilmenauer Ortsteil Jesuborn. Foto: IMMS.







**Abbildung 4:** Statusvisualisierung in Dashboards: Oben aktueller Status auf einer Karte des Ortsteils. Quelle: IMMS auf der Basis von OpenStreetMap (CC BY-SA 2.0).

wird dieser Lampe dann ein anderer Sensor für die Bewertung des Umgebungslichts zugeordnet, der Beginn der Messzeiträume (Tag/Nacht) tagesaktuell ermittelt und anschließend der Sensorknoten entsprechend konfiguriert.

## Fernkonfigurierbarkeit für Spezifika

Um auf unterschiedliche Leuchtmittel eingehen zu können, hat das IMMS eine Möglichkeit geschaffen, die Knoten über Nachrichten im Rückkanal (LoRaWAN Downlink) aus der Ferne zu konfigurieren. Dies ermöglicht neben der Anpassung des Messbereichs der Sensoren auch den Start von vorab definierten Spezialmessungen, z.B. um später Flackern zu erkennen.

## Funktionsnachweis und Ausblick

Das entwickelte System ist seit August 2023 im Ilmenauer Ortsteil Jesuborn flächendeckend in der Erprobung (Abb. 2). Dieser Ortsteil verfügt über insgesamt ca. 50 Straßenlampen einiger unterschiedlicher Typen. Die Sensoren wurden entsprechend unter den Lampen relativ hoch am Mast mit Hilfe eines Hubsteigers installiert.

Während der bisherigen Erprobung konnten mit Hilfe des Systems erfolgreich erste Defekte an Lampen erkannt werden (Abb. 3 und 4). So wurden Defekte durch Bauarbeiten und einen Unfall, bei dem ein Mast beschädigt wurde, erkannt.

Außerdem zeigen die Daten eine Intensitätsänderung der Lampen, wenn ein Leuchtmittel ausgetauscht wurde, und damit neben der aktuell möglichen Zustandserkennung auch ein weiteres Potenzial eines solchen Systems: Langfristig kann damit ein Datenbestand zur Analyse von Wartungszyklen aufgebaut werden, der dann auch für KI-Modelle genutzt werden kann.

Neben diesen Funktionen wurden auch verschiedene Verdachtsfälle für Flackern identifiziert, die aber nur mit einer speziellen Messung, die in kürzeren Intervallen erfolgt, geklärt werden können. Das System ist bereits in der Lage, solch eine Messung auszuführen. Die Auswertung auf der Server-Seite oder, sobald ausreichend Daten vorliegen, per KI ist jedoch noch offen und soll als nächster Schritt angegangen werden.

**Kontakt:** Dr.-Ing. Tino Hutschenreuther, [tino.hutschenreuther@imms.de](mailto:tino.hutschenreuther@imms.de)

68

- > Integrierte Sensorsysteme
- > Intelligente vernetzte Mess- u. Testsysteme
- > Mag6D-nm-Direktantriebe
- > Inhalt
- \* Förderung



Hier hat Zukunft Tradition.

Das Forschungsvorhaben *thurAI* wurde durch den Freistaat Thüringen über die Thüringer Aufbaubank unter dem Kennzeichen 2021 FGI 0008 gefördert.

[www.imms.de/  
thurai](http://www.imms.de/thurai)