



Digital Engineering for planning and revitalisation of city districts – use of sensors to monitor buildings

One Digital Engineering research group task was testing connected wireless sensors to monitor the civil engineering variables of a school in Weimar. Photograph: Marco Götze, IMMS.

Objectives and overview

Computer-assisted construction and renovation a requirement of growing towns and cities

As people continue to flock to live in cities, buildings shoot up ever higher and closer together and in certain situations with intermingling of residential estates and industrial areas. To speed up the highly efficient planning and execution of complex new and renovated urban buildings, the “Digital Engineering for Planning and Revitalisation Processes of Urban Neighbourhoods” research group has been working on innovative computer-assisted techniques, which will help digitalise (i.e., automatically capture, process, store, visualise and validate) data from buildings, entire districts and areas of land. The methodology developed enables a consistent basis for planning to be found and both the current state of the buildings and the effect of new works to be evaluated. The research group, led by the Bauhaus-Universität Weimar, has relied on technology from a number of disciplines. For instance, drones were used to help capture the geometrical and thermographic data of existing buildings.

*More on Digital
Engineering at
www.imms.de.*

[Annual Report](#)

© IMMS 2019

At the same time, use was made of innovative, automatic image analysis to recognise building damage and to generate three-dimensional building, district or terrain models, to draw up maps of damage identified, and to analyse energy aspects.

IMMS focus on wireless, meshed sensor networks for monitoring physical building characteristics

IMMS brought to bear its know-how in the field of wireless sensors for the purpose of widespread continuous, long-term monitoring of features of individual buildings or whole neighbourhoods like surface temperature, heat flow and wind activity. From the sensor signals, buildings or building categories can be assessed. Construction measures can be simulated, together with their potential effects on heating and ventilation or energy efficiency. Certain types of building structure, terrain forms and sizes presented special challenges to the architecture of the sensor network.

One aspect of the IMMS research was to see how far it is possible to use meshed networks as a complement to conventional, often expensive civil engineering survey methods. Surveyors can only measure at particular spots for limited periods. The meshes consist in reasonably priced self-connecting sensor nodes which, being compact and battery-powered, can in theory be installed and removed absolutely anywhere without requiring infrastructure modification. As they communicate from "facade to facade", an entire building complex can give up its data so that one step has already been taken in the monitoring of whole districts. Long-term monitoring in combination with numerous measuring points also provides a comprehensive database for research purposes. One focus could be the identification of interesting parts of a building for further, closer measurements.

IMMS has tested networked sensors on buildings. The hardware (see Fig.1) is weather-proof, independent of any infrastructure and reasonably priced and the software has been created by IMMS. The data collected has already been used for thermal-energetic simulations of physical buildings, has helped in a number of drone flights for thermography and has been integrated into BIM, a system of meta-data modelling for construction purposes. Thus, features of buildings or the building fabric itself can be monitored and options for new construction or refurbishment better compared and planned. For example, long-term recording of the effective heat conduction from the interior to the exterior and vice versa will support model-based decisions, perhaps whether merely to change the heating regime or to install facade insulation along entire streets.

> INPOS

> INSPECT

> ADMONT

> Ko²SiBus

> AgAVE

> Dig. Engineering

> IRIS

> Contents

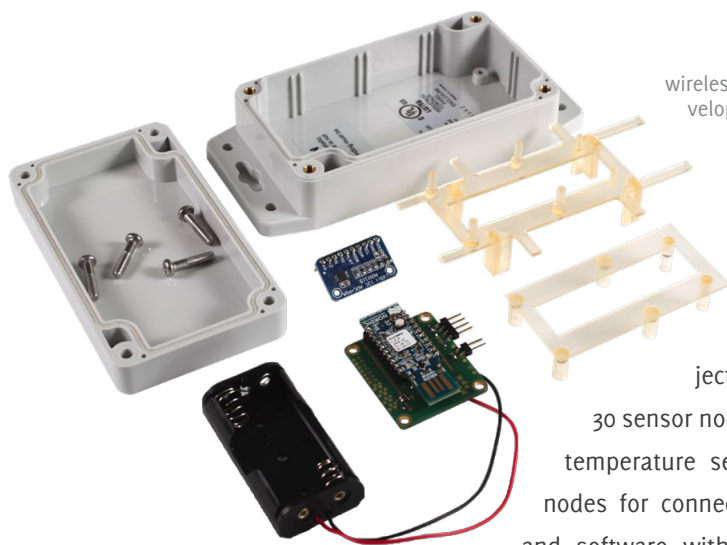
* Funding

More on

communications

solutions at

www.imms.de.



wireless sensor nodes as developed, components and complete assembly. Photograph: IMMS.

> INPOS
> INSPECT
> ADMONT
> Ko²SiBus

Available
for future
research pro-
jects in addition are

> AgAVE
> Dig. Engineering
> IRIS
> Contents
* Funding

30 sensor nodes equipped with
temperature sensors, four basic
nodes for connection to gateways,
and software with appropriate con-
figuration that has already been implemented for the gateway and server systems.

More on
communications
solutions at
www.imms.de.

The IMMS solution in detail

Constraints on wireless meshed sensor networks when measuring physical building characteristics

For wireless sensor networks on and in buildings, the difficulty lies in actual physical restrictions on radio communication which are attributable to the building design and difficult to predict, such as reinforced concrete, metal armatures, furniture and furnishings. Different types of radio technology perform differently under these conditions even when they are operating in the same frequency band. The reasons lie in variations in technology-dependent transmission power, reception sensitivity, modulation methods and routing protocols.

At an early stage, the research group selected the Weimar school "Schule an der Hart" to be a single, unified reference object for the assorted investigations and technology evaluations on the part of all the disciplines involved. As a building it was in need of renovation, made of reinforced concrete slabs with unfavourable structural physics.

The wireless sensor network which IMMS initially installed at this school was developed from one which had been originated for other applications in various preliminary projects. This network was first employed over long periods at measuring points distributed over the building to collect early data for the project partners' investigations and to work out what is practically necessary for the radio commu-

nication involved in the monitoring of buildings. In a second step, the requirements were taken account of in the creation of a sensor network platform designed specifically for the application.

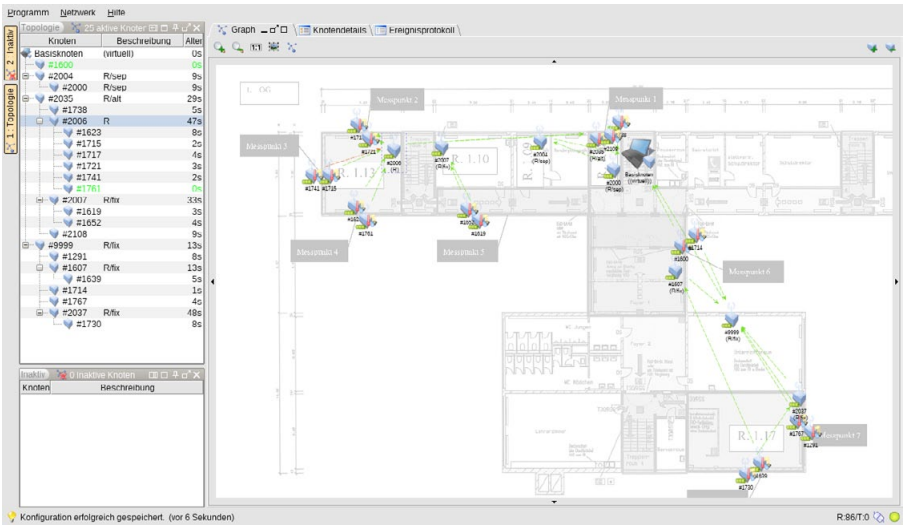
Collection of data and evaluation with available non-application-specific sensor network

First components and initial measurements

From the beginning of 2018, IMMS deployed an energy-autonomous sensor network solution developed by IMMS itself on one floor of the school building. It was a wireless mesh solution called BASe-Net, operating at 2.4 GHz and with a proprietary application protocol ConsSAS built on top of the TinyOS operating system. The temperature gradient across external walls, an interesting aspect of building physics, was recorded at a total of eight measuring points, each with two sensors mounted opposite each other on the inside and outside of the facade. Several router nodes forwarded the data, increasing the range and improving the robustness of the radio communication under what were difficult conditions. With the technology used, these routers were not capable of operating autonomously as did the sensor nodes, but were supplied with mains power, as they have to receive data continuously.

Inside and outside, the surface and ambient temperatures were recorded; inside, the relative humidity was also recorded, together with illuminance in two spectral bands. In coordination with the Chair of Building Physics at the Bauhaus-Universität

Figure 2: measurement points on and in reference building, WSN topology. Diagram: IMMS.



Weimar, IMMS also integrated a highly accurate temperature sensor (Texas Instruments TMP116) into the pre-existing sensor solution.

The data was transported with the standard transmission protocol IEEE 802.15.4 via the wireless sensor mesh to a central gateway which collected the data and transferred it to a database at IMMS. The gateway provided was also based on pre-existing hardware and software. For lack of a locally available network infrastructure, the remote connection was by cellular radio.

Evaluation of the pre-existing sensor network

Over the long term, the reference building presented difficulties for the technology employed. There were times when communication broke down both within the sensor network and on the gateway’s cellular link, limiting steady data acquisition. This was countered in the gateway with software adaptations such as data buffering, repeated transmissions and other measures to improve the robustness. Additional router nodes were not always able to solve the transmission problems caused by the reinforced concrete since the building had hardly enough power sockets for the routers and they were rarely at suitable locations. Consequently, important goals for an application-specific solution were the greater flexibility and robustness that would come with battery-powered and thus freely placeable routers.

In addition, in view of the fact that data acquisition would take place using a variety of means and technology, there was an incentive to replace the proprietary data management of the pre-existing system with standardised solutions. Standardised protocols and formats make integration easier, both into higher-level systems and with other systems. Unified data storage with appropriate semantics allows uniform access to data collected from different sources.

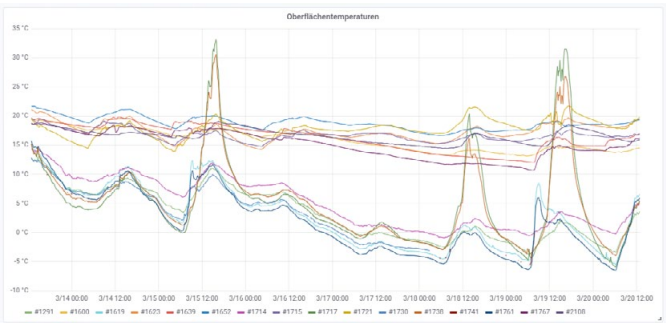


Figure 3:
sample graph of one week’s surface temperature measurements for reference building in March 2018.

Creation of a new platform specifically designed for the application

The sensor network platform which was created relies on more up-to-date and less expensive hardware with more robust communication and higher energy efficiency. Its communications and data provision are consistently based on standard protocols. The hardware side is based on the System-on-Chip Nordic Semiconductor nRF52840 with multi-protocol transceiver. OpenWSN, an alternative open-source operating system for sensor networks, was ported to the platform, to which are connected a remote temperature sensor and a heat flow measurement plate.

The protocols used in the internal communications of the network are 6LoWPAN (IPv6 for short-range radio networks) on the transport layer and CoAP on the application layer. A gateway collects the data in the sensor network and delivers it to a SensorThings API server, through which the measurements and metadata like size, position and references to details can be retrieved. The SensorThings API standard aims to provide an open and consistent framework for connecting sensors, data and applications over the Internet. Specifically, it addresses the interoperability of syntax and semantics, i.e. interoperability of data formats and data content and their meaning, so that even data from other systems can be aggregated on the server and made similarly accessible. Likewise, generic solutions from third-party providers can be used for visualising and processing the data.

Development of application-specific software for the sensor nodes

OpenWSN implements the IEEE 802.15.4e TSCH Time Slotted Channel Hopping mode of medium access control, which has energy advantages and enables battery-powered routers to be employed. This being the case, IMMS has developed software for the application that implements essential features of the protocol CoAP (Constrained Application Protocol RFC 7252) established for the Internet of Things, also its extensions RFC 7641 (Observing Resources) and CoRE Resource Directory (Draft). Sensors can thus be specifically queried with little communication effort and measured values with a configurable measuring interval can be subscribed to by the gateway, which can also automatically register sensor nodes and their resources. To estimate energy consumption, runtime and communications, simulations were carried out.

Development of application-specific software for the gateways

For the gateway software (paired with HARTING's MICA hardware), IMMS developed an application-specific software named coapconn. With this, the sensor network is integrated via CoAP and connected "upwards" via another standardised protocol

- 91
- > INPOS
- > INSPECT
- > ADMONT
- > Ko²SiBus
- > AgAVE
- > Dig. Engineering
- > IRIS
- > Contents
- * Funding

More detail on
sensor systems:
www.imms.de.

More on
communications
solutions at
www.imms.de.

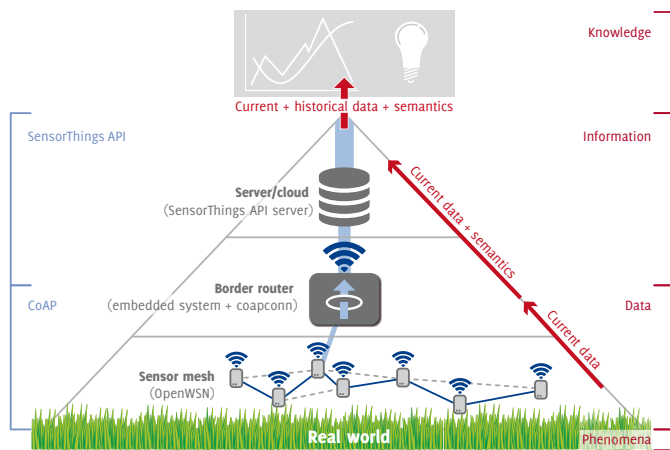


Figure 4:

Overall system architecture (logical view).

Diagram: IMMS.

from the IoT field, the OGC SensorThings API (application programming interface) to a SensorThings API server. The server forms a repository based on a comprehensive semantic data model for IoT "things" (i.e. sensors, data and metadata on sensor components, physical quantities, units, etc.). The repository enables uniform access to different types of solutions (Fig. 4). The server used was Fraunhofer IOSB's open source FROST-Server. Data can be visualised on the basis described – for example, with the open source solution Grafana. Also, coapconn implements various mechanisms to improve the robustness, such as timeouts in the communication with the sensor nodes or buffering of interactions with the server.

Testing and adjusting the platform designed for the application

Initial tests with the new platform revealed limited stability when networks were larger, especially if communication connections were poor, which necessitated extensive iterative debugging at the operating system level and testing at IMMS. By the end of the project, a test network had been installed at IMMS in Ilmenau in a constellation of sensor nodes comparable to that in the school in Weimar. It was operated for the last two months of the project. Communications between two building facades were also investigated using battery-powered routers, which demonstrated the plausibility of cross-building networks as a step on the way to data acquisition across whole neighbourhoods.

Future prospects

The Bauhaus-Universität Weimar is using the solar radiation, indoor temperature, ambient air temperature and indoor and outdoor surface temperature measure-

ments recorded by the sensor network for purposes of validation and calibration. The sensor network offers the advantages of relatively large spatial coverage and an almost unlimited choice for positioning the sensors within the reference building. One of its uses is to validate on the basis of actual interior temperature the numerical models employed in thermal-energetic simulation of the reference building, enabling simulations with high spatial resolution based on multi-zone models to be validated and, if necessary, unerringly modified. Another is that the quantitative thermograms recorded during the drone flights are calibrated using the exterior surface temperature measurements provided by the sensor network. Sensor network data on ambient air temperature and solar radiation are serving as indicators of environmental influences that may affect the accuracy of the thermograms, causing errors.

The results of the research project are a significant basis for further research work of a highly practical kind to take place in the Regional Growth Core "smood – smart neighbourhood", which was started in June 2019 and is funded by the BMBF (Federal German Ministry of Education and Research). In it, specialised solutions are being developed for the planning, energy supply and operation of residential neighbourhoods already in existence.

IMMS is making use of the sensor platform developed in the research group for further work, consisting as it does of energy-efficient robust hardware and a communications solution with standardized protocols and formats up to cloud level. Thanks to these features, the platform can be easily integrated into other systems and data from different sources can be accessed uniformly. For example, an adapted version of the platform is being used in the EXPRESS* project on experimental fields for the agricultural industry.

Contact person: Dipl.-Inf. Marco Götze, marco.goetze@imms.de

Supported by the Thüringen government with a grant from the European Social Fund. The research group "Digital Engineering for Planning and Revitalization Processes of Urban Neighbourhoods" was funded with reference 2016 FGR 0026.



Digital Engineering

für Planungs- und Revitalisierungsprozesse von Stadtquartieren –

Bauwerk-Monitoring mit Sensorik

In der Forschergruppe Digital Engineering wurden drahtlose Sensornetze für das Monitoring bauphysikalischer Messgrößen an einem Schulgebäude in Weimar untersucht. Foto: Marco Götze, IMMS.

Motivation und Überblick

Zuzug in Städte erfordert innovative computergestützte Verfahren für Bau und Sanierung

Durch den anhaltenden massiven Zuzug von Menschen in die Städte werden Gebäude höher und dichter aneinander gebaut sowie Gewerbe- und Wohnflächen unter bestimmten Voraussetzungen stärker vermischt. Um hierfür komplexe Wohnungsbau- und Sanierungsmaßnahmen in Städten künftig schnell und hocheffizient planen und ausführen zu können, arbeitete die Forschergruppe „Digital Engineering für Planungs- und Revitalisierungsprozesse von Stadtquartieren“ an innovativen computergestützten Verfahren und Methoden. Mit diesen sollen Daten von Bauwerken, Quartieren und Geländen digitalisiert sowie automatisiert erfasst, verarbeitet, gespeichert, visualisiert und validiert werden. Die entwickelten Ansätze dienen dazu, Planungsgrundlagen konsistent zu erheben, den Zustand von Bauwerken und Auswirkungen von Baumaßnahmen zu bewerten. Die Forschergruppe unter der Leitung der Bauhaus-Universität Weimar setzte dabei auf Technologien verschiedener Fachgebiete.

Mehr zu Digital Engineering auf www.imms.de.

Jahresbericht

© IMMS 2019

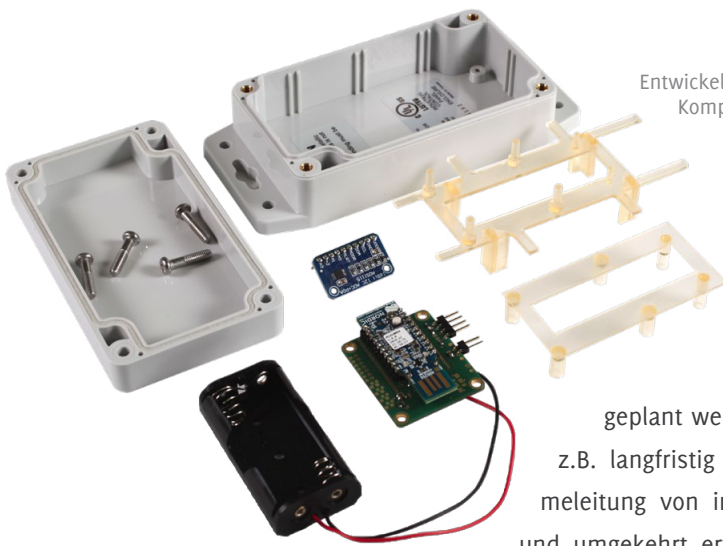
So wurden unter anderem Geometrie- und Thermografiedaten von Bestandsbauten drohnengestützt erfasst und dabei innovative Verfahren der automatischen Bildanalyse angewandt, um Bauwerkschäden zu erkennen und dreidimensionale Gebäude-, Quartier- und Geländemodelle, Kartierungen identifizierter Schäden sowie energetische Auswertungen zu generieren.

Arbeit des IMMS an drahtlosen Sensornetzwerken zum Monitoring bauphysikalischer Messgrößen

Das IMMS brachte sein Know-how im Bereich drahtloser Sensornetze ein, um in und an Gebäuden oder in Stadtquartieren flächendeckend bauphysikalische Messgrößen zu erfassen und langfristig zu überwachen, wie z.B. Oberflächentemperaturen, Wärmeströme und Windanströmungen. Damit können Gebäude oder auch Bauwerk-klassen beurteilt sowie bauliche Maßnahmen simuliert und deren Auswirkungen wie z.B. auf das Gebäudeklima oder die Energieeffizienz abgeschätzt werden. Für das Monitoring mit drahtloser Multisensorik stellten verschiedene Gebäude- und Geländestrukturen sowie Ausdehnungen besondere Herausforderungen an die Netzwerkarchitektur dar.

Das IMMS hat unter anderem untersucht, inwieweit sich herkömmliche und meist teure bauphysikalische Messtechnik, mit der üblicherweise eine Fachkraft nur punktuell und über begrenzte Zeiträume Messdaten aufzeichnen kann, durch vermaschte Netzwerke ergänzen lässt. Diese bestehen aus preiswerten, selbstvernetzenden Sensorknoten, die kompakt und batteriebetrieben sind und sich daher ohne infrastrukturelle Abhängigkeiten theoretisch an beliebigen Stellen aus- und anbringen lassen. Dank ihrer Kommunikation „von Fassade zu Fassade“ kann ein ganzer Gebäudekomplex erfasst und so ein Schritt zur Überwachung ganzer Quartiere getan werden. Durch viele verteilte Messpunkte und langfristiges Monitoring wird auch eine umfangreiche Datenbasis für wissenschaftliche Untersuchungen zur Verfügung gestellt, um beispielsweise interessante Gebäudeteile zu identifizieren und mit weiterer Messtechnik näher zu betrachten.

Das IMMS hat Sensornetzwerke an Gebäuden getestet, preiswert herstellbare, wetterfeste und infrastrukturunabhängige Hardware-Lösungen, Abbildung 1, sowie Software-Lösungen erarbeitet. Die erhobenen Messdaten wurden bereits für thermisch-energetische Gebäudesimulationen innerhalb der Bauphysik und für mehrere Drohnenbefliegungen mit Thermografieaufnahmen genutzt sowie mit Metadaten in Bauwerkdatenmodellierungen (BIM) integriert. Eigenschaften von Gebäuden bzw. der Bausubstanz können somit überwacht und verschiedene Bau- und



Entwickelte Funksensorknoten:
Komponenten und Gesamt-
aufbau. Foto: IMMS.

Sanierungsmaß-
nahmen besser
gegeneinander
abgewogen und

geplant werden. So lässt sich
z.B. langfristig die effektive Wär-
meleitung von innen nach außen
und umgekehrt erfassen, um damit

modellbasiert Entscheidungen treffen zu können, wie z.B. lediglich Heizregimes zu
ändern oder Fassadendämmungen ganzer Straßenzüge vorzunehmen.

Darüber hinaus stehen für künftige Forschungsvorhaben 30 Sensorknoten mit
Temperatursensor, vier Basisknoten für die Anbindung an Gateways, implementierte
Software und Konfigurationen für Gateway- und Serversysteme zur Verfügung.

Lösung im Detail

Anforderungen an drahtlose Sensornetzwerke bei der Erhebung bauphysikalischer Messwerte

Für drahtlose Sensornetze an und in Gebäuden besteht die Schwierigkeit in bau-
werkbedingten und damit schwer vorhersehbaren konkreten Einschränkungen der
Funkkommunikation, beispielsweise durch Stahlbeton, Metallarmierungen und Mo-
biliar. Verschiedene Funktechnologien schneiden dabei durchaus selbst dann un-
terschiedlich ab, wenn sie im selben Frequenzband arbeiten. Dies resultiert aus
technologieabhängigen Sendeleistungen, Empfangsempfindlichkeiten sowie Modu-
lations- und Routingverfahren.

In der Forschergruppe wurde frühzeitig ein einheitliches Referenzobjekt für ver-
schiedene Untersuchungen und Technologie-Evaluierungen aller beteiligten Fachbe-
reiche ausgewählt: die Schule an der Hart in Weimar, ein sanierungsbedürftiger Bau
aus Stahlbetonplatten mit ungünstiger Bauphysik.

Das IMMS hat an dieser Schule zunächst ein drahtloses Sensornetzwerk instal-
liert, das in verschiedenen Vorprojekten für andere Anwendungen erarbeitet und

- > **INPOS**
- > **INSPECT**
- > **ADMONT**
- > **Ko²SiBus**
- > **AgAVE**
- > **Dig. Engineering**
- > **IRIS**
- > **Inhalt**
- * **Förderung**

Mehr zu
Kommunika-
tionslösungen:
www.imms.de.

weiterentwickelt worden war. Mit diesem wurden zum einen an über das Gebäude verteilten Messpunkten und langfristig erste Daten für die Untersuchungen der Partner erhoben und zum anderen konkrete Anforderungen für die Funkkommunikation beim Monitoring von Bauwerken evaluiert. Diese sind in einem zweiten Schritt in die Erarbeitung einer für die Anwendung ausgelegten Sensornetz-Plattform eingeflossen.

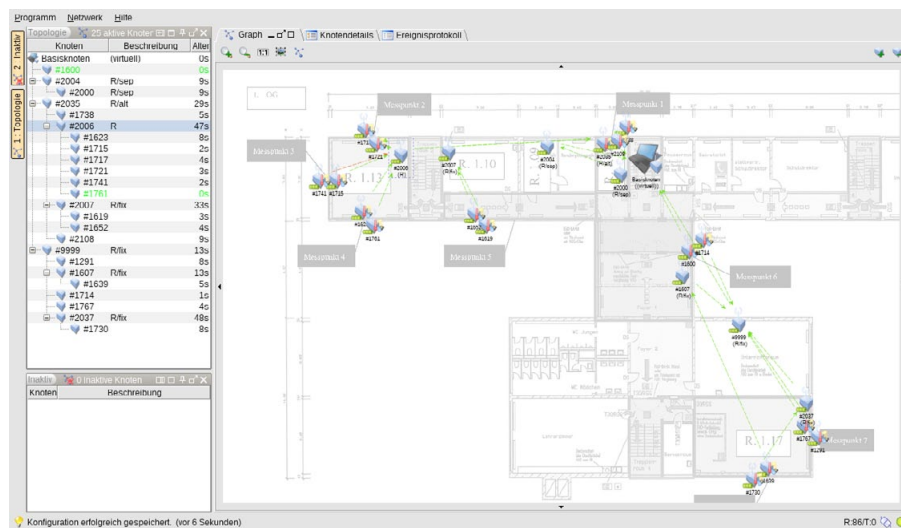
Datenerhebung und Evaluierung mit vorhandenem, anwendungsfremden Sensornetz

Erste Komponenten und erste Messungen

Das IMMS hat ab Anfang 2018 die am IMMS entwickelte energieautarke Sensornetzlösung BaSe-Net mit 2,4 GHz, proprietärem Anwendungsprotokoll ConSAS und dem Betriebssystem TinyOS als drahtloses Sensornetz auf einer Etage des Schulgebäudes ausgebracht. Mit insgesamt acht Messpunkten mit jeweils zwei gegenüberliegend innen und außen an der Fassade angebrachten Sensoren wurde der bauphysikalisch interessante Temperaturgradient an Außenwänden erfasst. Mehrere Router-Knoten leiteten die Daten weiter, erhöhten die Reichweite und steigerten die Robustheit der Funkkommunikation bei schwierigen Bedingungen. Bei der verwendeten Technologie konnten diese Router nicht wie die Sensorknoten autark arbeiten, sondern wurden mit Netzstrom versorgt, da sie kontinuierlich Daten empfangen müssen.

Erfasst wurden Oberflächen- und ambiente Temperaturen innen und außen sowie innen zusätzlich relative Luftfeuchte und Beleuchtungsstärke in zwei Spektralbe-

Abbildung 2: Messpunkte am Referenzobjekt und WSN-Topologie. Grafik: IMMS.



> INPOS

> INSPECT

> ADMONT

> Ko²SiBus

> AgAVE

> Dig. Engineering

> IRIS

> Inhalt

* Förderung

Mehr zu

Sensorsystemen

www.imms.de.

Mehr zu

Kommunikations-

lösungen:

www.imms.de.

reichen. Das IMMS hat in Abstimmung mit der Professur Bauphysik der Bauhaus-Universität Weimar zudem einen hochgenauen Temperatursensor (Texas Instruments TMP116) in die vorhandene Sensorlösung integriert.

Die Daten wurden mit dem Standard-Übertragungsprotokoll IEEE 802.15.4 über das drahtlose Sensornetz zu einem zentralen Gateway transportiert, welches die Daten einsammelte und in eine Datenbank am IMMS übertrug. Das Gateway wurde ebenfalls auf Basis vorhandener Hard- und Software bereitgestellt. Mangels vor Ort verfügbarer Netzwerkinfrastruktur wurde die Remote-Anbindung über Mobilfunk realisiert.

Evaluierung des vorhandenen Sensornetzes

Im Langzeitbetrieb erwies sich das Referenzobjekt als schwierig für die eingesetzte Technologie. Zeitweise brach die Kommunikation innerhalb des Sensornetzes wie auch auf der Mobilfunkstrecke des Gateways ab, was die Stabilität der Datenerfassung einschränkte. Im Gateway wurde dem mit Softwareanpassungen wie Datenpufferung, Nachübertragung und weiteren Maßnahmen zur Steigerung der Robustheit begegnet. Zusätzliche Router-Knoten konnten die dem Stahlbeton geschuldeten Übertragungsprobleme nicht in allen Fällen lösen, da die für die Router notwendigen Steckdosen im Gebäude kaum ausreichend und selten an geeigneten Stellen verfügbar waren. Wesentliche Ziele für eine anwendungsspezifische Lösung waren daher eine höhere Flexibilität und Robustheit durch batteriebetriebene und damit frei platzierbare Router.

Zudem entstand mit Blick auf die heterogene Datenerfassung mit verschiedenen Lösungen und Technologien der Anreiz, die im vorhandenen System realisierte proprietäre Datenbereitstellung durch standardisierte Lösungen zu ersetzen. Standardisierte Protokolle und Formate erleichtern die Integrierbarkeit in übergeordnete Systeme

> INPOS

> INSPECT

> ADMONT

> Ko²SiBus

> AgAVE

> Dig. Engineering

> IRIS

> Inhalt

* Förderung

Mehr zu

Kommunikationslösungen:
www.imms.de.



Abbildung 3:

Beispielhafter Messwertverlauf der Oberflächentemperaturen am Referenzobjekt über eine Woche im März 2018.

Grafik: IMMS.

Jahresbericht

© IMMS 2019

und mit anderen Systemen. Eine vereinheitlichte, semantikbehaftete Datenhaltung erlaubt einen einheitlichen Zugriff auf aus verschiedenen Quellen erhobene Daten.

Erarbeitung einer neuen, auf die Anwendung ausgelegten Plattform

Die erarbeitete Sensornetz-Plattform baut auf einer neueren und preiswerten Hardwareplattform mit robusterer Kommunikation und höherer Energieeffizienz auf und setzt konsequent auf Standards in der Kommunikation und Datenbereitstellung. Hardware-seitig basiert die Lösung auf dem System-on-Chip Nordic Semiconductor nRF52840 mit Multi-Protokoll-Transceiver und dem quelloffenen Sensornetz-Betriebssystem OpenWSN, das auf die Plattform portiert wurde. An diese Plattform wurden ein abgesetzter Temperatursensor sowie eine Wärmestrommessplatte angebunden.

In der netzinternen Kommunikation kommt 6LoWPAN (IPv6 für Nahbereichsfunknetze) als Protokoll auf der Transport- und CoAP auf der Anwendungsschicht zum Einsatz. Ein Gateway sammelt die Daten im Sensornetz ein und liefert diese bei einem SensorThings-API-Server ab, über den die Mess- und Metadaten wie gemessene Größen, Positionen und Verweise auf Informationen zu den verwendeten Sensorelementen abrufbar sind. Der SensorThings-API-Standard zielt darauf ab, einen offenen und einheitlichen Rahmen zur Verbindung von Sensorik, Daten und Anwendungen über das Internet bereitzustellen. Er adressiert dabei gezielt die Interoperabilität von Syntax und Semantik, das heißt von Datenformaten und Dateninhalten sowie deren Bedeutung. Auf dem Server können damit auch Daten anderer Systeme aggregiert und in gleicher Weise bereitgestellt und generische Lösungen von Drittanbietern für die Datenvisualisierung und -verarbeitung genutzt werden.

Mehr zu

Sensorsystemen

www.imms.de.

Mehr zu

Kommunikationslösungen:

www.imms.de.

Entwicklung einer Anwendungssoftware für die Sensorknoten

OpenWSN setzt das Zeitslot-basierte Medienzugriffsverfahren IEEE 802.15.4e TSCH um, was energetische Vorteile hat und batteriebetriebene Router ermöglicht. Darauf aufbauend hat das IMMS eine Anwendungssoftware entwickelt, die wesentliche Umfänge des für das Internet der Dinge etablierten IoT-Protokolls CoAP (Constrained Application Protocol RFC 7252) und von dessen Erweiterungen Observing Resources (RFC 7641) und CoRE Resource Directory (Draft) umsetzt. Damit können mit geringem Kommunikationsaufwand Sensoren gezielt abgefragt und Messwerte mit konfigurierbarem Messintervall durch das Gateway abonniert werden. Außerdem kann das Gateway Sensorknoten und ihre Ressourcen automatisch registrieren. Für die Abschätzung von Energieverbrauch, Laufzeit und Kommunikation wurden simulative Verfahren eingesetzt.

Jahresbericht

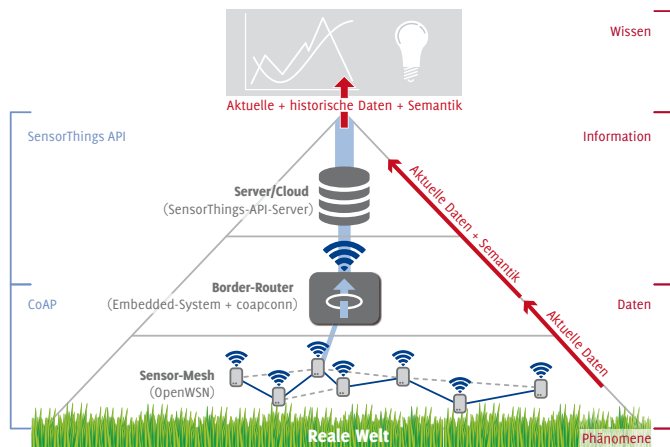


Abbildung 4:

Gesamtsystemaufbau
(logisch).

Grafik: IMMS.

Entwicklung einer Anwendungssoftware für die Gateways

Für das mit der MICA-Hardware von HARTING realisierte Gateway hat das IMMS die Anwendungssoftware coapconn entwickelt. Damit wird das Sensornetz per CoAP eingebunden und „nach oben“ über ein weiteres standardisiertes Protokoll aus dem Bereich des IoT, das OGC SensorThings API, an einen SensorThings-API-Server angebunden. Dieser bildet ein Repositorium auf Basis eines umfangreichen semantischen Datenmodells für IoT-„Dinge“, also Sensoren, Daten und Metadaten zu Sensorbauelementen, physikalischen Größen, Einheiten usw., das den einheitlichen Zugriff auf verschiedenartige Lösungen ermöglicht, vgl. Abbildung 4. Als Server wurde die quelloffene Lösung FROST-Server des Fraunhofer IOSB genutzt. Darauf aufbauend lassen sich Daten z.B. mit der Open-Source-Lösung Grafana visualisieren. Coapconn setzt darüber hinaus verschiedene Mechanismen zur Erhöhung der Robustheit um, wie Timeouts in der Kommunikation mit den Sensorknoten oder eine Pufferung der Interaktionen mit dem Server.

Mehr zu
Kommunikationslösungen:
www.imms.de.

Tests und Anpassungen der auf die Anwendung ausgelegten Plattform

Erste Tests mit der neuen Plattform offenbarten eine eingeschränkte Stabilität bei größeren Netzen, insbesondere bei schlechten Kommunikationsverbindungen. Das erforderte ein aufwändiges iteratives Debugging auf der Ebene des Betriebssystems und Tests am IMMS. Bis zum Projektende wurde am IMMS in Ilmenau ein Testnetz in einer zur Schule in Weimar vergleichbaren Konstellation von Sensorknoten installiert und über zwei Monate bis zum Projektende betrieben. Hierbei wurde mit batteriebetriebenen Routern auch eine Kommunikation zwischen zwei Hausfassaden erprobt und damit die Plausibilität gebäudeübergreifender Netze als Schritt hin zu einer quartierübergreifenden Datenerfassung demonstriert.

Jahresbericht

© IMMS 2019

Die durch das Sensornetzwerk aufgezeichneten Messwerte zu Solarstrahlung, Innenraumtemperatur, ambiente Lufttemperatur sowie Innen- und Außenoberflächen-temperatur nutzt die Bauhaus-Universität Weimar für Validierungen und Kalibrierungen. Das Sensornetzwerk bietet hierbei den Vorteil der relativ großen räumlichen Abdeckung und nahezu frei wählbaren Positionierung der Sensoren innerhalb des Referenzgebäudes. Zum einen werden damit numerische Modelle der thermisch-energetischen Simulation des Referenzgebäudes anhand der Innenraumtemperatur validiert. Räumlich hochaufgelöste Simulationen auf Basis von Mehrzonen-Modellen lassen sich somit validieren und bei Bedarf zielsicher modifizieren. Zum anderen werden mit den Messdaten des Sensornetzwerks zu Außenoberflächentemperaturen die bei den Drohnenflügen erfassten quantitativen Thermogramme kalibriert. Sensornetzdaten zu ambierter Lufttemperatur sowie Solarstrahlung dienen hierbei als Indikatoren möglicher Umwelteinflüsse, die sich negativ auf die Genauigkeit der Thermogramme auswirken und somit Fehler hervorrufen können.

Die Ergebnisse des Forschungsprojekts sind eine der wesentlichen Grundlagen für die weiterführenden und sehr praxisorientierten Forschungsarbeiten für den im Juni 2019 gestarteten und vom BMBF geförderten Regionalen Wachstumskern „smood – smart neighborhood“, in dem spezialisierte Lösungen für Planung, Energieversorgung und Betrieb von Bestands-Wohnquartieren entwickelt werden.

Das IMMS nutzt die in der Forschergruppe entwickelte Sensorplattform, die aus energieeffizienter robuster Hardware und einer Kommunikationslösung mit standardisierten Protokollen und Formaten bis in die Cloud besteht, für weitere Arbeiten. Dort lässt sich die Plattform dank dieser Eigenschaften leicht in andere Systeme integrieren und es kann einheitlich auf Daten verschiedener Quellen zugegriffen werden. Beispielsweise wird eine angepasste Variante der Plattform im Projekt EXPRESS* auf Experimentierfeldern für die Landwirtschaft eingesetzt.

Kontakt: Dipl.-Inf. Marco Götze, marco.goetze@imms.de

Gefördert durch den Freistaat Thüringen aus Mitteln des Europäischen Sozialfonds. Die Forschergruppe „Digital Engineering für Planungs- und Revitalisierungsprozesse von Stadtquartieren“ wird unter dem Kennzeichen 2016 FGR 0026 gefördert.

- > INPOS
- > INSPECT
- > ADMONT
- > Ko²SiBus
- > AgAVE
- > Dig. Engineering
- > IRIS
- > Inhalt
- * Förderung

Mehr zu
Kommunikationslösungen:
www.imms.de.

EXPRESS auf
www.imms.de.

Mehr zu Digital
Engineering auf
www.imms.de.