Hochschule für Technik
Stuttgart

Schellingstrasse 24
D-70174 Stuttgart

iCity
icity@hft-stuttgart.de

www.hft-stuttgart.de
www.icity.de

Abschlussbericht

Zuwendungsempfängerin	Hochschule für Technik Stuttgart Schellingstraße 24, 70174 Stuttgart
Förderkennzeichen	13FH9E05IA
Vorhabenbezeichnung	Sensoren4iCity
Laufzeit des Vorhabens	01.09.2021 bis 31.12.2024
Berichtszeitraum	01.09.2021 bis 31.12.2024

1. Kurzfassung

Motivation

Ziel des Teilprojekts Sensoren4iCity war die Entwicklung und Bereitstellung eines autarken Sensornetzwerkes zur Erfassung von Umweltdaten und Schadstoffkonzentrationen im urbanen Raum, welches einfach und simpel zu installieren ist und das Monitoring dieser Daten mit einer hohen räumlichen Auflösung erlaubt. Die Daten dienen als Grundlagen für andere iCity-Teilprojekte zur Simulation und Visualisierung der Umweltbelastung und Schadstoffausbreitung in der Stadt.

Aktuell sind Umweltmessdaten überwiegend nur durch offizielle, städtische Messstationen zur Erfassung von Umweltdaten verfügbar, von denen es aufgrund ihrer Größe und Kosten nur sehr wenige Stationen gibt (ca. 2-5 Stationen pro Stadt). Alternative, meist von privaten Initiativen organisierte Sensorstationen und Netzwerke auf der Basis günstiger Sensoren ermöglich zwar eine große räumliche Auflösung, benötigen aber in der Regel einen elektrischen Anschluss zur Energieversorgung, welches die Zahl der Installationsorte stark einschränkt. Auch haben sie häufig ein größeres Gehäuse, welches aufgrund seines Aussehens nicht immer an Außenfassaden akzeptiert wird bzw. durch denkmalschutzrechtliche Bedingungen nicht installiert werden kann. Diese Einschränkungen sollen durch ein Sensornetzwerk mit kompakten, autarken Sensoren gelöst werden.

Projektablauf

In dem Projekt sind nun verschiedene Sensorelemente evaluiert worden und diese in Hinblick auf einen sehr niedrigen Energieverbrauch bei gleichbleibender Messgenauigkeit optimiert worden. Insbesondere die Messung von Feinstaub stellt hier eine besondere Herausforderung dar. Größere Schwierigkeiten innerhalb der Projektes hat es beim Finden von geeigneten Mitarbeitern gegeben, da die Bewerberlage sehr schlecht war bzw. Mitarbeiter während der Projektlaufzeit von externen Firmen abgeworben worden sind. Dies hat zu größeren Verzögerungen bei der Durchführung des Projektes geführt.

Ergebnisse:

Es ist eine kompakte Sensorplattform auf Basis eines Mikrokontrollersystems entwickelt und aufgebaut worden, welches die wichtigen Umweltdaten wie Lufttemperatur, -feuchte, -druck, CO_2, VOC und Feinstaub (PM1.0, PM2.0, PM5.0 und PM10) erfassen kann und diese über ein Funknetzwerk (WLAN / LoRaWAN) an einen zentralen Server überträgt. Das Sensorsystem kann dabei energieautark, abhängig von der gewünschten Messrate und Messgrößen über mehrere Monate oder ein halbes Jahr operieren. Dazu sind Hardware und Software modular aufgebaut, so dass sie leicht mit weiteren Sensoren erweitert werden kann.

Von diesem System ist ein Netzwerk mit 20 Sensoren aufgebaut worden und in verschiedenen Außenbereichen installiert und getestet worden. Dabei sind die Sensoren einmal als stationäre Sensoren verwendet worden, welche über einen längeren Zeitraum Daten an jeweils einem Ort aufnehmen, als auch als mobile Sensoren auf verschiedenen Fahrzeugen (Fahrrad, Drohne, Ballon,

..) in Verbindung mit einem Satellitennavigationssystem eingesetzt worden. Letzteres liefert nur Ergebnisse zu einem festen Zeitpunkt, erlaubt aber eine höhere räumliche Auflösung. Hiermit sind verschiedene 2D und 3D Verteilungen der Umweltdaten aufgenommen worden, welche den anderen iCity-Teilprojekten, die die Verteilung der Umweltdaten visualisieren und simulieren, zur Verfügung gestellt worden sind.

Während des Projekts gab es auch aus anderen Bereichen und Anwendung ein großes Interesse an der energieautarken Sensorplattform, so dass sie z.B. bereits im Rahmen des Förderprogramms der Baden-Württemberg Stiftung „Klimaneutraler Campus“ zur Überwachung des Klimas und des Energieverbrauchs in Innenräumen von Hochschulen weiterentwickelt worden ist.

Teil 2:

2. Beitrag des Ergebnisses zu den förderpolitischen Zielen, auch zwecks Evaluierung von Förderprogrammen/-schwerpunkten/-konzepten
Das explorative Projekt Sensoren4iCity ist eng eingebunden in die Aktivitäten und Forschung des Gesamtprojekts iCity und stellt wesentliche Basistechnologien für die Forschung in den anderen Teilprojekten zur Verfügung. Die Förderpolitischen Ziele zielen gerade auf die Untersuchung der gesellschaftspolitisch relevanten Themen und Probleme zur Lebensqualität und Umweltbelastung im Raum und zur Klimaproblematik. Dieses Projekt hat daher die Erfassung und Untersuchung der Umweltbelastung (Feinstaub, VOC, …) als auch die klimatischen Bedingungen (Temperatur, Luftfeuchte, …) im urbanen Raum adressiert und generiert die wichtige Datenbasis für die Untersuchungen zur Optimierung der Bedingungen als auch zur Bereitstellung von Information für die Bevölkerung, wie sie in den anderen Teilprojekten erfolgen.

3. Wissenschaftlich-technische Ergebnisse des Vorhabens im Vergleich zu den ursprünglichen Zielen, erreichte Nebenergebnisse und gesammelte wesentliche Erfahrungen
Ziel des Teilprojekts Sensoren4iCity war die Entwicklung und Bereitstellung eines autarken Netzwerkes zur Erfassung von Umweltdaten und Schadstoffkonzentrationen im urbanen Raum, welches einfach und simpel zu installieren ist und das Monitoring dieser Daten mit einer hohen räumlichen Auflösung erlaubt. Die Daten dienen als Grundlagen für andere iCity-Teilprojekte zur Simulation und Visualisierung der Umweltbelastung und Schadstoffausbreitung in der Stadt. Im Sensoren4iCity Projekt ist solch ein Sensornetzwerk entwickelt und aufgebaut worden, welches die wichtigen Umweltdaten wie Lufttemperatur, -feuchte, -druck, CO_2, VOC und Feinstaub (PM1.0, PM2.0, PM5.0 und PM10) erfassen kann und damit die in der Zielsetzung gewünschten Daten liefert. Aufbau des Systems (Projektphase 1): Das System ist kompakt aufgebaut (10x5x5 cm) und kann abhängig von der Messrate die aufgeführten Umweltgrößen, bis auf den Feinstaub, alle 5-6 Minuten bis zu 6 Monate ununterbrochen ohne zusätzliche Energiequelle messen. Für die Feinstaubmessung kann der Energieverbrauch nicht soweit gesenkt werden, so dass nur eine Messzeit von 1 Monat möglich ist oder das Messintervall auf eine halbe bis 1 Stunde verlängert wird. Durch eine zusätzliche Solarzelle kann die Messdauer auf eine unbegrenzte Laufzeit erweitert werden. Die Daten werden per WLAN oder alternative per LoRaWAN auf einen zentralen Server geladen, so dass außer der mechanischen Befestigung der Sensoren kein weiterer Installationsaufwand erforderlich ist. Dies ermöglicht die in der Zielsetzung geforderte einfache und flexible Installation. Zusätzlich zu der Aufgabenstellung ist das Sensorsystem als Plattform ausgelegt und es sind entsprechende Anschlussmöglichkeiten für spätere zusätzliche Sensoren integriert, mit denen das System leicht auf weitere Möglichkeiten erweitert werden kann. Entgegen der Aufgabenstellung ist der optionale Wunsch nach einer neben der Messung der Umweltdaten zusätzlichen Schallpegelmessung nicht in die Sensorplattform integriert worden. Hintergrund ist die für die gewünschten Frequenzbereiche erforderliche hohe

Rechenleistung für die Datenverarbeitung und dem damit einhergehenden Energieverbrauch des Systems. Zudem ist für Schallmessungen eine kontinuierliche Messung mit hoher Abtastrate erforderlich, um auch kurzfristige Schallereignisse zu erfassen. Hiermit wäre daher kein autarker Batteriebetrieb möglich. Es sind nur Konzepte entworfen worden, wie dies evtl. mit alternativen Verfahren realisiert werden könnte.

Anwendung des Sensorsystems (Projektphase 2):

Von diesem Sensorsystem sind 20 Sensorknoten aufgebaut worden und in einem Funk-Netzwerk zusammengeschlossen worden. Diese sind an verschiedenen Fassaden aufgebaut und eine räumliche Verteilung der Umweltdaten mit dem System gemessen worden.

Hiermit ist die Funktion und Anwendbarkeit des Messsystems gezeigt worden. Es sind erste Datensätze aufgenommen und erste besondere räumliche Effekte bei der Schadstoffverteilung detektiert worden. Die Daten sind den anderen Teilprojekten zur Verfügung gestellt worden und werden dort für weitere Untersuchungen verwendet. Ebenso wird das Netzwerksystem für weitere Untersuchungen weiterbetrieben und neue Daten generiert.

Zusätzlich zu diesen gemäß Zielsetzung geplanten stationären Messung sind die Sensorknoten auch für mobile Messungen mit einem GNSS-Empfänger (Global Navigation System) ausgestattet worden. Diese sind zum einen auf Fahrrädern bzw zu Fuß montiert worden, um damit während der Fahrt 2D-Daten von einem Gebiet zu erfassen, zum anderen auch an Drohnen bzw. Ballonen montiert worden, um dreidimensionale Messungen durchzuführen. Dies liefert ergänzende Informationen zu den stationären Messungen und eignet sich sehr gut für spontane, kurzfristige Messaufgaben.

4. Jährliche Fortschreibung des Verwertungsplans. Diese soll, soweit im Einzelfall zutreffend, Angabe zu folgenden Punkten enthalten (Geschäftsgeheimnisse brauchen nicht offenbart zu werden):

Erfindungen/Schutzrechtsanmeldungen

Das Projekt ist zur Entwicklung von Forschungstools für iCity und andere vergleichbare Projekte konzipiert, daher ist das Ziel offene, frei verfügbare Lösungen zu schaffen, die möglichst auf leicht verfügbaren Standard-Technologien beruhen. Schutzrechte sind daher nicht beantragt worden.

Wirtschaftliche Erfolgsaussichten nach Projektende

Das Projekt ist zur Entwicklung von Forschungstools für iCity und andere vergleichbare Projekte konzipiert, daher ist das Ziel offene, frei verfügbare Lösungen zu schaffen, die möglichst auf leicht verfügbaren Standard-Technologien beruhen. D.h. als wirtschaftliche Verwertung wäre hier die Fertigung in Dienstleistungen für größere Forschungsvorhaben oder für städtische Überwachungsanwendungen möglich, würde aber nur kleinere Stückzahlen umfassen.

Da die aktuelle Lösung (ausgenommen das Gehäuse und der Aufbau) bereits als Kleinserie bei einem Elektronik-Dienstleister in automatisierter Fertigung erstellt worden ist, ist eine Hochskalierung zu größeren Stückzahlen leicht möglich.

Wissenschaftliche und/oder technische Erfolgsaussichten nach Projektende

Das aufgebaute Netzwerk ist bereits jetzt für die Durchführung von Umweltmessungen in verschiedenen Stadtgebieten genutzt worden. Die Daten sind an die anderen iCity-Teilprojekte weitergegeben worden, welche diese als wichtige Basisdaten für ihre Forschungen nutzen. Dies wird im Rahmen der noch laufenden iCity-Teilprojekte (ICT4iCity, EnSim4iCity) weiter genutzt und ausgebaut.

Des Weiteren hat sich gezeigt, dass das hier verwendete Plattformkonzept einer autonomen Sensorplattform auch sehr interessant für andere Anwendungs-/Aufgabengebiete ist. So ist diese Plattform auch für die Messung von Raumklimadaten (Temperatur, Feuchte und CO_2) und Energieverbrauch in Gebäuden mit sehr eingeschränkten elektrischen Anschlussmöglichkeiten, wie z.B. öffentliche Altbau-Gebäude, genutzt worden. (Projekt Neuland für „Klimaneutraler Campus“ der Baden-Württemberg Stiftung)

Ebenfalls ein sehr großes Interesse an diesen Sensoren besteht in der Anwendung zur breitflächigen Erfassung von metrologischen und landwirtschaftlichen Daten (Temperatur, Luftfeuchte, Niederschlag, Bodenqualität, …) in der Landwirtschaft und in Gewässern (Wasserqualität, Sedimentation, Nährstoffeintrag), um die lokalen Daten besser zu erfassen und Vorhersagen und Simulation kalibrieren zu können. Hier sind bereits erste Projekte mit Studierenden zur Erfassung der Lagerbedingungen von Getreide in Kenia durchgeführt worden.

Wissenschaftliche und wirtschaftliche Anschlussfähigkeit

Das große Interesse an diesen autonom arbeitenden Sensornetzwerken, insbesondere im Bereich der Metrologie und Landwirtschaft bietet ein großes Potential für weitere Aktivitäten und Forschung zu diesen Sensoren. Hier wären weitere Forschungsaktivitäten zur Integration der in der Metrologie und Landwirtschaft erforderlichen Messgrößen, wie Regenmenge, Bodenqualität (pH, Nährwerte, etc.), Wasserqualität (pH, Trübheit), auf Basis einfacher Sensoren erforderlich. Hierzu sind bereits erste Voruntersuchungen durchgeführt und weitere Forschungsanträge gestellt worden.