Abschlussbericht der Siemens AG

BRAWA

Teilvorhaben der Siemens AG:

IoT-basierte Branderkennung und -Meldung für historische Gebäude und Kulturgüter

Zuwendungsempfänger: Siemens AG T CED CPS-DE Otto-Hahn-Ring 6 81730 München	Förderkennzeichen: 13N15565 Kassenzeichen:
Vorhabensbezeichnung: IoT-basierte Branderkennung und -Meldung für historische Gebäude und Kulturgüter Verbundprojekt: BRAWA	
Laufzeit des Vorhabens: 01.01.2021 – 30.04.2024	
Berichtszeitraum: 01.01.2021 – 30.04.2024	
Autoren: Roland Pohle, Oliver Freudenberg	

BRAWA Abschlussbericht

Teilprojekt der Siemens AG

Einleitung und Aufgabenstellung.....3
Arbeitspaket 1: Identifikation und Bewertung von Gefahrenquellen.....3
Arbeitspaket 2: Auswahl geeigneter Sensorik 4
Arbeitspaket 3a: Ortsfeste Sensorsysteme.....4
Arbeitspaket 3b: Sensorbestücktes Drohnen-System.....5
Arbeitspaket 4: Entwicklung von Auswertealgorithmen.....8
Arbeitspaket 6: Systemerprobung & Validierung.....9
Zusammenfassung 12
Referenzen.....13

Einleitung und Aufgabenstellung

Ziel des Vorhabens ist es, das Potential aktueller IoT-Technologien für eine gegenüber dem Stand der Technik schnellere und sichere Brandfrüherkennung für historische Gebäude und Kulturgüter zu erforschen. Eine nur um Minuten frühere Brandwarnung kann im Zusammenspiel mit einer entsprechend früher einsetzenden Brandbekämpfung oftmals entscheidend sein, um die Brandausbreitung zu begrenzen oder auch den Übergang von der Schwelphase in die schwieriger zu bekämpfende Phase eines offenen Brandes zu verhindern. Somit können durch frühere Erkennung von Bränden schwere Schäden an Kulturgütern deutlich reduziert werden. Gleichzeitig können damit gesundheitliche Schäden, durch während der Schwelphase emittierte giftige Gase, vermieden werden.

Besonders für den Schutz von historischen Gebäuden und Kulturgütern gelten besondere Randbedingungen, die die optimale Gestaltung von Brandmeldeanlagen erschweren. So unterscheiden sich die Räumlichkeiten deutlich von üblichen Nutzbauten und die Positionierung von Meldern ist meist nur eingeschränkt möglich.

In den letzten Jahren verfügbar gewordene kostengünstige Sensorik ermöglicht bereits die Erkennung von Bränden in einem sehr frühen Stadium der Entstehung. Allerdings ist diese hohe Empfindlichkeit gekoppelt mit dem verstärkten Auftreten von Fehlalarmen und einem erhöhten Einfluss von Störgrößen. Aus diesen Gründen wird diese Sensorik bisher nicht in größerem Umfang für die Branderkennung eingesetzt, sodass das Potential für eine kostengünstige frühzeitige Branderkennung weitgehend ungenutzt bleibt.

Im Rahmen des Projektes soll ein klares Bild über das Potential der Kombination aus neuartigen stationären Multisensoren und mobiler Sensorik in Form von sensorbestückten Miniatur-Drohnen in einem Meldesystem für die frühzeitige Branddetektion erzielt werden. Durch die Einführung der neuen Brandkenngröße „Brandwahrscheinlichkeit“ wird das häufigere Auftreten von Fehlalarmen im Gesamtsystem berücksichtigt.

Arbeitspaket 1: Identifikation und Bewertung von Gefahrenquellen

Es werden die Randbedingungen für die Verbesserung der Branderkennung in soziokulturelle Infrastrukturen (wie z.B. denkmalgeschützten Gebäuden und Museen) ermittelt. Dies erfolgte insbesondere unter Einbeziehung der Klassikstiftung Weimar als assoziierter Anwendungspartner.

Es wurden dabei potenzielle Brandquellen (z.B. durch nutzungsspezifische Installationen) sowie das mögliche Ausbreitungsverhalten der Brandkenngrößen in der frühen Brandphase betrachtet. Aus dieser Analyse wurden die Schwachstellen der bisher eingesetzten Branddetektions-Systeme abgeleitet sowie Möglichkeiten für technologische Verbesserungen aufgezeigt.

Die Siemens AG unterstützte im BRAWA-Konsortium aus industrieller Sicht die Erstellung einer Datenbank für Brände in historischen Gebäuden, die eine wesentliche Grundlage für die Identifikation der wichtigsten Gefahrenquellen und der Randbedingungen für die Verbesserung der Branderkennung darstellt.

Wichtige Schlussfolgerungen sind u.a.:

- Brandstiftung stellt eine häufige Brandursache auch im denkmalgeschützen Bereich dar;
- Brandentstehung ist häufig in schwer zugänglichen Bereichen zu beobachten;
- Häufige Brandtypen: Holzbrände, Kabelbränden, Textilbrände.

Arbeitspaket 2: Auswahl geeigneter Sensorik

Schwerpunkt der Siemens AG lag in AP2 auf der Auswahl von Sensoren, die für die Integration auf eine miniaturisierte Drohne geeignet sind (Größe, Gewicht, Energiebedarf, Schnittstellen, …). Neben der Prüfung der Spezifikationen wurden für die Auswahl auch Tests im Labormaßstab durchgeführt. Folgende Sensoren wurden für die weitere Verwendung ausgewählt und geprüft:

- Temperatur, Feuchte, VOC-Sensor: Sensirion SGP40, Sciosense ENS160
- Thermokamera: FLIR-Lepton 3.5, MLX90640
- CO_2-Sensor: Sensirion SCD30

Die oben genannten Sensoren wurden auf Sensordrohnen betrieben. In der für die umfangreichen Versuche zur Erkennung von Brandentstehungsszenarien verwendeten Version wurden folgende Messgrößen von der Sensordrohne erfasst:

- Temperatur, Luftfeuchte
- VOC-Signal
- Thermobild-Daten
- Bilder der in der Drohne integrierten Kamera

Arbeitspaket 3a: Ortsfeste Sensorsysteme

Ziel der ortsfesten Sensorknoten ist es, die für Integration in die miniaturisierten Drohnen vorgesehenen Sensoren auch für den stationären Betrieb bereitzustellen, um in den Versuchsreihen Vergleiche zwischen den Signalen technisch identischer Sensoren im stationären als auch im Flugbetrieb zu ermöglichen. Dieser Vergleich ist ein wichtiger Baustein für die aussagekräftige Interpretation der Sensordrohnen-Signale. Die für die Integration in die Drohnen ausgewählten Sensoren stellen eine Ergänzung zu den im Sensorknoten des Projektpartners GTE eingesetzten Sensoren dar, um die verfügbare Bandbreite der für BRAWA relevanten Sensortechnologien voll auszuschöpfen.

Die erste Version der drahtlosen Sensorknoten wurde auf Basis eines ESP32 µ-controllers aufgebaut. Da jedoch in der weiteren Entwicklung nicht für alle vorgesehenen Sensoren entsprechende Treiber bereitgestellt werden konnten, wurde die weitere Entwicklung auf die Raspberry Pi Umgebung umgestellt. In Zusammenarbeit mit dem Partner GTE und OvGU wurden für die Übertragung und Speicherung der Sensordaten und relevanter Metadaten für das Konsortium vereinheitlichte Datenprotokolle unter Verwendung von json- und MQTT-Standards vereinbart, implementiert und getestet.

Die Funktionalität der Übertragungskette wurde anhand von Tests des Sensorsystems im Laborbetrieb und in einem ersten Feldtest im Stadtschloss Weimar verifiziert. Des Weiteren

wurden bei gemeinsamen Testreihen in den Versuchslaboren der Projektpartners Hekatron und GTE umfangreiche Messungen mit den ortsfesten Sensorsystemen durchgeführt.

Im nächsten Schritt wird die Auswertung dieser Testreihen gemeinsam mit den Partnern durchgeführt. Zusammen mit den in Labortests und im Feldversuch in Weimar erfassten Daten ist damit die wesentliche Grundlage für die weitere Entwicklung und Optimierung von Auswertealgorithmen in AP4 geschaffen.

Arbeitspaket 3b: Branddetektionssystem – Mobil (Drohne)

Zielsetzung in diesem Arbeitspaket ist die Bereitstellung eines mobiles, mit für die Branderkennung geeigneten Sensoren bestückten Drohnensystems, das in Innenräumen eingesetzt werden kann.

Für den Betrieb dieses Sensordrohnen-Systems sind 4 funktionelle Einheiten nötig:

- Miniaturisierte Drohne mit Schnittstellen für die Sensoren,
- Basisstation, die das automatische Laden sowie das kontrollierte Starten und Laden der Drohne ermöglicht und die Hardware aufnehmen kann (Steuerrechner)
- Kontrolleinheit (Rechner mit Software)
- Sensormodule mit für die Branderkennung geeigneten Sensoren.

Folgende Miniaturdrohnen in der Gewichtsklasse 50-150g wurden auf die Zweckmäßigkeit als Plattformen für diese Anwendung getestet:

- Bitcraze, Crazyflie, 50g
- DJI Ryze, Tello EDU, 120g
- Eigenentwicklung Drohne, 150g

Für die in BRAWA angestrebte Anwendung am geeignetsten erwies sich das Tello EDU System, da sie folgende Rahmenbedingungen erfüllt:

- Abfluggewicht unter 150g, notwendig für den Betrieb in Innenräumen
- Sicherheitskäfig zur Vermeidung von Beschädigungen im Falle einer Fehlfunktion
- Für die Zielanwendung ausreichende Flugzeit von bis zu 8 Minuten
- Ansteuerung über Python Skripte möglich
- kann in Robot Operating System (ROS) integriert werden
- besitzt eine eingebaute Kamera und einen nach unten gerichteten Flow Sensor, der für die Funktion „präzises Landen“, zu einer einfachen Kamera umgeschaltet werden kann
- verhältnismäßig einfache Handhabung und robuster Betrieb

Die Sensormodule sind innerhalb der Laufzeit des Projekts mehrfach redesigned und optimiert worden, um eine einfache Handhabung und einen schnellen Wechsel zu gewährleisten. Alle Sensormodule sind nun mit einem ESP8266 µ-controller Modul ausgestattet, welches die Datenübertragung mittels WLAN übernimmt, und sie verfügen über ein Multiranger-Entfernungsmesssystem, welches sowohl für die Hinderniserkennung als auch für die automatische Kartierung der Einsatzumgebung eingesetzt wird.

Der Funktionsumfang der Sensormodule wurde um eine „remote control“ Funktion erweitert, mit deren Hilfe die Drohne vom System ferngesteuert ein- und ausgeschaltet werden kann. Dies ist für das autarke Laden auf der Basisstation notwendig. Dafür war die Entwicklung einer Adapterplatine nötig, welche diese neuen Funktionen bereitstellt.

Folgende Sensormodule stehen nun als Wechselmodule zur Verfügung:

1. **Erkundungs-Modul**, ausgestattet mit dem Multiranger-Deck zum autonomen Kartographieren des Einsatzortes
2. **VOC-Modul**, ausgestattet mit einem Sciosense ENS160 Sensor zur Detektion von Brandgasen und dem Multiranger-Deck für die Hinderniserkennung
3. **Heatcam-Modul**, ausgestattet mit einem Melexis MLX90640 Sensor zur Erstellung eines Wärmebildes und Erkennung von Hot Spots als mögliche Brandquellen und dem Multiranger-Deck für die Hinderniserkennung
4. **CO_2-Modul**, ausgetattet mit einem Sensirion SCD30 Sensor zur Ermittlung der CO2 Konzentration und dem Multiranger-Deck für die Hinderniserkennung

Auch die Funktion des Drohnen Tracking für das präzise Landen auf der Basisstation ist mehrfach optimiert worden, um das System robuster und zuverlässiger zu machen. Es ist nun keine Kamera in der Basistation mehr notwendig, um die Drohne im Landeanflug zu erkennen [1], sondern die in der Drohne vorhandene, nach unten blickende, Kamera wird zur Erkennung eines Markers auf der Landefläche verwendet, auf welchen sich die Drohne in der Landesequenz zentriert. Damit ist gewährleistet, dass die Ladekontakte der Drohne für den Ladevorgang richtig positioniert sind.

Die Komponenten der finalen Version des Drohnensystems sind in Abbildung 1 dargestellt

Ein Software-Modul für die Hinderniserkennung und Vermeidung [2] ist innerhalb einer Masterarbeit für ROS1 geschrieben worden. Aufgrund der Umstellung im Jahr 2023 von ROS1 auf ROS2 ist dieses Modul nicht mehr einsetzbar, da es auf die neue Sprache von ROS2 umgeschrieben werden muss. Außerdem benötigt das Modul sehr viel Rechenzeit, da es den Video-Stream der eingebauten Kamera auswertet, so dass es sich empfiehlt, dieses einfacher und damit schneller, unter Verwendung des Multiranger-Decks, zu gestalten.

Das Software-Modul Kartographierung [3] ist in einer weiteren Masterarbeit erstellt worden. Dieses Modul ist notwendig, da im Innenraum kein GPS-Signal für die Navigation empfangen werden kann. Mit diesem Modul ist es möglich, einen unbekannten Raum mit Hilfe der Drohne zu erkunden und eine Landkarte dessen zu erstellen. Diese Landkarte kann dann für die Pfadplanung der Inspektionsflüge verwendet werden.

Um das Drohnensystem nach Ende des Projekts weiterentwickeln zu können, wurde das gesamte Softwaresystem von ROS1 auf ROS2 umgestellt, da ROS1 ab Mai 2025 nicht mehr unterstützt wird. Zudem ist ROS2 echtzeitfähig und wird bereits im industriellen Bereich eingesetzt.

Für ROS2 wurde ein graphisches User Interface erstellt, welches dem Anwender die einfache und übersichtliche Möglichkeit zu Steuerung des Systems bietet. Die Sensordaten können während des Inspektionsfluges direkt in die BRAWA Datenbank mittels MQTT

übertragen werden. Für die Visualisierung wurden die Daten der Sensordrohne in die für die stationären Sensordaten verwendete Grafana-Oberfläche eingebunden.

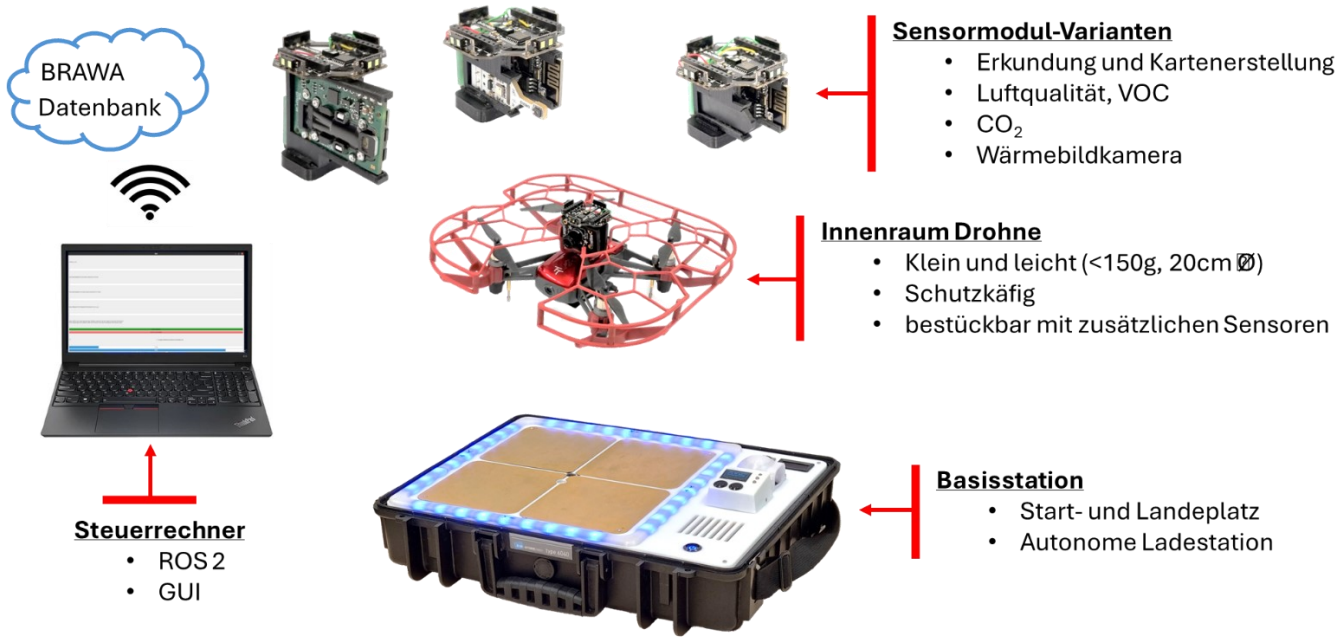

Abbildung 1: Übersicht über die Komponenten des in BRAWA entstandenen sensorbestückten Drohnensystems

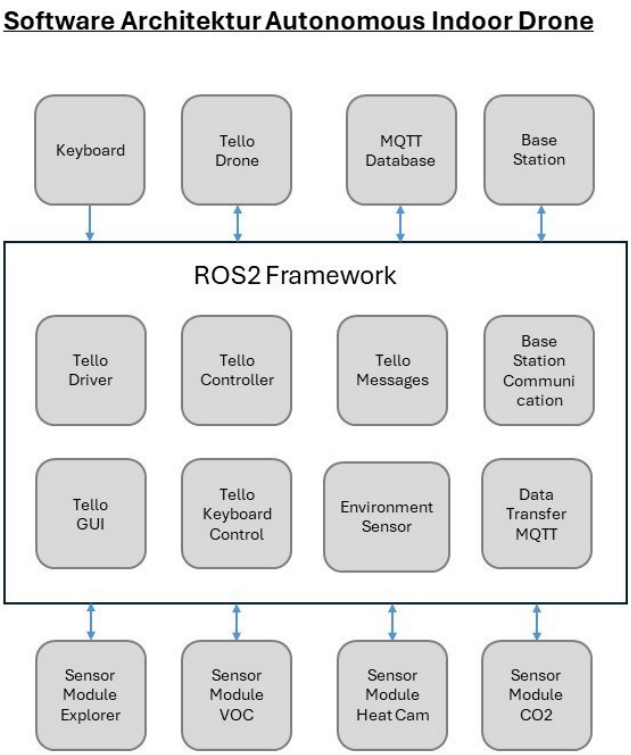

Abbildung 2: Übersicht über die Software-Architektur für das in BRAWA entstandenen sensorbestückten Drohnensystems

Als Vorbereitung für die Brandversuche in AP6 wurden im Fluglabor weitere Testflüge mit dem Luftqualitätssensor ENS160 (Fa. Sciosense) und der Wärmebildkamera durchgeführt

und die gesammelten Sensordaten, mit denen der stationären Sensoren verglichen. Hier konnte bereits der Mehrwert der Kombination von stationären und mobilen Sensorsystemen hinsichtlich der Erkennung und Lokalisierung möglicher Brandentstehungs-Quellen gezeigt werden.

In Abbildung 3 ist beispielhaft die Erkennung einer potenziellen Zündquelle anhand der von der Drohne erfassten Thermografiedaten dargestellt. Vorab wurde die Temperaturverteilung in der Umgebung im Sollzustand aufgezeichnet. Dabei wurden z.B. bestehende unkritische Temperaturquellen registriert (z.B. Lampen). Anschließend wurde ein nicht ausgeschaltetes Heizgerät in den Raum eingebracht. Dieses kann durch background substraction und eine anschließende Analyse der Temperaturgradienten als Gefahrenquelle klassifiziert werden.

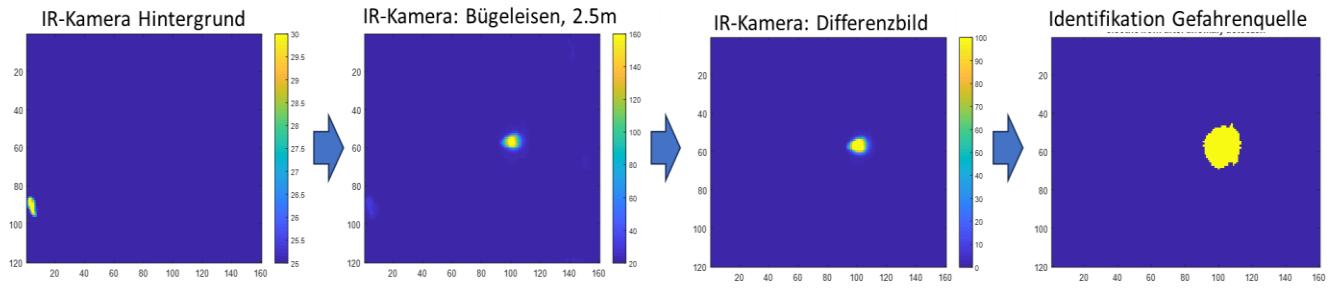

Abbildung 3: Identifikation einer Hitzequelle als Gefahrenquelle mittels Auswertung der von der Drohne aufgenommenen Thermografie-Daten

Arbeitspaket 4: Entwicklung von Auswertealgorithmen

Für die Arbeit der Siemens AG an Auswertealgorithmen standen vor allem die Aussagekraft der Messdaten der Sensordrohne sowie die Fragestellung der Verbesserung der Detektionseigenschaften des Gesamtsystems unter Einbindung der Sensordrohne im Mittelpunkt.

Die bereits in AP3 im Labor und aus dem im Dezember 2021 gestarteten Feldtest im Stadtschloss Weimar gewonnenen Sensordaten bildete eine erste Grundlage für die weitere Entwicklung der Auswertealgorithmen, vor allem hinsichtlich der Unterdrückung von Störeinflüssen zur Verringerung von Fehlalarmen. Für die Auswertung der Daten der Infrarotkamera wurden anhand von Daten aus dem stationären Sensorknoten erste Algorithmen erprobt, die eine Identifizierung von Gefahrenquellen (z.B. überhitze Bauteile) mittels Anomaliedetektion ermöglichen.

Für die Dokumentation und Auswertung weiterer Laborversuche wurden innerhalb des Konsortiums Labels definiert und die Versuche und ihre konkrete Durchführung vereinbart.

Für die Auswertung der Daten der Wärmebildkamera wurden unter Verwendung von in Labor-Tests und Brandversuchen aufgenommenen Daten erste Algorithmen implementiert, die eine automatische Identifizierung von Gefahrenquellen (z.B. von überhitzten Bauteilen) mittels Anomalie Detektion ermöglichen. Unter Verwendung der Signale des in die Drohnen integrierten VOC-Sensors wurde die Auswertung für die Identifizierung und Lokalisierung von unerwünschten Gasquellen (z.B. brennbare Gase, Lösungsmittel) getestet.

Arbeitspaket 6: Systemerprobung & Validierung

Neben Tests der Funktionalität der stationären und mobilen Sensorsysteme im Labormassstab wurden im Rahmen der Systemerprobung gemeinsam mit den Verbundpartnern folgende Testreihen durchgeführt (Tabelle 1). Die Auswertung der Daten der stationären Sensorknoten hinsichtlich der Erkennung von Brandentstehungsszenarien und die jeweiligen Ergebnisse werden ausführlich in den Berichten der Verbundpartner GTE und OvGU dargestellt. Im Folgenden werden vor allem die aus mit der Sensordrohne ermittelten Daten gewonnenen Erkenntnisse betrachtet.

Zeitraum	Ort	Beschreibung
11/2021 – 03/2022	Stadtschloß Weimar Dachstuhl	Stationäre Sensorknoten V1 Belastungstest
12/2022 – 06/2023	Stadtschloß Weimar Büro	Stationäre Sensorknoten V1 Belastungstest
07/2022	Hekatron Brandlabor	Stationäre Sensorknoten V1 + Sensordrohne V1
07/2023	GTE Versuchshalle	Stationäre Sensorknoten V2 + Sensordrohne V2
08/2023	Bücherei Markt Schwaben	Sensorknoten + Personenzähler

Tabelle 1: Übersicht über die mit den Partnern gemeinsam zur System-Erprobung durchgeführten Testreihen

Im ELBA-Brandlabor (Hekatron) und in der Versuchshalle der GTE wurden unter Beteiligung aller Partner weitere umfangreiche Untersuchungen von Brandentstehungsszenarien durchgeführt. Im Rahmen dieser Versuche wurde die mit einem VOC-Gassensor und einer Wärmebildkamera ausgestatteten Drohne erfolgreich eingesetzt. Anhand der Daten der Wärmebilddaten als auch der Gassensor-Signale konnte, vergleichbar zu den zuvor durchgeführten Labortests, der Mehrwert der mobilen Drohnen-Sensorsysteme für die Identifizierung und Lokalisierung möglicher Brandentstehungs-Quellen verifiziert werden.

In folgenden werden die mittels der Auswertung der von der Sensordrohne aufgenommenen Daten erzielten Ergebnisse anhand von Beispielen dargestellt.

- Identifizierung von Brandentstehungsszenarien mittels Thermografie

In Abbildung 4 ist die Erkennung und Klassifizierung von Objekten während eines Drohnenflugs mittels der Thermokamera dargestellt. Für die Auswertung wurde die für die Einstufung als mögliche Gefahrenquelle deutlich gegenüber der Umgebungstemperatur erhöhte Temperatur des Objektes herangezogen. Zusätzlich kann durch eine Auswertung des Thermografiebildes im Bereich der Körpertemperatur die Anwesenheit von Personen anonymisiert geprüft werden und diese Information für die Initiierung weiterer Maßnahmen wie z.B. Alarmierung oder Evakuierung herangezogen werden.

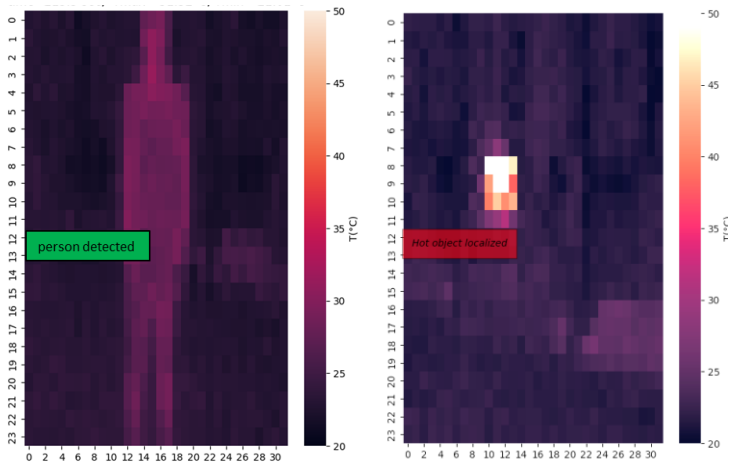

Abbildung 4: Beispiele zur Erkennung von Personen und möglichen Brandentstehungsquellen mittels der in die Drohne integrierten Thermokamera. Dargestellt ist das während des Fluges von der Wärmebildkamera aufgenommene Bild sowie die Signalauswertung erzeugte Interpretation des Bildinhalts bei Anwesenheit einer Person (links) und einer unerwünschten thermischen Quelle (rechts, Topf auf überhitzter Heizplatte)

- Lokalisierung von Quellen entzündlicher Gase als mögliche Brandquelle

Die Möglichkeiten zur Erkennung und Lokalisierung einer Gasquelle mittels des in die Drohne integrierten VOC-Sensors sind exemplarisch in Abbildung 5 dargestellt. In einem initialen Flug wurde durch die auf der Drohne integrierten Abstandssensoren ein Grundriss des Flugraums inklusive der enthaltenen Hindernisse erstellt. Während des eigentlichen Messfluges überfliegt die Drohne eine Gasquelle. Während sich die Drohne im Bereich über der Gasquelle befindet, ist eine deutliche Erhöhung des VOC-Sensorsignals zu beobachten (Abbildung 5 links). Unter Berücksichtigung der durch die Drohne in Bezug auf den zuvor ermittelten Grundriss gemessenen Positionsdaten kann die Position der Gasquelle im Raum abgeschätzt werden (Abbildung 5 rechts).

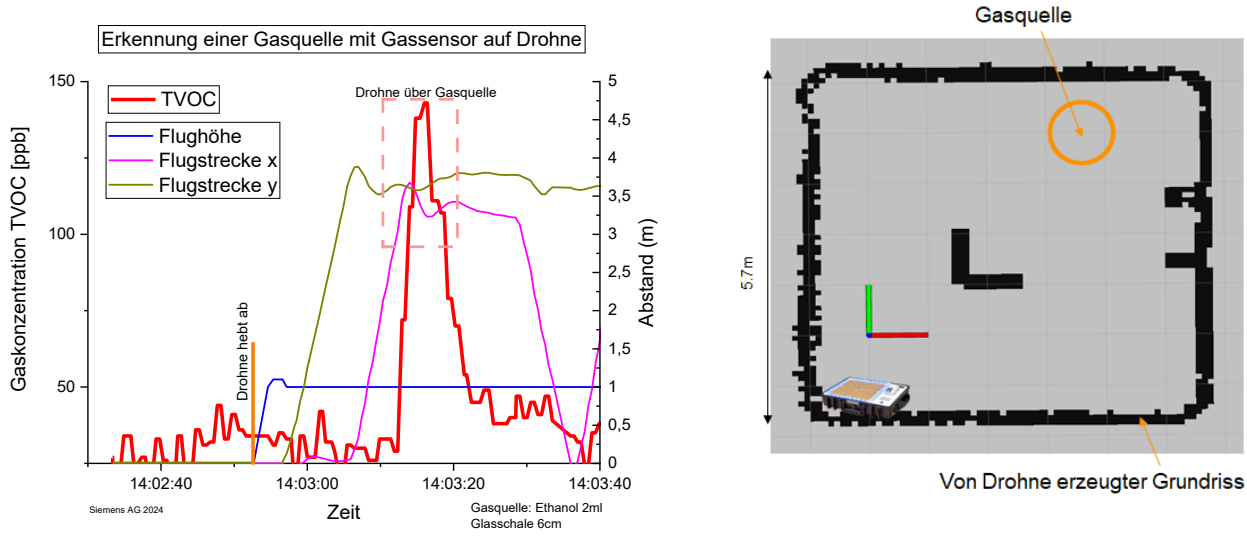

Abbildung 5: Beispiel für die Erkennung und Lokalisierung einer Gasquelle durch Auswertung der multimodalen Messdaten der Sensor-Drohne. Links: Zeitverlauf des VOC-Sensorsignals und der Drohnenposition während eines Fluges über eine Gasquelle. Ein deutlicher Anstieg des VOC-Signals kann bei Überfliegen der Gasquelle beobachtet werden. Rechts: Positionsbestimmung der Gasquelle im Bezug auf den von der Drohne ermittelten Grundriss des Testraums.

Ein vergleichbares Verhalten konnte beim Einsatz der Drohne zur Erkennung eines Holzschwelbrandes in der Entstehungsphase beobachtet werden (Abbildung 6).

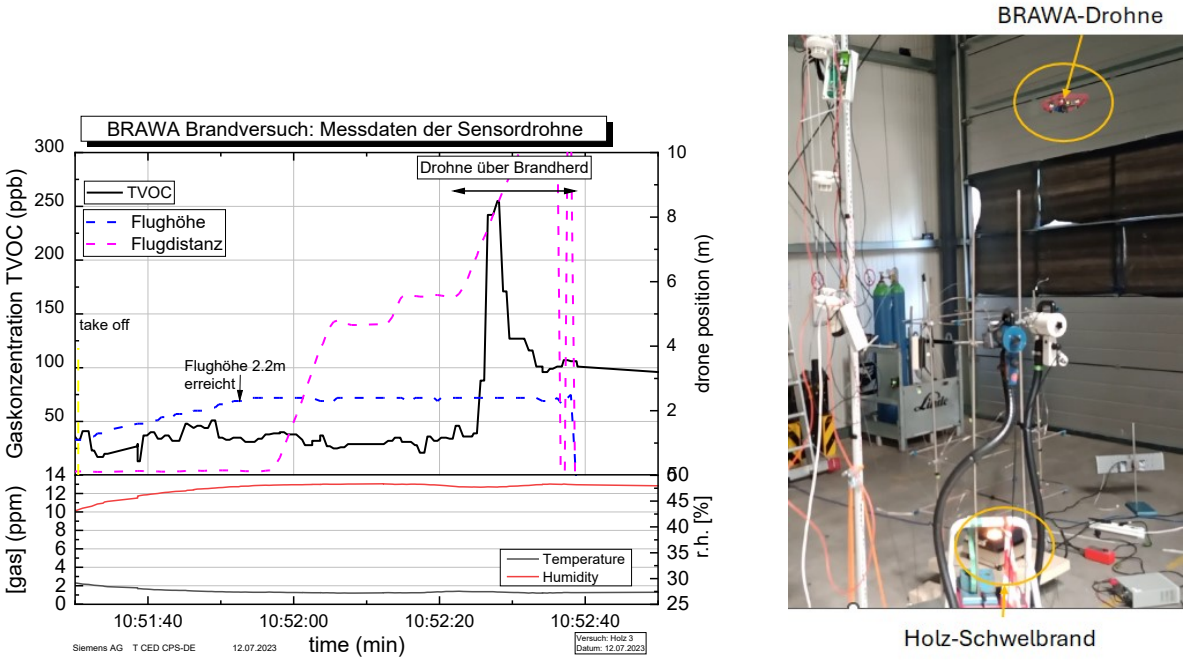

Abbildung 6: Erkennung und Lokalisierung eines Holzschwelbrandes durch Auswertung der multimodalen Messdaten der Sensor-Drohne. Links: Zeitverlauf des VOC-Sensorsignals und der Drohnenposition während eines Fluges über den Entstehungsbrand. Ein deutlicher Anstieg des VOC-Signals kann bei Überfliegen des Brandherdes beobachtet werden. Rechts: BRAWA-Drohne im Brandversuch während des Überflugs über einen Brand in der Entstehungsphase.

- Unterscheidung verschiedener möglicher Brandursachen anhand des Sensorsignal des VOC-Sensors

Im Unterschied zu den stationären Sensorsystemen stehen auf der Drohne nur eine deutlich reduzierte Zahl an unterschiedlichen Sensorsignalen zur Verfügung. Der VOC-Sensor bietet trotzdem die Möglichkeit, durch ML-basierte Auswertung der aus diesem Sensor verfügbaren Signalkomponenten neben der Quantifizierung des Signals auch eine Klassifizierung zu erreichen. Neben einer Lokalisierung der Brandentstehungsszenarien konnte so auch eine Unterscheidung verschiedener Szenarien mittels des auf der Drohne integrierten VOC-Gassensors gezeigt werden (Abbildung 7).

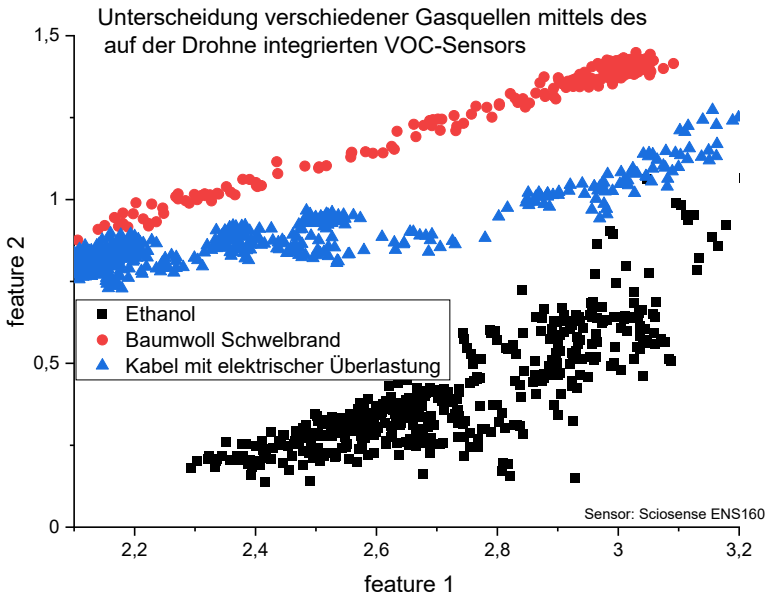

Abbildung 7: Unterscheidung verschiedener Brandentstehungsquellen anhand des Sensorsignals eines einzigen auf der Drohne integrierten VOC-Sensor.

Zusammenfassung

Eine wesentliche Zielsetzung im Teilprojekt war es, das Potential mobiler Sensoren als Ergänzung zu stationären Sensorsystemen für die frühzeitige Erkennung von Brandentstehungsszenarien zu untersuchen. Dafür wurde ein miniaturisiertes Drohnensystem aufgebaut, das neben der eigentlichen Sensorik eine hohe Flexibiltät in den Einsatzmöglichkeiten aufgrund aller für einen autonomen Betrieb notwendigen Funktionalitäten bietet. Dabei wurden die wesentlichen Anforderungen für den Einsatz in Innenräumen berücksichtigt. Die von der Sensordrohne erfassten Messdaten sowie die Drohnenposition sind in das BRAWA-Gesamtsystem integriert, sodass eine multimodale Auswertung zur Identifikation und Lokalisierung von Gefahrenquellen möglich ist.

In Untersuchungen im Labormassstab als auch in den großskaligen Versuchen im Brandlabor der Firma Hekatron als auch in der Versuchshalle der Firma GTE konnte gezeigt werden, dass diese Drohnensysteme einen Beitrag zur Verbesserung der Identifizierung und Lokalisierung von Gefahrenquellen leisten können. Diese Funktionalität kann bereits unter Verwendung der Sensordrohnen als Einzelsystem erreicht werden. Ein Einsatz z.B. wäre als temporäre Überwachung während Bauarbeiten möglich.

Insbesondere als Gesamtsystem mit weiteren in BRAWA entstandenen Sensorsystemen kann die Sensordrohne eine weitere Prüfung der Gefahrensituation ermöglichen, und somit die potenzielle Gefährdung von Helfern vermieden werden kann.

Im Rahmen des Projektes wurden 3 Masterarbeiten durchgeführt [1,2,3]. Teilergebnisse des Projektes wurden im Rahmen der XXXV EUROSENSORS Conference (Lecce, 2023) als Vortrag unter dem Titel „Indoor Fire Prevention Based on Miniaturized Sensor Drones and Stationary Sensor Nodes“ präsentiert und anschließend in [4] veröffentlicht.

Referenzen

[1] Florian Breitkopf, “Monocular Optical Drone Tracking and Environment “Mapping” (23.12.2021), TU München
[2] Sanjil Chheda, “Obstacle avoidance based on Monocular Depth Estimation for autonomous indoor drones”, (21.05.2023), TH Deggendorf
[3] Sreevishal Balipati, “Point Cloud generation using 1D LiDAR range sensors for path planning and drone navigation”, (14.03.2024), TH Deggendorf
[4] Proceedings 2024, 97(1), 225; https://doi.org/10.3390/proceedings2024097225