

Schlussbericht

zu Nr. 8.2

Zuwendungsempfänger: GTE Industrieelektronik GmbH Helmholtzstr. 21 D-41747 Viersen, Germany	Förderkennzeichen: 13N15418
Teilvorhabenbezeichnung: Ortsfeste Multisensoren zur Detektion und Charakterisierung von Brandsituationen	
Laufzeit des Vorhabens: 01.01.2021 – 31.12.2023/ verlängert bis 30. 04. 2024	

Inhalt

Inhalt.....	2
Kurze Darstellung	3
Aufgabenstellung.....	3
Voraussetzungen, unter denen das Vorhaben durchgeführt wurde	4
Planung und Ablauf des Vorhabens	5
Kurzdarstellung der durchgeführten Arbeiten.....	8
Wissenschaftlicher und technischer Stand, an den angeknüpft wurde.....	9
Stand der Technik.....	9
Bekannte Konstruktionen, Verfahren und Schutzrechte	9
Zusammenarbeit mit anderen Stellen.....	9
Eingehende Darstellung	11
Verwendung der Zuwendung und des erzielten Ergebnisses	12
AP 1 Identifikation und Bewertung von Gefahrenquellen	12
AP 2 Auswahl geeigneter Sensorik	13
AP 3 Systementwicklung.....	17
AP 3a Entwicklung Branddetektionssystem – Ortsfest	17
AP 3b Entwicklung Branddetektionssystem – Mobil (Drohne)	17
AP 3c Entwicklung Branddetektionssystem – Schnittstelle zum „Helfer“	17
AP 4 Entwicklung von Auswertelgorithmen	23
AP 5 Alarmierungsnetzwerk	47
AP 6 Systemerprobung & Validierung	50
AP 7 Begleitforschung.....	51
Wichtigste Positionen des zahlenmäßigen Nachweises	53
Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeit.....	54
Verwertbarkeit des Ergebnisses.....	55
Während der Durchführung des Vorhabens dem ZE bekannt gewordener Fortschritt auf dem Gebiet des Vorhabens bei anderen Stellen.....	57
Erfolgte oder geplante Veröffentlichungen	58
Tabellen und Abbildungen	59
Literaturverzeichnis.....	61

Kurze Darstellung

Aufgabenstellung

Ziel des Teilvorhabens „Ortsfeste Multisensoren zur Detektion und Charakterisierung von Brandsituationen: Beitrag für ein System zur Information und Motivation von Helfern“ ist die Erforschung der Eignung von Multisensorsystemen für die effektivere Bewahrung von Kulturgütern bzgl. Brandschutz.

Sensoren zur frühzeitigen Erkennung von sich entwickelnden Bränden wurden zusammengestellt, es wurde ermittelt, welche Messgrößen dazu beitragen, sinnvolle Informationen zur Branderkennung zu liefern und gleichzeitig von nicht-Brand Situationen abgrenzen. Speziellen Anforderungen aufgrund des Einsatzes in Kulturgütern wurden berücksichtigt:

- Eine energieautarke, funkvernetzte Betriebsweise ist anzustreben; während der Forschungsaktivitäten wurde dies zunächst außer Acht gelassen, für die wirtschaftliche Verwertung im Anschluss ist dieser Aspekt zu bearbeiten.
- Die Störgrößen sind andere als in „modernen“ Wohn oder Industriebauten – es ist mit verschiedenartigen Stäuben oder Ausgasung durch biologische Prozesse z. B. Schimmel oder Zersetzungsprozesse zu rechnen, vermehrte Renovierungsarbeiten u. a. mit Heiß- oder Brennarbeiten werden erwartet.
- Die Lüftungsverhältnisse werden undefiniert, oder zumindest eher ungewöhnlich sein, z. B. große, ggf. nicht abgedichtete Dachvolumina sind zu berücksichtigen – neben Experimenten im Norm-Brandraum wurden auch Versuche in Hallen durchgeführt.

Die eigentlich zur Branderkennung vorgesehenen Rauchmelder wurden durch empfindlichere Sensoren ersetzt und um Sensoren zu ergänzt, die Informationen liefern z. B. über die Gaszusammensetzung, die Luftgüte, die Luftbewegung, Licht oder Wärmestrahlung; ein Auswertesystem sammelt mittelbar Gebäude-typische Informationen und Informationen über den Nutzungsablauf.

Mit Hilfe dieser Informationen wird durch das System mit Hilfe eines Klassifikators zunächst ein „wahrscheinliches“ Szenario ermittelt – eine Information darüber wird verschiedenen Personen übermittelt, diese Personen („Helfer“) werden je nach Ausbildung, Schulung und Ort in Lage versetzt und auch ermutigt, sinnvoll einzugreifen.

Schwerpunkt der Arbeiten der GTE im Rahmen des Projekts war die Erstellung der Sensorknoten. Diese wurden in drei Iterationen in der Anzahl von jeweils 10 Stück erstellt. Diese Anzahl war ausreichend, um zusätzlich Schätzungen über örtliche Verteilung und Ausbreitungsrichtung durchführen zu können.

GTE hat weiterhin Algorithmen in Zusammenarbeit mit dem Partner OVGU erarbeitet, die eine Klassifizierung der zu detektierenden Ereignisse ermöglichen.

Das System ist wie folgt aufgebaut: Sensorsignale werden auf einem PC verarbeitet Klassen der Meldeereignisse ermittelt und an ein Interface an das alarmierende System weitergeleitet. Als alarmierendes System war zunächst neben einer APP auch eine BMA vorgesehen, dies hat sich als nicht praktikabel herausgestellt. Stattdessen wurden auch Kanäle wie Messenger oder email betrachtet.

Voraussetzungen, unter denen das Vorhaben durchgeführt wurde

Die GTE Industrieelektronik GmbH wurde 1988 in Viersen gegründet. Die Firma ist ein stetig wachsendes, international erfolgreiches und technisch innovatives Unternehmen. Mit ca. 80 Mitarbeitern wird ein jährlicher Gesamtumsatz von etwa 10 Mio. Euro erwirtschaftet (gerundete Daten aus 2023 – der Rückgang der Mitarbeiterzahl im Vergleich zu Vorjahren ist durch die Ausgründung der Maratron GmbH begründet).

Zu den Kernkompetenzen der GTE gehören Entwicklung, Produktion und weltweiter Vertrieb elektronischer Messgeräte zur Brandfrüherkennung. In der Abteilung für Forschung und Entwicklung sind Erfahrungen im Aufbau robuster Brandfrüherkennungssysteme in staubigen und feuchten Umgebungen, sowie die Signalauswertung der Mehrsensorsignale vorhanden.

Außerdem ist die GTE Industrieelektronik GmbH bereits beratend im Bereich der Brandmeldetechnik und Planung tätig. Zur Forschungs- und Entwicklungsabteilung mit Sitz in Viersen gehören zwei promovierte Physiker, mehrere Ingenieure, Techniker und Facharbeiter. Des Weiteren stehen Konstrukteure, sowie die Erfahrungen des Prüfmittelbaus, des Qualitätswesens und der hauseigenen Produktion mit hoher Fertigungstiefe zur Verfügung. Die GTE Industrieelektronik GmbH verfügt sowohl über Kompetenzen in der Leitung von Forschungsvorhaben als auch über Erfahrungen in der erfolgreichen wirtschaftlichen Umsetzung von Innovationen.

Ebenso blickt die GTE Industrieelektronik GmbH bereits auf mehrere staatlich geförderte Forschungsprojekte zurück. (Auszugsweise)

- ALBERO Transport alternativ betriebener Fahrzeuge auf RORO-Fährschiffen, 2018 - 2020
- TOXRADEV Überwachung öffentlicher Flächen auf toxischen Brandrauch: Detektor mit erhöhter Zuverlässigkeit der Evakuierung, Kooperationspartner, 2017-2020
- INTÜF Intelligente Überwachung von Förderanlagen, Kooperationspartner, 2013 – 2016
- VESPER Plus, Unterauftragnehmer, 2011 - 2014
- Multielektrodengassensensorsystem MEGAS, Kooperationspartner, 1998 – 2002

Planung und Ablauf des Vorhabens

In dem Teilvorhaben: „Ortsfeste Multisensoren zur Detektion und Charakterisierung von Brandsituationen“ werden (zusammengefasst) :

AP 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; die Branderkennungssysteme sollen zudem eine wertvolle Zusatzinformation für das Personal (die „Helfer“) bieten, um die Handlungsweise optimal zu begleiten. Beispiele hierfür sind u. a.: Abschätzung zur „Größe“ eines Brandes, ggf. die Angabe einer Ausbreitungsrichtung, Hinweise auf eine besondere Toxizität.

Dazu sollen Brand- und nicht-Brand Situationen beschrieben werden und auch bezüglich Handlungsempfehlungen für Helfer kategorisiert werden. Mögliche Kategorien wären: Erkunden, ggf. unter Mitnahme eines Handfeuerlöschers oder einer Löschdecke - Absprachen mit Fachpersonal, entsprechende Kontaktinformationen sollten durch das System automatisch angezeigt werden, - Erste Maßnahmen zum Schutz von Kulturgut in angrenzenden Räumen - Information an weitere helfende Kräfte einschließlich Instruktion bzgl. optimaler „schonender“ Maßnahmen.

AP 2 (Auswahl geeigneter Sensorik)

Sensoren aus dem Portfolio der GTE werden auf ihre Eignung für die Detektion von Brand – und Nicht-Brand-Szenarien untersucht und bewertet.

Anforderungen an die Sensoren werden beschrieben.

AP 3a: Entwicklung Branddetektionssystem – Ortsfest

AP 3c: Entwicklung Branddetektionssystem – Schnittstelle zum „Helfer“

Erarbeitung eines Sensornetzwerks zur Branddetektion und -Lokalisierung in der frühen Brandphase sowie der Schnittstelle zum „Helfer“ (Beurteilung von Brandfortschritt und -Ausbreitung in späteren Brandphasen).

In einer zu entwickelnden Daten-Plattform werden die in AP 2 ausgewählten Sensoren integriert. Die Plattform, z. B. auf der Basis eines PCs, besitzt ausreichend Rechenleistung, die in AP 4 zu entwickelnden Sensorfusionsalgorithmen auszuführen. Die Entwicklung beinhaltet weiterhin das Interface zur BMA.

Im Teilpaket „Entwicklung Branddetektionssystem – ortsfest“ leistet GTE die Erarbeitung einer ausreichend hohen Zahl von Sensorknoten, z. B. 20 Stück, die in einem ersten Schritt kabelgebunden, in einem zweiten Schritt mit Funk-Schnittstelle angesteuert werden. Diese Sensorknoten sollen Sensoren aufnehmen, die in AP2 als geeignet ermittelt wurden.

Jeder Sensorknoten enthält einen Mikrocontroller, Schnittstellen zu den Sensoren, eine Schnittstelle zu einer Zentralen Auswerteeinheit, über diese auch zur BMA. Die Sensorknoten werden in ein Gehäuse integriert, das zunächst primär gegen Umwelteinflüsse schützt. Dabei muss der Zutritt von Gasen oder Aerosolen zu den innenliegenden Sensoren sichergestellt sein.

Es ist vorgesehen, die Gestaltung, insbesondere die Sensorkombinationen, durch regelmäßige Tests im Labormaßstab zu überprüfen und ggf. anzupassen. Auch besondere Anforderungen durch die Auswertelgorithmen (in AP5) können einen Einfluss auf die Auslegung der Sensoren oder die Auswahl haben.

In AP 3b, „Entwicklung Branddetektionssystem – mobil“ leistet GTE Zuarbeit an den Partner Siemens in beratender Form.

In AP 3c, „Entwicklung Branddetektionssystem - Schnittstelle zum Helfenden“ kooperiert GTE mit dem Partner Hekatron; die Schnittstelle zum Interface an die Helfer wird erarbeitet. In diesem Teilabschnitt beschränken sich die Arbeiten der GTE auf die Realisierung einer Schnittstelle in Hardware und ggf. Software in Kooperation mit Hekatron sowie die zugehörige Beschreibung der Anforderungen.

In AP 4 (Entwicklung von Auswertelgorithmen) sollen Algorithmen zur Zuordnung Sensorsignalmuster auf ein Szenario-Cluster unter Angabe einer Brandwahrscheinlichkeit im Sinne einer Übereinstimmungsgüte erarbeitet werden.

Basierend auf den in AP 3 entwickelten Sensorknoten wird ein Algorithmus zur Angabe der Auftretenswahrscheinlichkeit eines Brandes, zur Alarmierungsklassifikation und zur Ableitung von „objektspezifischen“ sinnvollen Handlungsmaßnahmen erarbeitet. Ergebnisse aus dem Arbeitspaket AP1 bei der Bewertung der Signale vor dem Hintergrund der spezifischen Szenarien sowie AP 2, wie beispielsweise die Nachweisstärke oder die Querempfindlichkeiten der eingesetzten Sensoren werden berücksichtigt.

Dieses AP4 wird in Kooperation insbesondere mit dem Partner OvGU bearbeitet. Es werden Methoden der „Fuzzy-Logic“ (Expertensysteme mit linguistischen Variablen) betrachtet sowie Methoden der Clusteranalyse, wie z. B. Neuronale Netze oder als Zwischenschritt Hauptachsentransformation. Es ist angedacht, verschiedene Methoden vergleichend zu bewerten – ob eine Methode einsetzbar ist, hängt auch davon ab, ob, und welche Art der Signal Vorverarbeitung angewendet werden kann. Weiterhin – ob und wieweit Schwächen der Sensoren (Nullpunktdrift, Querempfindlichkeiten, schlechte Reproduzierbarkeit...) ein Auswerteverfahren kippen können. Um hierzu Aussagen zu treffen, werden sowohl Fehler künstlich simuliert als auch Ergebnisse unterschiedlicher Sensorknoten und unterschiedlicher Testszenarien verglichen. In Kooperation mit den Partnern vfdb und WWU leistet GTE Zuarbeit zur Fragestellung „Übergang von der technischen Messgröße zur Brandwahrscheinlichkeit und in eine menschlich zu interpretierende Größe“.

Hierzu erfolgt ein enger Austausch mit den Tätigkeiten in AP 7. In Kombination mit den in AP 6 experimentell zu ermittelnden Daten wird das Auswertemodell verfeinert und validiert.

In AP 5 (Alarmierungsnetzwerk) soll beratend bei der Erarbeitung der Schnittstelle zu einem Netzwerk zur Alarmierung der Brandschutz-Ersthelfer die Partner unterstützt werden.

In AP 6 (Systemerprobung & Validierung) erfolgt die Mitarbeit bei der Erprobung und Optimierung des Demonstrators und der Alarmierungskette.

Im Einzelnen werden die Sensorknoten zunächst in den Brandräumen der Partner erprobt. Tests bzgl. Störgrößen oder der Einfluss ausgewählter Umgebungsbedingungen auf die Detektionseigenschaften für Brände werden zusätzlich und iterativ in einer Testkammer bei der GTE oder in einer Halle der GTE durchgeführt. Des Weiteren werden mit Begleitung von GTE geeignete Versuchsszenarien und -

aufbauen für den Test beim Endanwender, der Klassik Stiftung Weimar, definiert und durchgeführt. Hierbei werden die Ausbreitung der Brandkenngrößen oder geeigneter Ersatzstoffe, die Wirksamkeit des Sensornetzwerks (ggf. in einem Test- oder Erprobungsmodus) und die Handhabbarkeit durch die Brandschutzersthelfer untersucht. GTE erarbeitet Testmethoden, die auch mobil vor Ort einen Test der Detektionseigenschaften ermöglicht. Dies kann sowohl die Durchführung klein-skaliger Brandversuche in einer „Testbox“ einschließen als auch die Freisetzung von Störgrößen, wie z. B. Nebel oder Staub. Die Basis für den Demonstratoraufbau und das Brandszenario bilden die vorangegangenen AP, sodass in AP 6 eine Zusammenführung der Ergebnisse erfolgt. Nach den Tests werden die Branddetektion und die Alarmierungskette optimiert, GTE führt je nach Erfordernis eine Optimierung bezüglich der Betriebsweisen einzelner Sensoren der Sensorknoten aus AP3 bzw. bezüglich der Algorithmen aus AP4 durch.

In AP 7 (Begleitforschung) unterstützt GTE die Partner beratend bezüglich Analyse und Aufbau der Nutzerakzeptanz.

	PM GTE	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30	32	34	36	
AP 1 Identifikation und Bewertung von Gefahrenquellen	3																			
AP 2 Auswahl geeigneter Sensorik	3																			
AP 3 Entwicklung Branddetektionssystem	17																			
AP 4 Entwicklung von Auswertalgorithmen	10,5																			
AP 5 Alarmierungsnetzwerk	1																			
AP 6 Systemerprobung & Validierung	3																			
AP 7 Begleitforschung	1,5																			
Treffen und Berichte				T			TB			TM			TB			T				TB

T: Treffen, B: Bericht, M: Meilenstein
 PM GTE: geplante Personenmonate der GTE über die Laufzeit


 Mitarbeit nach Bedarf, im Rahmen von Informationsaustausch, zur Klärung von Randbedingungen

Abbildung 1: zeitlicher Ablauf des Projektes

Kurzdarstellung der durchgeführten Arbeiten

Hier erfolgt eine Stichpunktartige Übersicht, die detaillierte Darstellung erfolgt später unter „Eingehende Darstellung“

Jahr 1

- Definition von relevanten und realistischen Gefahrenquellen als Ausgang für die Definition der Szenarien
- Auswahl geeigneter Sensorik zur Raumüberwachung hinsichtlich eventueller (Nicht-) Brandereignisse
- Design und Bau eines ersten multimodalen Sensorknoten
- Erfolgreiche Datenaufnahme mittels des Sensorknotens
- Design und Aufbau eines Netzwerkes zur Brandüberwachung im Stadtschloss Weimar und der Schaager Mühle (Nettetal)
- Erfolgreiche Erprobung der Netzwerk- und IT-Infrastruktur und Datengenerierung
- Beginn Entwicklung von Auswertelgorithmen der Daten aus Weimar und Schaag

Jahr 2

- Bau von robusten Sensorknoten
- Aufbau eines Detektionsnetzes
- Evaluation der Funktionalität eines größeren Netzwerkes mit 15 Sensorknoten
- Erfolgreiche Datenaufnahme von Echt-Bränden mit dem System
- Architektur des Alarmierungssystem
- Entwicklung geeigneter Modelle und Evaluation dieser dank der umfangreich gewonnenen Daten
- Entwicklung eines Nutzerinterfaces für das technische System

Jahr 3

- Revision der elektrischen und mechanischen Gestaltung der Sensorknoten. Aufbau 20 Stück weiterer Sensorknoten
- Konsolidierung des Detektionsnetzes
- Erfolgreiche Datenaufnahme mit 71 Sensoreinheiten von Echt-Bränden mit dem System
- Erweiterung der Architektur des Alarmierungssystem
- Weiterführung der Entwicklung geeigneter Modelle und Evaluation dieser dank der umfangreich gewonnenen Daten
- Weiterführende Konzeption zur Hierarchisierung der Einzelkomponenten zur Systemerstellung

Wissenschaftlicher und technischer Stand, an den angeknüpft wurde

Stand der Technik

Die derzeitigen konventionellen Branddetektoren sind darauf ausgelegt, normenkonform Brände zu erfassen und unter Vermittlung einer BMA eine Kette von Aktionen zu starten: Evakuieren, Feuerwehr rufen, etc. In diesem Kontext besteht die primäre Aufgabe der Meldetechnik, rechtzeitig zu alarmieren, so dass Menschenleben und fremde Sachwerte geschützt werden können.

Die Detektionsempfindlichkeiten einzelner Melder sind (je nach Detektionsprinzip) normiert (Rauchmelder z. B. müssen den Kriterien der EN54 Teil 7 entsprechen). Das bedeutet, dass zwar jeder Melder bei einer vergleichbaren Rauchdichte am Ort des Melders alarmiert - aber die Größe eines Brandes, der erkannt, also gemeldet, werden könnte, hängt von der Raumgröße und Lüftungssituation ab.

Für den Schutz von „Objekten“, also Kulturgüter bzw. allgemein Sachwerte, die sich innerhalb von Gebäuden befinden, erfolgt keine Abschätzung der „Größe“ oder des „Schadensmaßes“ eines Feuers.

In diesem Kontext ist auch nicht vorgesehen, dass in der „Frühen Phase eines Brandes“ eine Meldung bzw. gestaffelte Meldungen erfolgen sollen, so dass einem Brand vorgebeugt, der Entstehung entgegengewirkt wird oder die Ausbreitung mit einfachen – Laien – Methoden verhindert werden kann.

Für den (technischen) Part der GTE bedeutet dies, dass bisherige Meldetechniken nur einen Kanal – zur Meldung an die Feuerwehr – aufweisen. Auch dies ist eine Aufgabe, neben sensorischen Themen, die Schnittstellen zu erweitern.

Bekannte Konstruktionen, Verfahren und Schutzrechte

Zu Beginn des Projektes sind uns keine diesbezüglichen Verfahren bzw. Schutzrechte bekannt gewesen.

Zusammenarbeit mit anderen Stellen

Das Teilvorhaben „Ortsfeste Multisensoren zur Detektion und Charakterisierung von Brandsituationen“ wurde gemeinsam mit allen Projektpartnern durchgeführt. Folgende Skizze visualisiert die Zusammenarbeit:

BRAWA – Kooperation aus technischer Sicht

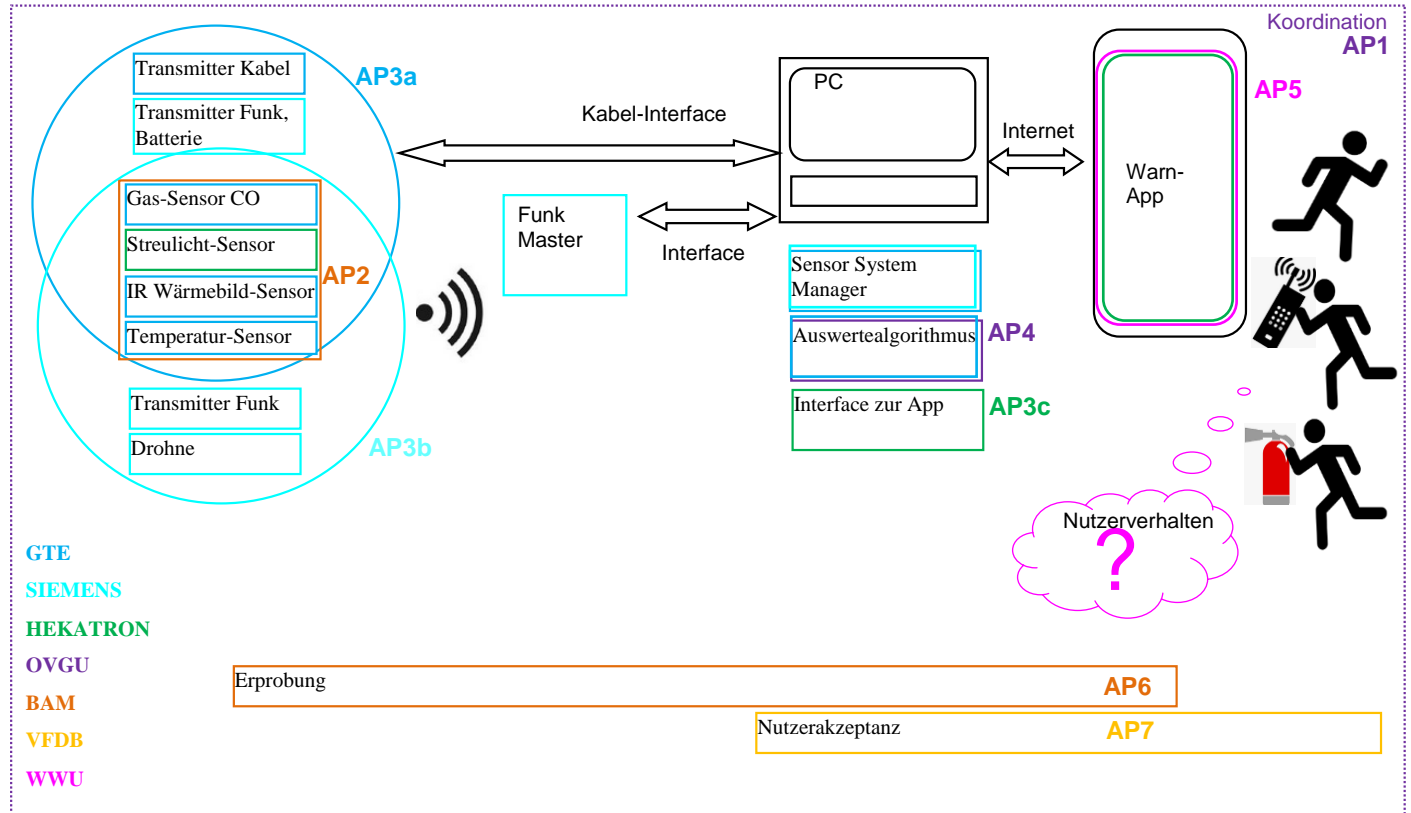


Abbildung 2: Schematische Darstellung der Zusammenarbeit im Konsortium

Die Partner sind im Einzelnen:

- Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg
- Westfälische Wilhelms-Universität Münster, Institut für Psychologie (neuer Name: „Universität Münster“)
- Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung
- Vereinigung zur Förderung des deutschen Brandschutzes e.V.
- Hekatron Vertriebs GmbH
- Siemens AG (CT RDA IOT CPS-DE)

Sowie die assoziierten Partner

- Zentralverband Elektrotechnik- und Elektronikindustrie e.V.
- Klassik Stiftung Weimar (Stiftung des öffentlichen Rechts)
- Gesamtverband der Versicherungswirtschaft e.V.
- Universitätsklinikum Jena

Die Zusammenarbeit mit allen Partnern war für die erfolgreiche Durchführung der Aufgaben erforderlich und sinnvoll.

Insbesondere die Zusammenarbeit mit der Uni Magdeburg, die auch die Koordination leistete, war hinsichtlich Signalauswertemethoden unverzichtbar.

Regelmäßige Telefonkonferenzen oder später Konferenzen über MS-Teams, führten nicht nur zum Informationsaustausch, sondern hat in vielen Fällen den Anlass zu weiteren Experimenten und Tests geliefert.

Auf die gemeinsamen Versuche bei Hekatron in Sulzburg wird in „eingehende Darstellung“ weiter eingegangen. Ohne die Ergebnisse dieser Versuche, zu deren Durchführung neben GTE insbesondere die Hekatron, die Uni Magdeburg, Siemens und die BAM beigetragen haben wäre ein wesentlicher Teil dieser Arbeit nicht möglich gewesen.

Besonders zu erwähnen ist ein gemeinsamer Anwenderworkshop beim IdF (Institut der Feuerwehr NRW), der durch die vfdb organisiert und durch die Uni Münster unterstützt wurde. Dieser Anwenderworkshop hat sehr wertvolle Hinweise hinsichtlich Akzeptanz geliefert.

Eingehende Darstellung

Verwendung der Zuwendung und des erzielten Ergebnisses

In diesem Abschnitt werden die Ergebnisse der einzelnen Arbeitspakete genauer beschrieben.

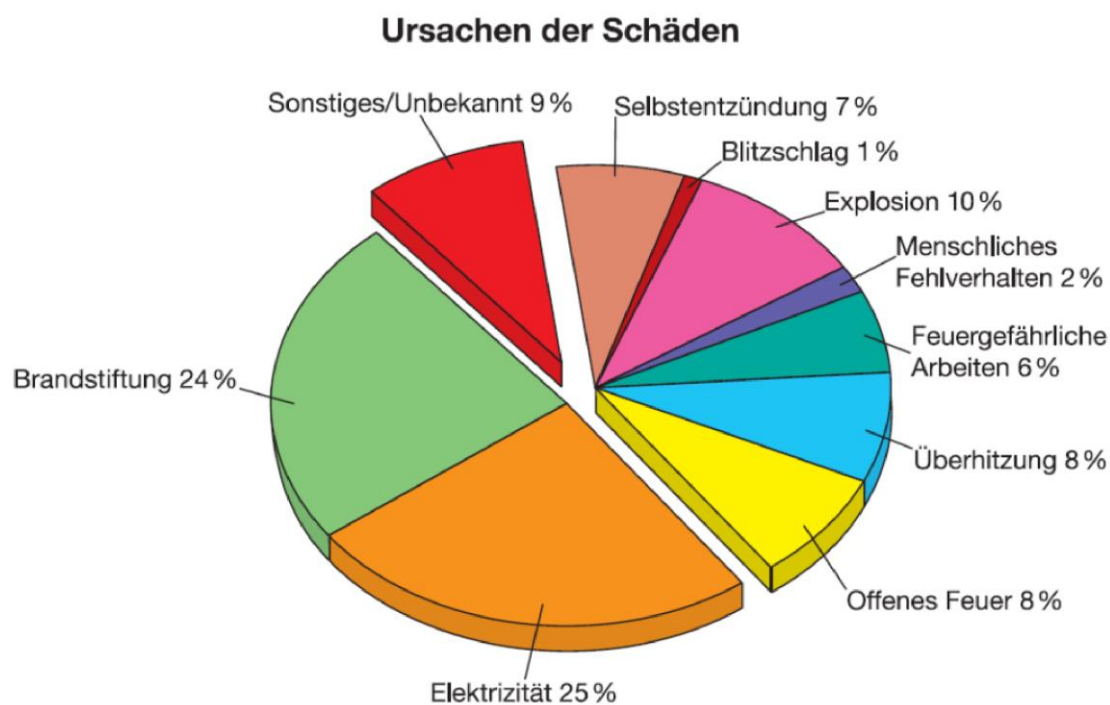
AP 1 Identifikation und Bewertung von Gefahrenquellen

Ziel: Ermittlung typischer Brandszenarien bei kulturellen Einrichtungen- Konsequenzen für die Sensorauswahl und Auswirkungen auf die Systemauslegung

„Es werden die Randbedingungen für die Verbesserung der Branderkennung in soziokulturelle Infrastrukturen (wie z.B. denkmalgeschützten Gebäuden und Museen) ermittelt; die Branderkennungssysteme sollen zudem eine wertvolle Zusatzinformation für das Personal (die „Helfer“) bieten, um die Handlungsweise optimal zu begleiten. Beispiele hierfür sind u. a.: Abschätzung zur „Größe“ eines Brandes, ggf. die Angabe einer Ausbreitungsrichtung, Hinweise auf eine besondere Toxizität.

Dazu sollen Brand- und nicht-Brand Situationen beschrieben werden und auch bezüglich Handlungsempfehlungen für Helfer kategorisiert werden. Mögliche Kategorien wären: Erkunden, ggf. unter Mitnahme eines Handfeuerlöschers oder einer Löschdecke - Absprachen mit Fachpersonal, entsprechende Kontaktinformationen sollten durch das System automatisch angezeigt werden, - Erste Maßnahmen zum Schutz von Kulturgut in angrenzenden Räumen - Information an weitere helfende Kräfte einschließlich Instruktion bzgl. optimaler „schonender“ Maßnahmen.“

GTE liefert im Rahmen des AP1 Zuarbeit an das Konsortium.



- Auswertung nach Schadenursachen (Anzahl)
- Es wurden nur Schäden > 500000 € berücksichtigt
- Gesamtbasis 2702 Schäden

Quelle: Sylwester Kabat, *Brandschutz in historischen Bauten*

Abbildung 3: Verteilung der Brandursachen in historischen Bauten bei Schäden von mehr als einer halben Millionen Euro

Die Abbildung 3: Verteilung der Brandursachen in historischen Bauten bei Schäden von mehr als einer halben Millionen Euro zeigt stellvertretend für die Recherchen des Konsortiums die Bandbreite der Brandursachen¹.

Als dominant stechen Defekte oder Fehl-Nutzung der Elektrik und Brandstiftung heraus. Aber auch für „offenes Feuer“, „Überhitzung“, „feuergefährliche Arbeiten“ und „Selbstentzündung“ bietet ein Detektionskonzept mit Sensoren und früher Unterstützung von Helfenden eine Lösung.

Typische Brandursachen variieren je nach Einrichtung oder Gebäude. Mehrere Diskussionsrunden unter Einbeziehung der Erfahrungen des assoziierten Partners Klassik Stiftung (Weimar) zeigen einen Fokus auf der Überwachung von Bau- oder Renovierungsaufgaben und der Vermeidung von Fehlalarmen konventioneller Rauchmelder.

Der Beitrag der GTE in dieser Phase des Projekts fokussiert sich darauf, die Erfassung der Szenarien zu begleiten, und hinsichtlich der im zweiten AP durchzuführenden Sensorauswahl zu kennen und zu berücksichtigen. Daher ist es sinnvoll, die Beschreibung der Ergebnisse mit den Auswahlergebnissen aus AP2 zu kombinieren – siehe folgender Abschnitt.

AP 2 Auswahl geeigneter Sensorik

Ziel: Auswahl einzelner Detektionsprinzipien bzw. Sensoren zur Erkennung, bei kulturellen Einrichtungen-Konsequenzen für die Sensorauswahl und Auswirkungen auf die Systemauslegung. Dazu werden sowohl Sensoren aus dem Portfolio der GTE berücksichtigt, als auch weitere, die einen sinnvollen Beitrag liefern.

„Anhand der Erfahrungen während der Adaption von Brandsensoren auf Industrieprojekte und Erkenntnisse in abgeschlossenen Projekten erfolgt eine Vorauswahl geeigneter Sensoren. Diese müssen den in AP 1 skizzierten Anforderungen genügen.

Eine Liste der Anforderungen soll als Ergebnis aus den Zielszenarien (AP1) abgeleitet werden. Davon ausgehend, dass das primäre Zielszenario eine Erkennung von Bränden in der frühen Phase sein wird, werden Sensoren für Brandkenngrößen berücksichtigt (Aerosolsensoren, CO-, H₂-, weitere Gassensoren, Wärmesensoren, z. B. auf Basis IR Detektion). Für zusätzliche Informationen z. B. über Ausbreitungsrichtung werden weitere Umweltsensoren betrachtet (z. B. Luftströmungssensoren, Feuchtigkeits- oder Temperatursensoren)

Für die praktische Auswahl spielen besonders relevante Sensoreigenschaften wie Sensitivität für die Zielgrößen, Unterdrückung der Störgrößen, Energieaufnahme und Langzeitstabilität eine Rolle.

Primär sollen die Sensoren unterschiedliche Informationen liefern, um eine optimale Unterscheidung der Cluster-Szenarien zu ermöglichen.

Je nach Rolle bei der Multisensorauswertung sind erhöhte Anforderung an Stabilität oder Reproduzierbarkeit zu stellen.“

Folgende Tabelle (in Abbildung 4: Tabellarische Übersicht über die ausgewählten Sensoren) fasst das Ergebnis der Sensorauswahl vereinfacht zusammen.

¹ Sylwester Kabat. Brandschutz in Kirchen und Klöstern. Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden, Jan. 2021. ISBN : 978-3-658-30964-0

Zielgröße	Sensorprinzip	Kommentar
Aerosol ("Rauch")	Optische Lichtstreuung	PM1, PM2.5, PM4 und PM10 hochempfindlich
VOC	Halbleiter-Gassensor	„misst“ Luftgüte, hochempfindlich auch Brandgase
H ₂	Halbleiter-Gassensor	0 ... 100 ppm; Indikator für Glut
CO	Elektrochemischer Sensor	0 ... 1000 ppm; Schwelbrände
CO ₂	Photoakustischer Sensor	0 ... 1 %
UV-Licht (Flammensensor)	Photomultiplier Röhre	Hochempfindlicher Flammensensor Sonnenlicht unempfindlich
Licht, T und rH		Zusatzinformationen
Oberflächentemperatur	Thermopile-Array	Überhitzung, Oberflächenbrand, Flammen

Abbildung 4: Tabellarische Übersicht über die ausgewählten Sensoren

Im Folgenden werden für jeden Sensor die Funktion, die Erwartung und Hinweise Schritt für Schritt erläutert:

Aerosol ("Rauch")	Optische Lichtstreuung	PM1, PM2.5, PM4 und PM10 hochempfindlich
-------------------	------------------------	---

Aerosole stellen die klassische Kenngröße dar, diese wird in jedem „Rauchmelder“ genutzt.

Für Rauchmelder gilt jedoch die Produktnorm „EN54/7“, aus den dort beschriebenen Tests kann eine typische Empfindlichkeit von 3 %/m abgeleitet werden. Die Einheit [%/m] beschreibt natürlich keine „Rauchdichte“ im Sinne einer Massendichte, sondern bezieht sich auf das Messverfahren der optischen Lichttrübung: Bei einer Rauchdichte, die einen Lichtstrahl um 3% bei einer Strecke von 1 m schwächt, muss ein Alarm abgesetzt werden.

Im Rahmen des Projekts soll deutlich empfindlicher gemessen werden; hier kommt alternativ ein Feinstaub-Sensor zur Auswahl. Gewählt wurde zunächst der Sensor „SPS30“ der Firma Sensirion.

Dieser liefert Messwerte, aufgeschlüsselt in unterschiedliche Partikelgrößen, in der Einheit [# /cm³], also eine Anzahldichte. Dabei beträgt der Messbereich 0 ... 65000 /cm³ für die Gesamtzahl, die maximalen Partikelzahlen der einzelnen Buckets 0,5 ... 1 um Partikelgröße, 1 ... 2.5 um, 2.5 ... 4 um und 4 ...10 um sind dann entsprechend geringer.

Eine direkte Umrechnung der optischen Lichtstreuung [%/m] in Partikelanzahl [# /cm³] wurde abgeschätzt: eine Zahl von 10.000 /cm³ entspricht für einen Holz-Schwelbrand einer optischen

Trübung von ca. 0,03 %/m; damit ist der Feinstaub-Sensor ca. 100 mal empfindlicher als ein Rauchmelder.

VOC	Halbleiter-Gassensor	„misst“ Luftgüte, hochempfindlich auch Brandgase
-----	----------------------	--

VOC beschreibt „volatile organic compounds“ und umfasst eine Vielzahl flüchtiger Kohlenwasserstoffe. Diese Sensoren werden im Rahmen der „Luftgüte“ Messung verwendet und dort auch qualifiziert.

Für den Einsatz zur Branderkennung wird das „Rohsignal“ des Sensors ausgewertet, in „willkürlichen Einheiten“. Bei nahezu allen Bränden entstehen auch Gase, auf die der VOC Sensor reagieren sollte.

Gewählt wurde in der ersten Projektphase der SVM40 der Firma Sensirion.

H ₂	Halbleiter-Gassensor	0 ... 100 ppm; Indikator für Glut
----------------	----------------------	-----------------------------------

Insbesondere bei Glimmbränden entsteht Wasserstoff in Spuren (einige ppm). Hierzu wurde ein Halbleitersensoren GGS6530 der Firma UST (Umweltsensortechnik GmbH in Geraberg) gewählt. Dieser reagiert bereits im ppm Bereich auf H₂, nahezu ohne Querempfindlichkeit auf andere Gase. Der Erfassungsbereich liegt bei ca. 0 ... 100 ppm. Dieser Sensor beinhaltet jedoch einen aktiven Chip, der auf ca. 450°C geheizt wird, die Leistungsaufnahme liegt daher bei ca. 1 VA. Für eine spätere Auslegung z. B. mit Batterieversorgung ist in der Phase der Kommerzialisierung eine andere Wahl getroffen werden.

CO	Elektrochemischer Sensor	0 ... 1000 ppm; Schwelbrände
----	--------------------------	------------------------------

Bei allen Arten von Bränden von organischem Material (insbesondere Wolle / Baumwolle und Holz) entsteht Kohlenmonoxid (CO). Die für dieses Gas gängigen Sensoren sind elektrochemische Zellen. Die Wahl fiel auf einen SGX-4CO der Fa. Amphenol. Dieser Sensor benötigt eine Potentiostat-Schaltung zur Ansteuerung, die im Rahmen des Projekts ebenfalls erstellt wurde.

Der Messbereich beträgt 0...1000 ppm CO, eine der relevanten Querempfindlichkeiten besteht auf H₂, mit einem Faktor von ca. 0,4.

Die Stromaufnahme ist sehr gering nur der Betrieb der Potentiostat Schaltung benötigt Energie.

CO ₂	Photoakustischer Sensor	0 ... 1 %
-----------------	-------------------------	-----------

CO₂ entsteht bei allen Bränden, bei denen organisches Material mit Sauerstoff reagiert. Daher kann die Freisetzung von CO₂ ein zusätzlicher Indikator für Brände sein; es ist jedoch zu beachten, dass auch Lebewesen (Menschen, Bakterien etc...) CO₂ emittieren.

Gewählt wurde ein SCD41 der Firma Sensirion. Dieser Sensor arbeitet nach dem photoakustischen Verfahren, er ist damit selektiv auf CO₂.

Der Messbereich beträgt ca. 0 ... 10.000 ppm (1%) .

Es ist zu beachten, dass die normale Hintergrund-Konzentration 400 ppm beträgt, in Innenstädten führt der KFZ Verkehr zu einem zusätzlichen Hintergrund von 100 bis 1000 ppm. In schlecht gelüfteten Innenräumen führt der Stoffwechsel der dort befindlichen Menschen zu weiteren ca. 1000 ppm Anstieg.

UV-Licht (Flammensensor)	Photomultiplier Röhre	Hochempfindlicher Flammensensor Sonnenlicht unempfindlich
-----------------------------	-----------------------	--

Flammenerscheinung kann anhand der Lichtstrahlung erkannt werden. Besonders geeignet sind dabei Wellenlängen im IR oder im UV Bereich. Der UV Bereich eignet sich besonders, wenn der störende Einfluss der Sonne unterdrückt werden soll.

Hierzu wurde eine UV empfindliche Photomultiplier Röhre „UVTRON“ der Firma Hamamatsu gewählt.

Diese bietet eine sehr gute Empfindlichkeit auf alle Arten von Flammen; je nach Auswertung des sensorischen kann eine „Feuerzeugflamme“ in mehreren Metern Abstand sicher detektiert werden. Der Sensor reagiert im Wellenlängenbereich von 180 ... 200 nm, dies liegt außerhalb des Spektrums des Sonnenlichts auf der Erdoberfläche.

Wesentliche Querempfindlichkeiten bestehen auf Lichterscheinung bei elektrischer Entladung, damit reagiert der Sensor auch auf „Corona-Entladung“ oder Gewitterblitze.

Zum Betrieb des Sensors ist eine Spannung von ca. 300 V, jedoch nahezu stromlos, erforderlich. Der dazu erforderliche Spannungswandler wurde im Projekt ebenfalls erstellt.

Licht, T und rH		Zusatzinformationen
-----------------	--	---------------------

Zur Erfassung von Metainformationen wie Tag/Nacht, Feuchte etc.

Für die Lichtstärke wurde ausgewählt der TSL2561 von „ams Osram“ zur Messung der Lichtstärke [0...10.000 Lux].

Das Signal für Temperatur und relative Luftfeuchte wird aus dem VOC Sensor, dem SVM40 (Sensirion) entnommen.

Oberflächentemperatur	Thermopile-Array	Überhitzung, Oberflächenbrand, Flammen
-----------------------	------------------	---

Ein sehr wichtiges Signal für die frühe Branderkennung oder sogar zur Erkennung von „Übertemperatur“ vor einem Brand – als Brandrisiko – ist die Messung der Oberflächentemperatur. Hierfür wird ein Thermopile Array eingesetzt, eine Art einfache Wärmebildkamera mit 32 x 24 Bildpunkten.

Gewählt wurde der MLX90640 der Firma Melexis. Dieser Sensor liefert in der Konfiguration, in der wir sie nutzen, einmal pro Sekunde ein Temperaturarray mit 768 Temperaturwerten [0 ... 400 °C].

Voraussetzung für die Funktion ist jedoch eine freie Sicht auf das zu überwachende Objekt und eine geeignete Ausrichtung im Raum.

Diese Sensoren werden nun im Rahmen des nächsten AP in ein System integriert.

AP 3 Systementwicklung

AP 3a Entwicklung Branddetektionssystem – Ortsfest

AP 3b Entwicklung Branddetektionssystem – Mobil (Drohne)

AP 3c Entwicklung Branddetektionssystem – Schnittstelle zum „Helfer“

Ziel: Erarbeitung eines Sensornetzwerks zur Branddetektion und -lokalisierung in der frühen Brandphase sowie der Schnittstelle zum „Helfer“ (Beurteilung von Brandfortschritt und -ausbreitung in späteren Brandphasen) – in Kooperation mit den Partnern

„In einer zu entwickelnden Daten-Plattform werden die in AP 2 ausgewählten Sensoren integriert. Die Plattform, z. B. auf der Basis eines PCs, besitzt ausreichend Rechenleistung, die in AP 4 zu entwickelnden Sensorfusionsalgorithmen auszuführen. Die Entwicklung beinhaltet weiterhin das Interface zur BMA. Hierzu werden drei Unter-Arbeitspakete definiert:

AP 3a) Entwicklung Branddetektionssystem – ortsfest

In diesem Teilpaket leistet GTE die Erarbeitung einer ausreichend hohen Zahl von Sensorknoten, z. B. 20 Stück, die in einem ersten Schritt kabelgebunden angesteuert werden. Diese Sensorknoten sollen Sensoren aufnehmen, die in AP2 als geeignet ermittelt wurden.

Jeder Sensorknoten enthält einen Mikrocontroller, Schnittstellen zu den Sensoren, eine Schnittstelle zu einer Zentralen Auswerteeinheit, über diese auch zur BMA. Weiterhin ist eine Schnittstelle zur Energieversorgung vorzusehen. Die Sensorknoten werden in ein Gehäuse integriert, das zunächst primär gegen Umwelteinflüsse schützt. Dabei muss der Zutritt von Gasen oder Aerosolen zu den innenliegenden Sensoren sichergestellt sein.

AP 3b) Entwicklung Branddetektionssystem – mobil

In diesem Teilpaket leistet GTE Zuarbeit an den Partner Siemens

AP 3c) Entwicklung Branddetektionssystem - Schnittstelle zum „Helfer“

In diesem Teilpaket kooperiert GTE mit dem Partner Hekatron, die Schnittstelle zum Interface an die Helfer wird erarbeitet. In diesem Teilabschnitt beschränken sich die Arbeiten der GTE auf die Realisierung einer Schnittstelle in Hardware und ggf. Software in Kooperation mit Hekatron sowie die zugehörige Beschreibung der Anforderungen.“

Die Ergebnisse hier nun im Einzelnen:

Sensorknoten Generation 1

Folgende Abbildungen zeigen die Sensorknoten in der Reihenfolge der drei im Projekt realisierten Generationen.



Abbildung 5: Sensorknoten der ersten Generation: Trägerplatine mit ESP32 und den verschiedenen Sensoren in einem Kunststoff-Gehäuse (es verbleibt im Betrieb offen!)

Diese erste Knotenvariante sollte schnell und flexibel aufgebaut werden – daher wurde viel „mit der heißen Nadel gestrickt“.

1: UST6530 H2 Sensor

2: UVTRON UV Sensor

3: Bewegungsmelder (nur bei wenigen Sensorknoten testweise, im weiteren Verlauf wieder entfallen)

4: SVM40 VOC Sensor

5: SPS30 Feinstaub Sensor

6: elektrochemische CO Zelle, auf Potentiostat

7: SCD41 CO2 Sensor

Die Stromversorgung erfolgt über den USB Steckverbinder des ESP32:

Spannung: 5 V DC

Stromaufnahme typisch 300 mA, während der Aufheizphase des H2 Sensors: bis zu 600 mA

Sensorknoten Generation 2

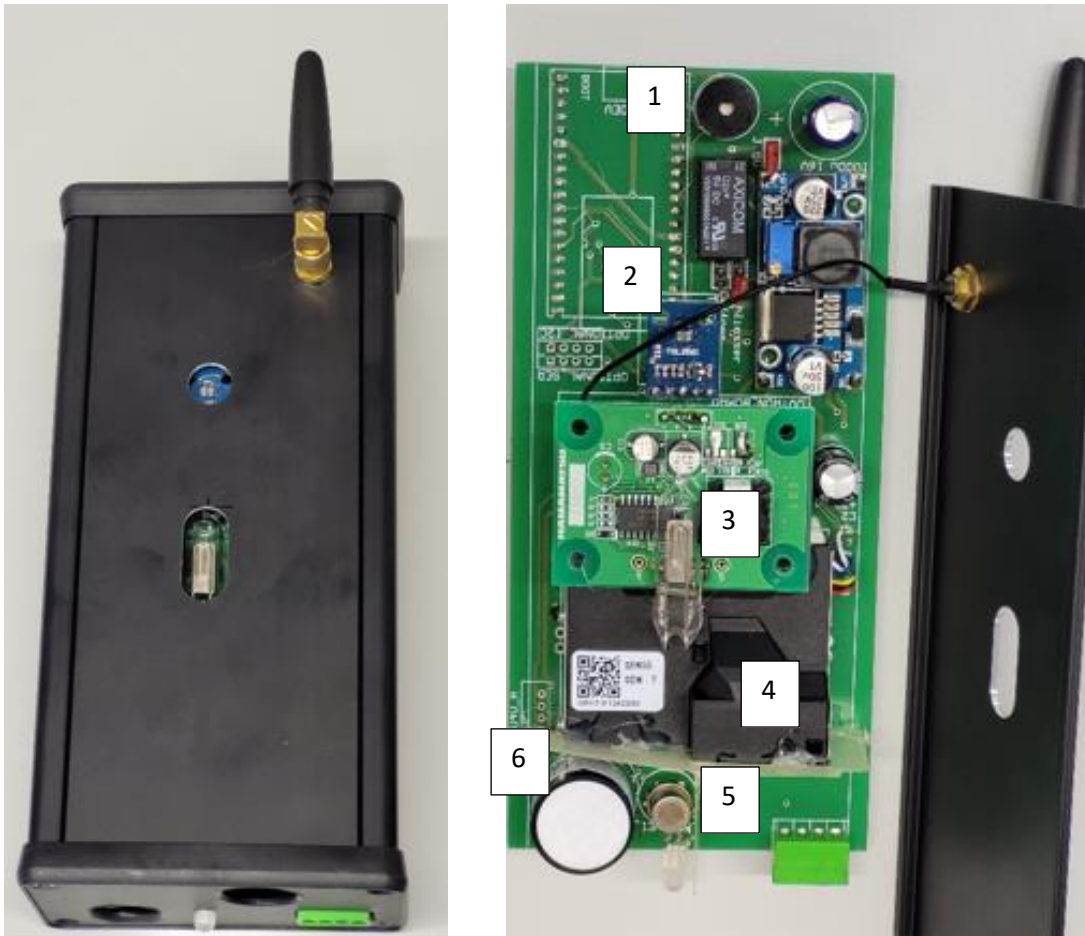


Abbildung 6: Sensorknoten der zweiten Generation: Trägerplatine mit ESP32 (auf der Rückseite) und den verschiedenen Sensoren in einem Aluminium-Gehäuse mit externer WLAN Antenne

- 1: Buzzer (zur akustischen Alarmgabe)
- 2: LUX Sensor
- 3: UVTRON
- 4: SEN55 (von Sensirion) – ersetzt SPS30 und SVM40: Feinstaub und VOC Sensor
- 5: UST H2 Sensor
- 6: elektrochemische CO Zelle, Potentiostat nun auf Grundplatine

Nicht sichtbar (Rückseite): SCD41 CO2 Sensor

Die Stromversorgung erfolgt über den grünen Steckverbinder, 12 – 24 V DC

Spannung: 24 V DC

Stromaufnahme typisch 70 mA, während der Aufheizphase des H2 Sensors: bis zu 120 mA

Sensorknoten Generation 3



Abbildung 7: Sensorknoten der dritten Generation: ESP32 und verschiedenen Sensoren in einem Kunststoff-Gehäuse mit interner WLAN Antenne.

Dieser Sensorknoten dient der Verteilungsmessung von Rauch und Gasen, daher ist nur eine reduzierte Auswahl an Sensoren enthalten:

LUX Sensor

SEN55 (von Sensirion) – ersetzt SPS30 und SVM40: Feinstaub und VOC Sensor

Temperatur und Feuchte werden im SEN55 mit gemessen.

Die Stromversorgung erfolgt über den USB Steckverbinder; auf der Unterseite ist eine Powerbank montiert, die einen autarken Betrieb über einige Tage ermöglicht.

Spannung: 5 V DC

Stromaufnahme typisch 200 mA

Daten-Zentrale

Als Daten-Zentrale dient ein Raspberry Pi mit entsprechender Software.



Abbildung 8: Raspberry Pi zur Datenaufnahme

Systemarchitektur betreffend Datenzentrale

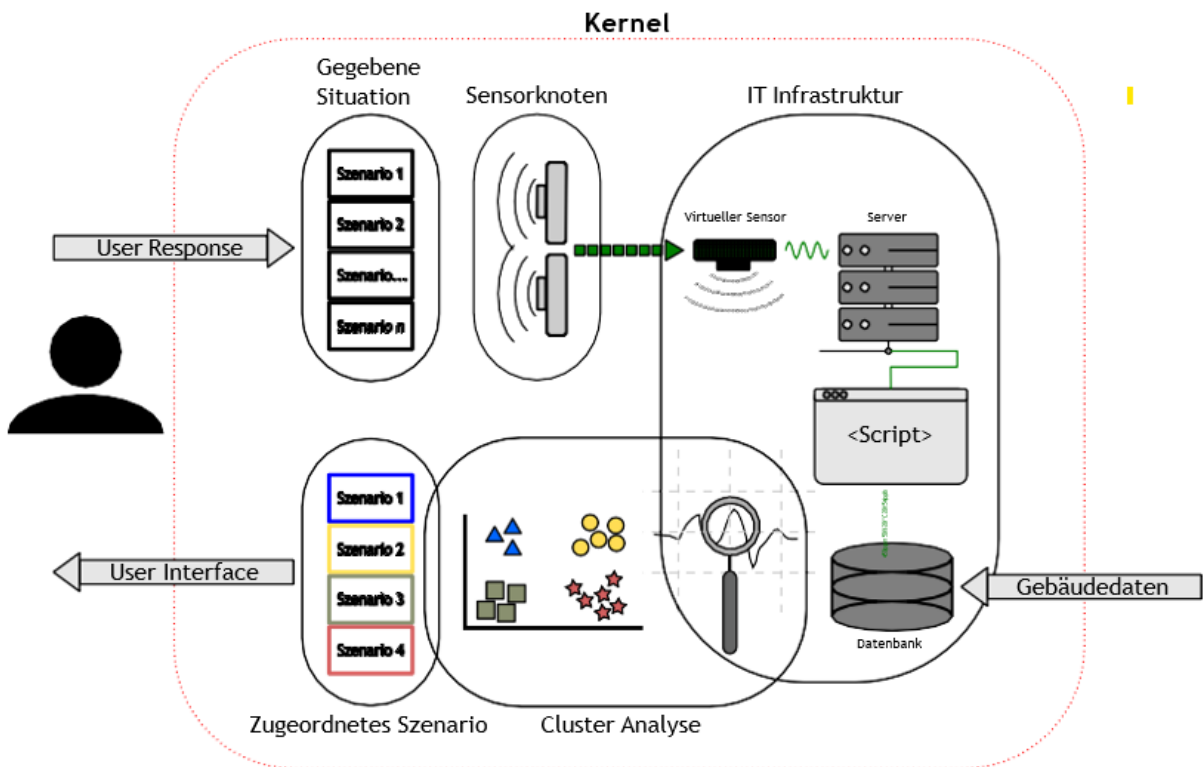


Abbildung 9: Schema der Architektur des Datenflusses auf dem Raspberry Pi

Folgende Services sind auf dem Raspberry Pi installiert:

WLAN Access Point

MQTT-Broker InfluxDB Host

Pythonskripte für erste Datenverarbeitung

SSH Zugriff

VNC Zugriff

TeamViewer Zugriff

E-Mail-Client - täglich Daten versenden

Kann via HTTP POST und REST API von Uni Münster Alarme in Simulationsapp auslösen

Nodered

Beschreibung des Datenflusses

Alle Sensorknoten in WLAN Reichweite sind mit dem WLAN des Raspberry Pi (kurz: Pi) verbunden.

Jeder Sensorknoten ist im MQTT Broker des Pi eingeloggt. Alle 10 Sekunden sendet jeder Sensorknoten ein Datentelegramm im json Format an den Broker.

Ein Python Script im Hintergrund wertet diese json Daten aus und sortiert die Messwerte, ergänzt um einen Zeitstempel (Unix) in eine influx Datenbank (DB) (→ MQTTInfluxDBBridge.py).

Ein weiteres Python Script greift auf die neuesten Werte in der DB zu und führt Auswerteschritte durch (→ Layer_One.py)

Die Auswertearchitektur wird in nächsten Abschnitt beschrieben.

Schnittstelle zum Helfer

Für diesen Teil des Projektes hat der Partner Universität Münster eine App erstellen lassen; Diese App für das Android Betriebssystem dient dem Partner Uni Münster zur Erprobung der Akzeptanz bei unterschiedlichem Design oder Meldehäufigkeit und vielen weiteren Parametern.

Diese App lässt sich zum Abschluss des Projekts bereits zur „regulären“ Alarmierung nutzen.

Hierfür ist eine REST API Schnittstelle anzusprechen, bei der als Parameter der Index eines Templates (hier stehen verschiedene Oberflächengestaltungen zur Verfügung).

Für das Teilprojekt der GTE, AP 3c, lässt sich die App auf zwei verschiedene Methoden ansprechen:

- Schnittstelle im Script „Layer_One.py“ (wird nicht weiter verfolgt)
- Schnittstelle in nodered (diese wird aktiv weiter genutzt).

Detaillierte Angaben zur technischen Ausgestaltung siehe Erläuterungen zu AP 5.

AP 4 Entwicklung von Auswertelgorithmen

Ziel: Erarbeitung von Algorithmen zur Zuordnung der Sensorsignalmuster auf ein Szenario-Cluster unter Angabe einer Brandwahrscheinlichkeit im Sinne einer Übereinstimmungsgüte.

„Basierend auf den in AP 3 entwickelten Melderknotten wird ein Algorithmus zur Angabe der Auftretenswahrscheinlichkeit eines Brandes, zur Alarmierungsklassifikation und zur Ableitung von „objektspezifischen“ sinnvollen Handlungsmaßnahmen erarbeitet. Ergebnisse aus den Arbeitspaket AP1 bei der Bewertung der Signale vor dem Hintergrund der spezifischen Szenarien sowie AP 2, wie beispielsweise die Nachweisstärke oder die Querempfindlichkeiten der eingesetzten Sensoren werden berücksichtigt.

Dieses AP4 wird in Kooperation insbesondere mit dem Partner OvGU bearbeitet.

Um hierzu Aussagen zu treffen, werden sowohl Fehler künstlich simuliert als auch Ergebnisse unterschiedlicher Sensorknotten und unterschiedlicher Testszenarien verglichen.

In Kooperation mit den Partnern vfdb und WWU leistet GTE Zuarbeit zur Fragestellung „Übergang von der technischen Messgröße zur Brandwahrscheinlichkeit und in eine menschlich zu interpretierende Größe“.

Datengewinnung

Eine erste zentrale Aufgabe, um die Erstellung von Auswertelgorithmen zu ermöglichen, ist die Gewinnung von Daten: Z. B. Testdaten, Trainingsdaten, Verifikationsdaten.

Dies ist iterativ in mehreren Stufen erfolgt:

- a) Test und Kalibrierung der Sensoren
- b) Erste Brandversuche im Brandlabor „ELBA“
- c) Zweite Brandversuche in der Fahrzeug-Halle der GTE
- d) Ausbreitungsversuche im Stadtschloss in Weimar

Die Erläuterung der im einzelnen durchgeführten Experimente ist in den folgenden Abschnitten a) bis d) zu finden:

a) AP 4 - a Test und Kalibrierung der Sensoren

Diese Versuchsreihe wurde im Bandlabor der GTE durchgeführt. Hier stehen mehrere Testschränke zur Verfügung, für BRAWA wurde über den Zeitraum eines halben Jahres einer dieser Schränke reserviert.



Abbildung 10: Testschrank (Nummer 2) der GTE für kleinskalige Brandtests; die Türen sind für das Foto geöffnet; Volumen 1 m³

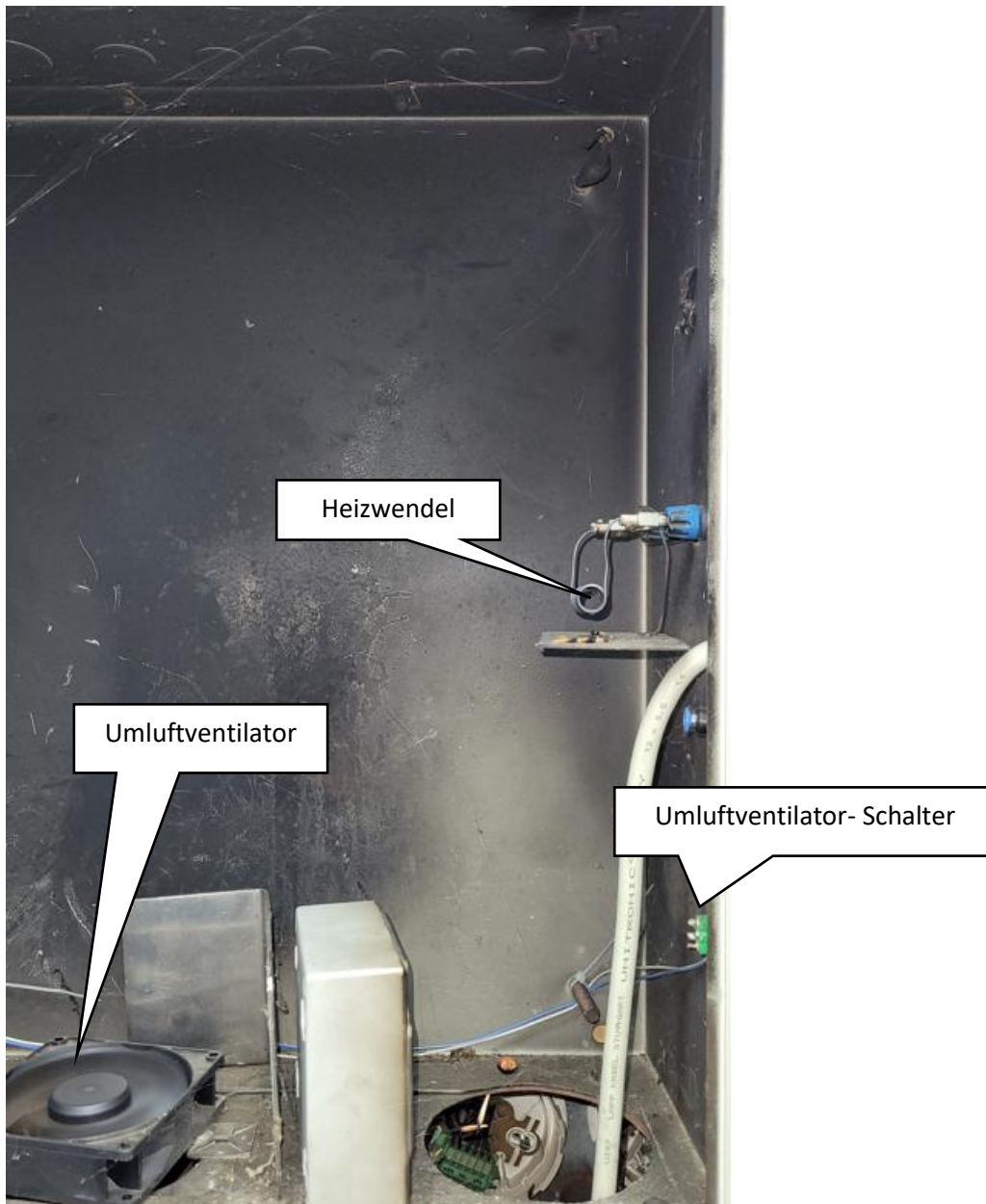


Abbildung 11: Testschrank – Detail: kleine Brandkammer

Die Funktionsweise dieses Schrankes kann kurz wie folgt beschrieben werden:

- In der oberen kleinen Kammer wird mit Hilfe einer elektrisch geheizten Drahtwendel eine Materialprobe in Brand gesetzt
- Mit Hilfe des oberen Umluftventilators (Zuschaltbar) werden die Brandgase und der Rauch in die unterhalb befindliche große Kammer geblasen.
- Zwei Umluft Ventilatoren in der unteren Kammer sorgen für eine gleichmäßige Verteilung
- Um einen Versuch zu beenden können die Brandgase / der Rauch in die Umgebung abgelassen werden – dies erfolgt über zuschaltbare Frischluft.
Hinweis: die umgesetzte Menge der Brandproben ist so gering, dass eine Abluft-Filterung nicht erforderlich und auch nicht sinnvoll ist.

In diesen Schrank werden alle jeweils zu testenden Sensoren bzw. Sensorknoten auf verschiedene Höhen positioniert, maximal 20 Sensorknoten.

Die Datenerfassung erfolgt über einen Raspberry Pi außerhalb des Schrankes. Die Datenübertragung erfolgt über WLAN – trotz der Abschirmung durch die Metall-Wände des Schrankes verbleibt eine ausreichende WLAN Signalstärke.

Es wurden eine Vielzahl von kleinskaligen Versuchen durchgeführt, im Folgenden erfolgt eine Auswahl:

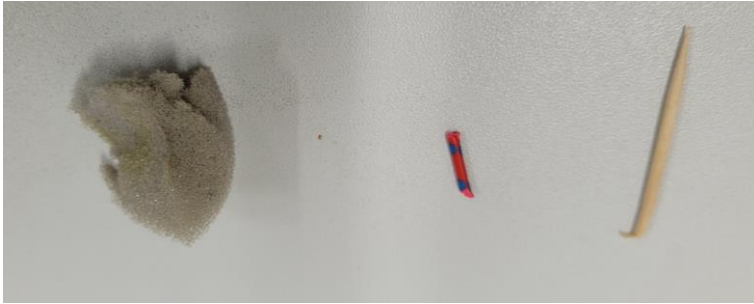


Abbildung 12: Kleinskalige Experimente in der Kammer: Brandlasten *Pu-Schaumstoff*, *Kabelisolierung 1 cm Länge, 0,5 mm² Litze, ½ Zahnstocher*

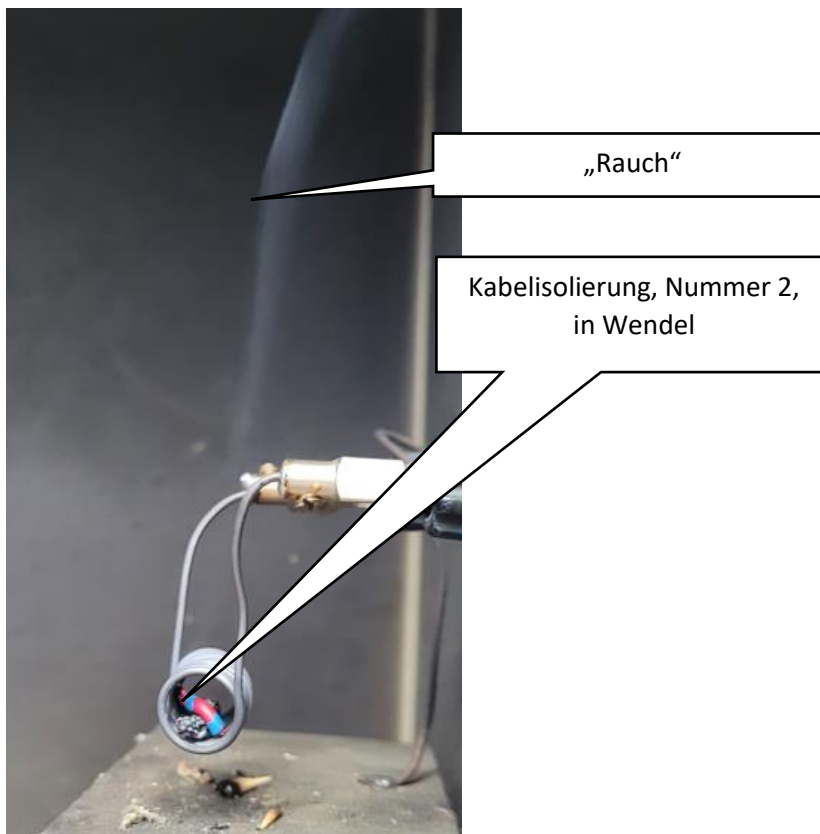
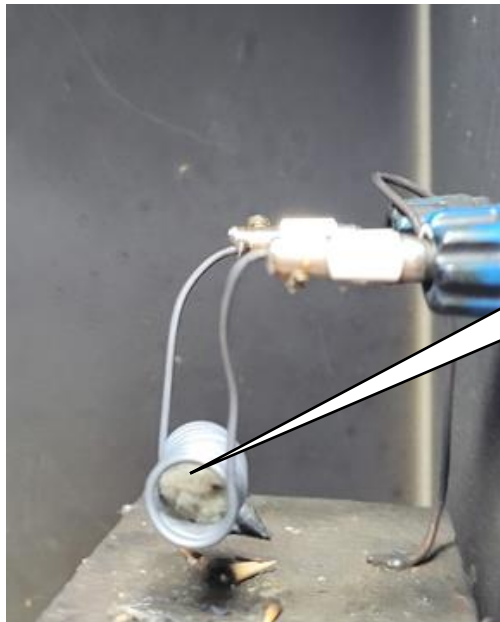
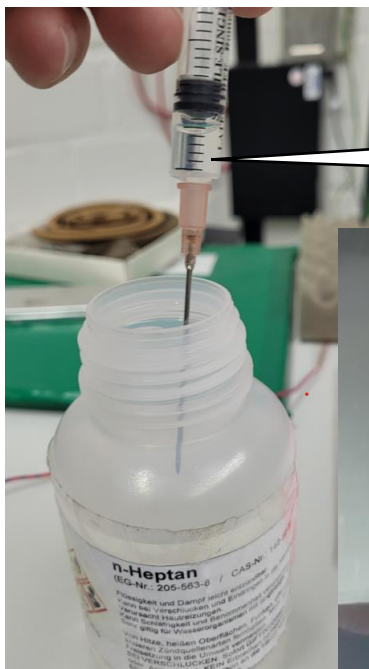


Abbildung 13: Kleinskalige Experimente in der Kammer: Verschmelzung der Kabelisolierung in der erhitzten Drahtwendel



Schaumstoff, Nummer 1, in
Wendel

Abbildung 14: Kleinskalige Experimente in der Kammer: Verschwelung des PU Schaumstoffes in der erhitzten Drahtwendel



n-Heptan 0,5 ml



n-Heptan Flamme durch die
Scheibe fotografiert

Abbildung 15: Kleinskalige Experimente in der Kammer: Flammenbrand von n-Heptan (0,5 ml Flüssigkeitsvolumen)



Abbildung 16: Kleinskalige Experimente in der Kammer: Brandlast „Lunte“ aus Baumwolle (Quelle: Projekt-Partner Hekatron); in Längen von je 1 cm

Zeit	Aktion	Kommentar
9:30		Beginn der Aufzeichnung
9:31		Freiheizen der Glühwendel
9:36	1 Holz	½ Zahnstocher in Heizwendel 10A
9:38	2 Holz	Zusätzlich ½ Zahnstocher ohne Zwischenlüften
9:40	3 Holz	Zusätzlich ½ Zahnstocher ohne Zwischenlüften
9:42	Ende	Lüften, kurzes Ausglühen Heizwendel
9:47	1 Kabel	1 cm Kabelisolierung 0,5 mm ² Kabel
9:50	2 Kabel	Zusätzlich 1 cm Kabelisolierung 0,5 mm ² Kabel ohne Zwischenlüften
9:53	3 Kabel	Zusätzlich 1 cm Kabelisolierung 0,5 mm ² Kabel ohne Zwischenlüften
9:56	Ende	Lüften, kurzes Ausglühen Heizwendel
9:59	1* Schaumstoff	1x1x1 cm ³ PU Schaumstoff in Heizwendel 10A, vergessen Lüftung auszuschalten
10:02	2* Schaumstoff	Zuzüglich 1x1x1 cm ³ PU Schaumstoff in Heizwendel 10A, vergessen Lüftung auszuschalten
10:04	Ende	Freiheizen Wendel und Lüften
10:05	1 Schaumstoff	1x1x1 cm ³ PU Schaumstoff in Heizwendel 10A
10:07	2 Schaumstoff	Zuzüglich 1x1x1 cm ³ PU Schaumstoff in Heizwendel 10A
10:09	Ende	Freiheizen Wendel und Lüften
10:12	1 Flamme	0,5 ml n-Heptan in Wanne, entflammt, abbrennen lassen
10:15	2 Flamme	Zuzüglich 0,5 ml n-Heptan in Wanne, entflammt, abbrennen lassen ohne Zwischenlüften
10:17	Ende	Lüften
10:21	Propanol	Einen getränkten Lappen 2 x 3 cm ² hineingelegt
10:24	Ende	Lüften

Abbildung 17: Tabelle einer Versuchsreihe, hier eine Auswahl aus Januar 2022, Diese Reihe unterschiedlicher Aktionen steht beispielhaft für insgesamt etwa 100 Versuchsreihen mit unterschiedlichen Materialien und Umgebungsbedingungen.

Insgesamt wurden folgende Materialien verschwelt, verbrannt oder unverbrannt eingesetzt:

Material	Schwelen, Freisetzung	Flammen,	Mengen / Konzentrationen
CO	Freisetzung		0, 10, 30, 60, 90 ppm
H2	Freisetzung		0, 10, 30, 60, 90 ppm
Ethanol (Spiritus)	Freisetzung		500, 1000 ppm
Ethanol (Spiritus)	Flamme		0,5, 1 ml
Ammoniak	Freisetzung		125, 250 ppm
n-Heptan	Freisetzung		500, 1000 ppm
n-Heptan	Flamme		0,5, 1 ml
Lunten	Schwelbrand		1, 2, 3, 4 cm
Holz (Zahnstocher)	Schwelbrand		¼, ½, ¾, 1 „Stück“
Kabelisolierung (von Litze)	Schwelbrand		1, 2, 3, 4 cm
Kerzen (Teelichter)	Flamme		1, 2, 3, 4 Stück

Abbildung 18: Tabelle der Übersicht aller freigesetzten Materialien in der ersten Versuchsphase

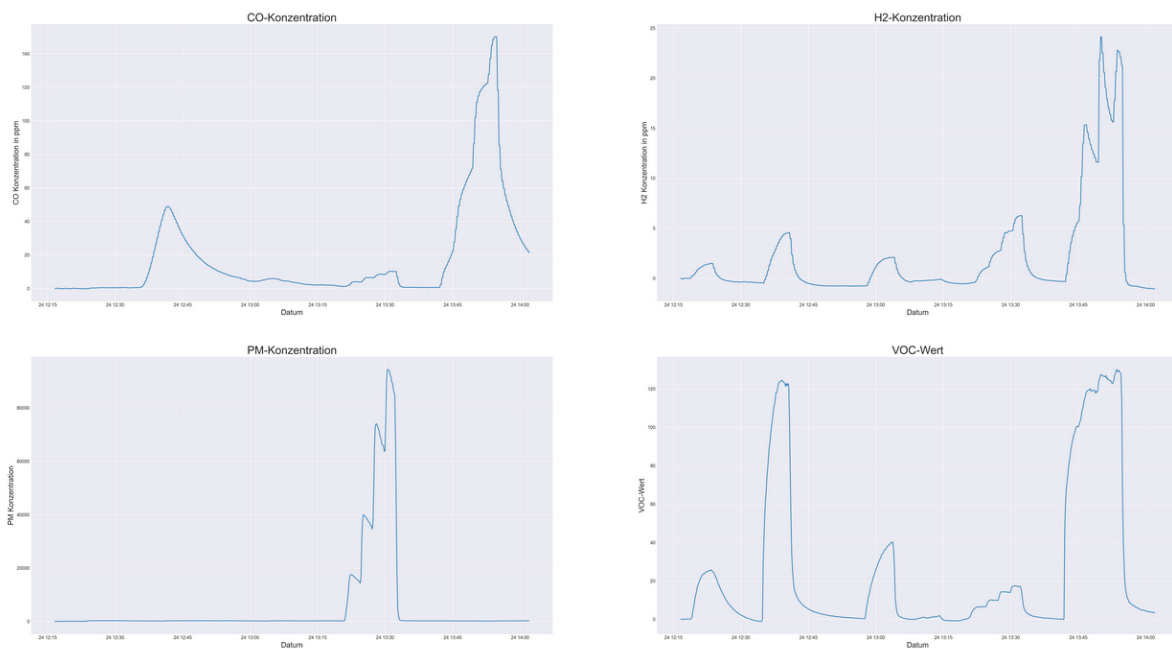


Abbildung 19: Resultierender Signalverlauf eines ausgewählten Sensorknotens mit folgenden Materialien: Heptan Dampf, 0,5 ml Flüssigkeit auf Zellstoff verdampft; ca. 500 ppm - Spiritus (Ethanol) Dampf, 0,5 ml Flüssigkeit auf Zellstoff verdampft, ca. 500 ppm - Ammoniak 25% Dampf, 0,5 ml Flüssigkeit auf Zellstoff verdampft, ca. 125 ppm - 4 x Lunte, je 8 mm Stücke, mit 10 A geheizter Spirale verschwelt, ohne Zwischenlüften, ergibt 4 Stufen

Die hier exemplarisch beschriebenen Messreihen haben zwei Zielsetzungen:

Erstens die Kalibrierung der einzelnen Sensoren: Für jeden Sensor in der Menge der Sensorknoten wurde ein „Kalibrierfaktor“ (besser: Justagefaktor) gefunden, so dass die Sensorsignale „bestmöglich“ deckungsgleich werden – dies gelingt nur eingeschränkt, da einzelne Sensoren gleichen Typs unterschiedliche Querempfindlichkeiten aufweisen und eine verschieden ausgeprägte Nichtlinearität zeigen.

Zweitens die Sammlung bzw. Dokumentation von Signalmustern: Für jedes dieser „Ereignisse“ (Material, Menge, Freisetzungs-Art) entsteht ein anders Multi-Signal-Muster. Dies war der Start für den Projekt-Partner Uni Magdeburg, Strategien für „Auswertung“ zu erarbeiten, mit dem Ziel einer Klassifikation bzw. Unterscheidung einzelner Ereignisse bzw. Brände.

Als Austauschplattform zur Dokumentation und Sammlung der Daten wurde eine umfassende „Wiki“ Seite eingerichtet und seitens aller Partner, insbesondere auch durch GTE, mit Daten und Infos gefüttert. (→ <https://wikis.ovgu.de/brawa/> - nicht öffentlich)

Ein unerwartetes Zusatzergebnis dieser Versuche war der Start der Diskussion im Projekt-Konsortium zum Thema „Daten Labeling“ – diese Diskussion wurde im Verlauf des Projekts weiter fortgesetzt und stellt einen zentralen Aspekt für die Gewinnung von Daten für „machine learning“, insbesondere der Partner Uni Magdeburg berücksichtigt diese Aspekte.

Üblicherweise werden „einfache“ Label verwendet, hier wären das Begriffe wie „Brand“ und „Störgröße“. Es zeigt sich aber, dass die Ergänzung um die Angabe des Materials, und der Menge, und des „Stadiums“ sinnvoll sind. „Stadium“ kann sowohl die Art der Freisetzung beinhalten (Ausgaben, Schwelen, Flammen) oder auch eine Art Fortschritt oder Größe des Brandes. Dieser Aspekt wird im weiteren Verlauf erneut aufgegriffen.

b) AP 4 - b Erste Brandversuche im Brandlabor „ELBA“

Die Versuche fanden statt vom 4. 7. 2022 bis 8. 7. 2022 im Brandlabor des Projektpartners Hekatron am Standort Sulzburg.

Der Raum bietet die Dimensionen des „Norm-Brandraums“ gemäß EN54/7. Zur Erleichterung der Versuchsführung bestehen Möglichkeiten zur automatischen Entlüftung nach dem jeweiligen Versuchsende. Der Raum ist klimatisiert und es steht die erforderliche Messtechnik für EN54 Tests zur Verfügung (Referenzmesstechnik für opt. Lichttrübung und Ionisations-Messkammer). Weiterhin kann mit Kameras der Versuch aufgezeichnet werden.

Die Projektpartner Siemens, OVGU-Magdeburg und BAM haben weitere Mess- und Analysentechnik ergänzt: FTIR Analytoren zur Messung von Brandgasen an 3 verschiedenen Positionen und Thermoelemente in unmittelbarer Umgebung des Brandortes.

Der Partner Hekatron hat zusätzlich eine größere Anzahl „Mehrkriterien Rauchmelder“ an „Ketten“ aufgehängt installiert, um orts aufgelöst die Rauchdichte, die Temperatur und die CO-Konzentration zu erfassen.

Die betreffenden Ergebnisse der Messtechnik der Partner werden in dem vorliegenden Abschlussbericht der GTE nicht dargestellt.

Seitens GTE wurden 9 Sensorknoten (zzgl. ein IR Thermopile-Array Sensorknoten in der Nähe des Brandes/Versuches auf dem Boden im Zentrum) installiert.

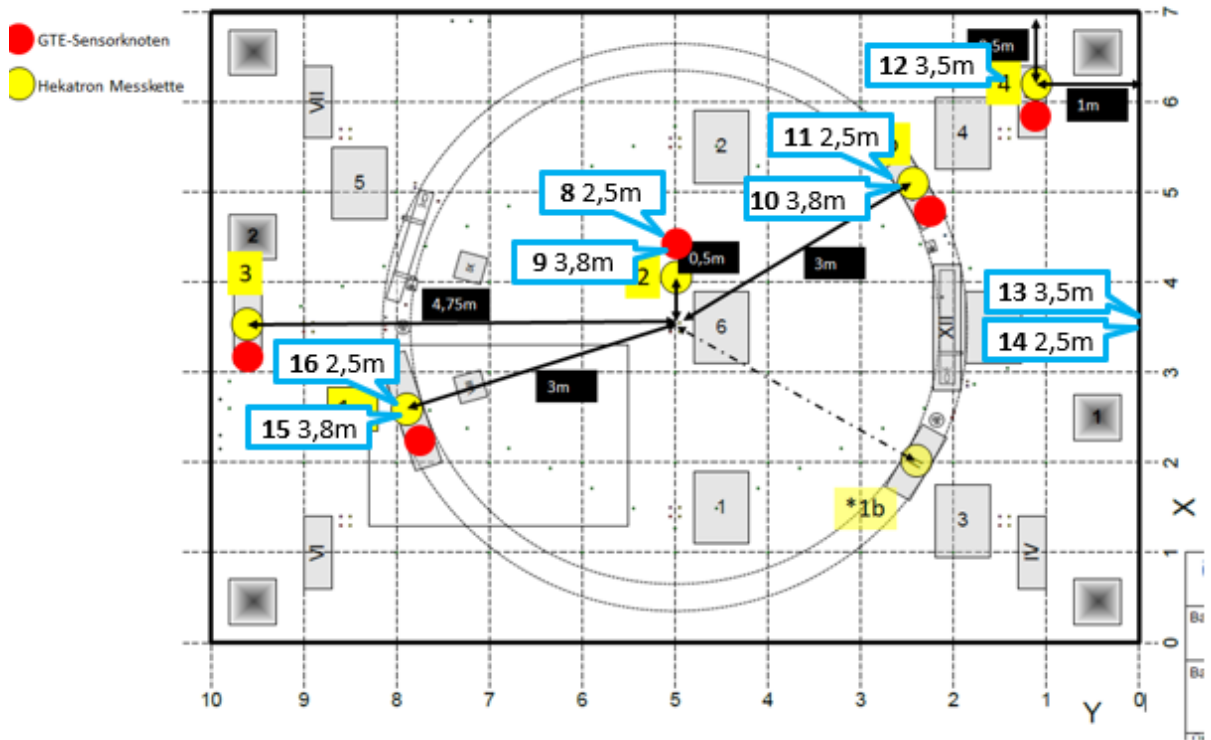


Abbildung 20: Anordnung der Messtechnik im Brandlabor ELBA; die roten Punkte markieren die ursprünglich geplanten Positionen der Sensorknoten der GTE; die blauen Legendensymbole beschreiben die tatsächlich realisierten Positionen, die Meterangaben benennen die Montagehöhe; die fett gedruckten Zahlen benennen die Nummer (= Adresse) der Sensorknoten.

Abbildung 21: Foto der Anordnung der Messtechnik im Brandlabor ELBA: Unten das „Podest“ für die Brandversuche, an der Decke montiert die Sensorketten – runde Melder von Hekatron, rechteckige Boxen die Sensorknoten der GTE.

Für die Versuche im Brandlabor wurden Sensorknoten der „Generation 1“ eingesetzt, die Stromversorgung erfolgt über Steckernetzteile, die Datenübertragung an einen Raspberry Pi im benachbarten Kontrollraum.

Ereignis	Datum	Nummer	Zündung	Ausgasen	Spray	Schwelen	Glimmen	Flamme	Ende	Lüften	Lüften beendet
Holz	4. 7. 22	E1	15:18	-	-	15:22	15:35	-	15:48	15:58	16:19
Kerzen	5. 7. 22	E1	9:12	9:30	-			9:40	9:49	9:58	10:18
Kabel	5. 7. 22	E1	10:51	10:55	-	-	-	-	11:21	11:26	11:46
Holz	5. 7. 22	E2	12:19	12:24	-	12:32	12:37	-	12:50	12:56	13:16
Ethanol	5. 7. 22	E1	14:14	14:30	-	-	-	-	14:30	14:34	14:54
Lunten	5. 7. 22	E1	15:27	-	-	-	15:28	-	16:02	16:05	16:25
Lunten	6. 7. 22	E2	10:00	-	-	-	10:02	-	10:32	10:36	10:56
Ethanol	6. 7. 22	E2	-	13:21	-	-	-	-	- fehlt	13:31	13:51
Ethanol	6. 7. 22	E3	-	14:06	-	-	-	-	14:24	14:31	14:51
Kerzen	6. 7. 22	E2	15:03	15:13	-	-	-	15:16	15:23	15:31	15:51
Kabel	7. 7. 22	E2	9:05	9:07	-	9:10	9:15	-	9:24	9:29	9:59
Holz	7. 7. 22	E3	10:25	10:27	-	10:32	10:36	-	10:52	10:57	11:17
Ethanol	7. 7. 22	E4	-	11:40	-	-	-	-	12:05	12:15	12:35
Kerzen	7. 7. 22	E3	13:11	13:22	-	-	-	13:25	13:31	13:38	13:58
Kabel	7. 7. 22	E3	14:18	14:21	-	14:22	14:24	14:26 Lichtbogen	14:27	14:38	14:58
Kabel	7. 7. 22	E4	15:23	15:25		15:27	15:31	-	15:47	15:52	16:12
Lunten	8. 7. 22	E3	8:50	-	-	-	8:51	-	9:30	9:35	9:55
Deo	8. 7. 22	E1	-	-	10:49	-	-	-	10:90	11:02	11:20
Haarspray	8. 7. 22	E1	-	-	11:25	-	-	-	11:26	11:39	11:55
Deo	8. 7. 22	E2	-	-	11:58	-	-	-	11:59	11:15	-

Abbildung 22: Tabelle aller Versuche, die im ELBA im Projekt BRAWA durchgeführt wurden. Die jeweiligen Versuche wurden mehrfach wiederholt, dies wird durch die „Nummer“ E“n“ gekennzeichnet.

Zielsetzung der Versuche:

- Datengewinnung als Datenbasis für Alarm-Auswerte Methoden (für den Partner OVGU Magdeburg)
- Gasmessung für die Toxizitäts-Bewertung (für den Partner BAM)
- Erste Testflüge der Drohne (des Partners Siemens)

Für die Datengewinnung sind die Daten in eine „große“ Tabelle zusammengestellt worden, die allen Projektpartnern zur Verfügung steht. Diese Tabelle enthält im 10 Sekunden Raster:

- Zeit
- Name des Sensorknotens (damit mittelbar auch die Position)
- Messwerte (alle Signale, die der Sensorknoten der Generation 1 liefert)
- Sowie eine Versuchsnummer und eine Versuchsbezeichnung (→ siehe folgende Erläuterung) und eine

Hier hat sich gezeigt, dass eine einfache Versuchsbezeichnung nicht ausreicht. Daher wurde ergänzt um eine Informations-Gruppe: „Ereignis“ „Fortschritt“ „Nummer“ und „Zusatzinfo“ (letztere Optional).

Als Einträge in „Fortschritt“ wurden gewählt: „Zündung“, „Ausgasen“, „Schwelen“, „Glimmen“, „Flamme“ und „Lichtbogen“. Für weitere Experimente können diese weiterhin ergänzt werden.

Versuchsteil „Holz“

Ein Holzbrettchen (Buche, $(6 \times 8 \times 0,9) \text{ cm}^3$) wird aus 5 cm Entfernung mit einem elektrischen Heizstrahler erhitzt und entzündet.



Abbildung 23: Foto des Holz-Schwelbrandversuches – bei Fortschritt „Glimmen“

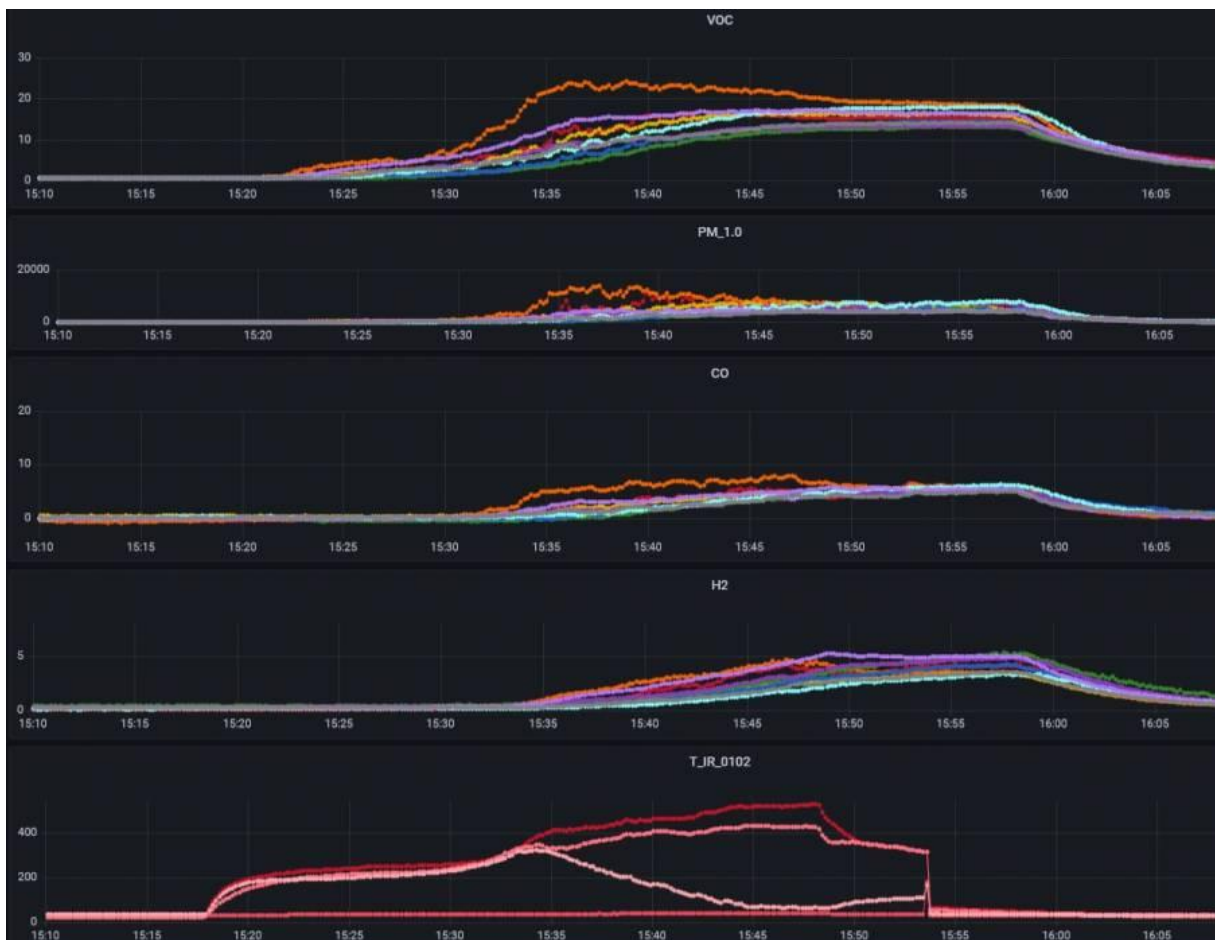


Abbildung 24: Signalverlauf während des Holz-Schwelbrandversuches „E1“ am 4. 7. – gezeigt ist beispielhaft nur eine Auswahl relevanter Signale.

Anhand der Signalverläufe während des Holz-Schwelbrandes lässt sich die Einteilung in Fortschritts-Phasen intuitiv darstellen: das untere Diagramm, welches die Oberflächentemperatur (erfasst mit dem IT Thermopile-Array des Sensorknotens mit der Adresse 102) zeigt bereits ab 15:18 Uhr den Zündungsvorgang mit dem Heizstrahler. Ab 16:22 ist Ausgasung zu beobachten (-- VOC Sensorsignal) (Um Missverständnissen vorzubeugen: In der zuvor gezeigten – Original – Tabelle der Versuchsabläufe ist diese Phase nur für den ersten Versuch Holz E1 noch nicht eingefügt worden). Ab 15:30 kommt erstmal Aerosol hinzu (Feinstaub Sensor Signal PM 1.0): die Schwelphase beginnt. Ab 15:35 tritt H2 auf, nun glimmt das Holz. Ab 15:48 verbleiben alle Signale konstant, der Versuch ist somit beendet und die Kenngrößen verbleiben im Raum. Um 15:58 wird dann gelüftet.

Diese Beobachtung zur Abfolge der Brandkenngrößen wird später im Bericht im Kontext mit der Auswertemethodik nochmals aufgegriffen.

Versuchsteil „Lunten“



Abbildung 25: Foto des Lunten-Schwelbrandversuches.

Der Lunten Schwelbrand Versuch läuft gleichmäßig ab, daher ist eine zeitliche Abfolge in Phasen unterschiedlichen Fortschritts hier nicht sinnvoll. Auch der Verlauf der Sensorsignal in der folgenden Abbildung bestätigt dies.

Da die Lunten von vorneherein bereits glimmen, ist dies aus das betreffende Fortschritts-Label.

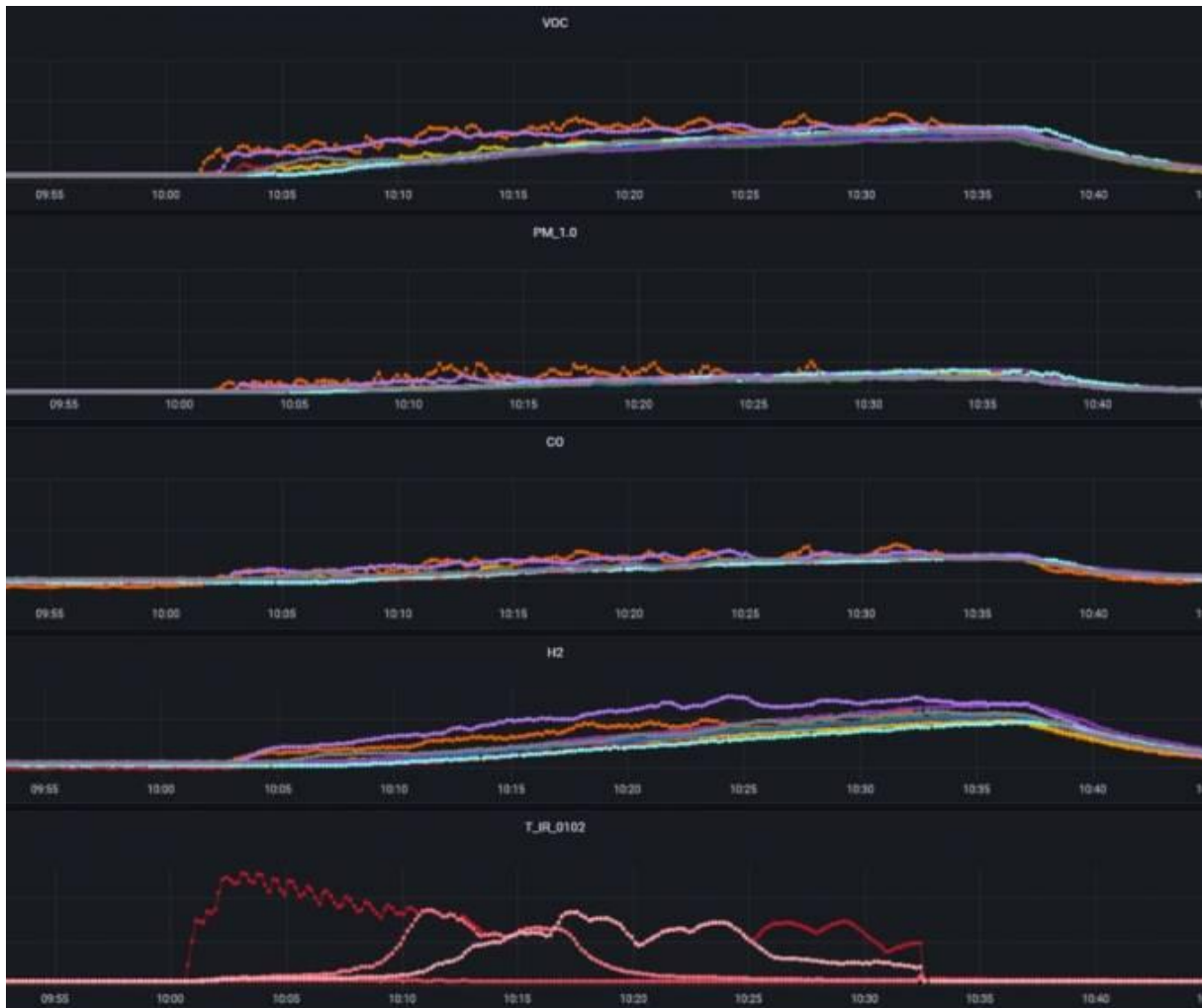


Abbildung 26: Signalverlauf während des Luntenschmelbrandversuches „E2“ am 6. 7. – gezeigt ist beispielhaft nur eine Auswahl relevanter Signale.

Versuchsteil „Luntenschmelbrand“



Abbildung 27: Foto des Kabelschmelbrandversuches nach Versuchsende: Zu erkennen ist die verschmolzene elektrische Isolierung des Kabels. Die Steinwolle im Untergrund dient der mechanischen Stabilisierung und der thermisch stabilen elektrischen Isolation nach unten.

Gezündet wurde der Kabel-Schmelband durch einen hohen Stromfluss von 100 A – eingestellt mit Hilfe eines Stelltrafos und nachgeschaltetem Hochstrom-Rinkern-Trafo. Der Strom wurde mit einem Zangenamperemeter kontrolliert. Verwendet wurde NHXMH 3×1,5 Installationsleitung der Firma Lapp Kabel, halogenfrei. Es wurden 40 cm Leitung beidseitig ca. 5 cm abgemantelt, ca. 10 mm abisoliert. Der Stromfluss erfolgt durch die braune Ader hin und die blaue Ader zurück. Beide Adern sind am Ende mit einer Lüsterklemme gebrückt. Die grün-gelbe Ader ist nicht angeschlossen.



Abbildung 28: Signalverlauf während des Kabel-Schmelbrandversuches „E2“ am 7. 7. – gezeigt ist beispielhaft nur eine Auswahl relevanter Signale

Versuchsteil „Kerzen“

4 Stück „handelsübliche“ Teelichter wurden berührend in eine kleine Wanne positioniert und angezündet. Diese Wanne wurde dann mit den permanent „bestimmungsgemäß“ brennenden Teelichtern durch eine geregelte Heizplatte auf 400°C gebracht, das dann überkochende Wachs entzündet sich zu einer gemeinsamen Flamme. Der Versuch ist beendet, wenn das Wachs komplett verbrannt ist.



Abbildung 29: Fotos des Kerzen Brandversuches, links während der Phase „Flamme“, rechts nach Versuchsende: Zu erkennen ist zunächst die Entflammung des heißen Wachses. Das rechte Bild zeigt die Reste der Alu-Teelichtergefäße in der Versuchswanne.

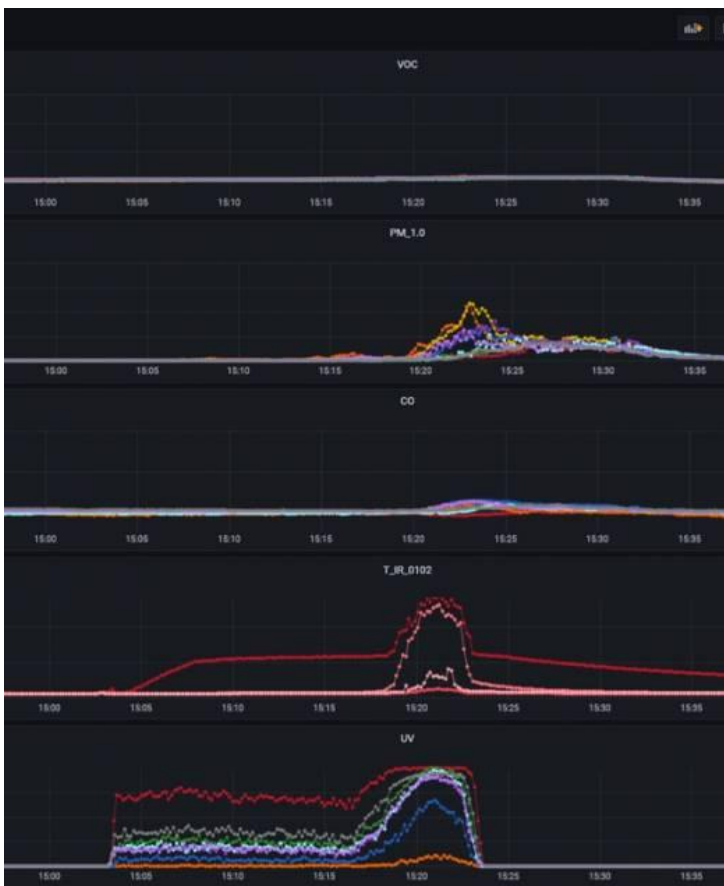


Abbildung 30: Signalverlauf während des Kerzen-Brandversuches „E2“ am 6. 7. – gezeigt ist beispielhaft nur eine Auswahl relevanter Signale

Die beiden Fortschritts-Phasen sind gut zu erkennen:

In der ersten Abschnitt (Fortschritt: „Zündung“) ist bei Abwesenheit von Aerosolen (PM 1.0) eine konstant erhöhte Oberflächentemperatur und ein konstantes UV-Flammenemissions-Niveau zu beobachten. In einem zweiten Abschnitt (Fortschritt „Flamme“) ist eine starkerhöhte IR und UV Strahlungsemission und auch Aerosol Freisetzung zu sehen.

Versuchsteile „Ethanol“ und „Spray“

Für diese Störgrößen Versuche wurde Ethanol (10 ml) in eine auf 50°C erwärmte Wanne gegeben; das so verdampfte Ethanol hat sich im Versuchsraum verteilt.

Im zweiten Störgrößen Versuch wurde Deo-Spray aus einer Sprühdose „händisch“ in die Mitte des Raumes für je 30 sec. versprüht. Einer der Inhaltsstoffe der verwendeten Deos ist ebenfalls Ethanol, dies wird auf sensorischer Seite vorrangig gesehen.

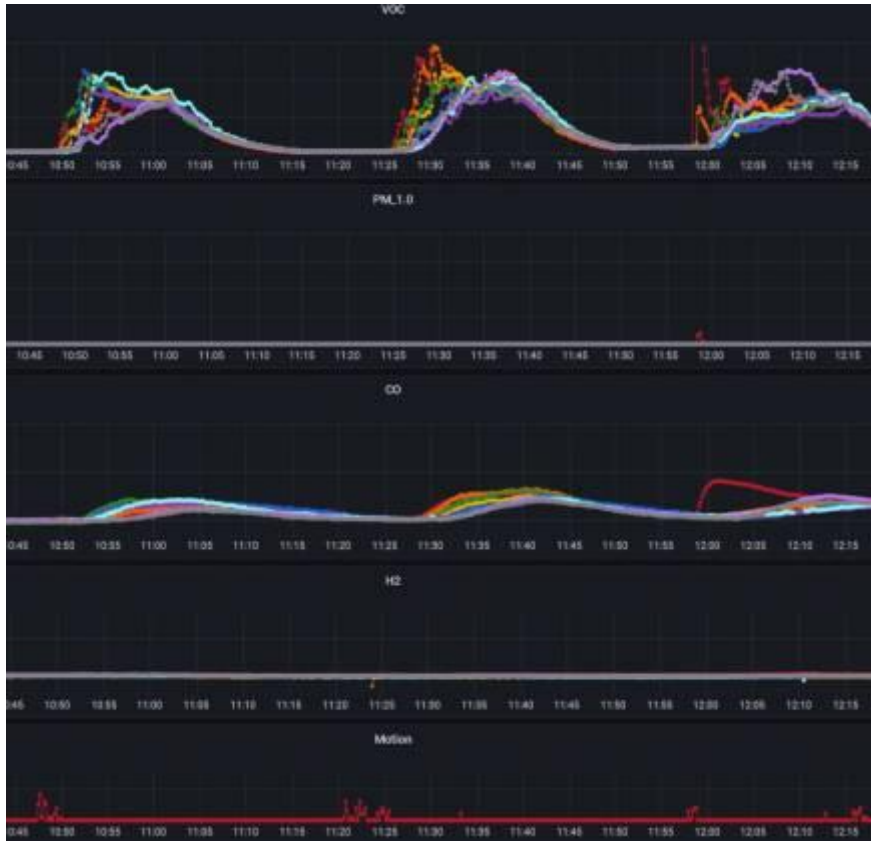


Abbildung 31: Signalverlauf während drei aufeinanderfolgender Freisetzungen von Deo Spray. – gezeigt ist beispielhaft nur eine Auswahl relevanter Signale.

Bei Ethanol oder Deo Freisetzung ist nur die Fortschritts Phase „Ausgasung“ anzuwenden.

Unerwartet war zunächst die Erkenntnis, dass der Aerosol Sensor nahezu nicht auf die Sprühdosen Aerosole reagiert. Für die Interpretation liegt nahe, dass die hier freigesetzten Aerosole schnell verdunsten und sich somit „auflösen“.

Weiterhin war unerwartet, dass der CO Sensor – verzögert – auf Ethanol Freisetzung reagiert. Zur Interpretation muss beachtet werden, dass elektrochemische CO Sensoren auf Ethanol mit einer hohen Querempfindlichkeit reagieren, die Hersteller dem aber entgegenwirken, in dem ein Filter, z. B. Aktivkohlefilter, eingesetzt wird. Dieser ist nach einigen Minuten „gesättigt“, Ethanol kann dann zu den reaktiven Elektroden gelangen. Bei höheren Konzentrationen ist dieser Vorgang beschleunigt, was beim dritten Versuch zu erkennen ist.

Das untere Teildiagramm zeigt das Signal des Bewegungsmelders „Motion“: Dieser zeigt die Anwesenheit des Menschen an, der die Sprühdose betätigt.

c) AP 4 - c Zweite Brandversuche in der Fahrzeug-Halle der GTE

Diese Versuche wurden zwischen 9. 7. und 13. 17. 7. 2023 in dem Teil der Halle durchgeführt, in dem normalerweise Fahrzeuge abgestellt werden.

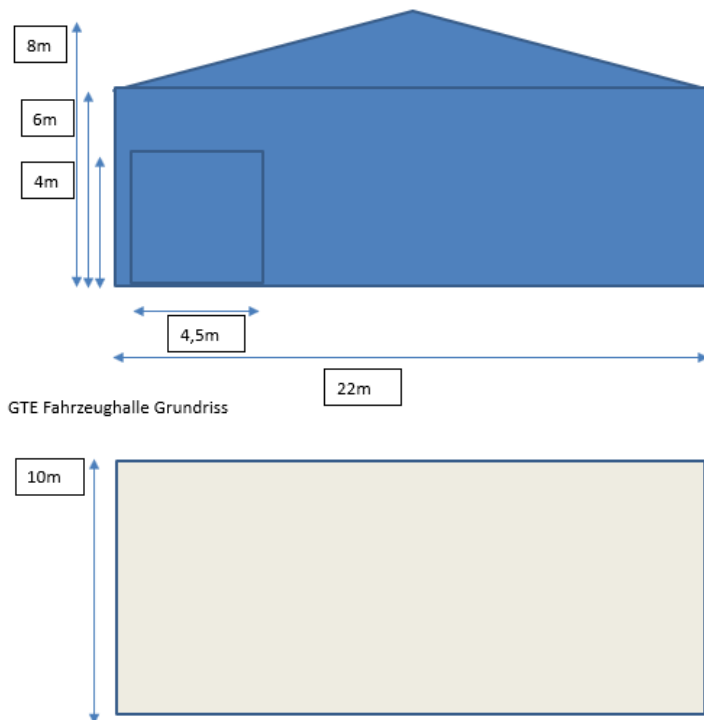


Abbildung 32: Abmessungen der Fahrzeughalle der GTE

Diese Halle kann über das Sektionaltor (Breite 4,5 m, Höhe 4 m) gelüftet werden; zusätzlich gibt es eine Zu und Abluft über Ventilatoren, die in der Außenwand verbaut sind. Die Lüftung über das geöffnete Tor, unterstützt von einem Standventilator ist dominant, und sorgte für eine Entlüftung (bzw. Signalmrückgang der Kenngrößen) innerhalb von etwa 5 Minuten.

Zum Einsatz kommen neben den Sensoren und der Messtechnik, wie sie im ELBA Brandraum von Hekatron eingesetzt worden (außer der Rauch-Referenzmesstechnik) zusätzlich auch weitere Sensorknoten. Inzwischen wurden Sensorknoten der Generationen 2 und 3 fertiggestellt. Somit stehen für diesen Versuch insgesamt 25 Sensorknoten zur Verfügung. 10 Stück (Gen. 3) werden über Powerbanks mit Energie versorgt. Die weiteren Sensorknoten der GTE erhalten aus Steckernetzteilen ihren Betriebsstrom.

Die Melder-Ketten, die seitens Hekatron im ELBA Raum installiert wurden, kamen hier erneut zum Einsatz.

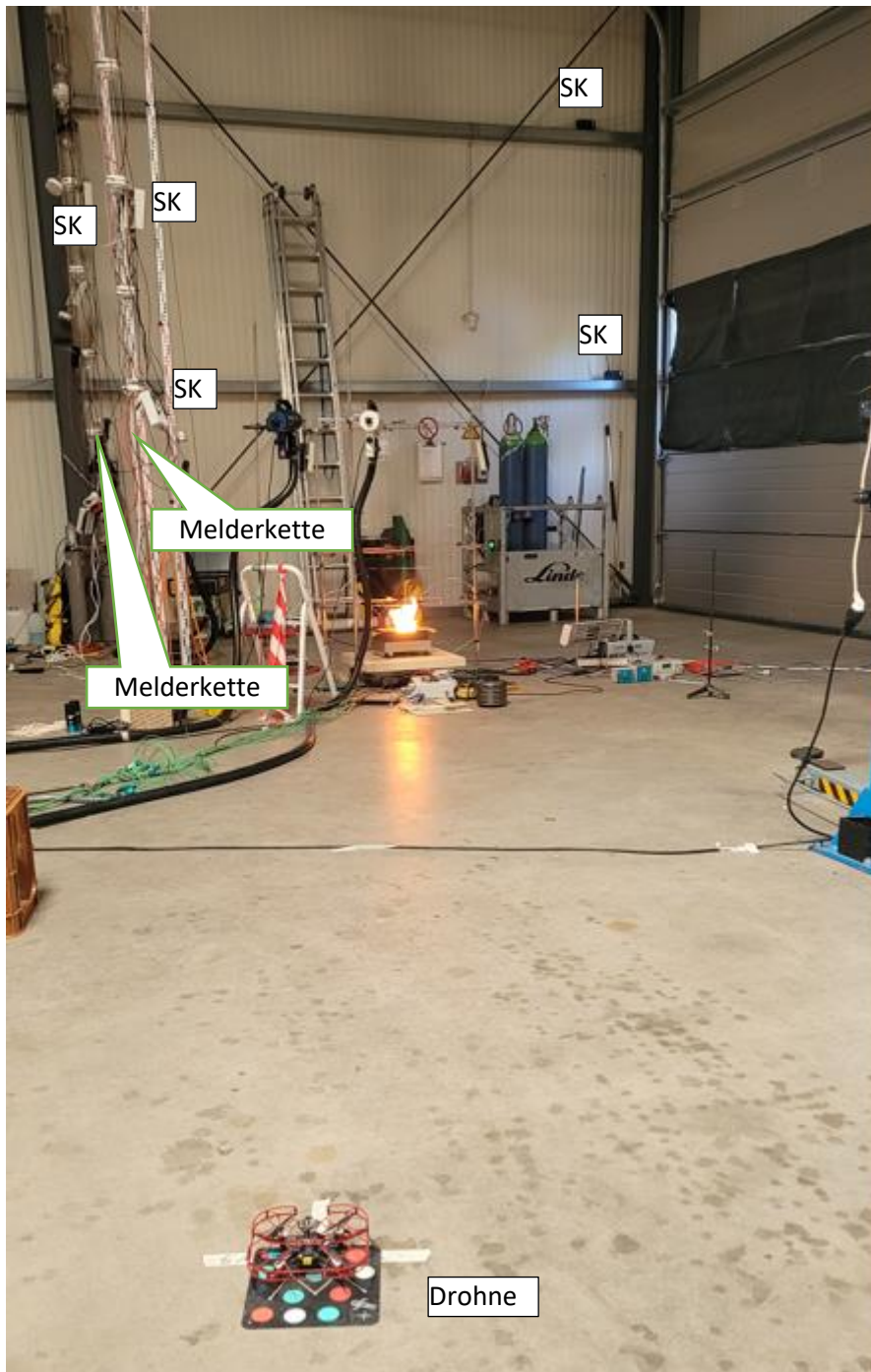


Abbildung 33: Brandversuch (hier: „Kerzen“) in der Fahrzeughalle der GTE – einige relevante Objekte im Sichtbereich des Fotos wurden beschriftet; viele weitere Sensorknoten und Sensorketten befinden sich rechts außerhalb des Bildes oder hinter der Kamera. Auf der rechten Seite ist das geschlossene Sektionaltor zu sehen, die Fenster wurden verdunkelt, um die intensive Sonneneinstrahlung zu unterdrücken.

In dieser Halle wurden während der Versuchswoche eine Vielzahl von Versuchen durchgeführt, diese werden in folgender Tabelle aufgelistet.

Abbildung 34: (auf den nächsten zwei Seiten) Liste der Versuche in der GTE Fahrzeughalle – diese Liste wurde für diese Darstellung hier vereinfachend überarbeitet:

Versuch	Zeiten	Durchführung
09.07.2023		
Ethanol_1 (Ethanol)	Start: 15:58:10 Ende: 16:24:00 Lüften: 16:24:20	- Temperatur der Heizplatte: 50 °C - Abbruchkriterium: Brandgut vollst. verdampft
10.07.2023		
Nebel_1 (Drohnenflug)	Start: 11:16:32 Ende: 11:26:32 Lüften: 11:26:32	- Abbruchkriterium: bis Nebel verflogen ist
Lunte_1	Start: 11:55:30 Ende: 12:34:50 Lüften: 12:34:50	- Zündquelle: Glühwendel, 15 A, 0 cm Abstand - Brandgut: Ferl Erlen, 8x 90 cm, Anordnung: Kamin, - - Abbruchkriterium: 30 min Versuchsdauer
Deo_1 (Drohnenflug)	Start: 13:23:37 Ende: 13:33:49 Lüften: 13:33:49	
Holz_1 (Heizstrahler)	Start: 14:36:34 Ende: 15:01:36 Lüften: 15:02:22	- Art Heizstrahler: Elektro/Gas - Abstand Probe: 5 cm/1 cm - Holzart: Buche
CO_1 (Drohnenflug)	Start: 17:06:55 Lüften: 17:23:20	- Flasche vollständig ausgeströmt bei konstantem Flow 1 l/min (12 Liter Flasche > gesamte Ausströmzeit 12 min)
11.07.2023		
Abgas_1	Start: 08:15:30 Ende: 08:16:00 Lüften: 08:30:40	- 15 min Versuchsdauer - Old-Timer läuft 30 Sekunden in der Mitte der Halle (Stoßrichtung Quelle)
Kerze_2	Start: 10:39:36 Lüften: 10:58	- mit Heizplatte - max. Temperatur Heizplatte: 375 °C - Anzahl Teelichter: 4
Deo_2	Start: 12:02:10 Ende: 12:12 Lüften: 12:12	- 15 Sekunden jeweils in zwei horizontale Richtungen gesprüht - 15 Sekunden vertikal gesprüht - 10 min Versuchsdauer
Holz_2 (Heizstrahler)	Start: 13:04:17 Ende: 13:34 Lüften: 13:41	- Art Heizstrahler: Elektro - Abstand Probe: 5 cm/1 cm - Holzart: Buche - Abbruchkriterium: 30 min Versuchsdauer
Kabel_2	Start: 14:17:15 Ende: 14:22:48 Lüften: 14:23:00	- Überlaststrom: 150 A - Kabeltyp, -länge: wie ELBA - zusätzliche Wärmedämmung Kabel: ja
Kabel_3	Start: 15:22:39 Lüften: 15:30	- Überlaststrom 120 A - Kabeltyp, -länge: wie ELBA
Kerze_3	Start: 16:07:44 Lüften: 16:36	- mit Heizplatte - max. Temperatur Heizplatte: 375 °C - Anzahl Teelichter: 4
Nebel_2	Start: 17:11:00 Ende: 17:20 Lüften: 17:21	- 5 Sekunden langer Stoßimpuls
CO_2	Start: 17:34:18 Ende: 17:52:00 Lüften: 17:55:00	- CO 99,9% Flasche vollständig ausgeströmt bei konstantem Flow 1 l/min (12 Liter Flasche > gesamte Ausströmzeit 12 min)
12.07.2023		
- CO-Werte von SK005 heute wieder plausibel, aber diesen SK nicht in die Auswertung einbeziehen		

Versuch	Zeiten	Durchführung
- gegen 8 Uhr Lüften: Feinstaub aufgestiegen - neuer R ₃ SK wurde ?? gewechselt > Ausschläge in Messwerten durch Wiedereinschalten		
Lunte_2	Start: 08:37:09 Ende: 09:08 Lüften: 09:10	- Zündquelle: Heizwendel, 12 A, 0 cm Abstand - Brandgut: Ferl Erlen, 8x 90 cm, Anordnung: Kamin, - Abbruchkriterium: 30 min Versuchsdauer
Deo_3	Start: 09:38:30 Ende: 09:48	- 15 Sekunden jeweils in zwei horizontale Richtungen gesprüht - 15 Sekunden vertikal gesprüht
Holz_3 (Heizstrahler)	Start: 10:22:07 Ende: 10:52 Lüften: 10:53	- Art Heizstrahler: Elektro - Abstand Probe: 5 cm/1 cm - Holzart: Buche
Ethanol_2	Start: 11:50:30 Ende: 12:10 Lüften: 12:13	- 10 ml bei 50 °C verdampft
Kerze_4	Start: 13:18:44 Lüften: 13:44	- Abbruchkriterium: Brandgut vollständig verbrannt
Holz_Labor_1	Start: 14:25:29 Lüften: 15: ?	- Laborheizer auf 1/2 Leistung (Max. Leistung 250 W) - Buchenholz wie bei Heizstrahlerversuch aufgelegt, Abstand zu Heizelement 1 cm
Kabel_4	Start: 15:48:50 Ende: 15:08 Lüften: 15:08	- Überlaststrom 120 A - Kabeltyp, -länge: wie ELBA - zusätzliche Wärmedämmung Kabel: ja
Holz_Labor_2	Start: 17:02:55 Lüften: 17:36:00	- wie Holz_Labor_1
13.07.2023		
Abgas_2	Start: 08:17:17 Lüften: 08:27	- Opel Zafira - 30 Sekunden Motor laufen lassen
Holz_Labor_3	Start: 09:12:40 Lüften: 09:50	- Laborheizer auf Leistungsstufe - Abbruchkriterium: 30 min Versuchsdauer
Abgas_3	Start: 10:15:25 Lüften: 10:25:30	- Oldtimer - 30 Sekunden
Lunte_3	Start: 10:47:43 Ende: 11:17:43 Lüften: 10:18:35	- Abbruchkriterium: 30 min Versuchsdauer
Holz_Labor_4	Start: 11:58:30 Lüften: 12:30	- Buchenholz, 8 x 6 x 2 cm - 67.7 g = m _{aus}
Schweißen_1	Start 1: 13:20:10 Start 2: 12:22:30 Start 3: 13:24:50 Lüften: 13:28:00	- 3x 20 Sekunden geschweißt - beim 3. Durchgang kam die Sicherung, etwas kürzer als 30 Sekunden
Trennschleifen_1	Start 1: 13:38:00 Start 2: 13:39:40 Start 3: 13:41:20 Lüften: 13:45:36	- 3 Versuche
Laubbläser_1	Start: 14:02:09 Lüften: 14:08	- nachgeschaltet Besen + Ventilator (ohne Lüften)
Besen_1	Start 1: 14:09:12 Start 2: 14:11:12	- 2x 30 Sekunden Fegen, Staub aufwirbelnd

Im Anschluss an die Durchführung dieser Versuche lag eine Datei aller Sensorsignale im 10 Sekunden Raster vor. Diese Datei wurde händisch gelabelt – hierfür wurden die

- Nummern des Versuches (E“n“)
- Namen („Ereignis“)
- Und das Stadium („Fortschritt“)

eingetragen.

Eine Besonderheit stellt die z. T. längere Verzögerung dar, denn bei einigen Versuchen benötigten Brandkenngrößen etliche Minuten, um beim „nächsten“ Sensorknoten anzukommen.

Daher hatte die Person während des Vorgangs des „labelns“ versucht, einen Kompromiss einzugehen: Das Label eines Ereignisses oder Fortschrittes wurde erst dann vergeben, wenn das Signalmuster dieser Situation auch entsprochen hat.

Diese Methode wurde im Konsortium kontrovers diskutiert, trifft jedoch auf eine generelle Fragestellung: wie geht man mit Daten um, die Trainingsdaten für machine learning werden, die jedoch nicht eindeutig, sondern mehrdeutig sind. Hier ist eine Vorauswahl zu treffen – Diese Fragestellung konnte und sollte jedoch nicht im Rahmen des Projektes BRAWA geklärt werden.

d) AP 4 - d Ausbreitungsversuche im Stadtschloss in Weimar

Diese Versuche sollten dazu dienen, für den Partner BAM Daten zu liefern, wie sich Gase im Bereich eines „alten“ natürlich belüfteten Gebäudeteils ausbreiten. Ausgewählt wurde der Gebäudeteil „Dachboden“ eines Teils des Stadtschlusses in Weimar.

Für diesen Versuch hat GTE 10 Stück Sensorknoten der 3. Generation sowie 5 Sensorknoten der ersten Generation zur Verfügung gestellt. Diese wurden jeweils Akku (Powerbank) gepuffert Energie-versorgt.

Während der Freisetzungsversuche eines Gases, hier wurde dem Konsortium eine Reihe von Experimenten mit Ethanol erlaubt, wurden die Sensorsignale insbesondere der VOC-Sensoren aufgenommen, die betreffende Datei im 10 Sekunden Raster wurde der BAM als Referenz zum Abgleich mit Ausbreitungssimulationen übermittelt.

Auswertemethoden

Federführend in diesem Teilprojekt war die OVGU Magdeburg. Daher wird hier zusammenfassend auf folgende Teilaspekte eingegangen:

- Übersicht der Systemarchitektur
- Abschätzung der Klassifizierungs-Möglichkeit
- Vorschlag für ein Regelbasiertes System

Systemarchitektur

Folgende Grafik verdeutlicht ein Zusammenspiel verschiedener Auswerte-Blöcke, um zu einer qualifizierten Information an den Nutzer zu gelangen:

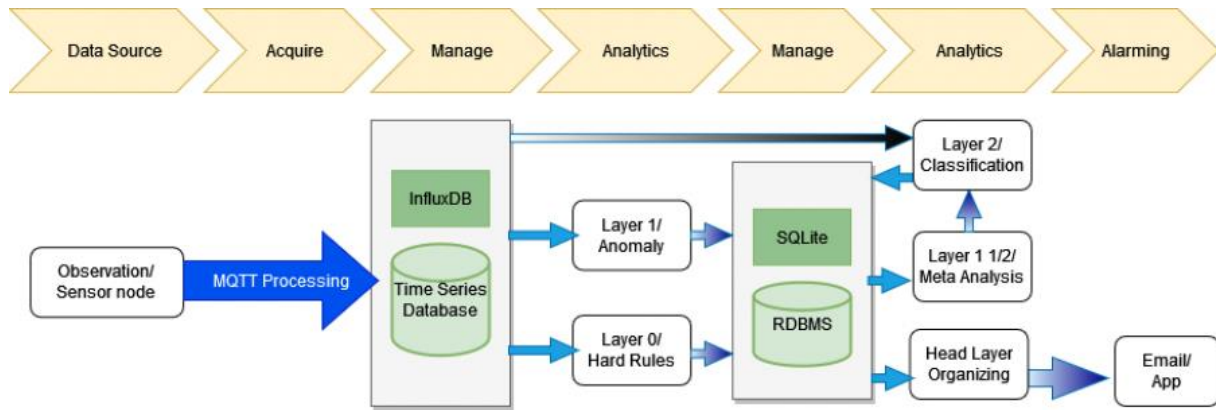


Abbildung 35: Schema der Architektur des auswertenden Systems.

Nähere Erläuterung: (von links nach rechts)

Die Sensordaten werden via MQTT Protokoll an eine Zeitreihendatenbank (hier InfluxDB) gegeben. Auf diese Datenbank greift in einer untersten Ebene (Layer 0) ein Auswerteblock zu, der „harte Regeln“ verwendet. Diese Regeln können und werden im ersten Schritt durch Fachleute erstellt.

In einer weiteren Ebene (Layer 1) werden die Daten in einen Anomalie-erkennenden Block gefüttert. Dieser wertet zum Einen die Daten aus, um das Vorliegen einer „Anomalie“ zu erkennen und weiterzuleiten, zum Anderen werden die Daten verwendet, um den Anomalie-Erkennungs-Algorithmus permanent weiter zu trainieren.

Die Ergebnisse der Regelauswertung und der Anomalieerkennung werden in eine weitere (relationale) Datenbank gegeben – auf diese greift eine weitere Ebene zu: Layer 2, mit der Aufgabe, eine Klassifizierung durchzuführen. Zur Klassifizierung werden verschiedene Methoden verwendet – hierzu gehören u. A. KNN, Random Forest oder Decision Tree. Diese Klassifizierer werden allerdings nur aktiviert, wenn eine Regel zutrifft oder eine Anomalie erkannt wurde. Die Klassifikatoren müssen allerdings auch auf die Sensordaten aus der Zeitreihendatenbank zugreifen.

Als Ergebnis stehen Klassenzuordnungen zur Verfügung.

Eine weitere Ebene: „Head Layer“ entscheidet schließlich, ob, wann und welche Meldung an den Nutzer gegeben werden soll. Hierzu werden zusätzliche Parameter verwendet, z. B. „wie sicher“ ist eine Klassifizierung, „wie lange“ liegt ein Klassifikationsergebnis ununterbrochen vor uns „stimmen verschiedene Klassifikator-Ergebnisse überein“?

Abschätzung der Klassifizierbarkeit

Diese Arbeiten betreffen die Auslegung der Auswerteblocke: Auf welche Labels lässt sich eine anwendbare Klassifikation trainieren? Folgendes Bild zeigt zunächst einmal die Rohdaten einzelner Sensoren, hier als Auswahl die Signale des VOC Sensors und des Aerosol- (Staub-) Sensors:

- Alle Versuche im Brandlabor ELBA zusammenfassend
- Alle Stadien eines Versuches umfassend
- Alle Sensorknoten umfassend

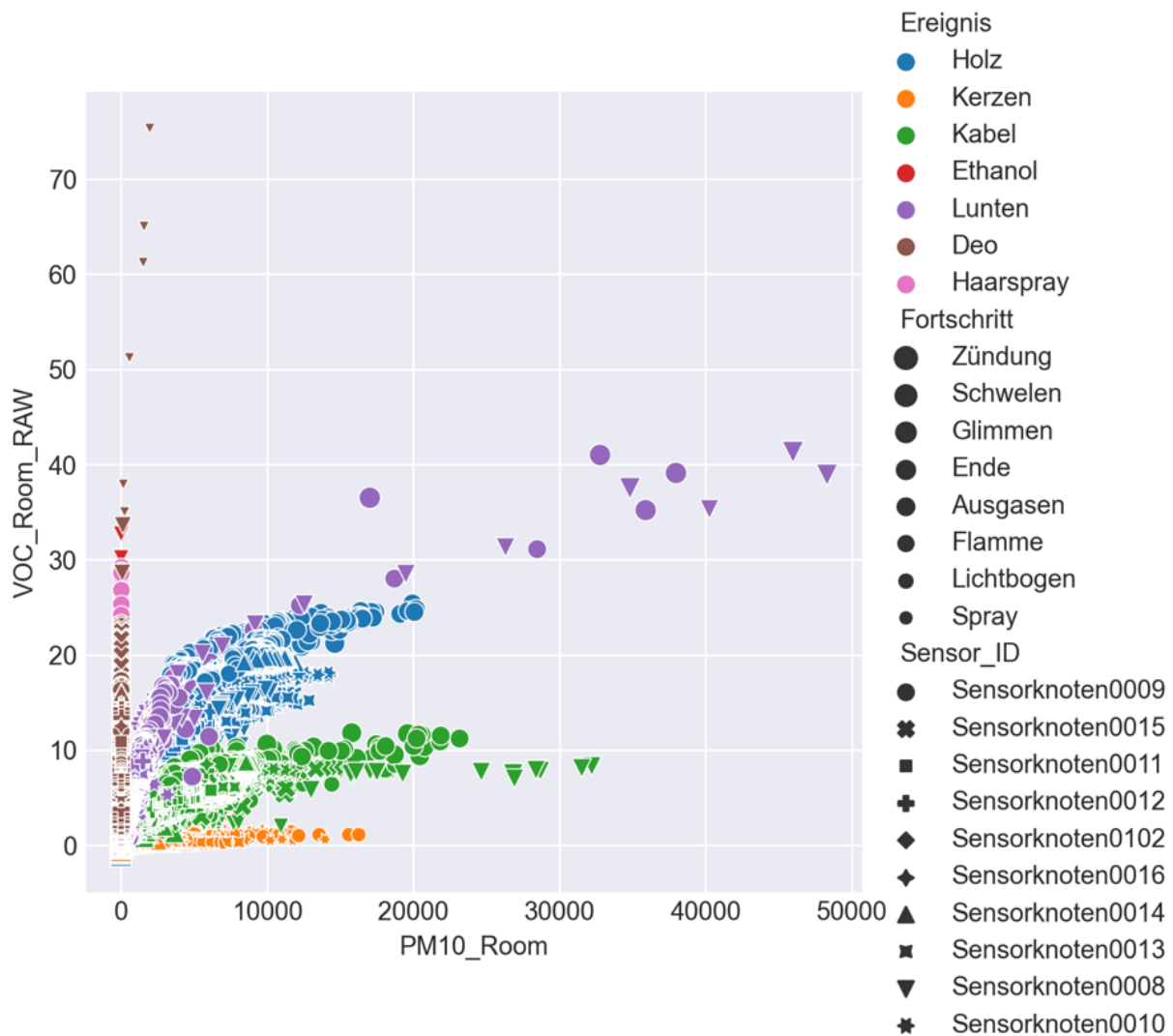


Abbildung 36: Beispiel eines Verhältnisplots der VOC und Aerosol Signale aller ELBA Versuche; verschiedene Farben, Größen und Symbole der Signalpunkte bezeichnen mögliche Labels

Es erscheint intuitiv schwierig, eine allgemeingültige Methode zu finden, welche die Art des Ereignisses und den Fortschritt ungeachtet der Sensorposition zu finden.

Daher wurden zunächst Datenmengen eingeschränkt – Betrachtung nur für „eine ausgewählte Position“, Betrachtung „nur für einen bestimmten Fortschritt“ etc.

Folgende Abbildung zeigt beispielhaft ein Zwischenergebnis der OVGU Magdeburg – Nach Anwendung der Hauptachsentransformation aller Sensorsignale für nur einen Sensorknoten und nur für Fortschritt „hohe Signalhöhen“ ist eine Klassifikation sofort ersichtlich.

Für eine tiefere Erläuterung wird auf den Bericht der OVGU verwiesen.

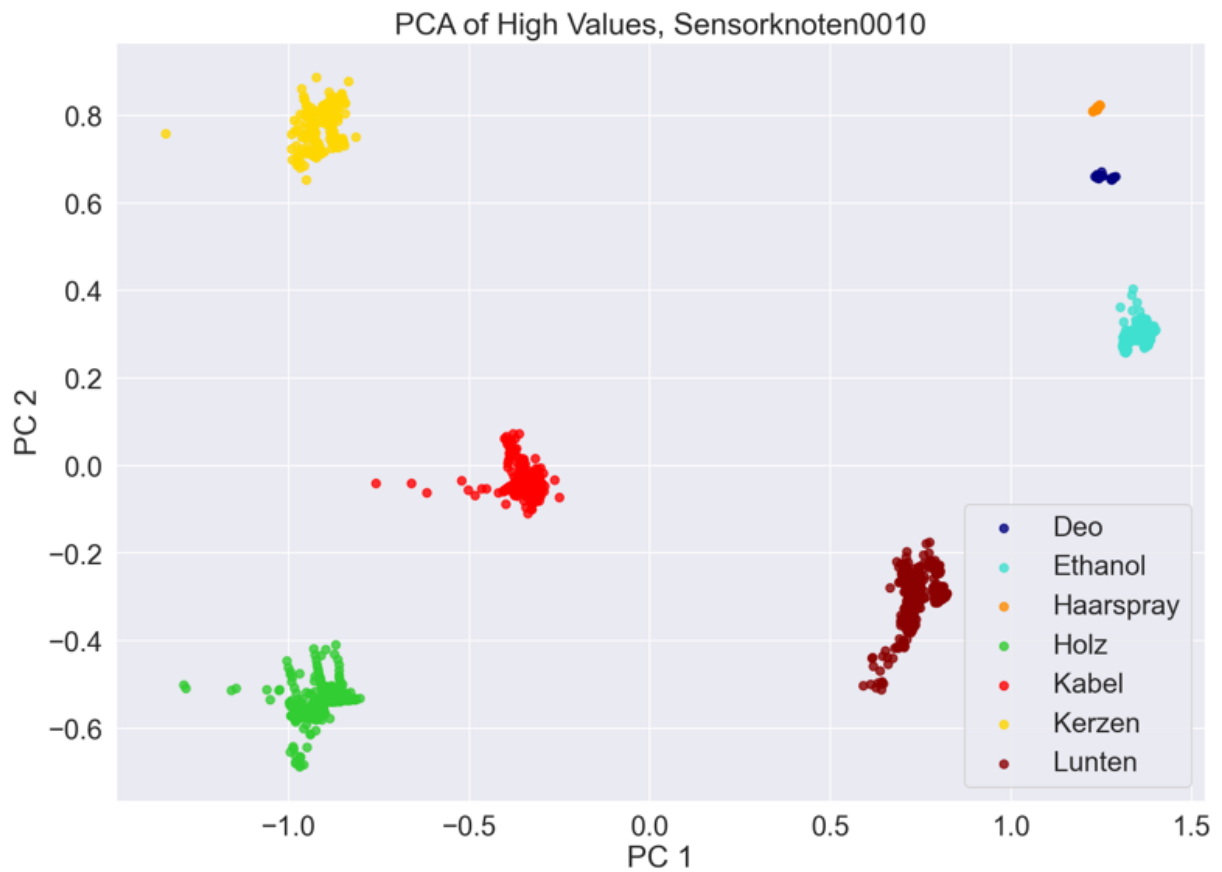


Abbildung 37: Beispiel eines Hauptachsentransformations-plots auf der Grundlage aller Signale aller ELBA Versuche eines Sensorknotens – nur Signale mit hohen Signalpegeln verwendet.

AP 5 Alarmierungsnetzwerk

Ziel: Kooperation bei der Erarbeitung der Schnittstelle zu einem Netzwerk zur Alarmierung der Brandschutz-Ersthelfer.

„Die Arbeiten dieses APs werden von GTE im Rahmen von Zuarbeit und Kooperation durchgeführt: Die Messdaten des neuen Brandmeldesystems (AP 3) sollen nach der Dateninterpretation (AP 4) den Brandschutzersthelfern zur Verfügung gestellt werden. Bei der Erstellung des Alarmierungsnetzwerks, das die Schnittstelle des Brandmeldesystems anspricht und Daten wie die Brandwahrscheinlichkeit und einen möglichen zeitlichen und räumlichen Brandfortschritt berücksichtigt und diese auf eine Demonstrations-App, die im Endstadium auf den Mobiltelefonen der Brandschutzersthelfer installiert ist, überträgt, unterstützt GTE: Die Schnittstelle wird beschrieben und erprobt. Die übertragenen Informationen werden beschrieben und in der Kooperation iterativ ergänzt oder optimiert.“

Technische Realisierung der Ansteuerung zur App

Als Plattform wurde „nodered“² gewählt. In Nodered besteht Zugriff auf diverse Schnittstellen, a. A. MQTT, dieses Protokoll wurde als Kommunikationsprotokoll innerhalb des BRAWA Systems der GTE gewählt. Weiterhin ermöglicht nodered verschiedene Auswertemethoden und bietet die gängigen Schnittstellen „ins Internet“: den Knoten „http“. Die folgenden drei Abbildungen erläutern den Vorgang, einen Alarm in die App abzusetzen.

Folgende Abb. (Abbildung 38) zeigt einen Ausschnitt der nodered Oberfläche, in dem die Ansteuerung der App umgesetzt ist.

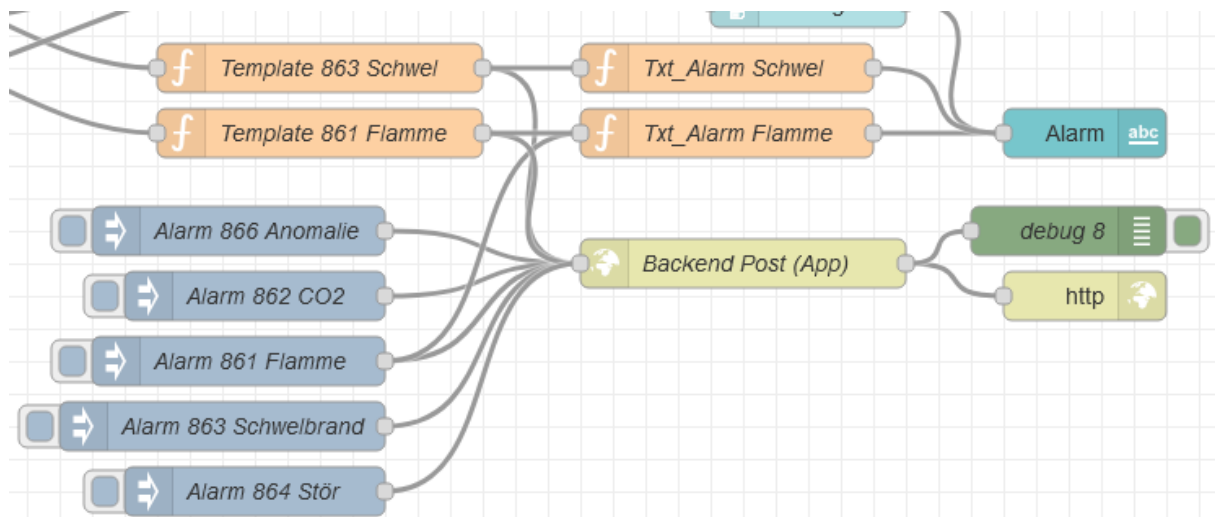


Abbildung 38: Ausschnitt aus der nodered Instanz, der die Ansteuerung der App durchführt

In diesem Diagramm ist zu erkennen, dass (hier Beispielsweise) zwei Pfade (flows) mit unterschiedlichen Auswertergebnissen („Schwel“Brand „Flamme“nbrand) existieren. In den Knoten

² Programmierwerkzeug: <https://nodered.org/>

Template 863 Schwel bzw. Template 861 Flamme wird die Ansteuercodierung für den API Post zugewiesen:

```

1  var jsonPayload =
2  {
3      template: 863,
4      user: 977
5  };
6  var msg1 =
7  {
8      payload: jsonPayload
9  };
10 return msg1;

```

Abbildung 39: Beispiel für die Erstellung des json Elements für die REST API

Diese Message im json Format wird an den Backend Post Knoten weitergeleitet. Dieser Übermittelt die Information an den Server, der wiederum die „verbundenen“ Smartphones in Alarm versetzt.

Methode

URL

Sichere Verbindung (SSL/TLS) aktivieren

Basis-Authentifizierung verwenden

Typ

Token

Abbildung 40: Konfiguration des Post Knotens; „creatness.studio“ ist der Anbieter des Services – Die Beauftragung erfolgte durch Uni Münster.

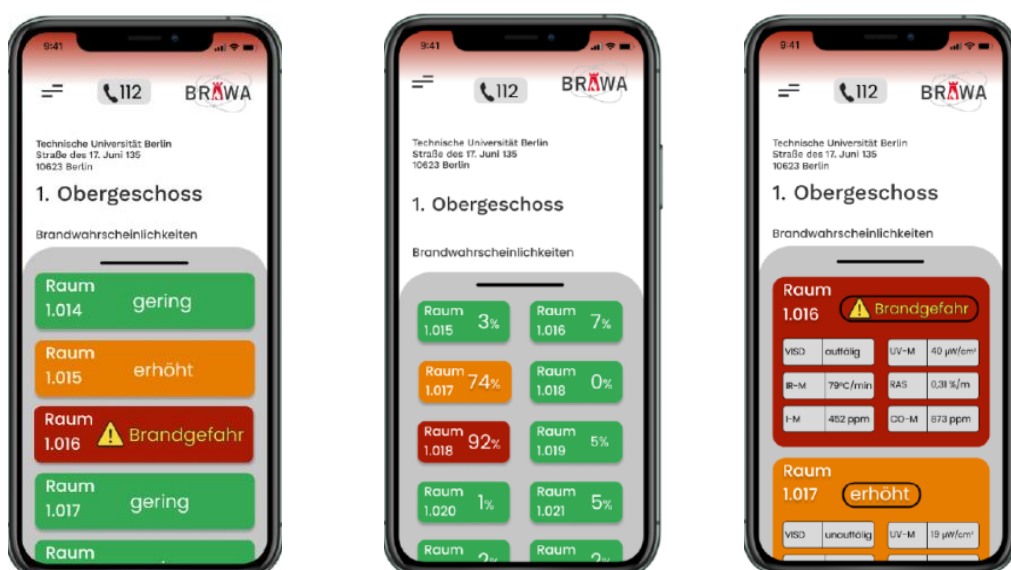


Abbildung 41: Beispiele für verschiedene App-Ausgaben; diese sind verschiedenen „Template“ Nummern zugeordnet.

Aspekte der Gestaltung der APP

Die App soll → alarmieren und → informieren.

Zur Alarmierung erarbeiten die Partner Hekatron und Uni Münster die Komponenten „Alarmierungstöne“ und Methoden, wie die App sich sicher auf einer ausgewählten Anzahl von Endgeräte-Typen (alle Android) meldet.

Zur Information hat GTE an mehreren Diskussionsrunden teilgenommen, in denen die Ausgestaltung der App als UI („user interface“) besprochen wurde. Hier ist wichtig, wer die Zielgruppe der Information ist: Laien, unterwiesene Helfer oder Fachleute z. B. der Gebäudetechnik oder der Gefahrenabwehr.

Hier wurde zur Abstimmung seitens GTE vorgeschlagen, dass der Informationsgehalt der Darstellung mit zunehmender Kompetenz des Adressaten zunehmen soll. Dies entspricht zum Einen der Erwartungshaltung der Nutzer – eine Erfahrung, die GTE auch in der Vergangenheit im industriellen Umfeld gemacht hat, zum Anderen erwartet GTE dass dadurch auch die Motivation der Adressaten, diese App „gerne“ zu nutzen steigt.

AP 6 Systemerprobung & Validierung

Ziel: Mitarbeit bei der Erprobung und Optimierung des Demonstrators und der Alarmierungskette.

„Die Sensorknoten werden zunächst in den Brandräumen der Partner erprobt. GTE unterstützt und berät. Tests bzgl. Störgrößen oder der Einfluss ausgewählter Umgebungsbedingungen auf die Detektionseigenschaften für Brände werden zusätzlich und iterativ in einer Testkammer bei der GTE oder in einer Halle der GTE durchgeführt. Des Weiteren werden mit Begleitung von GTE geeignete Versuchsszenarien und -aufbauten für den Test beim Endanwender, der Klassik Stiftung Weimar, definiert und durchgeführt. Hierbei werden die Ausbreitung der Brandkenngrößen oder geeigneter Ersatzstoffe, die Wirksamkeit des Sensornetzwerks (ggf. in einem Test- oder Erprobungsmodus) und die Handhabbarkeit durch die Brandschutzersthelfer untersucht. GTE erarbeitet Testmethoden, die auch mobil vor Ort einen Test der Detektionseigenschaften ermöglicht. Dies kann sowohl die Durchführung klein-skaliger Brandversuche in einer „Testbox“ einschließen als auch die Freisetzung von Störgrößen, wie z. B. Nebel oder Staub. Die Basis für den Demonstratoraufbau und das Brandszenario bilden die vorangegangenen AP, sodass in AP 6 eine Zusammenführung der Ergebnisse erfolgt. Nach den Tests werden die Branddetektion und die Alarmierungskette optimiert, GTE führt je nach Erfordernis eine Optimierung bezüglich der Betriebsweisen einzelner Sensoren.“

Im Rahmen der Arbeitspakete 3 und 4 wurden Sensorknoten erstellt und programmiert, es wurde eine Auswerte-Zentrale (Basis Raspberry Pi) konfiguriert und iterativ programmiert (Datenaufnahme, Datenbanken, Auswerteblocke und Interface zur App).

Dieses „System“ wurde bei allen Versuchen eingesetzt und im Verlauf des Projektes optimiert.

Dazu gehören:

- Erste Tests in der Halle der GTE
- Brand-Tests im ELBA Brandlabor der Hekatron
- Tests in einer historischen Windmühle in Nettetal
- Tests zur Hintergrund-Datenaufnahme im Stadtschloss in Weimar (Dachboden)
- Tests zur Hintergrund-Datenaufnahme im Stadtschloss in Weimar (Werkstatt)
- Brandversuche in der Fahrzeughalle der GTE
- Vorführung im Rahmen des Anwenderworkshops am IdF in Münster
- Vorführung im Rahmen der Abschlussveranstaltung des BRAWA Projekts

Exemplarisch sei die Konfiguration bei dem Anwenderworkshop beim IdF (Institut der Feuerwehr NRW) in Münster beschrieben (in den Räumlichkeiten darf natürlich kein „Feuer“ gezündet werden):

Zwei Sensorknoten, ein WLAN Access Point und ein Raspberry Pi bilden den Kern; zur Anzeige (als „UI“ user interface) dienen – die APP, eine nodered generierte Webseite (lokal zugänglich), ein LED Matrix Display („AWTRIX“) und (für Fachleute...) eine Grafana Oberfläche zur Darstellung der Signalverläufe.

Eine Anwendung trainierter Auswerte-Elemente wurde zur Vorführung nicht genutzt, da zum Einen keine echten Brände gezeigt wurden, zum Anderen ein Training neuer Testdaten in „neuen Umgebungen“ in Echtzeit nicht implementiert, und auch nicht geplant war.

Daher wurde zur Auswertung auf feste Expertenregeln, die geeignet sind die Testversuche, die durchführbar waren, zu erkennen, zurückgegriffen:

- Überschreitet der CO2 Sensor eine Schwelle (z. B. 2000 ppm) – wurde eine Luftqualitäts-Meldung generiert.
- Überschreitet der UV Sensor eine Schwelle (z. B. 30 counts/10 sec), wurde eine Meldung „Flamme“ generiert.
- Überschreitet der Aerosol-Sensor eine Schwelle (z. B. # 4.000 /cm³ Teilchenzahl), wurde eine Meldung Schwelbrand generiert.

Diese Meldungen wurden auf der App, auf dem LED Matrix-Display und auf dem Web-Interface angezeigt.

Ein Aspekt, der im Kontext mit der „Vorführung“ im Rahmen des Anwenderworkshops aufgetaucht war ist die Flexibilität des Systems – ist es möglich, neue, zusätzliche Anforderungen der Nutzer zu implementieren? Hierauf soll im nächsten Abschnitt (AP 7) eingegangen werden.

AP 7 Begleitforschung

Ziel: Analyse und Aufbau der Nutzerakzeptanz – Begleitung durch GTE.

„Im AP wird die menschliche Toleranz bei Falschalarmen untersucht (Zusammenarbeit mit AP 5). Es wird geklärt, wie eine Alarmierung gestaffelt sein muss (Ampel-Modell) und was „attraktive“ Falschalarme ausmacht. Im Speziellen wird die Motivation und Motivierung der Brandschutzhelfer trotz gewisser Falschalarmierungsquoten ermittelt. GTE begleitet in diesem Arbeitspaket die Partner, nimmt an den Veranstaltungen teil und berät. Dabei fließen Erfahrungen aus zwei Jahrzehnten Detektion für den Sachwertschutz ein.“

Im Rahmen dieses Arbeitspakets sind primär folgende zwei Aspekte mit Bezug auf das technische BRAWA System aufgetreten:

- Installationshürden für Nutzer aus dem (öffentlichen) Kultur-Gebäude-Bereich
- Nutzerakzeptanz – Usability

Zum ersten Punkt: Installationshürden

Beispielsweise für Gebäude des Bundes soll der Brandschutzleitfaden des Bundes angewendet werden³. In diesem ist zu finden:

3.2 Brandschutzkonzept

Der Begriff Brandschutzkonzept in diesem Leitfaden bedeutet, dass

- die Schutzziele des Brandschutzes durch geeignete Maßnahmen erreicht werden und
- die Wirksamkeit der getroffenen Brandschutzmaßnahmen nachgewiesen und dokumentiert wird.

Diese Nachweise können mittels technischer Regelwerke und Normen, durch Experimente oder mithilfe ingenieurtechnischer Nachweise des Brandschutzingenieurwesens erbracht werden, soweit

³

<https://www.bmwsb.bund.de/SharedDocs/downloads/Webs/BMWSB/DE/publikationen/wohnen/brandschutzleitfaden.html>

Abweichungen von materiellen Anforderungen der bauordnungsrechtlichen Regelungen erforderlich sind.

In Bezug auf das BRAWA System bedeutet dies:

Für ein normatives System ist kein separater Nachweis der Funktion erforderlich. Da das BRAWA System gezielt so ausgelegt wurde (werden musste!), dass es früher als normative Detektoren meldet, also nicht normativ gestaltet wurde, fordert der Leitfaden einen Nachweis (Experimente oder ingenieurtechnische Nachweise). Für den baulichen Brandschutz existiert eine ingenieurtechnische Methode⁴, nicht aber für den Part der Detektion als Brandschutzmaßnahme.

Wenn tatsächlich für jede individuelle Detektionsanforderung ein Nachweis (Sachverständigen-nachweis?) erforderlich wird, führt dies zu erheblichen Mehrkosten für den Nutzer.

Ein weiterer Aspekt des Leitfadens ist:

3.3 Wirtschaftliche Aspekte

Je weniger besondere technische Brandschutzeinrichtungen bzw. besondere Baustoffe und Bauteile mit über das normale Maß hinausgehenden Anforderungen erforderlich werden, umso wirtschaftlicher wird das erforderliche Brandsicherheitsniveau erreicht.

Dieser Passus stellt den Planer in eine Konfliktsituation – mit einem BRAWA System würde weit über das „normale Maß“ hinausgegangen, damit wäre es unwirtschaftlich?

Bei diesen Passagen muss allerdings berücksichtigt werden, dass hier die Aufgabe des Brandschutzes adressiert wird, Personen aus einem brennenden Gebäude zu retten. Der Aspekt des Schutzes von Sach- und Kulturgütern stand nicht im Fokus. Üblicherweise übernehmen es die Versicherungen, hierzu erweiterten Brandschutz für diese Aufgaben zu fordern. Allerdings werden Kulturgüter (zumal staatliche) eher als nicht versicherbar angesehen.

In diesem Kontext verbleibt für die Zeit im Anschluss an das BRWA Projekt genug Überzeugungsarbeit.

Zum zweiten Punkt: Nutzerakzeptanz – Usability

Während des Anwenderworkshops und auch weiteren ähnlich Veranstaltungen sind Fragen aufgetaucht wie:

Können neben Bränden auch weitere Gefahrensituationen für „das Kulturgut“ erkannt werden?

- Feuchtigkeitsschäden
- Insektenfraß
- Schimmelbildung
- Warnung vor Überschwemmung
- Einbruchsschäden
- Etc.

Im Einzelnen bedeutet dies, dass ein Detektionssystem mehr Flexibilität erhält und somit Zusatznutzen bietet. Dieser Zusatznutzen führt zu einer erhöhten Akzeptanz bei Anwendern – da die hierfür erforderlichen Systemkomponenten weitgehend in BRAWA mit integriert sind, und somit kaum Zusatzkosten für diese ergänzenden Funktionen entstehen.

⁴ https://www.vfdb.de/media/doc/technischeberichte/TB_04_01_Leitfaden_IngMethoden_4Auflage_2020-03-26.pdf

Wichtigste Positionen des zahlenmäßigen Nachweises

In dem Teilvorhaben „Ortsfeste Multisensoren zur Detektion und Charakterisierung von Brandsituationen“ in BRAWA sind die Personalkosten mit einem Anteil von mehr als 90% der Gesamtsumme die wichtigste Position des Vorhabens.

Alle im vorangegangenen Kapitel beschriebenen Arbeiten konnten nur aufgrund der von äußerst motivierten und kreativen Arbeiten der beteiligten Personen erfolgreich abgeschlossen werden. Hierbei war vor allem die sinnvolle Aufteilung der Aufgabenbereiche zwischen Techniker und der promovierten Physiker sehr sinnvoll. Die Stärken der beteiligten Personen konnten so bestens eingesetzt werden.

So wurden Kenntnisse über Brände (Ursachen, Entstehung, Verlauf, Kenngrößen), über Sensorik (Brandrauch, Gase, Wärmestrahlung, Flammenstrahlung), über Erfassung von Metadaten, Methoden der Sicherheitstechnik, Erfahrungen mit Datenaufnahme und Signalverarbeitung als auch praktisches „Geschick“ während vieler experimenteller Arbeiten verlangt.

Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeit

Alle in dem Projekt geleisteten Arbeiten waren notwendig, um dieses Projekt und alle Teilvorhaben zu einem erfolgreichen Abschluss zu führen.

In jedem der abgearbeiteten Arbeitspakete wurden fundamentale neue Erkenntnisse gewonnen oder elementare Bausteine des neuen Detektorsystems erforscht.

Insbesondere die Aspekte der „Motivation“ der Beteiligten sind waren für GTE neu und wichtig. Dies spielt eine Rolle zur Akzeptanz des Systems: sowohl die Adressaten der Meldungen („Das Personal“) müssen das System verwenden wollen, nur dann „wirkt“ es, als auch die Betreiber der Einrichtungen müssen in die Funktion des Systems (also die Wirksamkeit) vertrauen.

Weiterhin war die intensive Zusammenarbeit mit allen Partnern, insbesondere der OVGU Magdeburg, der Uni Münster und der vfdB unverzichtbar. Gerade der fachliche Austausch, oft kontrovers, immer zielführend, war wertvoll.

Verwertbarkeit des Ergebnisses

Aufgrund des hohen Neuheitsgrades und Innovation des Detektionskonzepts zur Früherkennung von Bränden für Kulturgüter und auch andere Sachwerte sind Beiträge zu Fachkonferenzen geplant; die nächste anstehende ist die AUBE (AUtomatische BrandEntdeckung) Konferenz zum Thema „Neue Konzepte in der Detektion“ (Sept. 2024)^{5,6}. Ebenfalls in Sept. 2024 ist die Teilnahme an der Werkfeuerwehr-Konferenz in Bad Dürkheim geplant⁷.

Aufgrund der Beteiligung am BRAWA-Projekt verfügt die GTE GmbH über umfassende Kenntnisse zu brandschutztechnischen Grundlagen, Abläufen und Eigenschaften im Bereich der Kultur-Gebäude, zusätzlich kann GTE Methoden zur Eingrenzung von Schäden durch beginnende Brände oder andere Gefährdungsszenarien (Feuchtigkeit, Überhitzung...) abschätzen und somit bei Planung und Realisierung betreffender Konzepte mitarbeiten bzw. beraten. Dieser Aspekt ist neu und zugleich wichtig, da es zu früher Detektion, nicht normativ, bei Gebäuden mit kulturellen Werten derzeit noch keinen Konsens in der Fachwelt gibt – dies zeigen viele Veranstaltungen mit ihren teils kontroversen Diskussionen, an denen sich auch GTE beteiligt hat. Ein Beispiel ist die (BMBF geförderte) Veranstaltung der Vogtlandpioniere⁸, wo das BRAWA System einem breiten Publikum vorgestellt wurde.

Im Anschluss an das Verbundprojektes muss das System in Serien-reifes Produkt überführt werden. Für diese Entwicklung sind 2 Jahre geplant. Dazu gehören eine Prototyp Phase, die auf Randbedingungen der Kultureinrichtungen Rücksicht nimmt: Usability, Meldepfade für mehrere Adressaten, Installation ohne schädigende Eingriffe in die Bau-Substanz.

Die in *Abbildung 42* gezeigte schematische Darstellung beschreibt die Anbindung des erforschten Detektionskonzepts an das bestehende Geschäftsmodell der Firma GTE. Die enge Zusammenarbeit der Firma GTE mit den Errichtern von Brandmelde- / Brandschutzanlagen, wie Siemens oder Hekatron und anderen, ermöglicht nach Abschluss der dem Projekt nachfolgenden Entwicklungsarbeiten die Hard- und Softwareintegration in bestehende Brandmeldeanlagen. Hierbei wird die GTE beratend sowohl Planer und Errichter als auch die Gebäudebetreiber unterstützen.

⁵ AUBE24 Konferenzbeitrag: Pascal Vorwerk, Jörg Kelleter, Ulrich Krause “Early Fire Detection in Evolving Multivariate Time Series Data Using Anomaly Detection Techniques”, Duisburg, 09/2024

⁶ AUBE24 Konferenzbeitrag: Jörg Kelleter: “Enhancing the Motivation for Use of Voluntary Fire Alarming Systems by Integrating Smart Home Concepts”, Duisburg, 09/2024

⁷ Konferenzbeitrag 26. SYMPOSIUM WERKFEUERWEHR AKTUELL: Jörg Kelleter, „Forschungsprojekte „BRAWA“ und „Mimose A“ – Detektion von Anomalien zur Gefahren-Erkennung mit Multisensorknoten: Funktionsweise und Nutzerschnittstelle“, Bad Dürkheim, 09/2024

⁸ <https://www.vogtlandpioniere.de/veranstaltung/jahreskonferenz-der-vogtlandpioniere-save-the-date/>

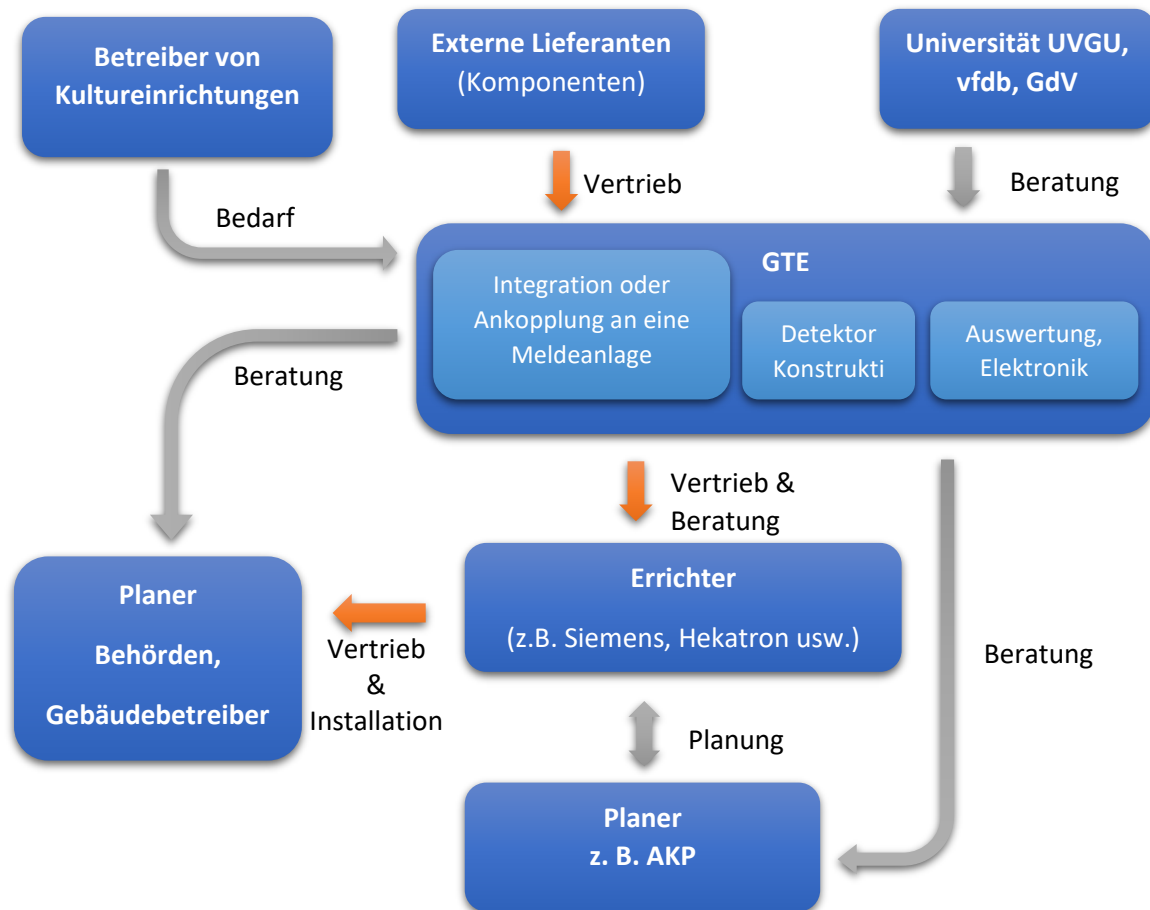


Abbildung 42: Schema zur Verwertung der Ergebnisse

Neben dem Einsatzszenario des Projektes BRAWA sehr frühzeitige Brand-Detektion im Bereich kultureller Einrichtungen (Museen, Kirchen, historische Gebäude, etc.) beabsichtigt GTE das System auch im industriellen Anwendungen zu platzieren. Hier besteht aktuell bereits das Interesse, früher als normative Detektoren Brände zu detektieren. Insbesondere besteht das Interesse, bereits vor Entstehen eines Brandes eine Meldung zu erhalten, z. B. bei Überhitzung. Dabei taucht die Frage auf, wer die Meldung erhalten soll: Die öffentliche Feuerwehr scheidet aus, das ist nicht deren Aufgabe. Die Werkfeuerwehren, soweit vorhanden, werden keine „Erweiterung“ deren Aufgabenbereichs wünschen, daher erscheint hier das Konzept einer Meldung via App oder anderen Messaging Diensten an das Personal sinnvoll. Allerdings hat das System ein Akzeptanzproblem: Ist eine App zuverlässig, gehen Sachverständige diesen Weg eines „nicht normativen“ Systems mit? Hier muss neben der technischen Entwicklung zur Marktreife insbesondere Überzeugungsarbeit bei Verbänden und Behörden getan werden – Hier setzen wir auf einen Synergieeffekt mit den zukünftigen Aktivitäten des vfdb.

Während der Durchführung des Vorhabens dem ZE bekannt gewordener Fortschritt auf dem Gebiet des Vorhabens bei anderen Stellen

Es sind keine wesentlichen, mit dem Teilvorhaben „Ortsfeste Multisensoren zur Detektion und Charakterisierung von Brandsituationen“ in BRAWA in Konkurrenz stehenden Ergebnisse bekannt geworden.

Mit dem Projekt ADLeR⁹ (Feuerwehr der Stadt Dortmund: *Automatisiertes Detektions-, Melde- und Leitsystem für Rettungskräfte - Rettungskette neu denken*) erfolgte mehrfach ein Erfahrungsaustausch. Die Zielsetzung dieses Projektes ist jedoch die verbesserte Rettung von Menschen, die Methoden zumindest der Datenübertragung sensorischer Erkenntnisse haben einen Bezug auch zu BRAWA.

⁹ <https://projekt-adler.de/>

Erfolgte oder geplante Veröffentlichungen

Kontinuierliche Beiträge aller Partner, auch der GTE, zur Veröffentlichung auf der BRAWA Website: <https://www.brawa.ovgu.de/>

Die GTE hat zu BRAWA eine eigene Darstellung auf der eigenen Webseite angelegt: <https://www.gte.de/ueber-uns/forschung-entwicklung/forschungsprojekt-brawa>

Geplant ist die Teilnahme an der Werkfeuerwehr-Konferenz in Bad Dürkheim im September 2024 mit einem Konferenzbeitrag

Geplant ist die Teilnahme an der internationalen AUBE-Konferenz in Duisburg im September 2024 mit zwei Konferenzbeiträgen

Weiterhin hat GTE die Partner bei mehreren Veröffentlichungen unterstützt. Beispiele siehe: ^{10,11}.

¹⁰ Vorwerk, P.; Kelleter, J.; Müller, S.; Krause, U. Distance-Based Analysis of Early Fire Indicators on a New Indoor Laboratory Dataset with Distributed Multi-Sensor Nodes. *Fire* **2023**, *6*, 323

¹¹ Vorwerk P, Kelleter J, Müller S, Krause U. Classification in Early Fire Detection Using Multi-Sensor Nodes—A Transfer Learning Approach. *Sensors*. 2024; 24(5):1428

Tabellen und Abbildungen

Abbildung 1: zeitlicher Ablauf des Projektes.....	7
Abbildung 2: Schematische Darstellung der Zusammenarbeit im Konsortium	10
Abbildung 3: Verteilung der Brandursachen in historischen Bauten bei Schäden von mehr als einer halben Millionen Euro	12
Abbildung 4: Tabellarische Übersicht über die ausgewählten Sensoren.....	14
Abbildung 5: Sensorknoten der ersten Generation: Trägerplatine mit ESP32 und den verschiedenen Sensoren in einem Kunststoff-Gehäuse (es verbleibt im Betrieb offen!)	18
Abbildung 6: Sensorknoten der zweiten Generation: Trägerplatine mit ESP32 (auf der Rückseite) und den verschiedenen Sensoren in einem Aluminium-Gehäuse mit externer WLAN Antenne	19
Abbildung 7: Sensorknoten der dritten Generation: ESP32 und verschiedenen Sensoren in einem Kunststoff-Gehäuse mit interner WLAN Antenne.....	20
Abbildung 8: Raspberry Pi zur Datenaufnahme	21
Abbildung 9: Schema der Architektur des Datenflusses auf dem Raspberry Pi.....	21
Abbildung 10: Testschrank (Nummer 2) der GTE für kleinskalige Brandtests; die Türen sind für das Foto geöffnet; Volumen 1 m ³	24
Abbildung 11: Testschrank – Detail: kleine Brandkammer	25
Abbildung 12: Kleinskalige Experimente in der Kammer: Brandlasten Pu-Schaumstoff, Kabelisolierung 1 cm Länge, 0,5 mm ² Litze, ½ Zahnstocher	26
Abbildung 13: Kleinskalige Experimente in der Kammer: Verschwelung der Kabelisolierung in der erhitzten Drahtwendel	26
Abbildung 14: Kleinskalige Experimente in der Kammer: Verschwelung des PU Schaumstoffes in der erhitzten Drahtwendel	27
Abbildung 15: Kleinskalige Experimente in der Kammer: Flammenbrand von n-Heptan (0,5 ml Flüssigkeitsvolumen)	27
Abbildung 16: Kleinskalige Experimente in der Kammer: Brandlast „Lunte“ aus Baumwolle (Quelle: Projekt-Partner Hekatron); in Längen von je 1 cm.....	28
Abbildung 17: Tabelle einer Versuchsreihe, hier eine Auswahl aus Januar 2022, Diese Reihe unterschiedlicher Aktionen steht beispielhaft für insgesamt etwa 100 Versuchsreihen mit unterschiedlichen Materialien und Umgebungsbedingungen.....	28
Abbildung 18: Tabelle der Übersicht aller freigesetzten Materialien in der ersten Versuchsphase	29
Abbildung 19: Resultierender Signalverlauf eines ausgewählten Sensorknotens mit folgenden Materialien: Heptan Dampf, 0,5 ml Flüssigkeit auf Zellstoff verdampft; ca. 500 ppm - Spiritus (Ethanol) Dampf, 0,5 ml Flüssigkeit auf Zellstoff verdampft, ca. 500 ppm - Ammoniak 25% Dampf, 0,5 ml Flüssigkeit auf Zellstoff verdampft, ca. 125 ppm - 4 x Lunte, je 8 mm Stücke, mit 10 A geheizter Spirale verschwelt, ohne Zwischenlüften, ergibt 4 Stufen.....	29
Abbildung 20: Anordnung der Messtechnik im Brandlabor ELBA; die roten Punkte markieren die ursprünglich geplanten Positionen der Sensorknoten der GTE; die blauen Legendensymbole beschreiben die tatsächlich realisierten Positionen, die Meterangaben benennen die Montagehöhe; die fett gedruckten Zahlen benennen die Nummer (= Adresse) der Sensorknoten.....	31
Abbildung 21: Foto der <i>Anordnung der Messtechnik im Brandlabor ELBA: Unten das „Podest“ für die Brandversuche, an der Decke montiert die Sensorketten – runde Melder von Hekatron, rechteckige Boxen die Sensorknoten der GTE.</i>	31
Abbildung 22: Tabelle aller Versuche, die im ELBA im Projekt BRAWA durchgeführt wurden. Die jeweiligen Versuche wurden mehrfach wiederholt, dies wird durch die „Nummer“ E“n“ gekennzeichnet.	32
Abbildung 23: Foto des Holz-Schwelbrandversuches – bei Fortschritt „Glimmen“	33

Abbildung 24: Signalverlauf während des Holz-Schwelbrandversuches „E1“ am 4. 7. – gezeigt ist beispielhaft nur eine Auswahl relevanter Signale.....	33
Abbildung 25: Foto des Luntens-Schwelbrandversuches.	34
Abbildung 26: Signalverlauf während des Luntens-Schwelbrandversuches „E2“ am 6. 7. – gezeigt ist beispielhaft nur eine Auswahl relevanter Signale.....	35
Abbildung 27: Foto des Kabel-Schwelbrandversuches nach Versuchsende: Zu erkennen ist die verschmolzene elektrische Isolierung des Kabels. Die Steinwolle im Untergrund dient der mechanischen Stabilisierung und der thermisch stabilen elektrischen Isolation nach unten.	35
Abbildung 28: Signalverlauf während des Kabel-Schwelbrandversuches „E2“ am 7. 7. – gezeigt ist beispielhaft nur eine Auswahl relevanter Signale.....	36
Abbildung 29: Fotos des Kerzen Brandversuches, links während der Phase „Flamme“, rechts nach Versuchsende: Zu erkennen ist zunächst die Entflammung des heißen Waxes. Das rechte Bild zeigt die Reste der Alu-Teelichtgefäße in der Versuchswanne.	37
Abbildung 30: Signalverlauf während des Kerzen-Brandversuches „E2“ am 6. 7. – gezeigt ist beispielhaft nur eine Auswahl relevanter Signale.....	37
Abbildung 31: Signalverlauf während drei aufeinanderfolgender Freisetzungen von Deo Spray. – gezeigt ist beispielhaft nur eine Auswahl relevanter Signale.....	38
Abbildung 32: Abmessungen der Fahrzeughalle der GTE	39
Abbildung 33: Brandversuch (hier: „Kerzen“) in der Fahrzeughalle der GTE – einige relevante Objekte im Sichtbereich des Fotos wurden beschriftet; viele weitere Sensorknoten und Sensorketten befinden sich rechts außerhalb des Bildes oder hinter der Kamera. Auf der rechten Seite ist das geschlossene Sektionaltor zu sehen, die Fenster wurden verdunkelt, um die intensive Sonneneinstrahlung zu unterdrücken.....	40
Abbildung 34: (auf den nächsten zwei Seiten) Liste der Versuche in der GTE Fahrzeughalle – diese Liste wurde für diese Darstellung hier vereinfachend überarbeitet:	40
Abbildung 35: Schema der Architektur des auswertenden Systems.	44
Abbildung 36: Beispiel eines Verhältnisplots der VOC und Aerosol Signale aller ELBA Versuche; verschiedene Farben, Größen und Symbole der Signalpunkte bezeichnen mögliche Labels.....	45
Abbildung 37: Beispiel eines Hauptachsentransformations-plots auf der Grundlage aller Signale aller ELBA Versuche eines Sensorknotens – nur Signale mit hohen Signalpegeln verwendet.	46
Abbildung 38: Ausschnitt aus der nodered Instanz, der die Ansteuerung der App durchführt	47
Abbildung 39: Beispiel für die Erstellung des json Elements für die REST API.....	48
Abbildung 40: Konfiguration des Post Knotens; „creatness.studio“ ist der Anbieter des Services – Die Beauftragung erfolgte durch Uni Münster.....	48
Abbildung 41: Beispiele für verschiedene App-Ausgaben; diese sind verschiedenen „Template“ Nummern zugeordnet.	48
Abbildung 42: Schema zur Verwertung der Ergebnisse	56

Literaturverzeichnis

1. Sylwester Kabat. Brandschutz in Kirchen und Klöstern. Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden, Jan. 2021. ISBN : 978-3-658-30964-0
2. Programmierwerkzeug: <https://nodered.org/>
3.
<https://www.bmwsb.bund.de/SharedDocs/downloads/Webs/BMWSB/DE/publikationen/wohnen/brandschutzleitfaden.html>
4.
https://www.vfdb.de/media/doc/technischeberichte/TB_04_01_Leitfaden_IngMethoden_4Auflage_2020-03-26.pdf
5. AUBE24 Konferenzbeitrag: Pascal Vorwerk, Jörg Kelleter, Ulrich Krause “Early Fire Detection in Evolving Multivariate Time Series Data Using Anomaly Detection Techniques”, Duisburg, 09/2024
6. AUBE24 Konferenzbeitrag: Jörg Kelleter: “Enhancing the Motivation for Use of Voluntary Fire Alarming Systems by Integrating Smart Home Concepts”, Duisburg, 09/2024
7. Konferenzbeitrag 26. SYMPOSIUM WERKFEUERWEHR AKTUELL: Jörg Kelleter, „Forschungsprojekte „BRAWA“ und „Mimose A“ – Detektion von Anomalien zur Gefahren-Erkennung mit Multisensorknoten: Funktionsweise und Nutzerschnittstelle“, Bad Dürkheim, 09/2024
8. <https://www.vogtlandpioniere.de/veranstaltung/jahreskonferenz-der-vogtlandpioniere-save-the-date/>
9. <https://projekt-adler.de/>
10. Vorwerk, P.; Kelleter, J.; Müller, S.; Krause, U. Distance-Based Analysis of Early Fire Indicators on a New Indoor Laboratory Dataset with Distributed Multi-Sensor Nodes. Fire 2023, 6, 323
11. Vorwerk P, Kelleter J, Müller S, Krause U. Classification in Early Fire Detection Using Multi-Sensor Nodes—A Transfer Learning Approach. Sensors. 2024; 24(5):1428