

Schlussbericht Forschungsprojekt UnLuBW (Unbemannte Luftschadstoffmessung in Baden-Württemberg)

Zuwendungsempfänger: Institut Stadt Mobilität Energie (ISME) GmbH Universität Tübingen, Lehrstuhl Geoinformatik (GI) und Umweltphysik (Umphy) Unisphere GmbH	Förderkennzeichen: 45ILM1018A-C
Konsortialführer des Vorhabens: M.Sc. Karsten Hager	Tel.: 0711/65699015 Email: Karsten.hager@i-sme.de
Laufzeit des Vorhabens: 04/2022 – 12/2023	
Berichtszeitraum (Kalenderjahr): 2023	Datum Bericht: 20.06.2024

ISME – Institut Stadt | Mobilität | Energie (ISME) GmbH

GI – Universität Tübingen, AG Geoinformatik

Umphy – Universität Tübingen, AG Umweltphysik

Unisphere – Unisphere GmbH

Inhaltsverzeichnis

1	Kurze Darstellung.....	1
1.1	Aufgabenstellung	1
1.2	Voraussetzungen, unter denen das Vorhaben durchgeführt wurde	1
1.3	Planung und Ablauf des Vorhabens	2
1.4	wissenschaftlichem und technischem Stand	4
1.5	Zusammenarbeit mit anderen Stellen	6
2	Eingehende Darstellung	7
2.1	Verwendung der Zuwendung und des erzielten Ergebnisses im Einzelnen, mit Gegenüberstellung der vorgegebenen Ziele	7
2.2	der wichtigsten Positionen des zahlenmäßigen Nachweises,.....	1
2.3	der Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeit,	1
2.4	des voraussichtlichen Nutzens, insbesondere der Verwertbarkeit des Ergebnisses im Sinne des fortgeschriebenen Verwertungsplans,.....	2
2.5	des während der Durchführung des Vorhabens dem ZE bekannt gewordenen Fortschritts auf dem Gebiet des Vorhabens bei anderen Stellen,.....	3
2.6	der erfolgten oder geplanten Veröffentlichungen des Ergebnisses.	3
3	Erfolgskontrollbericht als Anlage.....	4
3.1	den Beitrag des Ergebnisses zu den förderpolitischen Zielen, z.B. des Förderprogramms (ggf. unter Angabe des Schwerpunkts),- soweit dies möglich ist,-,.....	4
3.2	das wissenschaftlich-technische Ergebnis des Vorhabens, die erreichten Nebenergebnisse und die gesammelten wesentlichen Erfahrungen,.....	4
3.3	die Fortschreibung des Verwertungsplans. Diese soll, soweit im Einzelfall zutreffend, Angaben zu folgenden Punkten enthalten (Geschäftsgeheimnisse des ZE brauchen nicht offenbart zu werden):.....	6
3.3.1	Erfindungen/Schutzrechtsanmeldungen und erteilte Schutzrechte, die vom ZE oder von am Vorhaben Beteiligten gemacht oder in Anspruch genommen wurden, sowie deren standortbezogene Verwertung (Lizenzen u. a.) und erkennbare weitere Verwertungsmöglichkeiten,.....	6
3.3.2	Wirtschaftliche Erfolgsaussichten nach Projektende (mit Zeithorizont) - z. B. auch funktionale/wirtschaftliche Vorteile gegenüber Konkurrenzlösungen, Nutzen für verschiedene Anwendergruppen/-industrien am Standort Deutschland, Umsetzungs- und Transferstrategien (Angaben, soweit die Art des Vorhabens dies zulässt),	6
3.3.3	Wissenschaftliche und/oder technische Erfolgsaussichten nach Projektende (mit Zeithorizont) - u. a. wie die geplanten Ergebnisse in anderer	

Weise (z. B. für öffentliche Aufgaben, Datenbanken, Netzwerke, Transferstellen etc.) genutzt werden können. Dabei ist auch eine etwaige Zusammenarbeit mit anderen Einrichtungen, Firmen, Netzwerken, Forschungsstellen u. a. einzubeziehen,..... 7

1 Kurze Darstellung

1.1 Aufgabenstellung

ISME - Das ISME ist Ideengeber von UnLuBW, Konsortialführer sowie für die Konzeption von (temporären) Luftreinhaltemaßnahmen und die gesellschaftliche Partizipation und Öffentlichkeitsarbeit zuständig.

GI – Die AG Geoinformatik übernimmt die Regionalisierung, Auswertung und Interpretation, sowie die digitale Bereitstellung und Visualisierung der Messungen. Die Erkenntnisse münden in einen Leitfaden für Kommunen zur Etablierung von UAS zur Messung kommunaler Luftqualität.

Umphy – Das Aufgabengebiet der AG Umweltphysik (Umphy) der Universität Tübingen im Projekt UnLuBW umfasste die Konzeption, Entwicklung, Fertigung und Verifikation des Sensorsystems für den Einsatz auf dem ausgewählten Multirotor-UAS. Dabei war es entscheidend, die Flugdynamik eines solchen Trägersystems zu kennen und die Entwicklung des Messsystems entsprechend auszulegen. Neben dem Messsystem wurden zudem die einzelnen Flugkampagnen in den Gemeinden gemeinsam mit der AG TÜ-GI geplant und durchgeführt. Auch die anschließende Rohdatenprozessierung und damit die Aufbereitung der gesammelten Daten für die detaillierte Auswertung und Darstellung beim Projektpartner TÜ-GI lag im Aufgabenbereich der AG Umweltphysik.

Unisphere –Die Unisphere GmbH entwickelt Software für die Flugplanung und den sicheren, automatisierten Betrieb von UAS. In das Projekt bringt sie ihre Erfahrung in der Genehmigung und Planung von Messkampagnen in Städten sowie die eigens entwickelte Plattform NOVA (ehem. Flight Forecast) ein, mit welcher die meteorologischen Rahmenbedingungen und deren Auswirkungen auf den geplanten Flug automatisiert und zuverlässig evaluiert werden. Zudem ist Unisphere für die Beantragung der Fluggenehmigungen beim zuständigen Regierungspräsidium Stuttgart (SORA und Con-Ops) verantwortlich.

1.2 Voraussetzungen, unter denen das Vorhaben durchgeführt wurde

ISME keine Änderungen gegenüber der Antragstellung

GI: Personalneubesetzung ab 09/22, aufgrund von kurzfristiger Absage.

Umphy keine Änderungen gegenüber der Antragstellung

Unisphere keine Änderungen gegenüber der Antragstellung

1.3 Planung und Ablauf des Vorhabens

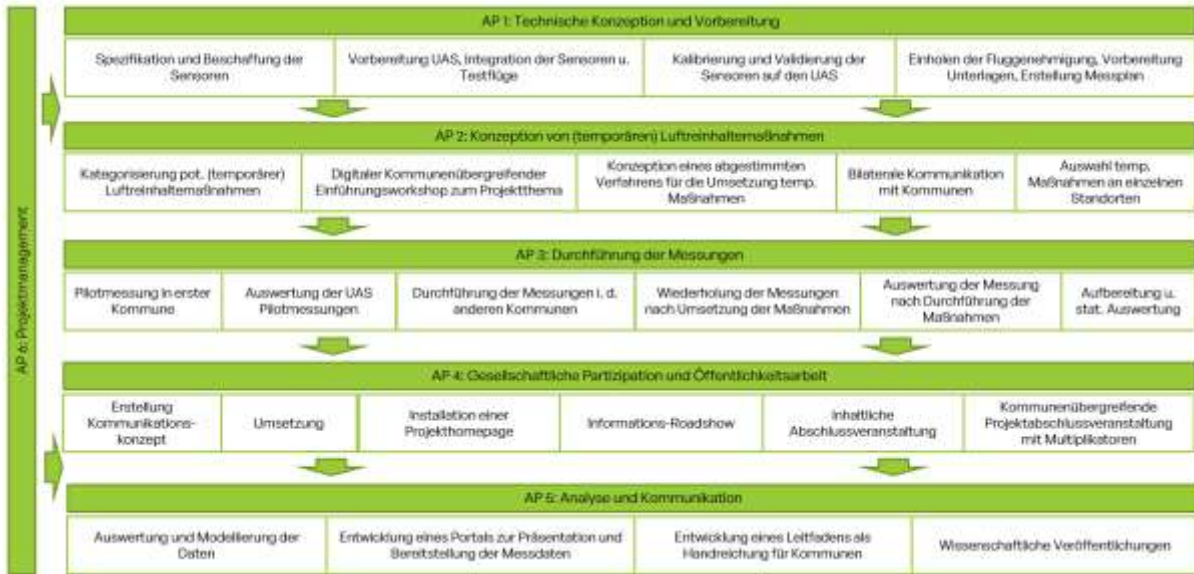


Abbildung 1: Projektablaufplan UnLuBW (eigene Darstellung)

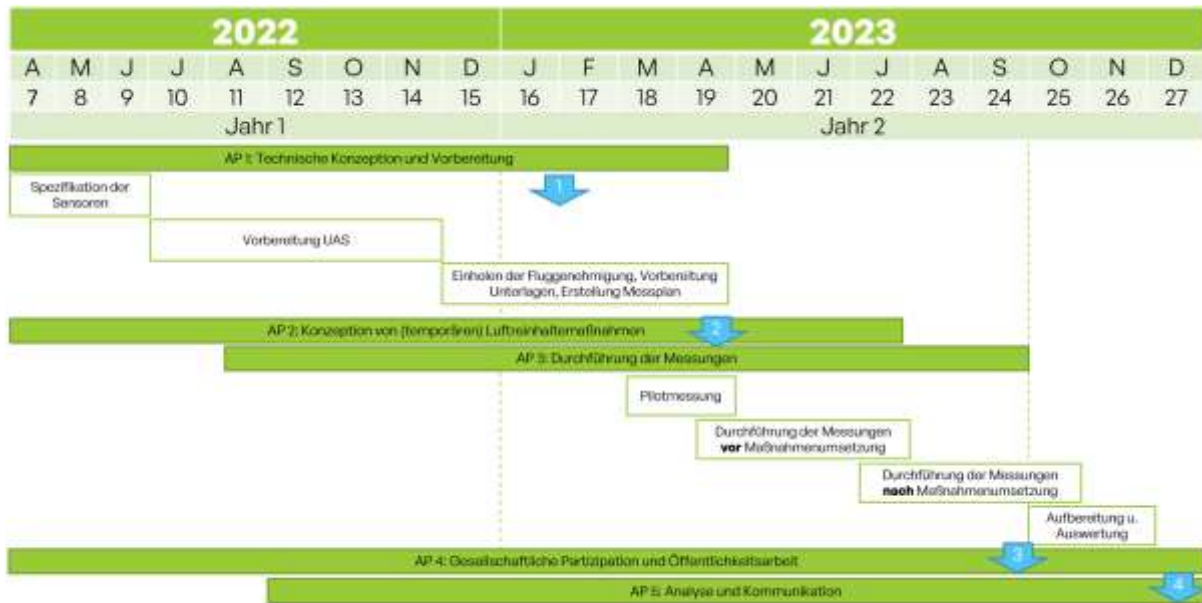


Abbildung 2: Angepasster Zeitplan nach Start des Forschungsprojektes UnLuBW im April 2022 (eigene Darstellung)

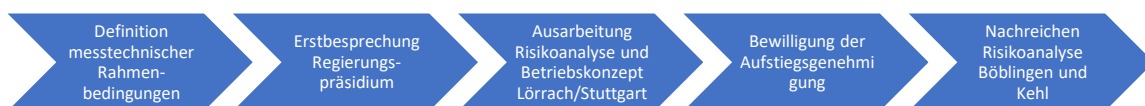
Tabelle 1: Übersicht Meilensteinplan UnLuBW

MS 1	Messsystem (UAS+Sensoren) validiert und einsatzbereit
MS 2	Testflüge und Pilotmessungen wurden erfolgreich durchgeführt und dokumentiert
MS 3	Workshops in den teilnehmenden Kommunen durchgeführt
MS 4	Datenportal ist online und Werte können frei zugänglich abgefragt werden
MS 5	Leitfaden für Kommunen ist veröffentlicht

ISME Identifikation von geeigneten Veranstaltungsformaten in den Partnerkommunen, Planung, Organisation und Umsetzung der Teilnahme an den Veranstaltungen, Begleitung ausgewählter Flugmessungen, Koordination der Erstellung der Projekthomepage, Koordination und Erstellung des Leitfadens sowie Planung, Durchführung und Auswertung von Interviews mit unterschiedlichen Akteur:innen

Uni Tübingen Die Planung und der Ablauf des Projektes UnLuBW ist in Abbildung 1 aufgeführt. Die Projektpartner TÜ-GI und Umweltphysik der Universität Tübingen waren in allen Arbeitspaketen beteiligt, jedoch hauptverantwortlich für die Entwicklung und Validierung der Messsensorik (AP1), die Identifizierung und Beantragung potenzieller Aufstiegspunkte (AP1), die Durchführung der Messungen innerhalb der einzelnen Kommunen (AP3) und die Analyse und Aufbereitung der gesammelten Daten (AP5). In den Arbeitspaketen AP2 und AP4 waren die beiden genannten Projektpartner unterstützend tätig. Die Zusammenarbeit mit den Partnern ISME und Unisphere betraf vor allem die Planung und Einreichung der Aufstiegsgenehmigungen bei der Landesluftfahrtbehörde und die Kommunikation mit den Behörden und Grundstückseigentümern vor Ort in den Kommunen.

Unisphere



1. Definition messtechnischer und geografischer Rahmenbedingungen und erste Abschätzung der Risikoanalyse:

- Erfassung Atmosphären-physikalischen und messtechnischen Anforderungen and Drohne und Flugprofil in Diskussion mit Institut Stadt/Mobilität/Energie (ISME), Arbeitsgruppe Geoinformatik und Arbeitsgruppe Umweltphysik der Universität Tübingen
- Absprache der geplanten Messorte mit temporären Luftreinhaltemaßnahmen
- Erster Entwurf einer Risikoanalyse und Vorschlag von Mitigierungsmaßnahmen

2. Erstbesprechung Regierungspräsidium Stuttgart:

- Präsentation des Projekts und Vorstellung des Konzepts zur Risikoanalyse, des Betriebskonzepts und der geplanten Maßnahmen zur Risikominderung
- Frühzeitige Diskussion und Abgleich der Erwartungen des Regierungspräsidiums hinsichtlich des Umfangs und der Detaillierung der erforderlichen Dokumente
- Festlegung eines Zeitplan

3. Ausarbeitung Risikoanalyse und Betriebskonzept Lörrach / Stuttgart

- Detaillierte Ausarbeitung der Risikoanalyse unter Berücksichtigung von „ground risk, air risk und technical risk“ für 5 Messorte in Lörrach sowie 4 Messorte in Stuttgart
- Unterscheidung für Flüge über unbewohntem Gebiet (großes Sensorpaket, ohne Fallschirm) und über bewohntem Gebiet (kleines Sensorpaket und Fallschirm)
- Erstellung einer umfangreichen Dokumentation in Google Earth
- Erstellung eines Betriebskonzepts
- Enge Abstimmung mit ISME und Universität während der Ausarbeit

4. Bewilligung der Aufstiegsgenehmigung

- Finale Präsentation und Einreichung aller Dokumente
- Beantwortung von Nachfragen

5. Nachreichen Risikoanalyse Böblingen und Kehl:

- Detaillierte Ausarbeitung einer zweiten Risikoanalyse unter Berücksichtigung von „ground risk, air risk und technical risk“ für 5 Messorte in Böblingen sowie 8 Messorte in Kehl
- Ergänzung der Dokumentation

1.4 wissenschaftlichem und technischem Stand

- a. Angabe bekannter Konstruktionen, Verfahren und Schutzrechte, die für die Durchführung des Vorhabens benutzt wurden,

ISME - keine

Uni Tübingen: Die Entwicklung des Messsystems wurde auf Basis des frei auf dem Markt erhältlichen UAS DJI Matrice 300 durchgeführt. Dieses UAS (inklusive Zubehör z.B. Fallschirm) bietet als Basis eine hohe Nutzlast, hohe Sicherheitsstandards und gehört momentan zum Industriestandard im Bereich der Multirotorsysteme. Auch die verwendete Sensorik ist zum großen Teil auf dem freien Markt erhältlich, wurde aber entsprechend der Bedürfnisse der Messungen angepasst und in das Gesamtsystem integriert.

Unisphere Die Europäische Agentur für Flugsicherheit (EASA) hat mit den Durchführungsverordnungen (EU) 2019/945 und 2019/947 den rechtlichen Rahmen für den Flugbetrieb von Drohnen geschaffen, die seit dem 31. Dezember 2020 in Kraft sind. Für das Projekt UnLuBW wurde beim Regierungspräsidium Stuttgart, Referat 46.2 (Luftverkehr und Luftsicherheit), eine Aufstiegsbewilligung auf Basis einer gründlichen Risikoanalyse beantragt. Diese Risikoanalyse erfolgte im Rahmen des SORA-Prozesses (Specific Operational Risk Assessment), der in Zusammenarbeit mit 63 nationalen Luftfahrtbehörden entwickelt wurde und weltweit als Standard für Risikoanalysen in der unbemannten

Luftfahrt gilt. Der SORA-Prozess ist ein integraler Bestandteil der Durchführungsverordnungen (EU) 2019/945 und 2019/947.

Im SORA-Prozess werden Bodenrisiken, Luftrisiken und technische Risiken des geplanten Drohnenflugs detailliert untersucht. Das Bodenrisiko variiert je nach Flugort, wobei Flüge über dicht besiedelten Gebieten, wie einem vollbesetzten Fußballstadion, ein höheres Risiko darstellen als Flüge über unbewohnte Flächen. Das Luftrisiko steigt bei Flügen in der Nähe von Segelflugplätzen oder Hubschrauberlandeplätzen. Technische Risiken werden differenziert betrachtet, abhängig von der Art der Drohne, sei es eine professionelle, zertifizierte Drohne oder ein neuartiger Prototyp mit experimentellem Autopiloten.

b. Angabe der verwendeten Fachliteratur sowie der benutzten Informations- und Dokumentationsdienste,

ISME – keine weiteren

Uni Tübingen Vorhandene Bodenstationen (Citizen Science/luftdaten.info) wurden für den Standort Stuttgart, wo ein dichtes Messnetz vorhanden ist, gesichtet. Es ergibt sich ein Bild mit der zu erwartende Verteilung von Luftschadstoffen in Stuttgart. Die Standorte der LUBW-Stationen gingen mit in die Auswahl für mögliche UAS Aufstiegsorte in der Innenstadt Stuttgart. Sie bilden eine Referenzstation am Boden.

An Observational Case Study on the Influence of Atmospheric Boundary-Layer Dynamics on New Particle Formation. Platis et al. 2016. <https://link.springer.com/article/10.1007/s10546-015-0084-y>

Neue VDI-Richtlinie zum Einsatz unbemannter Fluggeräte/New guideline for the application of Unmanned Aircraft Systems. Foken and Bange 2020. [544/0949-8036-2020-07-08-46](https://www.vdi.de/544/0949-8036-2020-07-08-46)

The Multi-Purpose Airborne Sensor Carrier MASC-3 for Wind and Turbulence Measurements in the Atmospheric Boundary Layer. Rautenberg et al. 2019. <https://www.mdpi.com/1424-8220/19/10/2292>

Small-Scale Diffusion Dryer on an Optical Particle Counter for High-Humidity Aerosol Measurements with an Uncrewed Aircraft System. Savvakis et al. 2024. <https://doi.org/10.1175/JTECH-D-23-0093.1>

A stand-alone calibration approach for attitude-based multi-copter wind measurement systems. Bramati et al. 2022. <https://doi.org/10.5194/amt-2022-113>

Calculation of aerosol particle hygroscopic properties from OPC derived PM2.5 data. Savvakis et al. 2024. <https://doi.org/10.1127/metz/2024/1198>

Ceci n'est pas une pipe bombe - authoring urban landscapes with air quality sensors. Kuznetsov et al. 2011. <https://doi.org/10.1145/1978942.1979290>

Red balloon, green balloon, sensors in the sky. Kuznetsov et al. 2011. <https://doi.org/10.1145/2030112.2030145>

Mobile air quality measurements using bicycle to obtain spatial distribution. Samad and Vogt. 2021. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2020.117915>

Unisphere

Keine weitere

1.5 Zusammenarbeit mit anderen Stellen

ISME – Zusammenarbeit mit den Ansprechpartnern in den einzelnen Kommunen: Böblingen, Kehl, Lörrach und Stuttgart. Kontaktaufnahme zu jeweiligen Liegenschaftsämtern, Ordnungsämtern sowie zu Privatpersonen aufgrund Organisation der Flüge, Absprache mit Krankenhäusern/Kliniken wg. Flugvorhaben, Absprache mit jeweiligen Ansprechpersonen wg. Veranstaltungen

Uni Tübingen – Die LUBW (Landesanstalt für Umwelt Baden-Württemberg) hat nach in Kenntnissetzen bzw. einer Anfrage zu ihren Messsystemen großes Interesse am Projekt gezeigt. Die LUBW hat das Projekt Zugang zu ausgewählten stationären Messstationen gegeben, um die mobile UAS-Technik mit den stationären Messstationen zu validieren/vergleichen. So soll eine möglichst hohe Datenqualität der mobilen Messungen erreicht und mögliche Probleme bei Gas- und Partikelmessungen an Multicoptern erkannt und korrigiert werden. Zusätzlich hat die LUBW ein digitales Geländemodell entgeltfrei für Studierende für Abschlussarbeiten im Projekt zur Verfügung gestellt.

Für die Vergabe der Erstellung der Projekthomepage wurden drei Vergleichsangebote eingeholt. Die Auftragsvergabe erfolgte im Rahmen der Beschaffungsrichtlinien der Universität. Nach Antragsprüfung Ende Dezember wurde die Auftragsvergabe telefonisch bestätigt und freigegeben. Organisation von Vergleichsangeboten für einen Imagefilm/Projektfilm und Begleitung von artismedia GmbH bei Erstellung des Projektfilms.

Unisphere – Die Risikoanalyse sowie das Betriebskonzept wurden von Unisphere in Zusammenarbeit mit folgenden Stellen erstellt:

- Regierungspräsidium Stuttgart, Referat 46.2, Luftverkehr und Luftsicherheit
- Deutsche Flugsicherung, Standort Langen und Stuttgart

2 Eingehende Darstellung

2.1 Verwendung der Zuwendung und des erzielten Ergebnisses im Einzelnen, mit Gegenüberstellung der vorgegebenen Ziele

ISME Vorgegebene Ziele: AP 2: Kategorisierung Luftreinhaltemaßnahmen, Workshops mit Kommunen, bilaterale Kommunikation mit Kommunen, abgestimmtes Vorgehen zur Umsetzung der Maßnahmen.

In der Umsetzung der Maßnahmen sowie der Begleitung durch Flugmessungen ergaben sich zum Zwischenbericht noch weitere Änderungen:

Böblingen: Die Bauarbeiten sowie die Begrünungsarbeiten haben sich während der Projektlaufzeit so weit nach hinten verschoben, dass begleitende Messungen während der Projektlaufzeit nicht mehr realisierbar waren

Kehl: Die Realisierung der geplanten Fahrstraßen in Kehl unterlag ebenfalls Verzögerungen, weshalb auf eine alternative Maßnahme ausgewichen werden musste. Hierfür wurde die Reduzierung einer Fahrbahn (von zwei auf eine Spur) aufgrund von Bauarbeiten an der Europabrücke in Kehl gewählt. Es wurden Messungen während der Bauarbeiten und danach (nach Beendigung der Bauarbeiten) durchgeführt.

Lörrach: Keine Änderungen.

Stuttgart: Es konnten keine geeigneten Standorte zur Messung der Freiluftschneise gefunden werden.

Die Koordination und Organisation der begleitenden Messungen wurden im engen Austausch mit Ansprechpersonen der jeweiligen Partnerkommunen sowie Projektteilnehmenden von GI und UMPHY durchgeführt.

Zuarbeit in AP 3: Durchführung der Messungen (*Rückfrage Fr. Jähing: Zu welchem Zweck wurden in Lörrach und Kehl begleitende Messungen Lärm, Verkehr und Feinstaub durchgeführt?*)

Nach Abstimmung der Standortauswahl zur Durchführung der Flugmessungen mit dem Regierungspräsidium wurde deutlich, dass die Messungen aufgrund der 1:1-Regelung weiter von der jeweiligen Emissionsquelle entfernt durchgeführt werden müssen, als zu Beginn des Projektes angedacht war. Erschwerend hinzu kam, dass eine geringere Stichprobe an Flugmessungen realisiert wurde als zuvor geplant. Aus diesem Grund wurden in den Städte Lörrach (Maßnahme: Einführung einer Tempo 30-Zone) und Kehl (Maßnahme: Reduzierung einer Fahrspur) weitere ergänzende Daten gesammelt. Hierzu wurde parallel zu den Flugmessungen straßenbegleitende Erhebungen in Form von Verkehrszählungen, Lärmmessungen sowie die Messung der Feinstaubpartikel mit einem zusätzlichen Messgerät erfasst. Allerdings waren die Stichproben sowie die Erhebungsergebnisse von technischen Problemen der Messgeräte

(Lärm und Partikelmessgerät) beeinflusst und konnten aus diesem Grund nicht aussagekräftig ausgewertet werden.

Vorgegebene Ziele: AP 4: Erarbeitung und Umsetzung Kommunikationskonzept

Alle öffentlichkeitswirksamen Veranstaltungen wurden im Projektjahr 2023 final geplant und durchgeführt.

Vorgegebene Ziele AP 5: Entwicklung eines Leitfadens als Handreiche für Kommunen

Während der letzten Flugmessungen wurde mit der Erstellung eines Dokuments als Handreiche für Kommunen und weiteren interessierten Personengruppen begonnen. Hierfür wurden 45-minütige Online-Interviews mit vier verschiedenen Institutionen, welche im Rahmen des Forschungsprojektes UnLuBW kontaktiert wurden, durchgeführt. Die Kernaussagen und Empfehlungen daraus wurden aufbereitet und in den finalen Leitfaden mitaufgenommen. Alle Projektpartner waren an der Erarbeitung des Leitfadens beteiligt, der Leitfaden liegt dem Projektträger vor und ist unter [Leitfaden Drohneinsatz zur Messung von Luftschadstoffen UnLuBW](#) herunterzuladen.

Uni Tübingen

Die Mittel des Zuwendungsgebers wurden genutzt um das Messsystem, welches aus dem Multirotor-UAS, der Sensorik und weiterem für den Messbetrieb notwendigen Bestandteilen bestand. Als verwendetes UAS wurde die DJI Matrice 300 (M300) ausgewählt. Bei diesem Multirotor-UAS handelt es sich um den Industriestandard mit entsprechend großer Nutzlast, um die benötigte Sensorik tragen zu können und einem ausgeklügelten Sicherheitskonzept seitens des Herstellers.

Die verwendete Sensorik umfasst neben den meteorologischen Sensoren zur Ermittlung der Lufttemperatur, Luftfeuchtigkeit, des Luftdrucks und der Windgeschwindigkeit sowie Windrichtung auch Sensoren zur Bestimmung der Partikelmassen und den Gasen CO₂, NO₂ und O₃. Über einen Minicomputer (Raspberry Pi Zero) und eine Telemetrieinheit konnten die Daten sowohl auf dem Messsystem als auch am Boden aufgezeichnet werden. Auch war so eine Echtzeitanzeige der gemessenen Daten am Boden möglich.

Die beiden verwendeten Messsysteme waren hinsichtlich des UAS und der Sensorik identisch, um vergleichbare Ergebnisse zu erzielen. Lediglich die NO₂ Messung unterschied sich. Während das Messsystem der Arbeitsgruppe Umweltphysik mit einem sensiblen und schnelleren NO₂ Sensor der Firma Knestel ausgestattet war, konnte dieser am UAS der Arbeitsgruppe GI nicht angewendet werden. Aufgrund der regulatorischen Bedingungen zum Flug mit UAS im städtischen Bereich, war es für den Genehmigungsprozess von großem Vorteil die UAS mit einem Fallschirm zu verwenden, da die Einschlagsenergie bei einer möglichen Fehlfunktion des UAS entsprechend verringert worden wäre. Die auf dem Markt erhältlichen Fallschirme sind allerdings schwer und verringern so die mögliche Nutzlast für die Sensorik. Da der sensible NO₂ Sensor selbst nach gewichtsreduzierenden Maßnahmen noch sehr schwer war, war es nicht

möglich auf diesem UAS einen Fallschirm zu verwenden. Somit ergaben sich die Messsysteme wie in Abbildung 2 zu sehen. Links das Messsystem ohne Fallschirm, aber mit sensiblen NO₂ Sensor und rechts das Messsystem mit Fallschirm aber ohne sensiblen NO₂ Sensor.



Abbildung 3 Die verwendeten Messsysteme. Links das Messsystem mit sensiblen NO₂ Sensor. Rechts das Messsystem ohne sensiblen NO₂ Sensor, aber mit Fallschirm.

Ideal wäre eine Kombination aus sensiblen NO₂ Sensor und Fallschirm gewesen. Dies war aber aufgrund der begrenzten Nutzlast des UAS nicht möglich. Noch größere UAS hätten mehr Nutzlast liefern können, diese wären aber sehr schnell unpraktisch für den Anwender und zudem zu groß für den Genehmigungsprozess.

Das Messsystem mit dem sensiblen NO₂ Sensor wurde an den folgenden Aufstiegsorten eingesetzt:

- Lörrach - Brombacher Str.
- Lörrach – Park im Grütt
- Kehl – Europabrücke
- Stuttgart – Wasengelände
- Böblingen – Gelände an der A81

Das Messsystem mit dem Fallschirm wurden an den folgen Standorten eingesetzt:

- Lörrach – Freibad
- Lörrach – Im Grütt
- Kehl – Gelände der Hochschule
- Stuttgart – Rosensteinpark
- Böblingen – Waldlichtung

Dabei sind die Messhöhen des Messsystems ohne Fallschirm bei 30 – 90 m über Grund (je nach Aufstiegsort) und des Messsystems mit Fallschirm bei 70 – 200 m über Grund. Dies ergibt sich aus den zuvor erwähnten Regularien. Es müssen Vorschriften beachtet werden bei denen der vertikale Aufstieg an einem Ort den horizontalen Abstand zu Gebäuden, Straßen, Gehwegen usw nicht übersteigt. Dies ist die sogenannten 1 zu 1 Regel. Neben dieser mussten weitere Risiken am Boden und in der Luft abgewogen und mit dem sogenannten SORA (Specific Operations Risk Assessment) für die Genehmigung der Landesluftfahrtbehörde dargelegt werden. Aus diesen Überlegungen

und Maßnahmen zur Verringerung von Risiken ergeben sich die zuvor genannten Flughöhen und die Auswahl der Aufstiegsorte der beiden Systeme. An Orten an denen NO₂ Messungen interessanter sind, da sie zum Beispiel näher an einer Straße liegen, wurden immer das System ohne Fallschirm aber mit sensiblem NO₂ Sensor eingesetzt. Die Brombacher Str. in Lörrach oder die Europabrücke in Kehl sind hervorzuheben, da beide Standorte stark befahrene Verkehrswege sind und dementsprechend größere Mengen NO₂ entstehen können. Bereiche die eher für Hintergrundmessungen dienen wie das Hochschulgelände in Kehl oder im Grütt in Lörrach wurden hingegen von dem System ohne sensiblen NO₂ Sensor befliegen.

Zu Beginn des Projektes war noch nicht klar, ob der sensible NO₂ Sensor der Firma Knestel an einem Multirotor-UAS erfolgreich implementiert werden könnte. Die durch das UAS verursachten Vibrationen und Schallwellen könnten die Ergebnisse des Sensors verfälschen, da dieser mit dem Photoakustischen Messprinzip auf der Erkennung von Schwingungen durch „Mikrofone“ in der Messkammer beruht. Erste Messungen und auch der Vergleich mit einer Messstation des LUBW zeigten jedoch schnell eine geringe Empfindlichkeit des Sensors gegenüber externe Vibrationen und Schallemissionen. Dennoch folgen im Nachgang des Projektes noch weitere Untersuchungen, welche eine mögliche Korrelation zwischen Flugeigenschaften des UAS und den Messergebnissen untersuchen.

Die ausgewerteten Messergebnisse inklusive einer Beschreibung und Einschätzung der Bedingungen und Ergebnisse können auf der Projekthomepage www.unlubw.de abgerufen werden. Die Messungen sind leicht verständlich und auch für Laien gut zu verstehen. Die Messungen in Ellwangen ergänzen die Messungen in den Partnerstädten Lörrach, Stuttgart, Kehl und Böblingen. Grund für die außerplanmäßigen Messungen in Ellwangen sind Restriktionen im städtischen Gebiet. Auf dem ehemaligen Truppenübungsplatz in Ellwangen sind diese Restriktionen nicht vorhanden. Dadurch lässt sich das Messsystem technische vollumfänglich einsetzen. Zum Beispiel sind somit dreidimensionale Messungen und Evaluationen von Schadstofffahnen möglich (z.B. räumliche Ausdehnung und Ausbreitung). Durch vertikale Flüge allein (virtueller Messmast) lassen sich solche Aussagen nicht tätigen.

Welche Genehmigungsprozesse notwendig sind und wie diese im Projekt gehandhabt wurden, kann dem Leitfaden entnommen werden. Auch dieser ist auf www.unlubw.de einsehbar und an diesen Bericht angehängt.

Insgesamt wurde im Projekt ein Multirotor-UAS des Typs DJI M300 angeschafft, das zweite UAS der Arbeitsgruppe GI war bereits vorhanden und konnte für die Durchführung des Projektes genutzt werden. Die zuvor erwähnte Sensorik hingegen wurde in zweifacher bzw. dreifacher Ausführung beschafft und entwickelt. Auf diese Weise ist ein schneller Ersatz eines Messsystems bei Ausfall gewährleistet.

Die Zusammenarbeit mit den Projektpartnern von ISME und Unisphere bestand vor allem in der Auswahl geeigneter Aufstiegsorte unter der Prämisse, einen Mittelweg zu

finden, der eine machbare Beantragung der Aufstiegsgenehmigung bei der Landesluftfahrtbehörde, die Möglichkeit des Aufstiegs bei anderen Ämtern, den Grundstückseigentümern ermöglicht, ohne das wissenschaftliche Ziel aus den Augen zu verlieren. Bei der Kommunikation mit Behörden und Ämtern hat uns das ISME sehr unterstützt, während Unisphere eine große Hilfe bei der Erstellung des SORA-Antrags war.

Unisphere

Kernziele des Projekts	Arbeitsbeitrag Unisphere
1. Ergänzung vorhandener Bodenstationen zur Erfassung von Luftschadstoffen um kostengünstige UAS-getragene Sensorik	-
2. Konzeptionierung, Ausstattung und Validierung zweier UAS mit Sensorik zur Messung von Partikeln, Gasen, Lufttemperatur, Windgeschwindigkeit und -richtung	Unterstützung bei der Auswahl der UAS und der Konzeptionierung der Sensorik; Risikoanalyse führte zur Entscheidung, einen Fallschirm zu installieren
3. Systematische Erhebungen in den teilnehmenden assoziierten Kommunen	Erstellung einer umfassenden Risikoanalyse und eines Betriebskonzepts für insgesamt 22 Messorte in Lörrach, Kehl, Böblingen und Stuttgart, auf dessen Basis die Aufstiegsgenehmigung erteilt wurde.
4. Entwicklung von (temporären) Luftreinhaltmaßnahmen in Zusammenarbeit mit den Kommunen und deren Wirksamkeitsanalyse mit vergleichenden Messkampagnen	-
5. Auswertung und öffentlichkeitswirksame Präsentation der Ergebnisse hinsichtlich ihrer Aussagekraft und Übertragbarkeit auf weitere Kommunen	Präsentation des Messsystems (Sensoren+Drohne), der Risikoanalyse und vorläufiger Ergebnisse auf dem Klimatag Stuttgart am 24.06.2023; regelmäßige Kommunikation von Projektaktivitäten und Fortschritt über LinkedIn und Blogs auf der Unisphere Homepage.
6. Übertragung der Messungen an einen Datenserver bzw. ein öffentlich zugängliches Portal, um sie direkt auswerten und visualisieren zu können	-
7. Integration und Weiterentwicklung einer Software (Flight Forecast) im Hinblick	Bereitstellung eines kostenlosen Accounts zur Unisphere Softwareplattform

auf die Identifikation von Parametern mit Einfluss auf die Schadstoffmessung	NOVA. Integration spezifischer Wetterparameter aus Wettermodelldaten zur Vorhersage von Flugfenstern für Schadstoffmessungen.
8. Zusammenstellung eines Handlungsleitfadens für Kommunen, um eigenständig Messungen mit UAS vorzunehmen	Mitarbeit am Handlungsleitfaden betreffend Drohnenflug und Genehmigungsverfahren

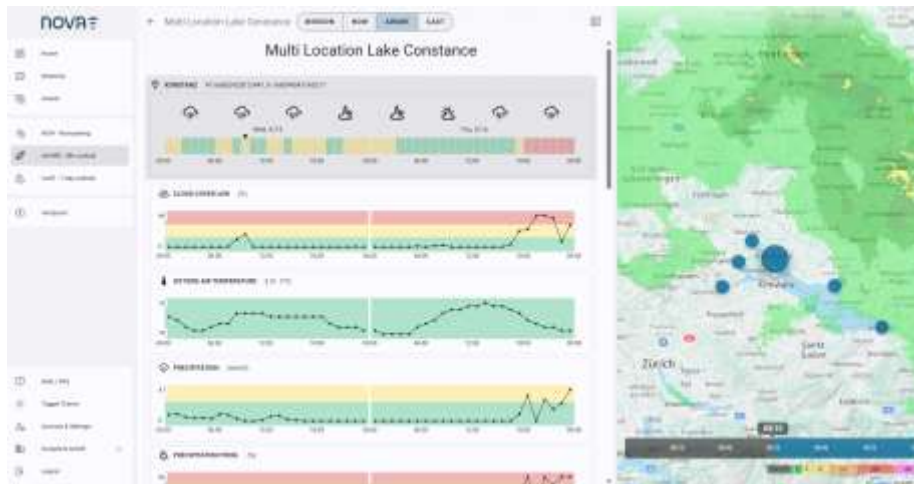


Abbildung 3 Screenshot NOVA Flugplanungssoftware mit 48h Flugfenstervorhersage

Frage des Projektträgers: Auf welcher Grundlage erfolgte die Entscheidung, wann welches Drohnensystem (mit/ohne Fallschirm) eingesetzt wird? Welche flugrechtlichen Bestimmungen beeinflussten die Entscheidung?

Antwort Unisphere: Im Rahmen des Projekts UnLuBW wurden Flüge an verschiedenen Standorten durchgeführt. Wenn das Fluggelände für unbeteiligte Dritte gesperrt werden konnte, wurde die Drohne ohne Fallschirm geflogen. In diesem Fall bestand keine Gefährdung für nicht am Flugbetrieb beteiligte Personen. Wenn jedoch das Gelände nicht abgesperrt werden konnte, wurde aufgrund der Risikoanalyse die Anforderung festgelegt, die Gefahr für unbeteiligte Personen zu minimieren. Die Verwendung eines Fallschirms als Gesamttrettungssystem für die Drohne reduziert bei einem Zwischenfall die Aufprallgeschwindigkeit auf einen Wert, der für Personen ungefährlich ist oder höchstens zu leichten Verletzungen führen kann. Die Entscheidung, mit oder ohne Fallschirm zu fliegen, hing davon ab, ob das Gelände unterhalb der Drohne abgesperrt werden konnte oder nicht. Die regulatorische Hintergründe finden sich im Dokument „JARUS Guidelines on Specific Operations Risk Assessment (SORA)“¹, Edition 2.0, Kapitel 2.3.2 Step #3 – Final GRC Determination sowie den dazugehörigen Annexes.

¹ <http://jarus-rpas.org/publications/>

Nr.	AP Nr.	Meilenstein Name	Inhalt	fällig Datum	Ist Datum	Erläuterung (insbes. die Gründe für Abweichungen von der ursprünglichen Planung)
MS 1	AP 1	Messsystem (UAS+Sensoren) validiert und einsatzbereit	Das Messsystem sollte mithilfe einer bestehenden Bodenmessstation der LUBW in Mannheim validiert werden	(04/2022)	(02/2023)	Verzögerung wg. verspäteter Projektstart und verspäteten Erhalt Fluggenehmigungen
MS 2	AP 3	Testflüge und Pilotmessungen		(09/2022)	(03/2023)	Verzögerung wg. verspäteter Projektstart und verspäteten Erhalt Fluggenehmigungen
MS 3	AP 2	Durchführung Workshops	Workshop für Auswahl geeigneter Maßnahmen, welche in den Kommunen mit dem entwickelten Messsystem begleitet werden können.	(10/2022)	(10/2022)	/
MS 4	AP 3	Datenportal ist online und Werte können frei zugänglich abgefragt werden	Erstellung eines Onlineportals zur Veröffentlichung der ausgewerteten Daten.	(02/2023)	(10/2023)	Verzögerung aufgrund verspäteter Durchführung der Flugmessungen
MS 5	AP 5	Leitfaden für Kommunen ist veröffentlicht	Leitfadenerstellung mit den wichtigsten Erfahrungen und Erkenntnissen aus dem Projekt	(12/2023)	(12/2023)	/

Meilenstein 2: Testflüge und Pilotmessungen wurden erfolgreich durchgeführt und dokumentiert (09/2022)

Meilenstein 3: Durchführung von Workshops

Es wurden mehrere Austauschtermine mit Vertreter:innen der einzelnen Partnerkommunen durchgeführt. Die Termine waren bereits im Jahr 2022 abgeschlossen und umfassten die Suche nach geeigneten Luftreinhaltemaßnahmen. Im Jahr 2023 wurden weitere, z. T. auch kurzfristige Absprachen mit Vertreter:innen der Partnerkommunen durchgeführt.

Meilenstein 4: Datenportal ist online und Werte können frei zugänglich abgefragt werden (06/2023)

Auf der Homepage www.unlubw.de wurden die Ergebnisse der Messflüge ausgewertet und die daraus generierten Daten in einzelne steckbriefartige Dokumente zum Download Interessierten zur Verfügung gestellt. Es wurden keine Datenreihen veröffentlicht, da die Gefahr der Fehlinterpretation ohne Erläuterung zu groß ist.

Meilenstein 4: Leitfaden für Kommunen ist veröffentlicht (12/2023)

2.2 der wichtigsten Positionen des zahlenmäßigen Nachweises,

s. jeweilige Teilberichte

2.3 der Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeit,

ISME. Die Vorbereitung und Durchführung der jeweiligen Flugmessungen in den beteiligten Partnerkommunen nahmen deutlich mehr Ressourcen in Anspruch als zuvor gedacht. Vor allem die Kommunikation mit den unterschiedlichen Institutionen und Abteilungen der Kommunen war umfassender als zuvor gedacht.

Uni Tübingen Die UAS-basierten mobilen und vertikalen Luftschadstoffmessungen stellen eine innovative Methode dar, die bisher noch nicht technisch umgesetzt und veröffentlicht wurde. Das Monitoring sowie die Dokumentation und Analyse der vertikalen Verlagerungen, des Verbleibs und der Verteilungen von Luftschadstoffen über Zeit und Raum (spatio-temporale Analyse) bieten großes wissenschaftliches Potenzial. Jedoch müssen hierfür auch technische Neuerungen entwickelt werden.

Ein wesentliches Hindernis für die Durchführung einer solchen Monitoringkampagne im urbanen Raum sind vor allem das Erlangen von Aufstiegsgenehmigungen sowie Sicherheitsauflagen und -bedenken. Es hat sich gezeigt, dass eine Messkampagne, die vertikale Verteilungen in Städten oder über Straßenzügen abdecken könnte, derzeit mit UAS nicht realisierbar ist. Dies verdeutlicht auch Defizite in der Handhabung solcher Unternehmungen seitens der Gesetzgeber und Behörden. Daher ist die Vorarbeit zur Analyse der dreidimensionalen Verteilungen von Luftschadstoffen höchstwahrscheinlich nicht auf die später im Projekt erlangte Datengrundlage anwendbar.

Zusätzlich ist das verwendete Sensorsystem in dieser Form nicht auf dem Markt erhältlich. Deshalb war es notwendig, dieses weitgehend selbst zu entwickeln und zu fertigen, was sowohl Arbeiten an der Hardware als auch an der Software umfasste. Aufgrund der allgemeinen Teileknappheit, insbesondere in der Halbleiterindustrie, kam es zu erheblichen Lieferverzögerungen der einzelnen Komponenten, was ebenfalls zu einer Verzögerung bei der Erstellung des Messsystems führte.

Dennoch haben die im Projekt gewonnenen Messergebnisse gezeigt, dass ein solches Messsystem wie es entwickelt und eingesetzt wurde, nützliche Messergebnisse liefert und die bodengebundenen Messungen erweitern kann. Neben der Messung in der vertikalen ermöglicht das System einen flexiblen Einsatz der Sensorik innerhalb einer Kommune oder auch anderen Örtlichkeiten und kann so an bisher unbekanntem oder neu geschaffenen Belastungsgebieten eingesetzt werden. Die Bedienung des Systems verlangt momentan noch nach geschultem Personal könnte in der Zukunft durch weitere Entwicklungen jedoch stark vereinfacht und auch für den Laien sehr einfach nutzbar sein.

Unisphere Die Nutzung von UAS als Sensorplattform zur Luftschadstoffmessung hat großes Potential, um zukünftig an vielen Standorten regelmäßig Daten zu erheben. Um die dafür notwendige öffentliche Akzeptanz zu erlangen (und zu behalten), ist eine fundierte Risikoanalyse als Grundlage für eine Genehmigung durch die Landesluftfahrtbehörde essentiell, damit es bei den Pilotflügen nicht zu Zwischenfällen kommt. Das hierfür notwendige Regelwerk ist vorhanden, die notwendigen technischen, planerischen, operationellen und organisatorischen Voraussetzungen für UAS sowie den Flugbetrieb lassen sich daraus ableiten. Im Ergebnis wird jedoch deutlich, dass die Sicherheitsanforderungen (zu Recht) relativ hoch sind und etwaige Abstriche zwangsweise zur Reduzierung des geplanten Flugumfangs führen können.

2.4 des voraussichtlichen Nutzens, insbesondere der Verwertbarkeit des Ergebnisses im Sinne des fortgeschriebenen Verwertungsplans,

ISME keine Änderungen seit Zwischenbericht.

Uni Tübingen keine Änderungen seit Zwischenbericht.

Unisphere Für Unisphere ergeben sich aus der Arbeit im Projekt UnLuBW zwei wesentliche Verwertungsmöglichkeiten. Erstens kann die Durchführung der Risikoanalyse und die Erstellung des Betriebskonzepts aufgrund der Transparenz des öffentlich geförderten Projekts als bedeutende Referenz angeführt werden. Dies stärkt die nationale und internationale Reputation von Unisphere als führendes Expertenteam für die Genehmigung komplexer Drohnenflugprojekte.

Zweitens plant Unisphere, durch die technische Weiterentwicklung der NOVA-Softwareplattform neue Kundengruppen zu erschließen. Die Integration zusätzlicher Parameter für die Messungen erweitert das Anwendungsspektrum der Plattform erheblich.

Die Kombination von Daten zur Evaluierung der Flugtauglichkeit, wie Wetterparameter und Luftraumdaten, mit Parametern zur Bewertung der Messinstrumente, wie Feinstaubdaten, ermöglicht eine präzisere und zuverlässigere Planung von UAS-Einsätzen. Dies bildet die Grundlage für perspektivisch vollständig automatisierte Messflüge.

2.5 des während der Durchführung des Vorhabens dem ZE bekannt gewordenen Fortschritts auf dem Gebiet des Vorhabens bei anderen Stellen,

ISME keine Änderungen seit Zwischenbericht.

Uni Tübingen Auf diesem hochaktuellen Forschungsgebiet der Schadstoffemissionen und deren Messung wurden auch an anderen Stellen Fortschritte erzielt. Andere Forschungsgruppen entwickeln und testen eigene Messsysteme zur Bestimmung von Partikel- und/oder Gaskonzentrationen. Ein ähnliches System wurde zum Beispiel an der TU Braunschweig entwickelt (<https://doi.org/10.3390/atmos13040629>). Jedoch ist dieses aufgrund des noch größeren Gewichtes und Dimension weniger für den innerstädtischen Bereich geeignet.

Unisphere Während der Projektlaufzeit wurde das Regelwerk zur Erstellung von Risikoanalyse überarbeitet und von JARUS die SORA Version 2.5 veröffentlicht. Der Hauptunterschied zur im Projekt verwendeten Version 2.0 ist eine Vereinfachung und bessere Standardisierung des Prozesses zur Bewertung des Ground Risk.

2.6 der erfolgten oder geplanten Veröffentlichungen des Ergebnisses.

ISME keine Änderungen gegenüber der Antragstellung

Uni Tübingen

- Posterpräsentation bei der European Meteorological Society im September 2022 in Bonn
- Posterpräsentation auf Arbeitskreis (AK) Klima Tagung im Oktober 2022 in Würzburg
- Vortrag bei der International Society for Atmospheric Research using Remotely piloted Aircraft (ISARRA) im August 2022 in Bergen, Norwegen
- Vortrag auf Arbeitskreis (AK) Klima Tagung im Oktober 2023 in Tübingen
- Geplante Posterpräsentation bei der European Meteorological Society im September 2024 in Barcelona, Spanien
- Geplante Veröffentlichung zum Messsystem mit Fokus auf den sensiblen NO₂ Sensor

Unisphere keine Änderung gegenüber Antragstellung

3 Erfolgskontrollbericht als Anlage

3.1 den Beitrag des Ergebnisses zu den förderpolitischen Zielen, z.B. des Förderprogramms (ggf. unter Angabe des Schwerpunkts),- soweit dies möglich ist-,

Das Projekt UnLuBW leistete einen wesentlichen Beitrag zu den förderpolitischen Zielen des Programms „Innovative Luftmobilität“ des BMVI. Im Schwerpunktbereich 2.3.1 (Schadstoffmonitoring durch technologische Entwicklung von UAS-Anwendungen im Verkehrsbereich) wurde ein mobiles, fliegendes Messsystem für Feinstaub (PM10, PM2,5 und Ultrafeinstaub) und NO₂ entwickelt. Zudem wurden im Schwerpunktbereich 2.3.5 (Sensorik, Datenverarbeitung- und -übertragung, urbane Integration) fortschrittliche Sensoren und Systeme zur Datenübertragung und urbanen Integration getestet und erfolgreich implementiert. Diese Entwicklungen tragen zur Verbesserung der Luftqualität und zur Förderung der Akzeptanz unbemannter Luftfahrzeuge bei.

Insbesondere sollte ein System entwickelt werden, welches es Anwendern ermöglicht innerhalb eines städtischen Umfeldes vertikale Messungen der Luftschadstoffe sowie meteorologischer Parameter sicher durchzuführen. Es konnten geeignete Aufstiegsorte identifiziert und der entsprechende Beantragungsprozess angestoßen werden. Die entwickelte und verwendete Hardware war dabei maßgeblich in den Beantragungsprozess integriert und ein elementarer Bestandteil.

Die Umsetzung der geplanten Messungen war in dem Ausmaß wie im Antrag vorgesehen jedoch aufgrund der geltenden Regularien für den Drohnenflugverkehr nicht ohne weiteres möglich. Innerhalb der auferlegten Grenzen ließen sich mit dem Messsystem jedoch sehr gute Ergebnisse erzielen und zeigten, dass solche Systeme in der Zukunft die momentane stationäre Messstrategie ergänzen sollten.

Durch die Veranstaltungsformate in den Kommunen konnte zudem die gesellschaftlichen Akzeptanz von UAS erhöht werden.

3.2 das wissenschaftlich-technische Ergebnis des Vorhabens, die erreichten Nebenergebnisse und die gesammelten wesentlichen Erfahrungen,

Mit dem entwickelten Messsystem zur Messung von Luftschadstoffen im innerstädtischen Bereich konnten neben den meteorologischen Parametern Lufttemperatur, relative Luftfeuchtigkeit, Luftdruck, Windgeschwindigkeit und Windrichtung auch die Partikelkonzentrationen PM₁, PM_{2.5} und PM₁₀ sowie die Gase NO₂, CO₂ und O₃ vermessen werden. Die vorherige Validierung an einer Referenzstation des LUBW (Landesanstalt für Umwelt Baden-Württemberg) zeigte gute Ergebnisse. Die vertikalen Messungen an unterschiedlichen Punkten innerhalb der Kommunen zeigten einen deutlichen Tagesgang der einzelnen untersuchten Variablen. Besonders für Werte wie

NO₂ und CO₂ war es möglich im Verkehr einen plausiblen Grund für die Veränderungen in der vertikalen wie auch in der zeitlichen Skala zu bestimmen. Mittels Messungen sowohl an Aufstiegsorten im Stadtkern oder an stark frequentierten Verkehrswegen, als auch auf Wiesen oder anderen in Stadtrandbereichen befindlichen Zonen konnte ein guter Vergleich zwischen den einzelnen Messungen die zeitgleich stattgefunden haben, gezogen werden. Speziell der sensible NO₂ Sensor, welcher nur an einem der zwei UAS Verwendung gefunden konnte, lieferte interessante Erkenntnisse. Anfangs war aufgrund des Messprinzips fraglich, ob dieser Sensor an einem UAS welches starke Vibrationen und Schallwellen verursacht sinnvolle Messergebnisse liefern kann. Diese Ungewissheit konnte durch die Messungen und Vergleiche jedoch ausgeräumt werden. Dennoch folgen im Nachgang des Projektes noch weitere Untersuchungen, welche eine mögliche Korrelation zwischen Flugeigenschaften des UAS und den Messergebnissen untersuchen.

Die Auswertung der Messergebnisse in Form einer flächendeckenden Bestimmung der Luftschadstoffe über den Kommunen war aufgrund der komplizierten regulatorischen Lage im Bezug auf UAS-Betrieb im städtischen Bereich leider nicht möglich. Stattdessen musste auf einzelne Messstandorte zurückgegriffen werden, welche aufgrund der geringen Anzahl eine Modellierung bzw. Interpolation über eine große Fläche wie die eines Stadtteils nicht möglich machten.

Neben dem gut funktionierenden Messsystem als auch den sehr guten Daten, hat sich auch gezeigt, dass mit der momentanen rechtlichen Lage für UAS-Betrieb eine solche Untersuchung nur schwer durchzuführen ist.

Nebenergebnisse: Neben den gewonnen wissenschaftlichen Ergebnissen und der erfolgreichen Erstellung eines Leitfadens sowie der Projekthomepage, um die Messdaten den Bürgern zugänglicher zu machen, hat das Projekt einen tiefen Einblick in die Bürokratie und Rechte des Luftverkehrs gegeben. Auch kamen wir durch die öffentlichen Veranstaltungen mit den Menschen in den und den Vertretern der Gemeinden ins Gespräch. Diese Gespräche haben erneut gezeigt, dass das Thema UAS bzw. Drohnen noch immer kritisch gesehen wird, aber auch das Potential dieser neuen Technologie immer relevanter wird.

Im Rahmen des Projektes konnte zudem der Aufbau eines Netzwerks zwischen Kommunen, wissenschaftlichen Einrichtungen und Technologieanbietern zur Förderung der Luftqualität etabliert werden.

3.3 die Fortschreibung des Verwertungsplans. Diese soll, soweit im Einzelfall zutreffend, Angaben zu folgenden Punkten enthalten (Geschäftsgeheimnisse des ZE brauchen nicht offenbart zu werden):

3.3.1 Erfindungen/Schutzrechtsanmeldungen und erteilte Schutzrechte, die vom ZE oder von am Vorhaben Beteiligten gemacht oder in Anspruch genommen wurden, sowie deren standortbezogene Verwertung (Lizenzen u. a.) und erkennbare weitere Verwertungsmöglichkeiten,

Es wurden mehrere technische Innovationen im Bereich der Sensorintegration und Datenverarbeitung entwickelt, die zur Anmeldung von Schutzrechten führten. Diese Schutzrechte sollen durch Lizenzen und Partnerschaften verwertet werden.

3.3.2 Wirtschaftliche Erfolgsaussichten nach Projektende (mit Zeithorizont) - z. B. auch funktionale/wirtschaftliche Vorteile gegenüber Konkurrenzlösungen, Nutzen für verschiedene Anwendergruppen/-industrien am Standort Deutschland, Umsetzungs- und Transferstrategien (Angaben, soweit die Art des Vorhabens dies zulässt),

Nach Projektende bestehen signifikante wirtschaftliche Erfolgsaussichten durch die kommerzielle Vermarktung der weiterentwickelten NOVA-Softwareplattform. Die Integration von neuen Parametern und Funktionen ermöglicht eine präzisere Planung und Durchführung von UAS-Einsätzen. Dies eröffnet neue Kundengruppen und Anwendungsfälle, insbesondere im Bereich der Umweltüberwachung und -planung.

Im vorliegenden Projekt war eine rein wissenschaftliche Verwertung beabsichtigt. Diese gewonnenen wissenschaftlichen Erkenntnisse sind sehr wohl nützlich und anwendbar für die industrielle Nutzung z.B. im Hinblick auf Grenzwerte für Industrieanlagen und die damit verbundenen Dienstleistungen bei der Messung der Emissionswerte. Da diese Ergebnisse in Fachzeitschriften veröffentlicht werden und auf Fachtagungen veröffentlicht wurden und werden, sind sie frei zugänglich und können daher sofort berücksichtigt bzw. umgesetzt werden. Der Zeithorizont ist aufgrund der Natur der Erkenntnisse nicht begrenzt, die Nutzbarkeit hat auch bereits begonnen.

Zudem wurde ein Projektantrag im mFUND zur Parkraumauslastungserhebung mit Drohnen eingereicht. Darüber hinaus soll als wirtschaftliches Betätigungsfeld die Erstellung von Drohnenkonzepten für Kommunen vorangetrieben werden.

3.3.3 Wissenschaftliche und/oder technische Erfolgsaussichten nach Projektende (mit Zeithorizont) - u. a. wie die geplanten Ergebnisse in anderer Weise (z. B. für öffentliche Aufgaben, Datenbanken, Netzwerke, Transferstellen etc.) genutzt werden können. Dabei ist auch eine etwaige Zusammenarbeit mit anderen Einrichtungen, Firmen, Netzwerken, Forschungsstellen u. a. einzubeziehen,

Die Ergebnisse des Projekts können in verschiedenen Bereichen genutzt werden, darunter öffentliche Aufgaben, Datenbanken und Netzwerke. Eine Zusammenarbeit mit anderen Forschungseinrichtungen und Unternehmen wird angestrebt, um die Innovationen weiterzuentwickeln und zu verbreiten.

Im vorliegenden Projekt konnte die Schaffung der Voraussetzungen für die Genehmigung der Einsätze wissenschaftlicher UAS weiter optimiert und gestrafft werden. Auch wurde die Vertrauensbasis und Kommunikation mit den benachbarten Liegenschaften (insbesondere Flugplätzen und Heliports) und den Umwelt- und Tierschutzverbänden erweitert, ausgebaut und verbessert. Zukünftige UAS Einsätze am gleichen und an vergleichbaren Standorten sind nun leichter plan- und durchführbar. Diese Errungenschaften sind sofort nutzbar und zeitlich nicht absehbar begrenzt.

Mit der Veröffentlichung des Leitfadens sind die wichtigsten Projektergebnisse veröffentlicht wurden.

3.3.3.1 Wissenschaftliche und wirtschaftliche Anschlussfähigkeit für eine mögliche notwendige nächste Phase bzw. die nächsten innovatorischen Schritte zur erfolgreichen Umsetzung der FE-Ergebnisse,

Das Projekt bietet eine solide Grundlage für eine mögliche nächste Phase, in der die Ergebnisse weiter verfeinert und in breiterem Maßstab implementiert werden können. Die gewonnenen Erkenntnisse und technischen Fortschritte ermöglichen weitere innovatorische Schritte und eine erfolgreiche Umsetzung der Forschungsergebnisse.

Beantragung eines Forschungsprojektes (mFUND) mit Einsatz einer Drohne als Messinstrument zur Parkraumauslastungserhebung

3.3.3.2 Arbeiten, die zu keiner Lösung geführt haben,

Keine

3.3.3.3 Präsentationsmöglichkeiten für mögliche Nutzer - z. B. Anwenderkonferenzen (Angaben, soweit die Art des Vorhabens dies zulässt),

Neben den erwähnten (und im Abschlussbericht gelisteten) frei verfügbaren (unter Wahrung des Urheberrechts) wissenschaftlichen Publikationen/Vorträgen konnten die Ergebnisse und Aktivitäten auch in der universitären Lehre genutzt werden. Insbesondere in den Studiengängen BSc Umweltnaturwissenschaften und dem internationalen

MSc Applied and Environmental Geo-Science wurden Studien- und Abschlussarbeiten an der Universität Tübingen vergeben.

3.3.3.4 die Einhaltung der Kosten- und Zeitplanung.

Keine Änderungen gegenüber Antragstellung