

# SmartAQnet – neuer smarter Weg zur räumlichen Erfassung von Feinstaub

## *SmartAQnet – New Smart Way for Spatial Detection of Fine Dust*

Stefan Hinterreiter<sup>1</sup>, Matthias Budde<sup>6</sup>, Klaus Schäfer<sup>2</sup>, Johannes Riesterer<sup>6</sup>, Till Riedel<sup>6</sup>, Marcel Köpke<sup>6</sup>, Josef Cyrys<sup>3</sup>, Stefan Emeis<sup>4</sup>, Thomas Gratzka<sup>5</sup>, Marcus Hank<sup>7</sup>, Andreas Philipp<sup>8</sup>, Erik Petersen<sup>8</sup>, Johanna Redelstein<sup>8</sup>, Jürgen Schnelle-Kreis<sup>9</sup>, Duick Young<sup>4</sup>, Michal Kowalski<sup>3</sup>, Volker Ziegler<sup>7</sup>, Michael Beigl<sup>6</sup>

<sup>1</sup>Aerosol Akademie e. V., Ainring · sh@aerosol-akademie.de

<sup>2</sup>Atmospheric Physics Consultant, Garmisch-Partenkirchen

<sup>3</sup>Helmholtz Zentrum München, Deutsches Forschungszentrum für Gesundheit und Umwelt (GmbH), Institut für Epidemiologie, Neuherberg

<sup>4</sup>Karlsruher Institut für Technologie (KIT), Institut für Meteorologie und Klimaforschung, Institut für Atmosphärische Umweltforschung, Garmisch-Partenkirchen

<sup>5</sup>Stadt Augsburg, Umweltamt, Augsburg

<sup>6</sup>Karlsruher Institut für Technologie (KIT), Institut für Telematik, Lehrstuhl für Pervasive Computing Systems/TECO, Karlsruhe

<sup>7</sup>GRIMM Aerosol Technik Ainring GmbH & Co. KG, Ainring

<sup>8</sup>Universität Augsburg, Institut für Geographie, Lehrstuhl für Physische Geographie und Quantitative Methoden, Augsburg

<sup>9</sup>Helmholtz Zentrum München – Kooperationsgruppe Comprehensive Molecular Analytics (CMA), München

**Zusammenfassung:** Mit dem Forschungsprojekt SmartAQnet wird ein smarter Weg zur räumlichen Bestimmung von Feinstaub untersucht und am Modellstandort Augsburg erprobt. Forschungsansatz ist die Erfassung und Zusammenführung unterschiedlicher Qualitäten von Feinstaubmesswerten mit Fernerkundungsdaten. Feinstaubmesswerte können hierbei von Jedermann (z. B. mit Ultra-Low-Cost-Sensoren) bis hin zu offiziellen Messnetzen (mit hochpräziser Messtechnik) in die Datenarchitektur eingespeist werden. Eine neuartige Internet-of-Things-Analyseplattform soll Daten zur Anwendung sowohl für Planer als auch für den Bürger bieten, welche der nachhaltigen Gesundheitsvorsorge dienen können (z. B. App für eine luftqualitätsbezogene Navigation).

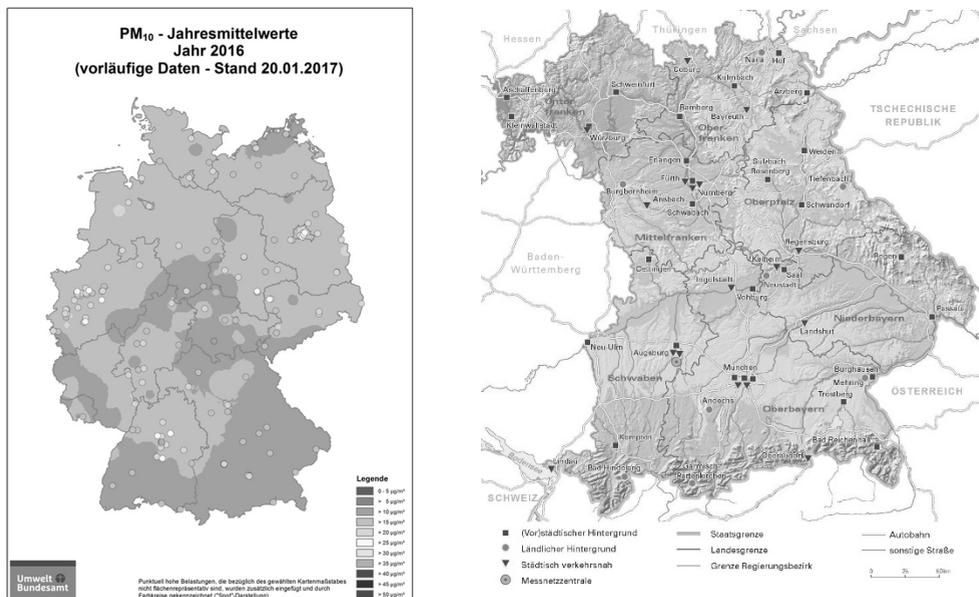
**Schlüsselwörter:** Fernerkundung, Feinstaub, Überwachung der Luftqualität, Big-Data-Management

**Abstract:** *The SmartAQnet research project is investigating a smart way of determining the spatial distribution of fine dust, prototyped at a demonstration site in Augsburg, Germany. The research approach is the collection of different qualities of fine dust measurement data and its combination with remote sensing data. Measured fine dust data can be fed into the data architecture by anyone, ranging from end users (e. g. with ultra-low-cost sensors) to official measuring networks (with high-precision measuring technology). A novel Internet of Things analysis platform will provide data for applications by both planners and citizens, which can be used for sustainable health care (e. g. app for air quality-related navigation).*

**Keywords:** *Remote sensing, fine dust, air quality monitoring, Big Data Management*

# 1 Motivation und Stand der Technik

Das Thema Luftqualität gerät derzeit wieder vermehrt in den Fokus vieler Akteure. Dies zeigt sich beispielsweise in den vermehrt erscheinenden Zeitungsberichten (Süddeutsche Zeitung, 2018) oder in den Aktivitäten umweltbezogener Organisationen, wie z. B. der Deutschen Umwelthilfe (Deutsche Umwelthilfe, 2018). Hintergrund hierzu sind die gesundheitsrelevanten Auswirkungen: „Je nach Größe und Eindringtiefe der Teilchen sind die gesundheitlichen Wirkungen von Feinstaub verschieden. Sie reichen von Schleimhautreizungen und lokalen Entzündungen im Rachen, der Luftröhre und den Bronchien oder Schädigungen des Epithels der Lungenalveolen bis zu verstärkter Plaquebildung in den Blutgefäßen, einer erhöhten Thromboseneigung oder Veränderungen der Regulierungsfunktion des vegetativen Nervensystems (z. B. mit Auswirkungen auf die Herzfrequenzvariabilität)“ (Umweltbundesamt, 2018). Weiterführende Veröffentlichungen stützen sich zumeist auf Daten, welche durch die offiziellen Messstationen erfasst werden (Budde et al., 2017). In Abbildung 1 sind einige Messstellen der deutschen Bundesländer und des Umweltbundesamtes (links; im Folgenden als „Messdaten des UBA“ zusammengefasst) sowie des Landesamts für Umwelt Bayern (rechts) dargestellt, an welchen nach EU-Richtlinie mit eignungsgeprüfter stationärer Mess-technik aktuelle Feinstaub-Messwerte  $PM_{10}$  bestimmt werden. Damit sind derzeit ausschließlich die zuständigen Stellen von Bund und Ländern – abgesehen von einigen Forschungsstationen – in der Lage, laufend Daten von hoher Qualität zu sammeln und zu präsentieren.



in ländlichen Gebieten und in Städten sehr unterschiedlich bzw. von vielen unterschiedlichen Einflüssen abhängig. Beispiele hierzu sind z. B. die räumliche Anordnung und zeitliche Aktivität von Emittenten, meteorologische Bedingungen oder Bebauung. Dies bedingt, dass für weiterführende Auswertungen die Datenbasis unvollständig ist und folglich flächendeckende räumliche Verteilungen anhand von numerischen Simulationen oder Chemie-Transport-Modellen erstellt werden. Beides führt u. a. dazu, dass deren Aussagekraft für eine umfassende Auswirkung der Feinstaubbelastung auf die Bevölkerung ungeklärt bleibt (Duyzer et al., 2015). Zukünftig sollen die vorhandenen Mess- und Datenlücken jedoch geschlossen werden, wofür räumlich und zeitlich hochaufgelöste Messdaten benötigt werden.

An dieser Thematik setzt das vom Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI) im Rahmen des Modernitätsfonds mFUND geförderte Projekt an: In Smart Air Quality Network, kurz *SmartAQnet* (Budde et al., 2017), werden neue Wege für eine raum- und zeitlich hochaufgelöste Erfassung der Luftqualität – derzeit vorrangig Feinstaub – erforscht und entwickelt. Dabei wird am Beispiel der Modellregion Augsburg angestrebt, ein intelligentes, reproduzierbares, sehr fein aufgelöstes und dennoch preiswertes Messnetzwerk für die Luftqualität umzusetzen.

## 2 Material und Methoden

### 2.1 Vernetzte Messstrategie

Wie bereits dargestellt, werden Feinstaubmesswerte zumeist mit Messstationen von Bund und Ländern erfasst und für die Allgemeinheit verfügbar gemacht. Zusätzlich zu diesen „offiziellen“ Messwerten werden im Projekt *SmartAQnet* weitere bzw. zusätzliche Daten für eine aussagekräftigere Bestimmung der räumlichen Feinstaubbelastung erfasst bzw. mit den vorhandenen Messstationen „vernetzt“. Hierfür werden teilweise schon vorhandene, offene Daten (z. B. Wetterdaten oder Bebauungspläne) erschlossen und in die Projektdatensätze integriert. Zusätzlich werden die Datensätze mit den im Rahmen von *SmartAQnet* neu erfassten Daten aus der Fernerkundung, neuen mobilen Messansätzen, flächendeckender Low-Cost-Sensorik, neu entwickelten Messgeräten (sogenannten „Scientific Scouts“) und bedarfsorientierten Messungen mit unbemannten Flugobjekten (sogenannte Unmanned Aerial Vehicles, kurz UAV) kombiniert. Anhand der im Projekt gewonnenen Daten und Erfahrungen wird durch das neuartige Messnetzwerk bzw. Analysekonzept ein smartes, räumlich und zeitlich hoch aufgelöstes und gleichzeitig preiswertes frei zugängliches Messnetzwerk in Augsburg entstehen. Neben einem Bewusstsein für mögliche Einflussfaktoren soll damit auch eine erweiterbare offene Datenbasis geschaffen werden, welche sowohl die Forschung, Entscheidungsträger aber auch neuartige nachhaltige Anwendungen im Bereich Mobilität und städtischer Raum unterstützt.

### 2.2 Erfasste Parameter und Messgeräte

Der dem Projekt *SmartAQnet* zugrunde liegende offene Datensatz zur Feinstaubbestimmung umfasst vorhandene Datensätze und Messdaten, die von einem dichten Sensornetzwerk, mobilen Messsensoren (u. a. für Fahrräder), „lokal“ durch unbemannte Flugobjekte sowie flächendeckend von Bürgern erfasst werden.

### 2.2.1 Parameter Feinstaub und genutzte Messgeräte

Der Parameter Feinstaub wird im Projekt mittels verschiedener Messgeräte und Sensoren erfasst bzw. bestimmt. Aus diesem Grund wurden im Rahmen von *SmartAQnet* vier sinnvolle Klassen identifiziert, welche die aktuell gängigen Preis- und Messgüteklassen sinnvoll widerspiegeln. Die in Tabelle 1 gezeigte Übersicht stellt hierbei nur einen Auszug vorhandener Technik dar und gibt somit keinen Anspruch auf Vollständigkeit.

**Tabelle 1:** In *SmartAQnet* genutzte Einteilung für optische Feinstaubmessgeräte

Preis-kategorie	Messprinzip	Erfasste Feinstaubwerte	Einsatzmöglichkeit	Mögliche Anbieter mit Typ-Bezeichnung
Hoch	Nephelometrie/ Optical Particle Counting	PM <sub>10</sub> , PM <sub>2,5</sub> , PM <sub>1</sub> , Partikel-Größenverteilung	Stationär	z. B. GRIMM EDM164, TSI Dusttrac 8533
Mittel	Nephelometrie/ Optical Particle Counting	PM <sub>10</sub> , PM <sub>2,5</sub> , teilweise PM <sub>1</sub>	Stationär und mobil	z. B. Alphasense OPC-N2, Dylos DC1700 Air Quality Monitor, Meteomodem LOAC-Sensor
Low-Cost	Nephelometrie	Teilweise PM <sub>10</sub> , PM <sub>2,5</sub>	Stationär und mobil	z. B. Nova Fitness SDS011 PM Sensor
Ultra-Low-Cost	Nephelometrie	PM <sub>10</sub> , PM <sub>2,5</sub>	vorrangig mobil	z. B. „Clip-on Lichtstreuungssensoren“ (Budde et al., 2013)

Zusätzlich zu den zur Feinstaubfassung genutzten Geräten/Sensoren, welche den in Tabelle 1 dargestellten Preis- und Messgüteklassen zugeordnet werden können, werden in *SmartAQnet* neue, im mittleren Preissegment angesiedelte Messgeräte entwickelt. Projektpartner GRIMM Aerosol Technik Ainring GmbH entwickelt zwei Messgerätetypen, welche sowohl für den stationären wie auch für den mobilen Einsatz geeignet sein werden. Diese als „Scientific Scouts“ bezeichneten Messgerätetypen unterscheiden sich u. a. durch die Erfassung unterschiedlicher Messparameter bzw. im Messprinzip: Scientific Scout 1 Messgeräte basieren auf dem Prinzip der Nephelometrie (Bestimmung der Partikel-Massenkonzentration) und Scientific Scout 2 Messgeräte auf dem Prinzip der optischen Partikelzählung (Bestimmung der Partikel-Anzahlkonzentration und Partikel-Größenverteilung). Anhand der Messdaten von insgesamt 50 Scientific Scouts und 5 Referenzmessgeräten im aufzubauenden Messnetzwerk erfolgt abschließend eine wissenschaftliche Bewertung beider Messgerätetypen.

Wie bereits ausgeführt, werden in *SmartAQnet* neben Messwerten der Scientific Scouts auch Daten von existierenden festen Messstationen genutzt sowie eigene Messkampagnen mit mobilen Messgeräten durchgeführt. Des Weiteren sollen interessierte Bürger in die Messkampagnen eingebunden werden und z. B. durch Clip-on Lichtstreuungssensoren Messdaten generieren.

### 2.2.2 Remote Sensing und genutzte Messgeräte

Zusätzlich zu den bodennahen Feinstaubmessungen erfolgen in *SmartAQnet* Fernerkundungsmessungen, die zur Verbesserung von räumlich lokal-auflösenden Chemie-Transport-Modellen beitragen sollen. Die Universität Augsburg führt im gesamten Projektverlauf Mess-

kampagnen mit verschiedenen UAVs und Fahrrädern durch, welche u. a. mit Alphasense OPC-N2 Modulen, LOAC-R-Sensoren oder wenn möglich auch den neuen Scientific Scouts bestückt werden. Somit können vertikale und horizontale Datenprofile für die Parameter Feinstaub, Temperatur, relative Luftfeuchte etc. erstellt und mit den in Bodennähe gewonnenen Daten der Messnetzwerke verglichen werden. Des Weiteren liefert ein Vaisala CL51 Ceilometer zusätzlich Daten zur Grenzschichtstruktur und vertikalen Aerosolabschätzung mittels der Rückstreuintensität ausgesandter Laserimpulse (Emeis et al., 2004).

Alle im Projekt erfassten Messwerte werden in ein Datenhaltungssystem eingespeist und zentral gespeichert. Eine genauere Darstellung folgt im nächsten Kapitel.

### 2.3 Datenhaltungssystem

Die in *SmartAQnet* ermittelten Messdaten werden zentral eingespeist und gespeichert. Hierfür ist ein Datenhaltungssystem notwendig, welches diese Schritte in einer einfachen Art und Weise erlaubt. Gleichzeitig müssen die gewonnenen Daten aber auch jederzeit simpel abrufbar und analysierbar sein sowie für verschiedene Anwendungen in unterschiedlichen Komplexitäten bereitgestellt werden können. Grund hierfür ist das Projektziel, die erfassten Daten für interessierte Wissenschaftler, Behörden und Bürger frei zugänglich und nutzbar zu machen.

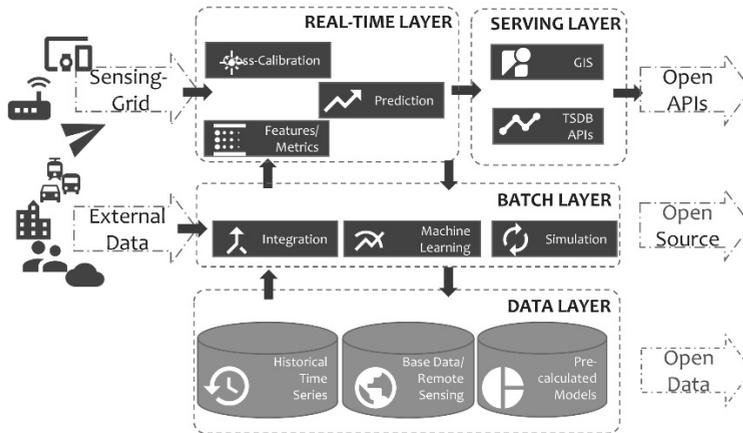
Im Projektverlauf wird daher eine neue Internet of Things (IoT-)Plattform entwickelt. Diese soll prinzipiell allen Interessierten erlauben, erfasste Messwerte in das System einzuspeisen, abzurufen, zu nutzen oder zu verarbeiten. Besondere Herausforderungen stellen hierbei einerseits die Integration „umweltrelevanter Datensätze“ (wie z. B. Wetter-, Verkehrs- oder Topographiedaten) und „externer Daten“ (z. B. durch Bürger erfasste Daten) dar sowie andererseits die Vergleichbarkeit von Messwerten, welche von qualitativ unterschiedlichen Messgeräten erfasst wurden (siehe Kapitel 2.2.1). Folglich werden im Rahmen der Entwicklung der IoT-Plattform auch neue Metriken / Methoden (mittels Big Data) zur Verarbeitung der Daten entstehen müssen, wie z. B.:

- Big-Data-Analysen zur Qualitätsverbesserung und Modellvalidierung.
- Neuartige Algorithmen z. B. zur verteilten Kalibrierung, Verifikation von Datenquellen oder dem Schutz der Privatsphäre der messenden Individuen.

Damit die im *SmartAQnet*-Datenhaltungssystem erfassten und gespeicherten Messwerte auch für „Jedermann“ verfüg- und nutzbar sind, ist eine spezielle Datenarchitektur notwendig. Aufbau und Eigenheiten der Datenarchitektur werden im folgenden Kapitel genauer dargestellt.

### 2.4 Datenarchitektur

Die Datenarchitektur von *SmartAQnet* basiert auf einer sogenannten Kappa-Architektur und implementiert einen vollständigen IoT-Stack mittels neuester Smart Data Technologien. Eine Eigenheit dieser Kappa-Architektur ist die Möglichkeit, live erfasste Messdaten wie auch bereits vorhandene „historische“ Daten/Datensätze in das System einpflegen zu können. Wie in Abbildung 2 ersichtlich, wird dies wie folgt möglich: Die (ggf. anonymisierten) Roh-Daten werden sowohl direkt verarbeitet (Real-time Layer) wie auch gleichzeitig als historische Zeitserie gespeichert (Data Layer).



**Abb. 2:** Die Big-Data-Architektur von *SmartAQnet*. API: application programming interface, TSDB: Transparent sensitive data protection.

Abbildung 2 zeigt auch die übersichtliche Darstellung, wie die gesammelten Daten (entweder durch *SmartAQnet* oder extern erfasst) in die *SmartAQnet*-Big-Data-Architektur integriert und weiterverarbeitet werden. Anhand der dargestellten Datenfluss-orientierten Verarbeitungskette (rote Pfeile) können die Daten beispielsweise unter Nutzung von vorberechneten Modellen (simulativ und prädiktiv) mit historischen Zeitserien verarbeitet und anschließend fast in Echtzeit wieder zur Verfügung gestellt werden. Die Forschungsfragestellungen im Bereich der Datenarchitektur zielen beispielweise auf eine Verifikation von Datenquellen oder auf den Schutz der Privatsphäre beteiligter Bürger.

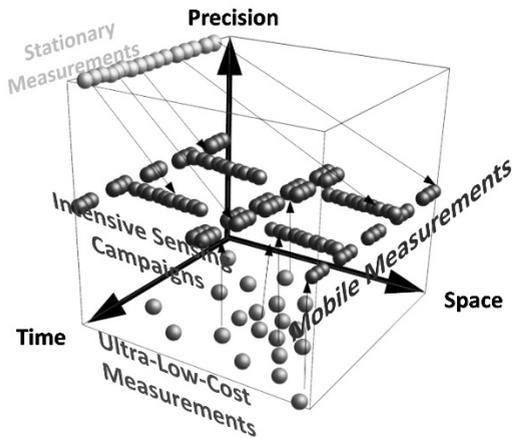
Ein weiterer Aspekt im Projekt ist die Nutzung von Skalierungstechnologien (Big-Data-Technologie), wodurch die Verarbeitungskette – welche primär in Augsburg verifiziert wird – relativ einfach auch auf andere Regionen übertragbar ist. Die hier eingesetzte Kappa-Architektur zeichnet sich u. a. dadurch aus, dass sie vollständig datenstromorientiert und zustandslos ist. Im Unterschied zu relationalen oder nichtrelationalen (non-relational database systems, NoSQL) Datenbanken kann damit die Verarbeitungskapazität einfach, dezentral und dynamisch in die Architektur eingebunden werden. Jeder beteiligte Datenknoten kann einen beliebigen Systemzustand vollständig aus einem (idealerweise unendlichen) LOG-File, welches die Interaktion mit dem System beschreibt, rekonstruieren. Neben der Skalierbarkeit und Ausfallsicherheit durch Redundanz ist dies insbesondere auch für die wissenschaftliche Wiederholbarkeit von Datenexperimenten (mit Rohdaten) wichtig.

Des Weiteren wird ein Streaming-Dienst bereitgestellt, bei dem sich Verbraucher anmelden können und das System über sogenannte Partitionen (deutschlandweit, europaweit, ...) skaliert werden kann. Rechenleistung kann bedarfsorientiert eingebunden und Daten können inkrementell in „Echtzeit“ verarbeitet werden. Die Architektur, bei der lediglich das Kommunikations-Protokoll (in diesem Projekt das SensorThings-Protocol) definiert sein muss, ermöglicht theoretisch die Austauschbarkeit der restlichen Soft- und Hardware. Dies gewährleistet die in einem anwendungsorientierten Forschungsprojekt notwendige Flexibilität und Skalierbarkeit. Ein Ziel ist es, möglichst verschiedene Datenprodukte kostengünstig, einfach und zeitnah (vor-)berechnen zu können, ohne die Architektur grundlegend zu verändern.

## 2.5 Neuer Messansatz und Forschungsfragen

Die in den vorangegangenen Kapiteln dargestellten Messmethoden oder Vorgehensweisen sind für sich allein betrachtet – zumindest teilweise – schon bekannt und keine Neuerung. Beispielsweise untersuchten andere Forschungsprojekte den Einsatz von Low-Cost-Sensoren zur Bestimmung der (persönlichen) Luftqualität (iSPEX (Snik et al., 2014; Hüglin et al., 2015; Kumar et al., 2015; Steinle et al., 2013; Steinle et al., 2015) und Firmen bzw. Initiativen beschäftigten sich ebenso mit dieser Thematik, wie z. B. Airly, Breeze Technologies UG, Open Knowledge Foundation Deutschland e. V., World Air Quality Index, plumelabs, ZAMG für die Stadt Wien (Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik, 2018) etc. Die Herausforderung und der zugrunde liegende Forschungsansatz von *SmartAQnet* ist die Kombination aller Aspekte und die sich daraus ergebenden Fragestellungen. Im Mittelpunkt steht die Entwicklung und Nutzung von partiellen, bereits vorhandenen (aber noch nicht kombinierten) Daten einerseits und der Sammlung und Integration relevanter fehlender Daten auf der anderen Seite. Dies beinhaltet die Integration von Drittquellen, die Entwicklung neuartiger Messgeräte, eine Verbesserung der gesamten Datenqualität und die Identifikation und Implementierung von sinnvollen Schnittstellen zwischen Geräten, Datenbanken und dem Endnutzer. So ergeben sich bei der Erarbeitung neuer Sensorik u. a. folgende Herausforderungen: Einerseits wird angestrebt, kostengünstige Messgeräte und Sensoren auf den Markt zu bringen, um mit diesen Geräten eine hohe Dichte an Messungen bzw. ein dichtes Messnetz zu erreichen. Andererseits weisen die bereits erhältlichen günstigen bzw. Ultra-Low-Cost-Sensoren zumeist nur eine geringe Toleranz gegenüber Umwelt- und Umgebungseinflüssen (mechanische Belastung, Temperatur, Druck und v. a. Feuchte) auf. Im Projekt wird somit untersucht, wie sich dies auf Messungen mit einer hohen zeitlichen Auslösung auswirkt und wie durch ständige Sensorvergleiche die Datenqualität bestimmt werden kann. Weitere Gesichtspunkte, welche untersucht werden, sind die Langzeitstabilität der Messgeräte, geringe (wenn möglich keine) Wartungsintervalle und eine sichere und stabile Einbindung der Geräte in vorhandene/neue Netzwerke oder Endgeräte wie z. B. Smartphones. Zudem besteht eine große Herausforderung darin, dass alle in *SmartAQnet* genutzten und neu entwickelten Geräte/Sensoren kompatible und konforme Datenformate aufweisen (mit synchronem Zeitstempel). Teilweise werden hierfür neue Algorithmen erstellt und wissenschaftlich bewertet werden müssen, um z. B. Messgeräte mit geringer Präzision nutzen zu können.

Die Komplexität der Zusammenführung aller Feinstaub-Messdaten im *SmartAQnet*-Projekt ist in Abbildung 3 schematisch dargestellt. Stationäre Messgeräte liefern konstant hochpräzise Feinstaubwerte (gelbe Punkte), welche jedoch nichts über eine räumliche Verteilung (Raum-Achse) aussagen. Dem gegenüber erzeugen Messungen mit Ultra-Low-Cost-Sensorik (grün) unregelmäßig und mit niedriger Präzision eine Vielzahl an vielfältig im Raum verteilten Messwerten. „Zwischen“ beiden Messpunkt-Reihen liefern mobile Messungen (u. a. mit Scientific Scouts) Messwerte, welche einerseits regelmäßig auf festgelegten Messrouten (rote Punkte) und andererseits in Intensivmesskampagnen (blau) in wenigen Zeitpunkten aber in hoher räumlicher Dichte generiert werden. Durch eine geostatische Projektion (dünne schwarze Pfeile) können folglich die Low-Cost-Messungen an Messpräzision und die Hochpräzisionsmessungen an räumlicher Qualität gewinnen. Das Ergebnis dieser Projektion stellt eine insgesamt höhere Informationsdichte bei gleichzeitig gesteigertem Qualitätsniveau dar, welche die Summe von Einzelmessungen allein nicht bieten könnte.



**Abb. 3:**  
Schematische Darstellung der *SmartAQnet*-Messpunkte in Abhängigkeit von zeitlicher und räumlicher Auflösung sowie Präzision

Abschließend soll in *SmartAQnet* analysiert werden, ob und wenn ja, günstige und/oder Ultra-Low-Cost-Sensorik qualitativ dazu beitragen kann, hochauflösende Datensätze mitsamt hoher Aussagekraft zu generieren. Mit beantwortet werden soll diese Frage anhand von Verwertungsmöglichkeiten, welche in Kapitel 2.6 genauer darstellt werden.

## 2.6 Verwertungsstrategie

All die in den vorangegangenen Kapiteln dargestellten Maßnahmen zielen darauf ab, eine breitere Basis zur Darstellung der räumlichen Verteilung von Luftschadstoffen in urbanen Räumen zu generieren und bereitzustellen. Die hierdurch gewonnenen Daten werden daher frei verfügbar gemacht, sofern diese nicht die Rechte Dritter betreffen. Des Weiteren sollen die Daten dazu beitragen, Bürgern, Entscheidungsträgern und Stadtplanern einen besseren Einblick sowie eine einfachere Einschätzung der (aktuellen) Feinstaubbelastung zu vermitteln. Dazu beitragen sollen auch die auf Basis der gewonnenen Daten und der beschriebenen Plattform entwickelten neuen bzw. smarten „Anwendungen“, wie beispielsweise Apps zur „luftqualitätsbezogenen“ Navigation. Zusätzlich wird zu anderen themenrelevanten (Forschungs-)Projekten bzw. Messgeräte- und Sensorik-Herstellern Kontakt aufgenommen, um mögliche Kooperations- und Verbesserungsmöglichkeiten sowie Synergieeffekte zu finden. Darüber hinaus werden sogenannte Hackathons veranstaltet, auf welchen Anwendungen ausgetauscht und/oder entwickelt werden können. Diese und weitere Entwicklungen werden zusätzlich auf der Abschlussveranstaltung in Form eines „Tag der offenen Tür mit Mess- und Anwendungsdemonstrationen“ vorgestellt.

## 3 Erste Projektarbeiten

### 3.1 Vorversuche zur Feinstaubfassung

Bereits seit Anfang Oktober 2017 laufen mit einigen Messgeräten erste Funktionalitäts- und Messbetriebstests. So wurden in ersten Vergleichsmessungen in Pouch (Produktionsstandort GRIMM Aerosol Technik Ainring GmbH) und an der Aerosol-Messstation in Augsburg

Scientific Scout 1 Messgeräte für das *SmartAQnet*-Messnetz mit einem Referenzgerät (GRIMM EDM164) auf Herz und Nieren getestet. Betrachtet wurden u. a.:

- Einfache Inbetriebnahme bzw. Installation vor Ort,
- Konnektivität, Messbetrieb, Daten-Upload und „Remote Steuerung“,
- Signalauswertung und Algorithmus als Vorbereitung zur Feldkalibrierung für verschiedene PM-Werte,
- Robustheit der Messgeräte für den Outdoor-Dauerbetrieb und Ausfallrate.

Neben den Scientific Scout 1 Messgeräten wurden zudem bereits Nova Fitness SDS011 und Dylos DC1700 Sensoren an der Messstation installiert und liefern weitere Feinstaub-Messwerte. Des Weiteren wurden an der Universität Augsburg erste Vorversuche bzw. Vergleichsmessungen mit den im Projekt genutzten Alphasense OPC-N2 Geräten durchgeführt. Damit diese für die geplanten Fahrrad-Messkampagnen eingesetzt werden können, wurde ein erster Prototyp eines Fahrradhalters entwickelt, an welchem neben dem Alphasense OPC-N2 Messgerät zusätzlich noch ein digitaler Sensor für Temperatur und Luftfeuchtigkeit (Almemo FHAD46-C2, Fa. Ahlborn) befestigt werden kann.

### 3.2 Vorbereitungen für die Messungen mittels Fernerkundung

In Vorbereitung auf die Aufnahme UAV-gestützter und mobiler sowie stationärer Messungen wurde von der Universität Augsburg bis Ende 2017 die Installation der Messtechnik vorangetrieben. So wurde das im Rahmen des Projektes beschaffte Ceilometer CL51 (Fa. Vaisala) an der Dachstation des Instituts installiert und in Betrieb genommen. Seit Oktober 2017 liefert das Messgerät Daten zur Grenzschichtstruktur und vertikalen Aerosolabschätzung. Des Weiteren wurden drei Light Optical Aerosol Counter (Fa. Meteomodem) getestet und im Rahmen der Vergleichsmessung an der Aerosolmessstation in Betrieb genommen.

## Fördergeldegeber und Laufzeit

„*SmartAQnet* – Smart Air Quality Network – Analyse und Bewertung neuer Luftgüte-Messmethoden und Wissenschaftskommunikation an Öffentlichkeit und spezielle Stakeholder“ (www.smartaq.net) wird gefördert vom Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (Förderkennzeichen 19F2003) und läuft von 01.04.2017 bis 31.03.2020.

## Literatur

- Bayerisches Landesamt für Umwelt (2018), *Immissionsmessungen LÜB – Lufthygienisches Landesüberwachungssystem Bayern*. Retrieved January 29, 2018, from <https://www.lfu.bayern.de/luft/immissionsmessungen/index.htm>.
- Budde, M., Barbera, P., El Masri, R., Riedel, T., & Beigl, M. (2013). Retrofitting Smartphones to be Used as Particulate Matter Dosimeters. *International Symposium on Wearable Computers* (ISWC 13) (pp. 139–140).

- Budde, M., Riedel, T., Beigl, M., Schäfer, K., Emeis, S., Cyrus, J., Schnelle-Kreis, J., Philipp, A., Ziegler, V., Grimm, H., & Gratzka, T. (2017). SmartAQnet: Remote and In-Situ Sensing of Urban Air Quality. *Proc. SPIE 10424, Remote Sensing of Clouds and the Atmosphere XXII*, 104240C.
- Deutsche Umwelthilfe (2018). *Luftqualität*. Retrieved January 31, 2018, from <http://www.duh.de/themen/luftqualitaet/>.
- Duyzer, J., van den Hout, D., Zandveld, P., & van Ratingen, S. (2015). Representativeness of air quality monitoring networks. *Atmospheric Environment*, 104, 88–101.
- Emeis, S., Münkel, C., Vogt, S., Müller, W. J., & Schäfer, K. (2004). Atmospheric boundary-layer structure from simultaneous SODAR, RASS, and ceilometer measurements. *Atmospheric Environment*, 38, 273–286.
- Hüglin, C., Graf, P., Müller, M., Schwarzenbach, B., & Emmenegger, L. (2015). *Sensortechnologien für die Messung von Luftschadstoffen. Einschätzung der Möglichkeiten und Grenzen von kostengünstigen Sensoren*, EMPA, Abt. Luftfremdstoffe/Umwelttechnik, Dübendorf, Schweiz.
- Kumar, P., Morawska, L., Martani, C., Biskos, G., Neophytou, M, Di Sabatino, S., Bell, M., Norford, L., & Britter, R. (2015). The rise of low-cost sensing for managing air pollution in cities. *Environment International* 2015, (75), 199–205. Retrieved April 11, 2018, from <https://doi.org/10.1016/j.envint.2014.11.019>.
- Seidel, J., Ketzler, G., Bechtel, B., Thies, B., Philipp, A., Böhner, J., Egli, S., Eisele, M., Herma, F., Langkamp, T., Petersen, E., Sachsen, T., Schlabing, D., & Schneider, C. (2016). Mobile measurement techniques for local and micro-scale studies in urban and topo-climatology. *Die Erde*, 147, 15–39.
- Snik, F., Rietjens, J., Apituley, A., Volten, H., Mijling, B., Di Noia, A., & Keller, C. (2014). Mapping atmospheric aerosols with a citizen science network of smartphone spectropolarimeters. *Geophysical Research Letters*, 41(20), 7351–7358.
- Steinle S., Reis, S., Sabel, C. E., Semple, S., Twigg, M. M., Braban, C. F., Leeson, S. R., Heal, M. R., Harrison, D., Lin, C., & Wu, H. (2015). Personal exposure monitoring of PM<sub>2.5</sub> in indoor and outdoor microenvironments. *Science of The Total Environment* 2015(508), 383–394. Retrieved April 11, 2018, from <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2014.12.003>.
- Steinle, S., Reis, S., & Sabel, C. E. (2013). Quantifying human exposure to air pollution – Moving from static monitoring to spatio-temporally resolved personal exposure assessment. *Science of The Total Environment* 2013(433), 184–193, Retrieved April 11, 2018, from <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2012.10.098>.
- Süddeutsche Zeitung GmbH (2018). *Hendricks: 20 Städte schaffen Luftgrenzwerte auch 2020 nicht*. Retrieved January 31, 2018, from <http://www.sueddeutsche.de/news/wirtschaft/auto-hendricks-20-staedte-schaffen-luftgrenzwerte-auch-2020-nicht-dpa.urn-newsml-dpa-com-20090101-180130-99-855326>.
- Umweltbundesamt (2018). *Feinstaubbelastung: Gesundheitliche Auswirkungen*. Retrieved January 29, 2018, from <https://www.umweltbundesamt.de/daten/luft/feinstaubbelastung#textpart-6>.
- Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik (2018), „Internet of Things“ in der Stadt Wien ermöglicht neue intelligente Klima- und Verkehrssteuerungssysteme. Retrieved April 11, 2018, from <http://www.zamg.ac.at/cms/de/aktuell/news/201einternet-of-things201c-in-der-stadt-wien-ermoeeglicht-neue-intelligente-klima-und-verkehrssteuerungssysteme>.