

SmartAQnet – raum/zeitlich hochaufgelöste Erfassung der Luftqualität mit neuen Datenprodukten

M. Budde (1), K. Schäfer (2), J. Cyrus (3), S. Emeis (4), T. Gratzka (5), H. Grimm (6), M. Hank (7), S. Hinterreiter (6), E. Petersen (8), A. Philipp (8), J. Redelstein (8), T. Riedel (1), J. Riesterer, (1), J. Schnelle-Kreis (9), D. Young (4), V. Ziegler (7), M. Beigl (1)

(1) Karlsruhe Institute of Technology, Institute of Telematics, Chair for Pervasive Computing Systems / TECO, 76131 Karlsruhe, Germany;

(2) Atmospheric Physics Consultant, 82467 Garmisch-Partenkirchen, Germany;

(3) German Research Center for Environmental Health - Helmholtz Zentrum München GmbH, Institute of Epidemiology II, 85764 Neuherberg, Germany;

(4) Karlsruhe Institute of Technology, Institute of Meteorology and Climate Research, Atmospheric Environmental Research, 82467 Garmisch-Partenkirchen, Germany;

(5) Stadt Augsburg, Umweltamt, 86152 Augsburg, Germany;

(6) Aerosol Akademie e.V., 83404 Ainring, Germany;

(7) GRIMM Aerosol Technik Ainring GmbH & Co. KG, 83404 Ainring, Germany;

(8) University of Augsburg, Institute of Geography, Chair for Physical Geography and Quantitative Methods, 86159 Augsburg, Germany;

(9) German Research Center for Environmental Health - Helmholtz Zentrum München GmbH, Cooperation Group of Comprehensive Molecular Analytics, 81379 München, Germany

E-Mail des Vortragenden und korrespondierenden Autors: schaefer@atmosphericphysics.de.

Abstract

Die räumliche und zeitliche Verteilung von Luftschadstoffen in Städten ist sehr variabel, da sie von unterschiedlichen Einflüssen abhängt, die von den Emittenten (räumliche Anordnung, zeitliche Aktivität) als auch den meteorologischen Bedingungen, der Bebauung und den chemischen Prozessen kommen. Zurzeit werden Verunreinigung der Luft mit relativ wenigen Messstationen durch eignungsgeprüfte stationäre Messtechnik nach einer EU-Richtlinie erfasst. Somit sind nur zuständige Stellen von Bund und Ländern in der Lage, laufend Daten von hoher Qualität zu sammeln und zu präsentieren. Diese lückenhafte Datenbasis macht es schwierig, alle Ursache-Wirkungs-Zusammenhänge und Rückkopplungen zwischen der Qualität der Luft, die wir atmen, und der gebauten sowie natürlichen Umwelt zu erfassen und zu simulieren. Das Projekt Smart Air Quality Net, das vom Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI) im Rahmen des Modernitätsfonds mFUND gefördert wird, soll Wege für die zukünftige raum/zeitlich hochaufgelöste Erfassung der Luftqualität mit neuen Datenprodukten für verschiedene Nutzerkategorien sowie die Information der Öffentlichkeit aufzeigen.

Zentral ist die Erschließung und Nutzbarmachung von teilweise heute bereits vorhandenen (jedoch noch nicht zusammengeführten) Daten einerseits und die Sammlung und Integration relevanter fehlender Daten andererseits. Dies schließt die Integration von Dritt-Messquellen und auch die Entwicklung neuartiger Messgeräte sowie eine Verbesserung der Gesamt-Datenqualität und die Identifikation und Implementierung sinnvoller Schnittstellen zwischen Geräten, Datenbanken und dem Endnutzer ein. Auf den Daten werden im Anschluss exemplarisch neuartige Anwendungen implementiert. Für diese gesamte datengetriebene Software-Kette müssen z.T. neue Methoden erforscht werden. Konkret sind dies Big Data Analysen zur Qualitätsverbesserung und Modellvalidierung sowie neuartige Algorithmen z.B. zur verteilten Kalibrierung, Verifikation von Datenquellen oder dem Schutz der Privatsphäre der messenden Individuen.

Dem Projekt „SmartAQnet“ liegt eine vernetzte mobile Messstrategie zu Grunde. Durch die Verbindung von offenen Daten, wie Wetterdaten oder Bebauungsplänen, Fernerkundung von Einflussfaktoren, und neuen mobilen Messansätzen, wie flächendeckenden partizipativen mit Ultra-Low-Cost-Sensorik, „Scientific-Scouts“ und bedarfsorientierten Messungen durch unbemannte Flugobjekte, wird ein neuartiges Mess- und Analysekonzept geschaffen und innerhalb der Modellregion Augsburg erprobt. Durch den Aufbau eines prototypischen Technologie-Stack soll eine skalierbare flächendeckende Anwendung ermöglicht werden. Das Konsortium hat es sich zum Ziel gesetzt, unter Beteiligung von Bürgern und kommunalen Entscheidungsträgern die heutzutage vorhandenen technischen Möglichkeiten zur feingranularen Erfassung der Luftqualität und ihrer lokalen Einflussfaktoren umzusetzen und zu erweitern. Eine darauf basierende neuartige Analyseplattform soll Anwendungen sowohl für Planer als für den individuellen Bürger bei nachhaltigen und der Gesundheitsvorsorge dienenden Entscheidungen (u.a. App für Smart Phone) unterstützen. Neben einem breiten Bewusstsein für mögliche Einflussfaktoren soll auch eine erweiterbare offene Datenbasis geschaffen werden, welche sowohl die Forschung, Entscheidungsträger aber auch neuartige nachhaltige Anwendungen im Bereich Mobilität und städtischer Raum unterstützt.

1. Motivation

Atmosphärische Aerosolpartikel stellen im globalen Maßstab ein gravierendes Problem für die menschliche Gesundheit dar (Lelieveld, Evans, Fnais, Giannadaki, & Pozzer, 2015), welches sich in respiratorischen und Herz-Kreislauf-Erkrankungen äußert und eine Verkürzung der Lebenserwartung verursacht. Eine multimodale Mobilität der Zukunft muss daher beispielsweise gezielt die tatsächliche lokale Belastung adressieren und eine nachhaltige ökonomische Betrachtung neuer Verkehrskonzepte sollte positive Gesundheitseffekte mitbilanzieren.

Die räumliche Verteilung von Luftschadstoffen in urbanen Atmosphären ist jedoch sehr unterschiedlich und hängt von verschiedenen Faktoren ab, die sich sowohl auf die Emittenten (räumliche Anordnung, zeitliche Aktivität) als auch auf die Gesetzmäßigkeiten der Schadstoffausbreitung (Orographie, Windfeld,

Turbulenz) beziehen. Derzeit fehlt es sowohl an Technologien, die räumliche und zeitliche Variabilität dieser Belastungen wirklichkeitsnah zu erfassen bzw. zu prognostizieren, als auch an der Zusammenführung relevanter Datenbestände und ihrer Analyse ohne Zeitverzögerung und im gemeinsamen Kontext, etwa zur Steuerung von Verkehrsströmen.

Bisher wird Luftqualität ausschließlich anhand von Daten an relativ wenigen festen Messstellen beurteilt (siehe Abbildung 1) und mittels Chemie-Transport-Modellen auf eine hohe räumliche Auflösung gebracht, so dass deren Repräsentativität für die flächendeckende Exposition der Bevölkerung ungeklärt bleibt (Duyzer, van den Hout, Zandveld, & van Ratingen, 2015). Dieser Mangel an Umweltdaten steht im Widerspruch zum Handlungsbedarf politischer Entscheidungsträger/-innen und auch zum Informationsbedürfnis der Bürger/-innen. Kleinräumig aufgelöste Schadstoffdaten werden auch in hohem Maße für Langzeiteffektstudien umweltbezogener Krankheiten benötigt. Es ist unmöglich, derartige räumliche Abbildungen mit den derzeitigen statischen Messnetzen zu bestimmen. Bei der gesundheitsbezogenen Bewertung von Schadstoffen geht der Trend daher stark zu räumlich differenzierenden Messungen (Kumar et al., 2015) bzw. auch zur kleinskaligen numerischen Simulation von Schadstoffverteilungen (BMBF-Verbundprojekt „Urban Climate Under Change“, <http://www.uc2-program.org/>).

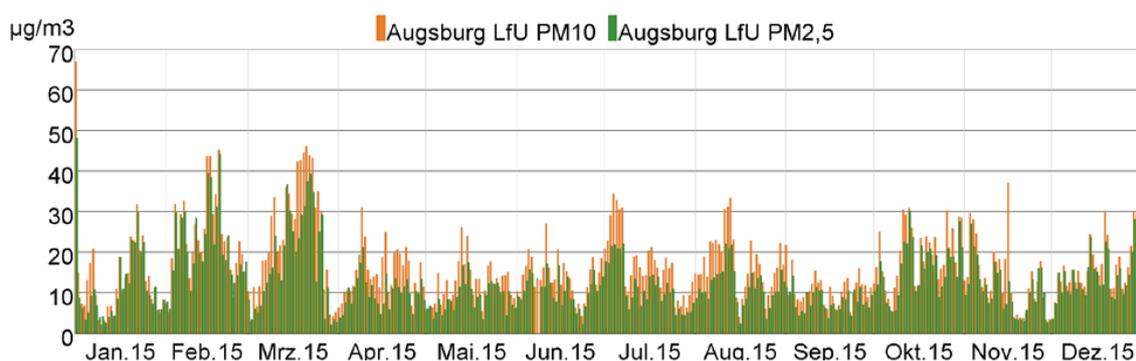


Abbildung 1: Jahresverläufe der Schadstoffbelastung durch Feinstaub (PM₁₀ und PM_{2,5}) im Jahr 2015 auf Basis von Tagesmittelwerten einer der zwei LÜB-Messstation in Augsburg für PM_{2,5} (Quelle: LfU)

2. Ziele des Projektes „Smart Air Quality Network“

Um diese lückenhafte Datenbasis der Luftschadstoff-Belastung zu verbessern, wird vom Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI) im Rahmen des Modernitätsfonds mFUND das Projekt „*Smart Air Quality Network*“ (*SmartAQnet*) gefördert. Das Projektziel ist die Entwicklung eines Gesamtsystems zur Erfassung, Visualisierung und Vorhersage der räumlichen Verteilung von Luftschadstoffen in städtischen Atmosphären, die relevant für den aktuellen Aufenthalt der Bürger sind. Bestehende Datenquellen sollen durch neuartige dynamische Datenquellen entscheidend ergänzt werden. Das Projekt strebt an, ein intelligentes, reproduzierbares, sehr fein aufgelöstes (räumlich, zeitlich), dennoch preiswertes Messnetzwerk für Luftqualität, zunächst in der Modellregion Augsburg umzusetzen. Kernbestandteil des

Systems ist ein Datenhaltungssystem, das es erlaubt, auf einfache Art und Weise Daten einzuspeisen, zu analysieren und auf unterschiedlichem Abstraktionsgrad verschiedenen Anwendungen zur Verfügung zu stellen. Das Messnetzwerk soll darauf hin konzipiert sein, dass die Daten zukünftig für Wissenschaft, Behörden und Bürger gleichermaßen nutzbringend offen bereitgestellt und breit eingesetzt werden können, d.h. für wissenschaftliche Zwecke ebenso kompatibel wie für nutzerorientierte Servicedienstleistungen, die derzeit schon vorhanden sind bzw. entwickelt werden.

Die Aktivitäten in *SmartAQnet* schließen eine neu zu entwickelnde *Internet of Things (IoT)*-Plattform ein, die es prinzipiell jedermann erlaubt, gemessene Umweltdaten einfach in das System zu laden. Die Integration verschiedener bestehende Datensätze (Wetter, Verkehr, Topographie, etc.) und Daten stationärer und mobiler Messgeräte unterschiedlicher Qualität, sowie die Bereitstellung sinnvoller, mittels Big Data Methoden berechneter Metriken, ist ein weiterer zentraler Aspekt. Um gleichzeitig die Messdichte und die Messqualität zu erhöhen werden nicht nur bestehende Daten integriert, sondern auch intensiv Messungen in der Modellregion Augsburg durchgeführt. Dies umfasst auch die Entwicklung und Erprobung neuer mobiler Messinstrumente, um adaptiv vorhandene Lücken von statischen Messnetzwerken zu minimieren oder zu schließen. Die Messungen sollen bei Bedarf durch Drohnen bzw. UAVs oder flächendeckend von Bürgern durchgeführt werden können.

Um eine breite Palette von Messungen mit Instrumenten verschiedener verfügbaren Preis- und Güteklassen sinnvoll zu integrieren, wurden vier sinnvolle Klassen identifiziert:

- hochgenaue wissenschaftliche Messtechnik (z.T. in existierende Messnetze eingebunden),
- neuartige vernetzte „Scientific Scouts“, bzw. existierende LOAC-R und Alphasense OPC-N2 Module d.h. mobile und stationäre Einheiten (autonom Daten erfassend und einspeisend, z.B. auch einsetzbar für UAV-Monitoring)
- Consumer-grade Sensorik (Preisklasse 100 - 200 Euro)
- Ultra-Low-Cost Mess-Sensorik (z.B. Smartphone Aufsätze wie iSPEX (Snik, et al., 2014) oder Clip-on Lichtstreuungssensoren (Budde, Barbera, El Masri, Riedel, & Beigl, 2013)).

Die Herausforderungen bei der Erarbeitung neuer Sensorik umfassen unter anderem niedrige Investitionskosten (um eine hohe Dichte zu erreichen), dabei aber – trotz der gegenüber bestehenden Systemen niedrigeren Präzision – das Erreichen einer hohen zeitlichen Auflösung und einer hohen Toleranz gegen Umgebungseinflüsse (Belastung, Temperatur, Druck und Feuchte). Weitere Aspekte wie Netzwerkfähigkeit und Smartphone-Anbindung (zur Einbindung in moderne Telematik-Systeme oder Gebäudeüberwachungssysteme), Langzeitstabilität und Wartungsarmut müssen betrachtet und in ihrer Gesamtheit mit anderen Systemparametern (z.B. Algorithmen zur Kompensation geringerer Präzision) gegeneinander abgewogen werden. Dabei sind Methoden zu definieren, um eine einheitliche zeitliche Normierung (Zeitstempel) und zeitliche Auflösung aller Sensoren im Netz zu gewährleisten.

Die Entwicklung/Herstellung von autonomen einsetzbaren kommunizierenden Scientific Scouts (Partikelmessgeräten) zum mobilen und stationären Einsatz innerhalb des Projektes (z.B. auf öffentlichen Nahverkehrsplattformen, Straßenbeleuchtung, etc.) beinhaltet die Erforschung von zwei unterschiedlichen Messgerätetypen. Dies sind einerseits Messgeräte die primär Partikel-Massenkonzentrationen bestimmen (PM-Werte) und andererseits Partikel-Messgeräte, die Ihren Messfokus auf die Partikel-Anzahlkonzentration und Partikel-Größenverteilung legen, um wichtige Informationen zur Ursachenanalyse der Belastung durch Feinstaub zu erhalten (Quellenidentifikation). Dabei ist es wichtig, dass die Systeme Selbstdiagnosetools erhalten, um z.B. Verschmutzungsgrade und damit verbundene Messwertdriften einschätzen und selbständig korrigieren zu können. Abhängig vom Messfokus beruht das Messprinzip auf einer optischen Summen- (Nephelometrie) und/oder Einzelpartikelanalyse (Optical Particle Counting). Optimalerweise sollte beides durch einen kostengünstigen Nephelometer abgedeckt werden. Eine große Herausforderung liegt dabei in einer extrem schnellen und intelligenten Signalauswertung, die durch umfangreiche Vergleichsmessungen zu Referenzgeräten entwickelt werden muss. Derartige Geräte weisen im Allgemeinen ein geringes Signal-Rausch-Verhältnis auf, das durch Umgebungseinflüsse zusätzlich signifikant verändert werden kann. Ziel des Vorhabens ist der Aufbau Testmessnetzes in der Modellregion, bestehend aus 50 Scouts + 5 Referenzmessgeräten.

Eine neue Qualität ergibt sich hier jedoch aus dem Zusammenspiel der verschiedenen Messdaten auf unterschiedlichen Qualitäts- und Quantitätsniveaus. Die Herstellung von Konsistenz und auch die intelligente Kommunikation der mobilen Messgeräte (z.B. Validierung und Selbstkalibrierung) sind hierbei zentrale Herausforderungen und interessante Forschungsfragen. Letztendlich geht es darum zu erforschen, unter welchen Bedingungen und zu welchem Zweck auch ungenaue Sensorik (von Nicht-Experten bedient) eingesetzt werden, um wertvolle große hochauflösende Datensätze erzeugen. So kann man erwarten, dass durch die Fusion mit offenen Datenquellen beispielsweise relative Einflüsse durch Wetter-, Verkehrs- oder Bebauungssituationen besser erfasst werden können. Eine klassische Evaluation einzelner Sensoren durch Vergleichsmessungen oder ähnliches könnte diese Machbarkeit solcher Analysen nicht beantworten.

Die Konfiguration des *SmartAQnet* lässt sich, wie in der Abbildung 2 dargestellt, als raum-, zeit- und präzisionsdimensionaler Merkmalsraum (große Pfeile) versinnbildlichen: Crowd-Messungen mit Ultra-Low-Cost-Sensorik (grün) streuen unregelmäßig in Raum und Zeit bei niedriger Präzision jedoch in hoher Zahl. Stationäre Hochpräzisionsmessung (gelb) findet auf höchstem Qualitätsniveau und kontinuierlich über die Zeit hinweg statt, jedoch nur an einen Punkt im Raum. Zwischen beiden Schichten vermittelt die mobile Messung auf mittlerem Präzisionsniveau: einmal regelmäßig auf bestimmten Routen (rot) und einmal mit hoher räumlicher Dichte zu einigen wenigen Zeitpunkten in Intensivmesskampagnen (blau). So können die Crowd-Messungen auf ein höheres Qualitätsniveau und die Hochpräzisionsmessungen geostatistisch in den Raum projiziert werden (dünne schwarze Pfeile). Es

resultiert eine insgesamt höhere Informationsdichte auf gehobenem Qualitätsniveau als es die Summe der einzelnen Messungen alleine bieten könnte, so dass Anwendungen mit Bedarf an kontinuierlichen Daten möglich werden.

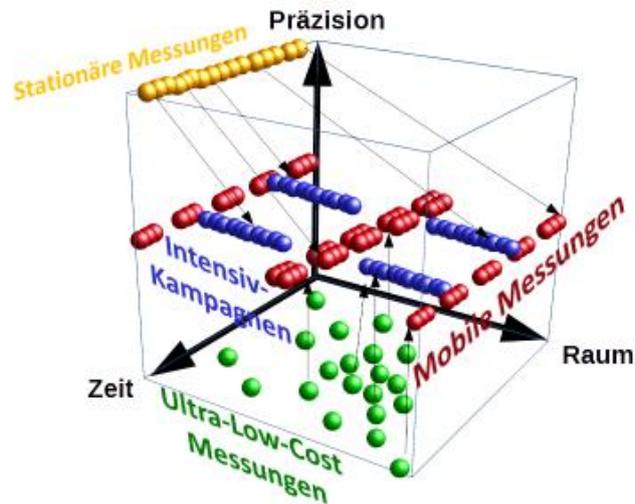


Abbildung 2: Schematische Darstellung der Messpunkte gemäß zeitlicher, räumlicher und messtechnischer Auflösung

SmartAQNet implementiert daher ein vielschichtiges heterogenes Netzwerk von Sensoren zum kleinräumigen Erfassen von Luftqualitätsparametern in der Modellregion, das es im zweiten Schritt erlaubt, unter Nutzung bestehender historische Datenbestände, Big Data Analysen zur Qualitätsverbesserung und Modellvalidierung durchzuführen. Forschungsfragestellungen umfassen neuartige Algorithmen, z.B. zur verteilten Kalibrierung, Verifikation von Datenquellen oder der Schutz der Privatsphäre der in die Messung einbezogenen Bürger, welche unter realistischen Bedingungen zu testen sind. Die verwertbaren Produkte des Systems umfassen neben den technischen Systemen neuartige Datensätze zur räumlichen Verteilung von Luftschadstoffen in urbanen Räumen, die sich an die wissenschaftlichen Bediener, Gesundheitsforscher/-innen, politische Entscheidungsträger/-innen sowie die allgemeine Öffentlichkeit wenden. Das Gesamtsystem wird in einer Pilotstudie in der Modellregion Augsburg unter Mitwirkung von Bürger/-innen getestet und soll am Ende aber allen Regionen in Deutschland zur Verfügung stehen. Auf den gewonnenen Daten und der entwickelten Plattform sollen prototypische exemplarische Anwendungen und Dienste, wie z.B. eine Anwendung zur luftqualitätsbezogenen Navigation, implementiert und zugänglich gemacht werden, um auch Dritten Verwertungsmöglichkeiten demonstrieren.

Die folgende Abbildung 3 zeigt die Datenarchitektur des Projektes, welche einen vollständigen Internet of Things Stack mittels neuester Smart Data Technologien implementiert. Die zugrundeliegende Software-Architektur ist eine sogenannte Kappa-Architektur, bei der sowohl Live-Daten als auch historische Daten aus stetig wachsenden Datenquellen kontinuierlich integriert werden

können. Möglich wird das dadurch, dass (ggf. anonymisierte) Roh-Daten direkt verarbeitet und gleichzeitig als historischer Zeitserie gespeichert werden. In einer datenfluss-orientierten Verarbeitungskette (rote Pfeile) werden dann diese unter Nutzung von vorberechneten simulativen und prädiktiven Modellen mit historischen Ergebnissen verrechnet und in Diensten und Anwendungen fast in Echtzeit zur Verfügung gestellt. Dank der Nutzung von Skalierungstechnologien ist diese Verarbeitungskette auf problemlos mehrere größere (oder kleinere) Regionen übertragbar.

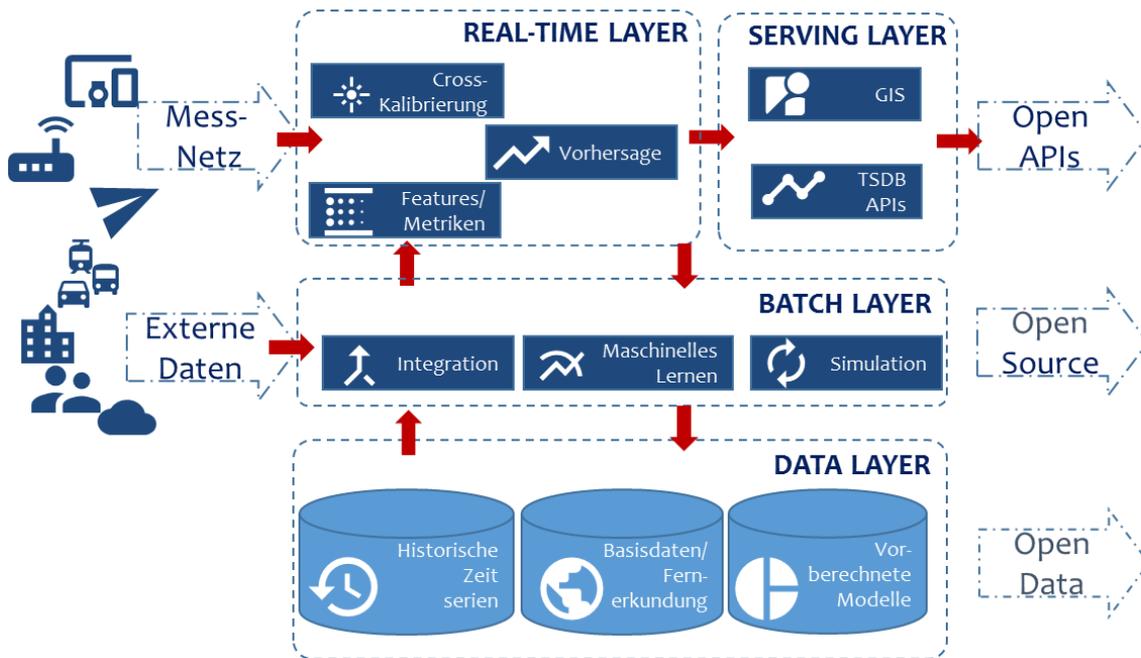


Abbildung 3: Zugrunde liegende Big-Data-Architektur

Teil der Nachhaltigkeit der Plattform ist ein offener und partizipativer Ansatz, welcher Bewusstsein und aktive Beteiligung voraussetzt. Gegenüber bestehenden Luftqualitätsinformationen soll der Bürger (zunächst in der Modellregion, siehe Arbeitspaket (AP) Durchführbarkeitsstudie) selbst die Möglichkeit haben, Messdaten zu erfassen und über Smartphones in die Plattform einzuspeisen, welche ihm wiederum genauere Luftqualitätsinformationen für seinen Standort oder seine Bewegungsrouten bereitstellt.

Die (kommerzielle) Verwertungsstrategie basiert sowohl auf diesen datenbasierten Anwendungen und Diensten (siehe AP Datenbasierte Anwendungen und Dienste) als auch auf den neuartigen Technologien zur Erfassung (siehe AP Datenaggregation und -analyse). Hierdurch soll auch die nachhaltige Erfassung und Bereitstellung der Daten gesichert werden. Die Daten, als auch die Technologie zur Integration und Analyse, sollen (so lange keine Rechte Dritter betroffen sind) frei verfügbar gemacht werden.

3. Partner

SmartAQnet ist als Verbundprojekt von Partnern aus Wirtschaft, Wissenschaft, Zivilgesellschaft und Behörden angelegt.

Aerosol Akademie e.V.

Die Aerosol Akademie (kurz: AA) ist eine regionale, nationale und internationale Anlaufstelle für Personen und Institutionen aus Wissenschaft, Wirtschaft, Behörden und Verwaltung. Sie betreibt ein interdisziplinäres Aktiv-Netzwerk für Kooperation (Projekte), Kommunikation und Wissen rund um Aerosoltechnologie und Aerosolforschung. Die Aerosol Akademie ist eine Mitgliederorganisation, ihr Trägerverein besteht aus Stakeholdern und Förderern aus Wissenschaft, Wirtschaft und politischer Verwaltung, zwischen deren Zielsetzungen und Organisationsstrategien sie eine institutionalisierte Schnittstelle bildet. Ihre Expertise bezüglich des Projektvorhabens umfasst die Aerosol-, Gas- und Klimamesstechnik im Allgemeinen, und die opto-technische Signalerfassung und Signalaufbereitung im Besonderen. Die Aerosol Akademie ist damit ein Multiplikator und wichtiger Partner für Aktivitäten im Bereich der Dissemination von Projektergebnissen und der Vernetzung zu andere Projekten und Institutionen. Mehr siehe <http://www.aerosol-akademie.de/>.

Stadt Augsburg, Umweltamt

Das Umweltamt der Stadt Augsburg (kurz: AUG) unterstützt das Vorhaben des Parnterverbunds als ungeförderter Projektpartner. Die Kommunikation mit interessierten Augsburger Schulen, die bereits im Bereich Umweltforschung und Luftmonitoring aktiv sind, wird über das Umweltamt ermöglicht und erleichtert. Gegebenenfalls kann über die Stadt Augsburg auch eine Beteiligung der Stadtbetriebe (z.B. öffentlicher Nahverkehr, Stadtwerke etc.) an den Messungen erreicht werden. Mehr siehe <http://www.augsburg.de/umwelt-soziales/umwelt/>.

GRIMM Aerosol Technik Ainring GmbH und Co.KG

Die GRIMM Aerosol Technik GmbH & Co. KG in Ainring (kurz: GRIMM) ist weltweit eines der namhaftesten Unternehmen im Bereich von Umwelt- und Arbeitsschutzmessungen, ob bei Behörden, in Forschungs- und Lehrinrichtungen, bei Sicherheitsingenieuren oder akkreditierten Stellen für Luftgütemessungen. Seit über 30 Jahren steht GRIMM für die optische Feinstaubmessung „Made in Europe“. Seit dem 1. Oktober 2015 ist das Unternehmen Mitglied der DURAG GROUP.

Da die Firma GRIMM seit vielen Jahrzehnten in der Entwicklung von Partikelmessgeräten für luftgetragene Partikel tätig ist, besteht hier ein großes Know-How, um die oben genannten Probleme zu minimieren, bzw. zu eliminieren. Dies ist technisch nicht trivial und erfordert in Teilbereichen die Entwicklung komplett neuer Messzellen, Signalauswertungsstrategien und Softwarepaketen. GRIMM-Geräte finden Erwähnung in über 1000 wissenschaftlichen Publikationen weltweit als Messgeräte oder Untersuchungsobjekt.

Da die obigen Probleme bei der Entwicklung von Laser Aerosol Spektrometern zum Teil erfolgreich gelöst werden konnte, sieht sich GRIMM in der Lage, die kostengünstige Nephelometrie durch geeignete Entwicklungen über die heutige Aussagekraft, Querempfindlichkeiten und Anwendungsmöglichkeiten hinaus zu

einer nahezu gleichwertigen Alternative zur sehr aufwändigen Spektrometrie weiterzuentwickeln. Dabei soll ein universeller Einsatz, sowohl mobil als auch flugfähig oder stationär möglich sein. Mehr siehe <http://grimm-aerosol.de/index.php>.

Helmholtz Zentrum München, Deutsches Forschungszentrum für Gesundheit und Umwelt (GmbH), Institut für Epidemiologie II

Der Fokus der Forschung vom Institut für Epidemiologie II liegt sowohl auf der umfassenden Erfassung von Umweltstressoren (z.B. Luftschadstoffe, meteorologische Parameter, Lärm) als auch auf der Untersuchung von Risikofaktoren für die Entstehung von Diabetes oder kardiovaskulären Erkrankungen. Das Institut erforscht seit 1997 die Rolle der feinen und ultrafeinen Partikel in Augsburg bei der Auslösung von Herzinfarkten und kardiovaskulären Erkrankungen. Diese Forschung stützt sich auf die einzigartige KORA-Kohorte und das KORA-Herzinfarktregister in Augsburg. Um den Einfluss von physikalischen und chemischen Eigenschaften der Partikel auf die menschliche Gesundheit genauer zu untersuchen, wird in Kooperation mit der Universität Augsburg seit 2005 eine KORA-Aerosolmessstation in Augsburg betrieben, die eine genaue Charakterisierung der physikalischen und chemischen Eigenschaften von Partikeln in der Außenluft erlaubt. Mehr siehe <https://www.helmholtz-muenchen.de/epi2/index.html>.

Helmholtz Zentrum München - Kooperationsgruppe Comprehensive Molecular Analytics (CMA)

CMA erforscht seit Mitte der 1990er Jahre die Zusammensetzung und die Quellen von Partikeln (PM) sowie Prozesse die zur Neubildung von Partikeln (sogenanntes sekundäres Aerosol) in der Umwelt führen können. Ein Schwerpunkt der Arbeiten von CMA liegt dabei in der Entwicklung und Anwendung von Methoden die chemische Zusammensetzung des organischen Anteils des Aerosols mit hoher Empfindlichkeit und Genauigkeit zu erfassen. In zahlreichen Studien wurden die Einflussparameter für auf Variabilität von PM Konzentrationen in der Umwelt (u.a. Quellenstärken, Ausbreitungsbedingungen, Photochemische Alterung) untersucht. Dabei stehen insbesondere Untersuchungen zur zeitlichen und räumlichen Variabilität von PM in der Umwelt und der Vergleich bzw. das Zusammenführen unterschiedlicher Methoden zur Quellenzuordnung im Focus. Bereits in der Arbeitsgruppe etablierte Methoden zur hoch sensitiven Erfassung der persönlichen Exposition werden aktuell weiterentwickelt. Mehr siehe <https://www.helmholtz-muenchen.de/cma/index.html>.

Karlsruher Institut für Technologie (KIT), Institut für Meteorologie und Klimaforschung, Atmosphärische Umweltforschung (IMK-IFU)

Die Arbeitsgruppe von Prof. Dr. Emeis des IMK-IFU verfügt unter anderem über Expertise in den Bereichen Monitoring und Stadtklimaforschung. Sie arbeitet derzeit als einer von 14 deutschen Partnern in dem BMBF-Stadtklimaprojekt an der Validierung einer zu erstellenden Modellkette zur numerischen Simulation des Stadtklimas von der Straßenskala bis hin zur regionalen Skala mit. Schwerpunkt liegt hier auf der vertikalen Struktur der städtischen Grenzschicht, die mit bodengestützten Fernmessverfahren erfasst werden kann. Weitere Forschungsinteressen umfassen die komplexe Erfassung jeglicher Daten, die

im Rahmen einer inter- und transdisziplinären Stadtforschung benötigt werden, also Daten aus dem naturwissenschaftlichen, technischen und sozialen Bereich sowie generell die Austauschprozesse zwischen dem Ökosystem Stadt und der Atmosphäre. Mehr siehe http://www.imk-ifu.kit.edu/projects_2558.php.

Universität Augsburg, Institut für Geographie, Lehrstuhl für Physische Geographie und Quantitative Methoden (IGUA)

Die Forschungsaktivitäten am IGUA konzentrieren sich vor allem auf die drei Bereiche Klimaforschung, Landschaftsforschung und Biogeographie. Zentrale Bedeutung kommt der Klimaforschung mit den Schwerpunkten Klimadynamik und Klimawandel zu, die in der Arbeitsgruppe Klimaforschung untersucht werden. Am IGUA werden frühere, grundlegende Untersuchungen des Stadtklimas in Augsburg flankiert durch synoptische Analysen und verteilte und mobile Messungen im Stadtgebiet. Die Arbeitsgruppe unbemannte Luftfahrtsysteme der Universität Augsburg (AULA) am IGUA entwickelt seit ca. 2013 unbemannte Luftfahrtsysteme (UAS) zur dreidimensionalen Sondierung der atmosphärischen Grenzschicht. Mehr siehe https://www.geo.uni-augsburg.de/lehrstuhl_professur/phygeo/.

Karlsruher Institut für Technologie (KIT), Institut für Telematik, Lehrstuhl für Pervasive Computing Systems / TECO

Der Lehrstuhl für Pervasive Computing Systems und die Forschungsgruppe TECO (kurz: KIT-TECO) haben eine lange Tradition in der Forschung in den Bereichen Pervasive und Ubiquitous Computing, mit Schwerpunkt auf der drahtlosen Kommunikation, Eingebetteten Systemen, Data Analytics und Mensch-Computer-Interaktion (HCI). Die Forschung umfasst mobile partizipative Aerosolmessungen in sogenannten Citizen Science- und verteilten Mess-Szenarien, sowie Low-Power-Wireless-Kommunikation und tragbare Sensorplattformen, die mit Smartphones kommunizieren. Die Auswirkungen von Nicht-Experten und deren Einbeziehung in die Messkette werden als wichtiger Aspekt von Umweltmessungen erforscht, ebenso die verteilte Kalibrierung kostengünstiger Sensorik und der Schutz der Privatsphäre in solchen Systemen. Mehr siehe <http://www.teco.edu/research/smartaqnet/>.

4. Aufgabenstellungen

Das Projekt *SmartAQnet* ist auf die Erschließung und Nutzbarmachung von teilweise heute bereits vorhandenen (jedoch noch nicht zusammengeführten) Daten einerseits und die Sammlung und Integration relevanter fehlender Daten andererseits ausgerichtet. Dies schließt die Integration von Dritt-Messquellen und auch die Entwicklung neuartiger Messgeräte sowie eine Verbesserung der Gesamt-Datenqualität und die Identifikation und Implementierung sinnvoller Schnittstellen zwischen Geräten, Datenbanken und dem Endnutzer ein. Auf den Daten werden im Anschluss exemplarisch neuartige Anwendungen implementiert. Für diese gesamte datengetriebene Software-Kette müssen z.T. auch neue Methoden erforscht werden. Konkret sind dies Big Data Analysen zur Qualitätsverbesserung und Modellvalidierung, sowie neuartige Algorithmen, z.B. zur verteilten Kalibrierung, Verifikation von Datenquellen oder dem Schutz der Privatsphäre der messenden Individuen.

Das Vorhaben beinhaltet wesentliche Neuartigkeiten: Im Kern handelt es sich um eine **Durchführbarkeitsstudie**, die zum Ziel hat, das Potenzial flächendeckender verteilter Aerosolmessungen mit intelligenten Messnetzen heterogener Sensoren in urbanen Räumen zu untersuchen. Dabei sollen insbesondere auch die Möglichkeiten und Gefahren der Zusammenführung von Experten und Laien erhobenen Daten zu untersuchen und festzustellen, welche Erfolgsaussichten das Vorhaben hätte. Es fällt aber auch teilweise in die Kategorie **Experimentelle Entwicklung**, da ein wesentlicher Teil der Projektarbeit auch darin besteht, vorhandene wissenschaftliche, technische und wirtschaftliche Kompetenz einerseits und Daten aus verschiedensten Quellen andererseits zu bündeln und damit neuartige Anwendungen für verschiedene Akteure bis hin zum Endanwender zu ermöglichen. Im Rahmen der Projektarbeiten sollen so verschiedene Prototypen und Demonstratoren entstehen: Dies umfasst neuartige (kleine oder mobile) Aerosol-Messgeräte, neue exemplarische Anwendungen auf den zusammengeführten und neu gesammelten Daten sowie neue Algorithmen zur verteilten Kalibrierung von Schwarmsensoren und zum Schutz der Privatsphäre der die Daten erhebenden Bürger.

Schließlich soll das Vorhaben auch die **industrielle Forschung** befördern: In den letzten Jahren zeichnet sich ab, dass die Luftqualitätsüberwachung sich in der Zukunft grundlegend verändern wird (Snyder, et al., 2013). Denkt man diese neue Generation der Luftqualitätsüberwachung konsequent weiter, so werden auch in Deutschland die heute etwa 800 teuren aufwändigen Stationen nicht mit weiteren hochpreisigen Stationen sondern mit einem engmaschigen, heterogenen Netz verteilter und ggf. auch mobiler Messinstrumente ergänzt. Die Firma Grimm ist als einer der führenden Hersteller von Messinstrumenten zur Luftqualitätsüberwachung sehr daran interessiert, diesen Wandel mit zu gestalten und einerseits die Anforderungen der Messtechnik-Industrie in das Forschungsvorhaben einzubringen, andererseits aber auch selbst direkt von den gewonnenen Erkenntnissen zu profitieren. Erkenntnisse wie beispielsweise Informationen zu den Anforderungen, die der Endanwender an Consumer-Messtechnik und den Zugang zu Luftqualitätsdaten stellt, sind direkt relevant für die Entwicklung neuer Produkte und Dienstleistungen in der Aerosolmesstechnik.

Im Fördervorhaben soll intensiv vom Förderinstrument **Datenbereitstellung** Gebrauch gemacht werden. Für das Verständnis des Stadtklimas und der räumlich-zeitlichen Verteilung von Luftschadstoffen ist eine Vielzahl von Daten relevant. So sind beispielsweise die mCLOUD-Daten (www.mcloud.de) des Deutschen Wetterdienst (DWD) mit Daten aus den Bereichen Wetter, Klima und Umwelt oder der Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt) mit Daten aus den Bereichen Straßenverkehr und Verkehrsinfrastruktur hoch relevant für einen integrierten Datensatz und darauf aufbauende Big Data Analysen.

5. Arbeitspakete und Zeitplan

Zentral ist die Erschließung und Nutzbarmachung von teilweise heute bereits vorhandenen (jedoch noch nicht zusammengeführten) Daten einerseits und die Sammlung und Integration relevanter fehlender Daten andererseits. Dies

schließt die Integration von Dritt-Messquellen und auch die Entwicklung neuartiger Messgeräte sowie eine Verbesserung der Gesamt-Datenqualität und die Identifikation und Implementierung sinnvoller Schnittstellen zwischen Geräten, Datenbanken und dem Endnutzer ein. Auf den Daten werden im Anschluss exemplarisch neuartige Anwendungen implementiert. Für diese gesamte datengetriebene Software-Kette müssen z.T. auch neue Methoden erforscht werden. Konkret sind dies Big Data Analysen zur Qualitätsverbesserung und Modellvalidierung, sowie neuartige Algorithmen, z.B. zur verteilten Kalibrierung, Verifikation von Datenquellen oder dem Schutz der Privatsphäre der messenden Individuen.

AP Durchführbarkeitsstudie

Das Vorhaben beinhaltet eine Durchführbarkeitsstudie, die das Potenzial flächendeckender verteilter Aerosolmessungen mit intelligenten Messnetzen heterogener Sensoren in urbanen Räumen untersucht. Basierend auf der Entwicklung von kommunizierenden „Scientific Scouts“ (Partikelmessgeräten) zum mobilen und stationären Einsatz erfolgt die kleinräumig hochaufgelöste Erfassung von Schadstoffdaten. Durchgeführt werden diese Messungen von geschulten Fachkräften, aber auch andere Teilnehmer können rekrutiert werden (z.B. Schüler, Studierende, Mitglieder der Berufsverbände, Umweltorganisationen, etc.). Erweitert werden diese Daten mit "horizontalen Messungen" (Generierung einer dreidimensionalen Messpunkt Wolke), operationellen Messflügen sowie "ultra-low-cost"-Sensorik (Messaufsatz für Smartphones). Durch den Vergleich stationärer und mobiler Messungen mit Referenzmessungen und Quellenanalysen können Aussagen zur Sicherung der Messqualität getroffen werden. Dabei werden insbesondere auch die Möglichkeiten und Gefahren der Zusammenführung von Daten, welche einerseits Experten und andererseits Laien erhobenen haben, untersucht und abschließend festgestellt, welche Erfolgsaussichten das Vorhaben für die Zukunft aufweist.

AP Datenerfassung

Ein weiterer wesentlicher Teil der Projektarbeit besteht darin, vorhandene wissenschaftliche, technische und wirtschaftliche Kompetenz einerseits und Daten aus verschiedensten Quellen andererseits zu bündeln und damit neuartige Anwendungen für verschiedene Akteure bis hin zum Endanwender zu ermöglichen. Im Rahmen der Projektarbeiten sollen so verschiedene Prototypen und Demonstratoren zur Datenerfassung entstehen. Hierfür ist eine Anforderungsanalyse für die neu zu entwickelnden Messgeräte unabdingbar. Diese Anforderungsanalyse umfasst substantielle Gesichtspunkte wie niedrige Investitionskosten, hohe zeitliche Auflösung, hohe Toleranz gegenüber Umwelteinflüssen (z.B. Temperatur, Feuchte), Netzwerkfähigkeit, Langzeitstabilität und Wartungsarmut. Darauf basierend werden im *SmartAQnet*-Projekt einsetzbare, autonome, kommunizierende Partikelmessgeräte (sog. "Scientific Scouts") für den mobilen und stationären Einsatz entwickelt und hergestellt. Im Fokus in der Entwicklung stehen dabei zwei unterschiedliche Messgeräte: zum einen Geräte für Partikelmassen (PM-Werte) und zum anderen Messgeräte für Partikelanzahl und Partikel-Größenverteilung (Quellenidentifikation). In beiden Geräten sollen zudem

Selbstdiagnosetools enthalten sein, beispielsweise Verschmutzungsgrade und damit verbundene Messwertdriften einschätzen und selbständig korrigieren zu können. Neben den mittels "Scientific Scouts" erfassten Messwerten, kommen auch - wie bereits im AP Durchführbarkeitsstudie erwähnt - ultra-low-cost-Sensoren (Smartphone-Aufsatz) bei der Datenerfassung zum Einsatz. Da diese zumeist von Laien bedient werden, muss ein ansprechendes Design und eine einfache Bedienung gewährleistet sein. Folglich werden im Projekt vor allem junge Anwender mit einbezogen und mittels "User Centered Design" an Designprozess, Funktionalität und Bedienbarkeit beteiligt. Darüberhinaus werden die mit low-cost-Sensoren gewonnenen Messdaten anhand Referenzmessungen verifiziert und ihre Tauglichkeit in einer Reihe von Demonstrator-Anwendungen dargestellt.

AP Datenaggregation und -analyse

Eine Vielzahl relevanter Daten liegt bereits heute vor, beispielsweise Daten des DWD. In Zusammenarbeit mit dem BMBF-Stadtklimaprojekt werden die mit Mobiltelefonen und von weiteren Datenquellen erfassten Flächenverteilungen von Aerosolen und anderer Luftschadstoffe mit dem neuen BMBF-Stadtklimamodell gerechneten Verteilungen verglichen werden. Um flächendeckende Informationen zur Luftqualität zu erhalten, müssen fortgeschrittene Interpolationsverfahren, wie diverse Krigin-Varianten, eingesetzt werden. Schließlich führt die Synthese von Luftqualitätsmessdaten und Information über die mikroskalige meteorologische Situation repräsentativer Zeitpunkte zu einer Beurteilung der Plausibilität und Konsistenz des Datensatzes und bringt nicht zuletzt wichtige Erkenntnisse für das Verständnis der Luftschadstoffverteilung. Die integrierten Daten können zusammen mit den Ergebnissen der Landnutzungsmodelle für die Modellierung der persönlichen (individuellen) Exposition gegenüber den gemessenen Schadstoffen verwendet werden. Im Projekt wird die Erfassung der kleinräumigen Schadstoffverteilung um die zeitliche Komponente basierend weiterentwickelt. Ziel ist es Modelle zu entwickeln, welche zukünftigen, innovativen epidemiologischen Kurzzeitstudien verwendet werden können.

AP Datenbasierte Anwendungen und Dienste

Anhand der gewonnenen Daten und Informationen, können informative, interessante und spannende Anwendungen entwickelt werden. Eine Möglichkeit, welche in diesem Arbeitspaket behandelt wird, ist in einer offenen Big Data Architektur allgemeine korrelierte Merkmale wie z.B. Bebauungsdichten, Grünflächenanteile und Verkehrsfluss zu einem über die Modellregion hinaus skalierbaren statistischen Vorhersagesystem für erwartete Luftqualitäten zu integrieren. Diese prototypische Anwendung soll zeigen, wie Stadtplaner und Umweltämter auf Basis ständig aktualisierter Daten als Entscheidungsunterstützung in vielfältiger Art und Weise unterstützt werden können. Eine andere Möglichkeit stellt ein luftqualitätsbezogenes Verkehrsrouting dar wie z.B. Gestaltung einer Fahrradroute in die Arbeit anhand aktueller Feinstaubwerte. Alternativ hierzu dient die Zusammenarbeit mit Schulen und Bürgern dazu, neue Ideen und Anwendungsmöglichkeiten anzuregen, zu realisieren und auszutesten.

AP Datenorientierte Verwertung

Die im Projektverlauf generierten Daten werden laufend veröffentlicht. Weiterhin wird immer wieder der Kontakt zu anderen Projekten gesucht, um etwaige Synergieeffekte, Kooperations- und Verbesserungsmöglichkeiten abzu prüfen. Es werden zwei öffentliche Hackathons durchgeführt. Hackathons sind Veranstaltungen, an denen alle anwesenden Teilnehmer zusammen neue, nützliche, kreative und/oder unterhaltsame Softwareprodukte herstellen. Im Verlauf der Projektphase werden die Termine wie auch eine wissenschaftliche Veranstaltung mit internationalem Fachkollegium auf der Webseite angekündigt. Am Projektende findet abschließend eine anwenderbezogene Abschlussveranstaltung mitsamt "Tag der offenen Tür mit Mess- und Anwendungsdemonstrationen" statt.

Zeitplan

Das vom BMVI geförderte *SmartAQnet*-Projekt läuft vom 01.04.2017 bis 31.03.2020.

6. Erste Projektarbeiten

Seit Anfang Oktober 2017 laufen erste Funktionalitäts- und Messbetriebstests mit Geräten der Firma GRIMM. Im Rahmen der ersten Vergleichsmessungen in Pouch (Produktionsstandort GRIMM) und am Messcontainer in Augsburg werden die "Scientific Scouts" für das SAQN-Messnetz mit einem Referenzgerät (EDM164) auf Herz und Nieren getestet. Hierbei stehen folgende Praxistests im Vordergrund:

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

Fördergeldgeber

Das Projekt *SmartAQnet* (<http://www.smartaq.net>) wird vom Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur gefördert. Förderkennzeichen FKZ 19F2003.

Literatur

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)*, (S. 139-140).

Duyzer, J., van den Hout, D., Zandveld, P., & van Ratingen, S. (2015). Representativeness of air quality monitoring networks. *Atmospheric Environment*, 104, S. 88-101.

Kumar, P., Morawska, L., Martani, C., Biskos, G., Neophytou, M., Di Sabatino, S., . . . Britter, R. (2015). The rise of low-cost sensing for managing air pollution in cities. *Environment International*, 75, S. 99-205.

Lelieveld, J., Evans, J., Fnais, M., Giannadaki, D., & Pozzer, A. (2015). The contribution of outdoor air pollution sources to premature mortality on a global scale. *Nature*, *525*, S. 367-371. doi:10.1038/nature15371.

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), S. 7351-7358.

Snyder, E. G., Watkins, T. H., Solomon, P. A., Thoma, E. D., Williams, R. W., Hagler, G. S., . . . Preuss, P. W. (2013). The changing paradigm of air pollution monitoring. *Environmental Science & Technology*, *47*(20), 11369-11377.