

Programm „Lebensgrundlage Umwelt und ihre Sicherung“ (BWPLUS)

Zwischenbericht anlässlich des Statusseminars des BWPLUS

am 24. und 25. Februar 2010 in Karlsruhe

Messungen der räumlichen Variabilität der Luftqualität in einem Ballungsraum mittels einer Straßenbahn

von

R. Rinke, A. Wieser, B. Vogel, U. Corsmeier, Ch. Kottmeier

Institut für Meteorologie und Klimaforschung,

Karlsruher Institut für Technologie

Förderkennzeichen: BWU 27003



Die Arbeiten des Programms „Lebensgrundlage Umwelt und ihre Sicherung“

werden mit Mitteln des Landes Baden-Württemberg gefördert.

Kurzfassung:

Mittels einer Straßenbahn als Messgeräteträger werden die atmosphärischen Konzentrationen ausgewählter gasförmiger und partikelförmiger Luftbeimengen in einem urbanen Ballungsraum (Karlsruhe) in Baden-Württemberg untersucht. Ziel des Projektes sind die weitgehend automatisierten Langzeituntersuchungen der Konzentrationen von O_3 , NO , NO_x , CO , CO_2 , $H_2O(g)$ die Partikelgrößenverteilung sowie deren Gesamtpartikelanzahl im Raum Karlsruhe. Im Berichtszeitraum wurde eine in ihrer Komplexität weltweit einmalige Messplattform zur Montage auf einer Straßenbahn konstruiert und in Betrieb genommen. Der von den Verkehrsbetrieben Karlsruhe (VBK) für das Projekt bereitgestellte Stadtbahnwagen wird auf zwei verschiedenen Linien eingesetzt. Es werden somit Messungen der Luftqualität in einem Nord-Süd-Schnitt durch das Rheintal vom südlich von Karlsruhe gelegenen ländlichen und industriefernen oberen Albtal von Bad Herrenalb über das Stadtzentrum von Karlsruhe bis in das ländliche, nördlich von Karlsruhe gelegene Hochstetten, sowie auf einer zweiten Linie zwischen Spöck im Nordosten Karlsruhes und Rheinstetten in dessen Südwesten realisiert. Beide Linien führen vom Umland durch das Stadtzentrum wieder ins Umland der Stadt. Sie erreichen dabei sowohl stark mit gas- und partikelförmigen Schadstoffen belastete Gebiete wie auch Regionen, die lediglich eine Hintergrundbelastung aufweisen. Die Messungen können somit Stadt-Umlandeffekte in der Schadstoffbelastung als auch signifikante Quellgebiete identifizieren. Das Messsystem ist so konzipiert, dass es prinzipiell auch auf andere Ballungsgebiete wie beispielsweise die Landeshauptstadt übertragbar ist.

Summary:

The spatial variability of air quality in an urban area and its surrounding will be measured with an automated measurement system mounted on a tramway. The concentrations of O_3 , NO , NO_x , CO , CO_2 , $H_2O(g)$ and also the total particle number and the particle number size distribution will be measured in the urban area of Karlsruhe located in the upper Rhine valley in South-Western Germany. During the last year a new measurement system was developed. The measurements will be conducted on selected above-ground tramway lines which are connecting Bad Herrenalb in the northern Black Forest remote from industrial installations with the city centre of Karlsruhe in less than 40 minutes as well as between Spöck in the north-east of the city and Rheinstetten close to the Rhine river. Both lines are going from the hinterland through the city centre back into the hinterland and are crossing areas with very high concentrations of particles and trace gases as well as areas where only background concentrations are expected. Therefore, the measurements are useful to determine urban effects of distribution of pollutants and to identify source areas. The data of these measurements can be used for the evaluation of the representativeness of actual existing and for the selection of suitable

locations for future measurement stations. They are as well very valuable source for the evaluation of numerical models.

1. Ziele, Entwicklung und aktueller Stand des Projektes

Wohl eine der derzeit wichtigsten gesellschaftlichen sowie wissenschaftlich interdisziplinären Fragen ist, in wie weit die menschliche Lebensweise die Atmosphäre, das Klima und somit unseren Lebensraum beeinflusst. Gasförmige und partikelförmige Luftbeimengungen modifizieren unsere Luftqualität und somit die Lebensbedingungen von Pflanzen, Tieren und Menschen. Die zunehmende Urbanisierung, Industrialisierung und das damit verbunden zunehmende Verkehrsaufkommen verändern, infolge anthropogener Emissionen, die chemische Zusammensetzung der Atmosphäre. Global ist nach wie vor ein ungebremster Anstieg der anthropogenen Emissionen zu beobachten. Gründe dafür liegen in der starken Zunahme anthropogener Emittenten, welche Emissionsminderungsmaßnahmen vielerorts kompensieren. In den letzten Jahrzehnten wurden große Anstrengungen unternommen die Beeinflussung der Atmosphäre durch anthropogene Substanzen nachzuweisen und zu quantifizieren (z.B. Kaufmann et al., 2002). Beispielsweise vermuteten Bäumer et al. (2007) einen direkten Zusammenhang von Wochengängen verschiedener meteorologischer Variablen mit dem durch den Lebenszyklus des Menschen bestimmten anthropogenen Emissionen. In der Mitte des letzten Jahrhunderts traten verstärkt Phänomene, wie z.B. der Photosmog oder der saure Regen auf. Nicht zuletzt die aus diesen Phänomenen resultierenden Folgen für die Ökosysteme, die menschlichen Lebensbedingungen und letztendlich für die Volkswirtschaft der Industriestaaten motivierten zu zahlreichen Forschungsvorhaben resultierend in einem Verständnis der die Luftqualität beeinflussenden Faktoren, die es heute erlaubt in ersten Ansätzen die Luftqualität zu überwachen und zu regulieren. Die Überwachung der Luftqualität in Baden-Württemberg basiert auf einem weiten Netz stationärer Messstationen des Landesumweltamtes Baden-Württemberg, an denen die Konzentrationen ausgesuchter Luftbeimengungen beobachtet werden. Um der aktuellen Gesetzgebung Rechnung zu tragen, erfolgt die Messung zunehmend an den Stellen, an denen auch die höchsten Konzentrationen zu erwarten sind. Dies trägt dem Gedanken des Grenzwertes Rechnung, da so gewährleistet ist, dass, wenn an diesen „hot spots“ der Grenzwert nicht überschritten wird, auch an anderen Stellen im Untersuchungsgebiet der Grenzwert eingehalten wird. Allerdings erweist sich diese Annahme als problematisch bei sekundären, d.h. in der Atmosphäre aus Vorläufersubstanzen gebildeten Luftbeimengungen, wie zum Beispiel dem Feinstaub und dem Stickstoffdioxid. Weitere Probleme bei der Bewertung der Luftqualität anhand von stationären Stationen bestehen zum einen in der geringen Anzahl gemessener Parameter und zum anderen an der räumlichen Limitierung der Messungen. Epidemiologische Studien zeigen, dass hinsichtlich der Beeinträchtigung der menschlichen Gesundheit eher die Gesamtdosis als punktueller Konzentrationswert betrachtet werden muss. Die tatsächliche Belastung der Bevölkerung, die sich im Allgemeinen nicht an dicht befahrenen

Straßen aufhält, und insbesondere die Belastungsdosis kann somit nur schwer bewertet werden, da hierfür die flächenhafte Verteilung der Luftverunreinigungen bekannt sein muss. Bei der Frage welcher Dosis die Bevölkerung bzw. einzelne Individuen im Laufe eines Tages ausgesetzt sind, ist die flächenhafte Verteilung der Luftschadstoffe in unterschiedlichen Lebensräumen während unterschiedlicher Aktivitäten (Arbeit, Freizeit, Wohnen) von Bedeutung. Diese flächenhafte Verteilung kann durch punktuelle Messungen nicht erfasst werden. Eine Möglichkeit der Bestimmung der flächenhaften Verteilung von Luftbeimengungen wird durch numerische Modelle gegeben. Aktuelle numerische Ausbreitungsmodelle ermöglichen die Untersuchung einer Vielzahl der Eigenschaften der atmosphärischen Gas- und Partikelphase, sowie den Einfluss der Luftbeimengungen auf verschiedene atmosphärische Prozesse auf der regionalen und globalen Skala in sehr hohen räumlichen und zeitlichen Auflösungen (beispielsweise COSMO-ART Vogel et. al 2009). Der heutige Stand der Modelle ermöglicht die Simulationen spezieller Episoden, die Entwicklung der Luftbeimengungen auf langen Zeitskalen sowie „chemischer Wettervorhersagen“. Trotz der Fortschritte der letzten Jahre besteht erheblicher Forschungsbedarf, da Simulationen und Bewertungen der Luftqualität immer noch mit großen Unsicherheiten behaftet sind. Diese Unsicherheiten ergeben sich aus der Komplexität des Systems. Für eine qualitativ hochwertige Analyse der Luftqualität ist eine vollständig gekoppelte Betrachtung der Wechselwirkungen zwischen meteorologischen Prozessen, der Gasphasenchemie, der Partikeldynamik und der Partikelchemie notwendig. Auch zeigt der Wissensstand bestimmter Prozesse im Kreislauf der Luftbeimengungen zum Teil erhebliche Lücken. Beispielsweise stellt die atmosphärische Partikelneubildung aus der Gasphase (Nukleation) eine große Unsicherheit dar. Unzureichend bestimmt sind zu dem die Emissionen von Luftbeimengungen einzelner Quellen und deren Beiträge zur Gesamtkonzentration, zum Beispiel der Anteil von Verkehrs- und Hausbrandemissionen an urbanen Stickstoff- oder Kohlenstoffoxiden. Emissionsdaten stellen eine wichtige Grundlage für numerische Simulationen dar, daher ist eine möglichst realistische Beschreibung der aktuellen Emissionsverhältnisse sowie deren zukünftige Entwicklung von großer Bedeutung für die Bestimmung der Luftqualität und ihrer zukünftigen Entwicklung. Die Identifikation von Emissionsquellen ist zudem die Basis für die Entwicklung von Immissionsminderungsmaßnahmen. Aufgrund der Risiken für die menschliche Gesundheit hat die Europäische Kommission Richtlinien für die atmosphärischen Konzentrationen gesundheitsrelevanter Luftbeimengungen verabschiedet. Diese Richtlinien nennen Grenzwerte für die Konzentrationen verschiedener gasförmiger Luftbeimengungen sowie die Aerosolpartikelmasse. Obwohl in den letzten zwei Jahrzehnten erhebliche Fortschritte bei der Verbesserung der Luftqualität erzielt wurden, besteht hinsichtlich der Überschreitung von Grenzwerten für einzelne Luftschadstoffe wie zum Beispiel Feinstaub und ab diesem Jahr insbesondere für Stickoxide noch erheblicher Handlungsbedarf. Da Minderungsmaßnahmen mit großem finanziellen Aufwand und Einschränkungen des öffentlichen Lebens verbunden sind, muss ihre Effizienz zuvor abgeschätzt werden, damit volkswirtschaftliche

Schäden vermieden werden. An dieser Stelle setzt dieses Messprojekt an. Im Fokus des Projektes “Messungen der räumlichen Variabilität der Luftqualität in einem Ballungsraum mittels einer Straßenbahn“ stehen die Analyse der räumlichen und zeitlichen Variationen atmosphärischer Luftbeimengungen im Ballungsraum Karlsruhe. Durch Nutzung des öffentlichen Nahverkehrsnetzes werden die räumlichen Verteilungen relevanter Luftschadstoffe wie Feinstaub, Stickoxide, Ozon und Kohlenmonoxid sowie weitere Größen erfasst. Ziel des Vorhabens ist es daher, die Punktmessungen, die innerhalb der Stadt Karlsruhe durchgeführt werden, durch Messungen auf einem mobilen Messgeräteträger zu ergänzen. Nachteil mobiler Messungen ist, dass sie im Allgemeinen mit hohen Betriebs- und Wartungskosten verbunden sind. Im Rahmen dieses Projektes wird als mobile Messplattform eine Straßenbahn (AERO-TRAM) der Karlsruher Verkehrsbetriebe eingesetzt. Dies hat gegenüber einem Straßen gebundenen Fahrzeug folgende Vorteile:

- Die Straßenbahn fährt nach einem fest vorgegebenen Fahrplan.
- Sie hat, abgesehen vom Bremsabrieb und Abrieb, der durch den Stromabnehmer hervorgerufen wird, keine Eigenemissionen was einen deutlichen Vorteil gegenüber einem Kraftfahrzeug darstellt, wobei dieser Abrieb durch das Einlasssystem, welches vor den Stadtbahnwagen herausragt von den Analysatoren fern gehalten wird.
- Geringere Betriebskosten gegenüber Kraftfahrzeug gebundener Messungen, da das Messsystem während des normalen Einsatzes der Straßenbahn im öffentlichen Nahverkehr eingesetzt wird.

Die Tatsache, dass die Bahnen des Karlsruher Straßenbahnsystems bis weit in das Umland fahren, ermöglicht die Erfassung der Konzentrationen von Luftbeimengungen in unterschiedlichsten Lebensräumen (Verkehrsknotenpunkte, Wohngebiete, Fußgängerzonen, Industriegebiete, Grüninseln und Umland). Für das Projekt wurde von den Verkehrsbetrieben Karlsruhe (VBK), die dieses Projekt mit großen Engagement unterstützt, ein Stadtbahnwagen vom Typ GT8-80C bereit gestellt. Dieser Typ erlaubt die vollständige Installation des Messsystems auf dem Dach des Wagens. Der Einsatz der AERO-TRAM im öffentlichen Nahverkehr wird so koordiniert, dass sie abwechselnd auf zwei wissenschaftlich interessanten Linien S1, S11 (Albtal) (Abb. 1) und der Linie S2 (Spöck-Rheinstetten) (Abb. 2) geführt wird und nur eine Fahrtrichtung hat, wodurch vermieden wird, dass sich das Einlasssystem am Wagenende befinden kann. Die Linien S1 und S11 legen die Strecke von ca. 40 km zwischen dem ländlichen und Industrie fernen oberen Albtal (Bad Herrenalb) (S1) bzw. Ittersbach (S11) und dem Zentrum von Karlsruhe komplett oberirdisch innerhalb von weniger als 50 Minuten zurück. Die Linie S2 verkehrt zwischen Spöck im Nordosten Karlsruhes und Rheinstetten in dessen Südwesten über eine Gesamtstrecke von 30 km. Diese Linien führen jeweils vom Umland durch das Stadtzentrum wieder ins Umland der Stadt. Sie erreichen dabei sowohl stark mit gas- und partikelförmigen Schadstoffen belastete Gebiete wie auch Regionen, die lediglich eine Hintergrundbelastung aufweisen. So können neue Erkenntnisse bezüglich der Verteilung und

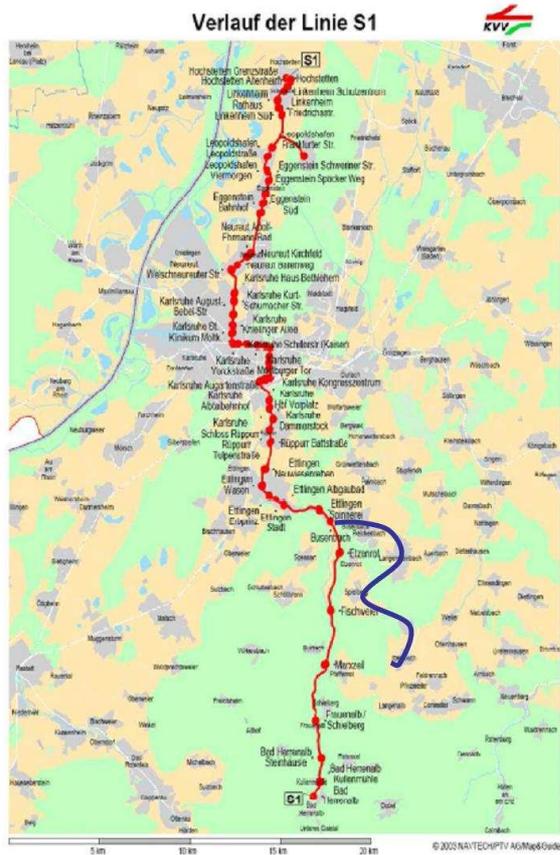


Abbildung 1: Linien S1 und S11 von Bad Herrenalb bzw. Ittersbach nach Hochstetten

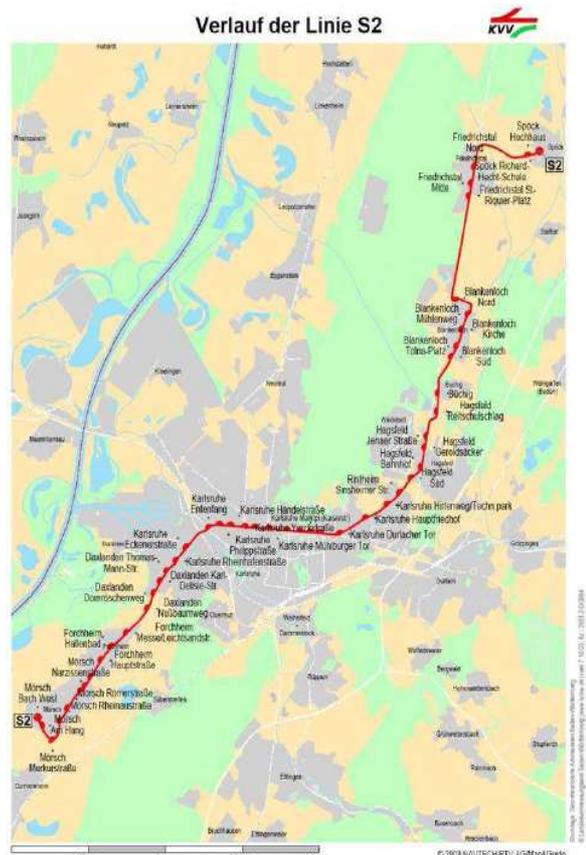


Abbildung 2: Verlauf der Linie S2 von Spöck nach Rheinstetten

Dynamik atmosphärischer Luftbeimengungen gewonnen werden. Mit dem Messsystem wurden die Analyse der Konzentrationen von O_3 , NO , NO_x , CO , CO_2 , $H_2O(g)$ sowie der Partikelgrößenverteilung und deren Gesamtpartikelanzahl realisiert. Die technische Umsetzung des Messsystems erlaubt zudem die Erweiterung der gemessenen Parameter durch zusätzliche Analysatoren. Die Konzeption und Konstruktion des Messmoduls wurde in Kooperation mit der Fa. Enviscope GmbH in Frankfurt/M. entwickelt, die umfangreiche Erfahrung beim Bau von Einlasssystemen für Spurengase und Partikel sowie Messsystemen für mobile Plattformen hat. Bei der Konzipierung des Messmoduls wurden ebenfalls Sondierungsgespräche mit Mitarbeitern der LUBW geführt um die Vergleichbarkeit der Messdaten mit dem Routinemessnetz der Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg zu gewährleisten. Die gewonnenen Messdaten werden fern übertragen und stehen nach zeitnaher Qualitätskontrolle sowohl für die wissenschaftliche Auswertung als auch für Informationszwecke für die Behörden zur Verfügung. Im wissenschaftlichen Interesse stehen neben der Quantifizierung der räumlichen und zeitlichen Variabilität der gemessenen Luftbeimengungen auch die Bestimmung der Beiträge ausgesuchter Emissionsquellen an den gemessenen Gesamtkonzentrationen. Betrachtet werden dabei der Beitrag verkehrsbedingter Emissionen zu den beobachteten Stickoxid- und Kohlendioxid Konzentrationen sowie der Beitrag verstärkt auftretender

privater Holzfeuerungen zu den beobachteten Kohlenmonoxid Konzentrationen in ländlichen Gegenden des Untersuchungsgebietes. Neben der wissenschaftlichen Bearbeitung des Datensatzes wird dieser auch bereitgestellt zur Validierung von numerischen Simulationsmodellen. Der große Umfang und die Einzigartigkeit des ermittelten Datensatzes, die Erweiterungsmöglichkeiten des Messsystems sowie die Übertragbarkeit des System auf andere Straßenbahnen machen dieses Projekt wertvoll und attraktiv für die wissenschaftliche Gemeinschaft.

In den abgeschlossenen Berichtszeiträumen wurde die Machbarkeit des Projektes geprüft, das Messmodul konzipiert und vorgestellt (Wieser et. al 2008, Rinke et. al 2009). Zur Realisierung des Projektes war die Entwicklung eines neuartigen Einlasssystems für die Partikelmessungen notwendig. Es wurden Gespräche mit den Verkehrsbetrieben Karlsruhe zur technischen Umsetzung des Projektes geführt. Zu Beginn des zurückliegenden Berichtszeitraumes (Januar 2009) wurde seitens der Verkehrsbetriebe Karlsruhe ein statisches Gutachten aus Sicherheitsgründen verlangt. Das Gutachten wurde vom Ingenieurbüro Kühnel bis Ende März 2009 angefertigt und vorgelegt. Aus dem Gutachten ging hervor, dass aufgrund des hohen Gewichtes des Messaufbaus eine direkte Montage auf dem Dach der Straßenbahn ohne Eingriffe in die Struktur der Bahn nicht realisierbar ist. Die Anbringung des Messsystems an der Bahn musste überarbeitet werden. Nach Berücksichtigung der Anforderungen des Gutachtens erfolgte im Mai 2009 die Genehmigung des Betriebes des Messaufbaus durch die Transportaufsichtsbehörde für zunächst 2 Jahre. Das geforderte Gutachten sowie die Genehmigung bedingten eine unplanmäßige Verzögerung des Projektes von 6 Monaten. Des Weiteren wurden die von den BWPlus Gutachtern vorgeschlagenen Änderungen in das System eingearbeitet. Der Aufbau des Messsystems auf der Bahn erfolgte in den Monaten Juni und Juli des zurückliegenden Berichtszeitraumes. Im August 2009 wurden erste Fahrten mit dem vollständigen System unternommen. Dabei traten große Instabilitäten bei der Datenübertragung und Kommunikation mit der Plattform auf. Das Kommunikationskonzept wurde überarbeitet und den Bedingungen angepasst, so dass zum jetzigen Stand eine stabile Kommunikation mit dem Messsystem über die Nutzung von UMTS Verbindungen gewährleistet ist. Anfang September 2009 erfolgte die Präsentation der AERO-TRAM auf der internationalen Aerosoltagung EAC die letztes Jahr in Karlsruhe statt fand. Dabei zeigte sich ein großes Interesse der wissenschaftlichen Gemeinschaft an dem Projekt. Nach der Demonstration wurde das Messsystem erneut abgebaut und es erfolgte eine Test- und Kalibrierphase in den Labors des Institut für Meteorologie und Klimaforschung Karlsruhe. Zeitgleich wurden alle Bauteile, die der Witterung ausgesetzt sind, vor Wettereinflüssen geschützt. Im November 2009 wurde die endgültige Montage des Messsystems vorgenommen und bis zum Jahresende 2009 in Betrieb genommen. Der operationelle Einsatz des Messsystems ist im Februar 2010 zu erwarten.

2. Das Messsystem AERO-TRAM

Das von Wieser et al. 2008 und Rinke et al. 2009 vorgestellte Konzept des Messaufbaus wurde mit kleineren Modifikationen technisch umgesetzt. Für eine ausführliche Darstellung des Messsystems sowie die verwendeten Analytoren sei hier auf die Statusberichte von Wieser et al. 2008 und Rinke et al. 2009 verwiesen. Es werden hier die spezifischen Eigenschaften des Systems und Modifikationen kurz aufgeführt. Das in dem Projekt entwickelte Messsystem kann vollautomatisch folgende Messgrößen erfassen und die gesammelten Daten durch Nutzung der entlang der Strecke vorhandenen UMTS bzw. GSM Infrastruktur online zur Verfügung stellen:

- luftchemische Komponenten: O₃, NO, NO₂, NO_x, CO, CO₂
- partikelförmige Bestandteile: Anzahl und Massengrößenverteilung
Gesamtanzahlkonzentration
- meteorologische Parameter: Temperatur, Feuchte, Druck, Horizontalwind
- Betriebsparameter: GPS-Position, Betriebsdaten der Bahn (Türsignale,
Kupplungssignale

Das Messsystem liefert qualitativ hochwertige Messungen sowohl in Reinluftgebieten als auch im städtischen Ballungszentrum. Die Zeitauflösung der Messgeräte liegt unter 10 Sekunden was unter Berücksichtigung der Maximalgeschwindigkeit der Bahn von 22 ms⁻¹ eine hohe räumliche Auflösung bedeutet. Der Betrieb erfolgt über einen Zeitraum von 5 Wochen voll automatisiert. Der Aufbau erfolgte in einer modularen Struktur und besteht aus den folgenden Komponenten:

- Vorderer Aufbau mit Einlasssystem für Spurengase, Partikel sowie Windmessung ca. 50 cm über die Vorderfront des Stadtbahnwagens hinausragend sowie 2 Modulelementen im vorderen Bereich oberhalb des Führerstands rechts und links des Stromabnehmers, angeordnet zur Aufnahme des Aerosolspektrometers sowie zweier Kondensationskernzähler.
- Hauptmodul mit Spurengasanalysatoren, automatischer Kalibriereinrichtung, Datenerfassung und -übertragung, Modulsteuerung, Spannungsversorgung, und Klimatisierung.
- Wechselbares Versorgungsmodul mit Gasflaschen und Chemikalien zur Nullgasaufbereitung und Betriebsflüssigkeiten für eine Betriebsdauer von 5 Wochen.

Die für die Analyse der Luftbeimengungen verwendeten Analytoren können Tabelle 1 entnommen werden. Impressionen des Messaufbaus liefern die Abbildungen (3a-e). In Abbildung (3a) ist der Gesamtaufbau in der Seitenansicht dargestellt. Zu erkennen ist die modulare Struktur des Systems mit dem Partikeleinlasssystem an der Front der Straßenbahn (die einzelnen Module sind an den weißen Boxen auf dem Dach zu erkennen, der Partikeleinlass an dem über die Front der Bahn herausragenden

Rohres). Das Modul zur Aufnahme der Partikelanalytoren ist in den Abbildung (3b und c) gezeigt, mit zwei TSI CPCs auf der rechten Seite und dem GRIMM OPC im unteren Bereich des Bildes (3b). Das Hauptmodul mit Gasphasenanalytoren, Betriebstechnik und Nullgasaufbereitung ist in den Abbildungen (3d und e) gezeigt. Modifikationen des Konzeptes ergaben sich wie schon erwähnt aus statischen Gründen sowie durch Anmerkungen der BWPlus Gutachter. So wurde das Trocknungskonzept des Aerosolstroms überarbeitet. Der Aerosolstrom wird nun nicht im Gesamten getrocknet sondern einzig der Abzweig des Stromes zum OPC wird durch eine Nafiontrocknung geführt. Die auftretenden Partikelverluste bei Partikeln kleiner als 20 nm können somit vernachlässigt werden, da die OPC Messungen in einem Größenbereich ab 250 nm erfolgen. Die Messung der Gesamtpartikelanzahl erfolgt nun ungetrocknet. Durch Umstellung dieses Konzeptes ist ein definierter „cut off“ Durchmesser durch Vorabscheidung der Partikel nicht mehr nötig. Das im Konzept angegebene Filterprobenahmesystem konnte in der derzeitigen Realisierung noch nicht umgesetzt werden. Dies wird ein späteres Update beinhalten. Schwierigkeiten bei der Stabilität der UMTS Verbindung zum Messmodul führten zu einer Überarbeitung des Kommunikationskonzeptes. Eine Datenübertragung über WLAN wurde außen vor gelassen aufgrund mangelnder Verfügbarkeit von Accesspoints entlang der Strecke. Eine WLAN Verbindung besteht nur in Nähe der Bahn zu administrativen Zwecken. Die Fernwartung und Datenübertragung wird vollständig über eine UMTS Verbindung realisiert. Der ausgewählte UMTS Router konnte unter den Bedingungen auf der Bahn keine stabile Verbindung aufbauen. Es wurde daher ein Router nach Industriennorm der Firma INSYS beschafft, welcher stabil funktioniert.

Tabelle 1: Verwendete Analytoren mit Messgröße und Messprinzip

Parameter	Messgerät	zeitl. Auflösung
Partikelanzahl	TSI CPC 3772	3 s
Partikelanzahl	TSI CPC 3775	4 s
Partikelgrößenverteilung	GRIMM OPC1.109	6 s
O ₃	environnement O3-41M Ozonsensor nach Güsten	0,1 s
NO, NO _x	Ecophysics CLD 66	< 1s
CO	AeroLaser AL 5001	< 5 s
CO ₂ , H ₂ O(g)	LiCOR LI-7000	0,1 s
Kalibriergerät für O ₃ , CO ₂ , NO, NO _x	SYCOS ansyco	



Abbildung 3a: Seitliche Frontalansicht der AERO-TRAM mit Partikeleinlass und den einzelnen Modulen (weiße Boxen)

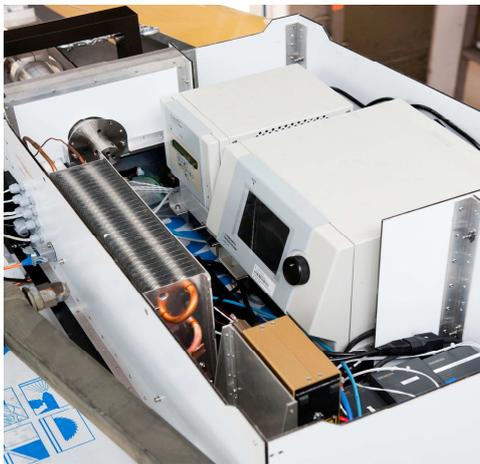


Abbildung 3b: Aerosolmodul mit CPCs und OPC



Abbildung 3c: Aerosolmodul mit Partikeleinlass



Abbildung 3d: Hauptmodul mit Gasphasenanalysatoren



Abbildung 3e: Hauptmodul mit Nullgasaufbereitung

3. Erste Messdaten

Seit Mitte Dezember 2009 wird ein kalibrierter und geprüfter Datensatz der gemessenen Konzentrationen von der AERO-TRAM geliefert. Aufgrund der kurzen Zeit bis zum Erscheinen des Statusberichtes kann hier nur ein erster exemplarischer Überblick über die Daten gegeben werden. Um die Qualität der Daten zu sichern, werden automatisch einmal täglich sämtliche Gasphasenanalysatoren kalibriert. Hierzu wird ein einstündiges Kalibrierszenario durchgeführt. Sämtliche Analysatoren werden in einem Bereich zwischen 0 und 80 % der angenommenen maximalen atmosphärischen Konzentration an 4 Punkten kalibriert. Dabei wird auf ein automatisches Einstellen der Nullkonzentration und der Spankonzentration verzichtet um Kontrolle über den Drift der Messgeräte zu behalten. Dieses Vorgehen bedingt allerdings ein späteres Aufbereiten der Daten mit Hilfe der Kalibrierparameter. Die Abbildungen (4a-e) zeigen den Tagesgang am 11.12.2009 der Konzentrationen von O₃ (4a), CO₂ (4b), NO (4c), NO_x (4d), sowie die Gesamtpartikelanzahlkonzentration (4e und 4f). Die Messungen zeigen hohe Sensitivitäten der Analysatoren auf die Umgebungsbedingungen mit starken Gradienten in den einzelnen Konzentrationen. In den Abbildungen 6 werden deutliche Spitzen in den Konzentration sichtbar. Erste Untersuchungen dieses Verhaltens zeigen den Einfluss von lokalen verkehrsbedingten Emissionen (beispielsweise LKWs an Ampelkreuzungen). Die Messungen (Abb. 4) zeigen auch sehr unterschiedliche Konzentrationsniveaus in Abhängigkeit der Tageszeit und des durchfahrenen Gebietes. In den Abbildungen (5a und 5b) sind exemplarisch für den Datensatz die Konzentrationen von CO₂ (5a) und NO (5b) entlang der Messtrecke für eine ausgesuchte Fahrt entlang der Strecke dargestellt. Die Profile zeigen deutliche Gradienten in den Konzentrationen entlang der Strecke mit hohen Konzentrationen beider Substanzen in dem Gebiet in unmittelbarer Nähe des Hauptbahnhofes sowie der Kaiserallee. Die niedrigsten Konzentrationen treten nördlich sowie südlich außerhalb des Stadtgebietes von Karlsruhe auf. Auch diese Profile zeigen eine hohe Sensitivität der Messungen auf die Umgebungsbedingungen. Daher muss bei der Analyse der Daten sorgfältig auf die Umgebung geachtet werden (beispielsweise zeigt sich eine starke Beeinflussung der Messungen durch neben der Bahn fahrenden Kraftfahrzeuge). Eine erste Analyse der Daten lässt die Komplexität des gesammelten Datensatzes erkennen. Die wissenschaftliche Auswertung der Daten bedeutet einen großen Arbeitsaufwand im kommenden Berichtszeitraum.

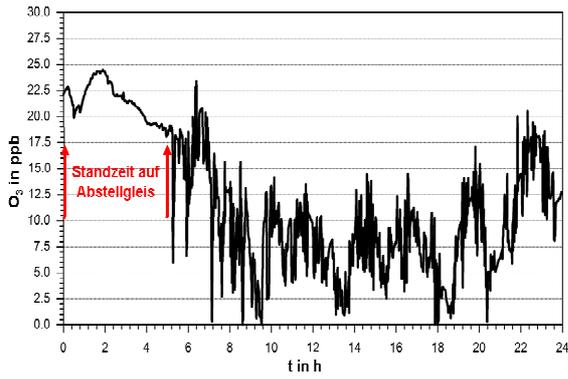


Abbildung 4a: Gemessene O3 Konzentration in ppb am 11.12.2009

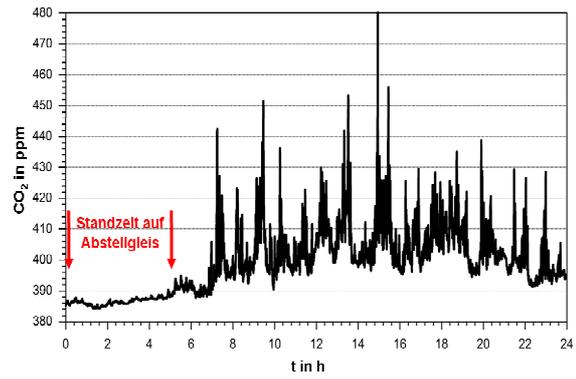


Abbildung 4b: Gemessene CO2 Konzentration in ppm am 11.12.2009

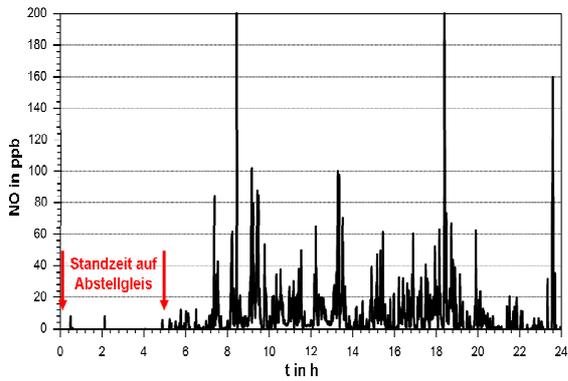


Abbildung 4c: Gemessene NO Konzentration in ppb am 11.12.2009

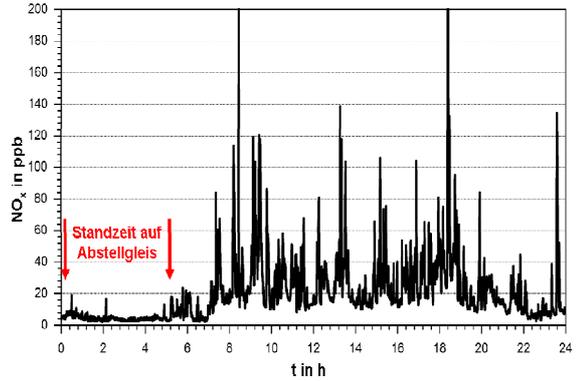


Abbildung 4d: Gemessene NOx Konzentration in ppb am 11.12.2009

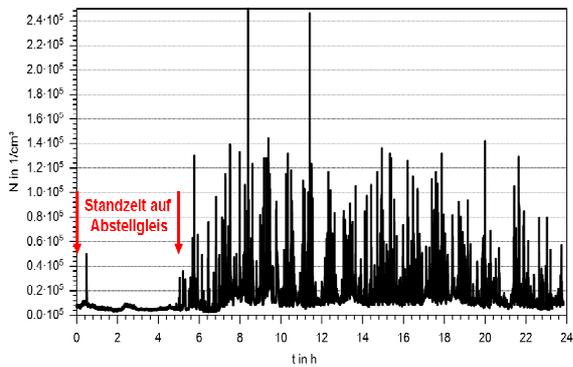


Abbildung 4e: Gemessene Gesamtpartikelanzahlkonzentration (CPC 3772) in N/cm^3 im Größenbereich 10 nm bis 10 μm am 11.12.2009

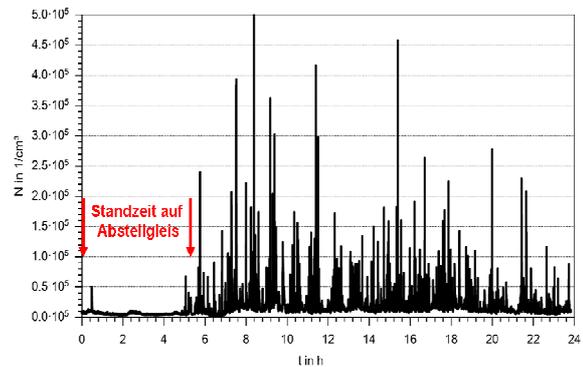


Abbildung 4f: Gemessene Gesamtpartikelanzahlkonzentration (CPC 3775) in N/cm^3 im Größenbereich 5 nm bis 10 μm am 11.12.2009

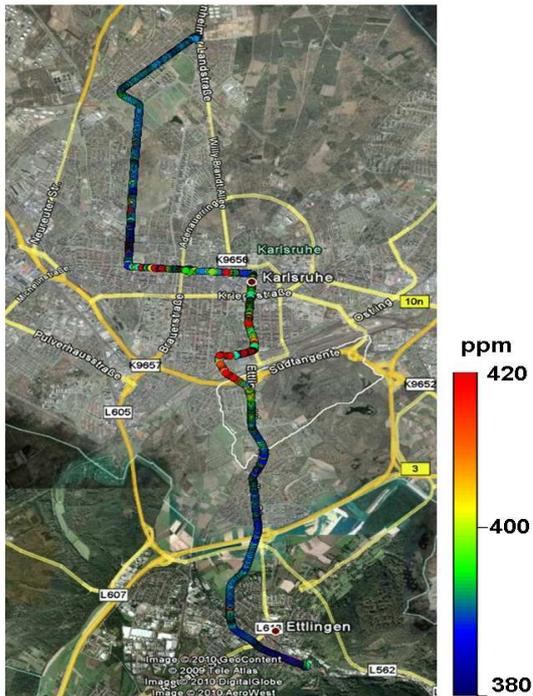


Abbildung 5a: Gemessene CO₂ Konzentration in ppm entlang der Fahrstrecke am 11.12.2009 zwischen 9:00 und 10:00 Ortszeit

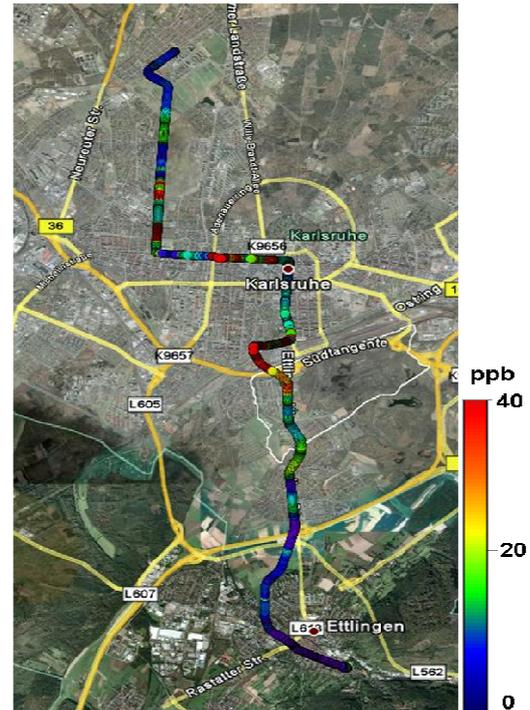


Abbildung 5b: Gemessene NO Konzentration in ppb entlang der Fahrstrecke am 11.12.2009 zwischen 9:00 und 10:00 Ortszeit

4. Nächste Schritte

In den kommenden Wochen erfolgt der Übergang des Messsystems in den operationellen Betrieb. Desweiteren werden zunächst Strategien zur Datenarchivierung entwickelt und umgesetzt. Dies ist aufgrund des enormen Datenflusses zwingend notwendig. Eine erste Qualitätsprüfung der Daten wird anhand eines Vergleiches mit Messstationen der LUBW im Untersuchungsgebiet vorgenommen. Wie im Kapitel 3 gezeigt, reagieren die Analysatoren sehr sensitiv auf die Umgebungsbedingungen. Die gezeigten Peaks führen bei der Bestimmung der Konzentrationsniveaus zu Verfälschungen. Für die Auswertung der Daten müssen daher geeignete Filter genutzt werden um Peaks unberücksichtigt zu lassen. Bei der Auswertung der Daten wird zunächst begonnen Konzentrationsprofile entlang der Messstrecke zu generieren. Anhand dieser Profile sollen Gebiete nach ihrer Belastung klassifiziert werden. Durch den Vergleich der Messungen in ländlichen Gebieten mit den Messungen in städtischen Gegenden sowie der Zuhilfenahme stationärer Messungen sollen die städtischen Hintergrundkonzentrationen in Karlsruhe bestimmt werden. Basierend auf den bestimmten Hintergrundkonzentrationen sollen die Beiträge spezieller Emissionsquellen an den Gesamtkonzentrationen untersucht werden. Im Fokus stehen dabei die verkehrsbedingten Emissionen

von Stickstoffoxiden, Kohlendioxid sowie Partikeln. Die Streckenführung teilweise entlang einer Schnellstraße und die Überquerrung einer Autobahn stellen ideale Untersuchungsbedingungen dar. Weiteres Interesse besteht in der Bestimmung des Einflusses von privaten Holzfeuerungen auf die Kohlenmonoxidkonzentrationen und Partikelanzahlkonzentrationen. Speziell in ländlichen Gegenden stehen Holzfeuerungen im Verdacht die Luftqualität im Winterhalbjahr erheblich zu beeinträchtigen. Die Streckenführung aus Karlsruhe in ländliche Gebiete des Nordschwarzwaldes mit kleineren Siedlungen begünstigen hier diese Untersuchungen. Speziell in ländlichen Gebieten abseits von Industrieanlagen und starkem Verkehrsaufkommen können einzelne Quellen wie Holzfeuerungen leichter identifiziert werden aufgrund einer geringen Anzahl anderer Emittenten.

Literaturverzeichnis

Bäumer, D. und B. Vogel (2007). An unexpected pattern of distinct weekly periodicities in climatological variables in Germany. *Geophysical Research Letters*, **34**, L03819, doi:10.1029/2006GL028559.

Rinke, R., A. Wieser, U. Corsmeier, Ch. Kottmeier, B. Vogel (2009). *Messungen der räumlichen Variabilität der Luftqualität in einem Ballungsraum mittels einer Straßenbahn*. BWPlus-Statuskolloquium in Karlsruhe, 10./11.03.2008.

Vogel, B., H. Vogel, D. Bäumer, M. Bangert, K. Lundgren, R. Rinke, T. Stanelle (2009). The comprehensive model system COSMO-ART – Radiative impact of aerosol on the state of the atmosphere on the regional scale, *Atmos. Chem. Phys.*, **9**, 8661-8680.

Wieser, A., U. Corsmeier, Ch. Kottmeier, R. Rinke, B. Vogel (2008). *Messungen der räumlichen Variabilität der Luftqualität in einem Ballungsraum mittels einer Straßenbahn*. BWPlus-Statuskolloquium in Karlsruhe, 05./06.03.2008.