



Doctoral Thesis

GPS based dynamic monitoring of air pollutants in the city of Zurich, Switzerland

Author(s):

Kehl, Philippe Thomas

Publication Date:

2007

Permanent Link:

<https://doi.org/10.3929/ethz-a-005553378> →

Rights / License:

[In Copyright - Non-Commercial Use Permitted](#) →

This page was generated automatically upon download from the [ETH Zurich Research Collection](#). For more information please consult the [Terms of use](#).

Diss. ETH No. 17383

**GPS BASED DYNAMIC MONITORING
OF AIR POLLUTANTS
IN THE CITY OF ZURICH, SWITZERLAND**

A dissertation submitted to the
ETH ZURICH
for the degree of
Doctor of Sciences

presented by
PHILIPPE THOMAS KEHL
Dipl. Kultur-Ing. ETH
born April 12, 1977
citizen of Basel and Allschwil

accepted on the recommendation of
Prof. Dr. H.-G. Kahle, examiner
Prof. Dr. J. Stähelin, co-examiner
Prof. Dr. A. Geiger, co-examiner

2007

Abstract

Despite the decrease in road traffic emissions air pollutant concentrations of nitrogen dioxide, particulates and ozone often exceed the limit values at urban sites in Switzerland.

This project aimed at providing a dynamic and real-time assessment of ambient air quality and at improving the understanding of the interaction between road traffic emissions and urban air quality. It is designed as a feasibility study for dynamic air-pollution measurements in the local scale.

Three research topics were being pursued in this thesis: air quality monitoring, satellite based positioning (GPS) of a measurement system in an urban environment and the influence of road traffic emissions on the air quality in the city of Zürich.

The data analysed are based on the autonomous operation of a measuring system on a tram in regular service. A dedicated measurement system was built to measure the concentrations of the three most relevant air pollutants in Zürich. These are nitrogen oxides (NO and NO₂), aerosol particles (particulate matter) and ozone (O₃). Nitrogen oxides and ozone are measured using the standard techniques involving chemiluminescence of NO and UV absorption of O₃, respectively. Particulates are measured using a diffusion charging particle sensor which suits the requirements for space, a short measurement period and resistance against vibrations. Furthermore meteorological parameters (temperature, humidity and pressure) were measured.

The tram was equipped with the measurement system. During two measurement campaigns in spring/summer 2005 and winter/spring 2005/06 the tram travelled on three different tram tracks, which cross the city in north-south or east-west direction. They represent the various characteristics of an urban environment, such as busy places and parts of the city without private road traffic. The measurements were being transferred in real-time using mobile communication technologies (GSM, GPRS). A web site was being updated in real-time with the position of the tram on a map, the measurements and the operating state of the measurement system and its sensors.

GPS was used for precise positioning and timing. Urban sites often degrade navigation accuracy and availability. Therefore, a suitable receiver was evaluated and techniques to provide precise and reliable positioning data were developed. The latter involves filtering and projective map-matching to exclude faulty positions and determine precise positions. Furthermore, standard position-time relations for the tram were determined to interpolate GPS outages, which last a few seconds up to a few dozens of seconds.

A dispersion modelling study was carried out for a 3.3 km² area in the inner city of Zürich using a state-of-the art numerical dispersion model. This involved the models NEMO (emissions from traffic), GRAMM (meteorology) and GRAL (dispersion) from the

Institute of Internal Combustion Engines and Thermodynamics of the Graz University of Technology.

The feasibility of dynamic and real-time measurements and its limitations were shown by carrying out two measurement campaigns lasting 18 and 20 weeks in spring/summer 2005 and winter/spring 2005/06.

The analysis of the measurements clearly show varying concentrations of air pollutants along the tram track as well as characteristic hot-spots at busy places.

* * *

Zusammenfassung

Trotz der Abnahme der Emissionen des Strassenverkehrs werden die Grenzwerte der Luftschadstoffe Stickoxide, Partikel (Feinstaub) und Ozon in städtischen Gebieten in der Schweiz oft überschritten.

In diesem Projekt soll eine dynamische Beurteilung der Luftqualität in Echtzeit ermöglichen. Zudem soll das Verständnis für die Zusammenhänge zwischen Verkehrsemissionen und städtischer Luftqualität erweitert werden. Das Projekt ist als Machbarkeitsstudie für eine dynamische und kleinräumige Umweltdatenerfassung konzipiert.

Drei Forschungsrichtungen werden in dieser Arbeit verfolgt: Monitoring der Luftqualität, die satellitengestützte Positionierung (GPS) eines Messsystems in urbaner Umgebung sowie der Einfluss der Emissionen des Strassenverkehrs auf die Luftqualität in der Stadt Zürich.

Die analysierten Daten stammen von einem autonomen Messsystem. Es wurde auf einem Tram betrieben welches im normalen Betrieb gefahren wurde. Das Messsystem wurde speziell für diese Aufgabe gebaut und misst die drei Luftschadstoffe welche für Zürich bedeutsam sind. Es sind dies Stickoxide (NO und NO_2), Feinstaub und Ozon (O_3). Standardtechnologien wurden zur Messung der Stickoxide und des Ozons gewählt. Die Messprinzipien basieren auf der Chemilumineszenz von NO beziehungsweise der UV-Absorption von O_3 . Feinstaub wird mittels eines sogenannten *diffusion charging particle sensors* gemessen. Dieser entspricht den Anforderungen an Platz, Reaktionszeit und Unempfindlichkeit gegenüber Vibrationen. Zudem wurden meteorologische Parameter erfasst (Temperatur, Feuchte und Luftdruck).

Ein speziell angepasstes Tram wurde mit dem Messsystem ausgerüstet und fuhr dann während zwei Messkampagnen im Frühling/Sommer 2005 und im Winter/Frühling 2005/06 auf drei Tramstrecken. Die Tramstrecken durchkreuzen die Stadt in Nord-Süd beziehungsweise Ost-West-Richtung. Die Linie führt entlang verschiedenartiger Orte welche die Stadt gut repräsentieren. Dazu zählen verkehrsstarke Plätze und Strassen aber auch Fussgängerzonen.

Die Messungen wurden in Echtzeit über das Mobilfunknetz (GPRS/GSM) übertragen. In einer Internetapplikation (auf einer Webseite) konnten die Messungen in Echtzeit mitverfolgt werden. Eine Karte zeigte die aktuelle Position des Trams und daneben die aktuellen Messwerte sowie diverse Zustandsanzeigen der Messgeräte und des Messsystems.

Zur präzisen Positionierung und als Zeitreferenz wurde GPS gewählt. In städtischen Gebieten ist die satellitengestützte Navigation oft eingeschränkt. Ein geeigneter GPS-Empfänger wurde bestimmt und Techniken zur weiteren Verbesserung der Genauigkeit

und Zuverlässigkeit wurden entwickelt. Mittels Filteralgorithmen und einem projektiven Mapmatching-Verfahren konnten fehlerhafte Positionen erkannt beziehungsweise korrigiert werden. Um GPS-Ausfälle zu überbrücken wurde eine Methode entwickelt, die fehlenden Positionen zu interpolieren. Dazu wurden die Geometrie der Tramlinie und der bekannte (gemessene) Relation zwischen Position des Trams und der Zeit verwendet.

Eine Ausbreitungssimulation für Stickoxide wurde in einem 3.3 km²-Gebiet ausgeführt. Ein modernes, numerisches Ausbreitungsmodell wurde verwendet. Dazu gehörten die Modelle *NEMO* (Verkehr und Emissionen), *GRAMM* (Meteorologie) und *GRAL* (Ausbreitung) des *Institutes für Verbrennungsmotoren und Thermodynamik* der *Technischen Universität Graz*.

Die Machbarkeit von dynamischen Luftschadstoffmessungen wurde durch zwei Messkampagnen gezeigt. Sie dauerten 18 Wochen im Frühling/Sommer 2005 und 20 Wochen im Winter/Frühling 2005/06.

Die Analyse der Messungen zeigt deutlich variierende Schadstoffkonzentration entlang der Tramlinie. Die höchsten Konzentrationen korrelieren deutlich mit verkehrsreichen Strassen und Plätzen.

* * *