
6 Fazit

Abschließend lässt sich festhalten, dass diverse Möglichkeiten zur Untersuchung von Schadstoffen denkbar und umsetzbar sind. Fraglich ist die betriebswirtschaftliche und aussagekraftbezogene Abwägung der Vor- und Nachteile im Sinne eines Forschungsvorhabens. Im Folgenden werden die Inhalte der Ausarbeitung zusammengefasst wiedergegeben.

6.1 Zusammenfassung (deutsch)

Um der wachsenden Schadstoffbelastung durch motorisierten Verkehr in Deutschland zum Schutze der teilnehmenden Fußgänger effektiv entgegen zu wirken, sind im Vorfeld Untersuchungen zur Quantifizierung der Problematik notwendig. Im weiteren Schritt können diese Untersuchungsmethoden umgesetzt werden, um ein qualitatives Ziel für die Belastungsminderung zu vereinbaren. Im Anschluss ist ein dauerhaftes Monitoring erforderlich, um die Erreichung der Ziele sicherzustellen.

Ziel in der vorliegenden Aufgabenstellung ist es, das Fortbewegungsverhalten eines Fußgängers so exakt wie möglich zu simulieren, vor allem im Hinblick auf die in der Praxis bestehende gesundheitliche Belastung durch die durch den Verkehr erzeugten schädlichen Substanzen.

Zur Ermittlung eines geeigneten Messverfahren ist es empfehlenswert, eine Route, die typischerweise zu Fuß zurückgelegt wird, festzulegen um eine Annahme für Wegelänge und Wegedauer treffen zu können und eine Fußgängeroute möglichst praxisnah zu simulieren. In der vorliegenden Ausarbeitung wird eine Hin- und Rückstrecke von insgesamt 2 km bzw. 30 min im Zentrum von Darmstadt definiert.

Um der Thematik Wichtigkeit zu verleihen ist es im Vorfeld entscheidend zu reflektieren, welchen gesundheitlichen Gefahren der Fußgänger aufgrund von verkehrlichen Emissionen ausgesetzt wird: Schadstoffe wie Kohlenmonoxid, Stickstoffoxide, Bleiverbindungen, Kohlenwasserstoffe, Ozongase und Ruß-/Feinstaubpartikel können unter anderem Herz-Kreislauf-Erkrankungen, Schädigung der Atemwege, mutagene Wirkungen, Krebs bzw. Hautreizungen hervorrufen. Zu Berücksichtigen ist dabei die Intensität der Exposition, welche von der genauen Lokalisierung der betroffenen Person abhängt: An Kreuzungen oder verkehrlich genutzten Innenräumen (U-Bahn-Station, Pkw-Tunnel etc.) ist eine höhere Schadstoffkonzentration zu erwarten als beispielsweise in verkehrsberuhigten Straßen oder Nebenstraßen. Insgesamt ist hinzuzufügen, dass der Fußgänger stets ein Schadstoffgemenge verschiedenster Quellen aufnimmt und die Trennung zwar möglichst exakt zu erfolgen hat, allerdings keinen Unterschied ausmacht für die gesundheitliche Betroffenheit einer am Verkehr teilnehmenden Person. Vor diesem Hintergrund sind die Messverfahren zu reflektieren, die nach folgenden Kriterien bewertet werden: Finanzierung, Personenbedarf, zeitlicher Umfang, Messgenauigkeit, Bedienbarkeit, Flexibilität der Einsatzmöglichkeiten und zuletzt - der wesentlichste Punkt - die Aussagekraft im Bezug auf die gesundheitliche Wirkung.

Vorliegend werden verschiedene Verfahren präsentiert, die allgemein in gravimetrische und optische Methoden unterschieden werden können.

Unter den gravimetrischen Methoden ist der Personal **Ultrafine Particle Sensor C100** einzuordnen, welcher preislich in der oberen Klasse einzustufen ist und (am Gürtel angeschnallt) auch mobil einsetzbar ist. Das Gerät misst Feinstaubpartikel verschiedener Größenordnungen und kann durch

einfache Bedienbarkeit positiv auffallen. Ebenso können die Messdaten nach GPS-Ortung und Chronologie geordnet werden.

In der weiteren Aufzählung der gravimetrischen Verfahren fällt der **Leckel SEQ 47/50**: dieses auf Rollen transportierbare Apparat erfasst Feinstaubanteile vier verschiedener Größen und ist mit etwa 15.000 € in der oberen Preisklasse anzusiedeln. Die Daten können über Datenträger am PC verarbeitet werden. Der SEQ 47/50 arbeitet mit einer Reihe von unterschiedlichen Filtern, sodass eine hohe Fehlerfreiheit gewährleistet werden kann.

Die **Messstationen des Hessischen Landesamt für Umwelt und Geologie** arbeiten mit einer Reihe von gravimetrischen, fest lokalisierten Messapparaten verschiedener Hersteller, welche sich jeweils auf eine Schadstoffsubstanz spezifizieren. Die Daten werden automatisiert erstellt und an den Betreiber gesendet, welche zwischen den Stationen mittels mathematischer Theorien interpoliert werden. So kann ein graphisches Netz entwickelt werden, welche die Schadstoffverteilung über eine gewisse Region visualisiert. Monitoring und Wartung der Stationen ist in regelmäßigen Abständen durchzuführen, das erhöht allerdings den finanziellen Aufwand.

Der **DC1700** ist ein mobil einsetzbarer Partikelzähler in Form eines Handhelds, welches in Verbindung mit einer entsprechenden Android-App (Valarm, Preis 8,81 €) seine volle Funktionsfähigkeit entfacht. Es erfasst Feinstaubanteile in zwei verschiedenen Größenordnungen (klein und groß) und gibt diese im Resultat als absolute Summe an. Es ist für 380 € zu erwerben und kann allgemein verschiedene Substanzen erfassen: Feinstaub, CO₂-Gehalt und Flüchtige Organische Verbindungen. Es kann Messdaten Ortung und Zeitpunkt zuordnen.

Die **COTS-PM Sensoren** (Sharp GP2Y1010) sind eine Reihe von Low-End-Geräten (Preis etwa 10 €) die Messungen von Feinstaubanteilen in der umgebenden Luft vollziehen können. Es muss allerdings ein Prozess der Kalibrierung mithilfe eines Referenzgeräts vorangehen um verwertbare Ergebnisse zu erzielen. Es ist sehr handlich und kann als Handheld oder befestigt am Fahrradrahmen eingesetzt werden. Die Zuordnung an zeitliche und örtliche Daten muss allerdings manuell erfolgen.

Das Laborverfahren mit der **Impuls-Laser-Streulicht-Sonde** spezialisiert sich auf die optotechnische Erfassung und Bestimmung gasförmiger Schadstoffe. Dabei arbeitet die Apparatur mithilfe folgender Komponenten: Absorber, Lochblendkombination, Interferenzfilter, Fotomultiplier, Vakuumkammer und Laseroptik. Insgesamt beansprucht das Verfahren einen hohen finanziellen Aufwand in Anschaffung und in der Laborausführung durch Fachpersonal.

Zuletzt sind **statistische Methoden** zur Dokumentation der Schadstoffentwicklung in bestimmten Regionen denkbar und umsetzbar. Ärztliche Studien können dafür herangezogen werden oder es werden speziell Befragungen und Untersuchungen, die auf Krankheitsbilder abzielen, welcher durch Verkehrsabgase gefördert werden, durchgeführt. Dieses Verfahren gibt keinen direkten Zusammenhang zur gesundheitlichen Belastung eines Fußgängers, allerdings kann es begleitend und eine alternatives Verfahren unterstreichend agieren und der Dokumentation der gesundheitlichen Belastung der Bevölkerung dienen.

Es kommen zudem auch zahlreiche weitere Verfahren in Frage. Dies ist nur ein Überblick und eine Auswahl von Verfahren, die eine Vorstellung über die Facette liefern soll.

Im weiteren Schritt der Ausarbeitung werden diese Methoden (und im näheren die Verfahren) bewertet, die Vor- und Nachteile aufgelistet und angesichts des oben beschriebenen Kriterienkatalog komponentenweise gewichtet. Dabei unterläuft jede Komponente eines Verfahrens einer Benotung von

1 bis 5, wobei 5 der Bestnote entspricht. Im Anschluss erfolgt eine Erläuterung und Begründung der Bewertung, welche oben kurz dargestellt wurde.

Nachdem aus den Bewertungen eine Bilanz gezogen wird, erfolgt als Empfehlung für künftige Forschungsvorhaben das Verfahren mit dem **DC1700**: Der primäre Vorteil ist, dass es günstig zu erwerben ist und im heutigen Zeitalter des Smartphones auch durch eine breite Masse der Bevölkerung im Selbstversuch durchgeführt werden kann. Das Gerät und alle weiteren nötigen Komponenten könnten im Zuge einer Studie an eine Gruppe von Probanden verteilt werden, die mit dem Gerät - verbunden mit ihrem lokalisierbaren Smartphone und der App ‚Valarm‘ - regelmäßig eine vorgegebene Route ablaufen. Auf diese Weise ist es möglich, ein Netz zu entwickeln, das visualisiert, wie sich die Schadstoffbelastung für den Fußgänger in einer bestimmten Region entwickelt. Des Weiteren hat dieses Verfahren den Vorzug, dass es nicht nur Feinstaubanteile bestimmt, sondern auch Organische Flüchtige Verbindungen.

Begleitend als Referenz und zur Qualitätssicherung käme das Verfahren der HLUG-Messtationen in Frage: Hier würde man mittels Interpolation ebenfalls eine Kartierung entwickeln, welche ähnlich wie beim primär empfohlenen Verfahren, die Schadstoffentwicklung in einer bestimmten Region visualisiert und von Zeit zu Zeit aktualisiert wird. Die beiden Kartierungen können einander als Referenz aber auch als Erweiterung dienen, falls Lücken oder Fehler auftreten sollten.

6.2 Conclusion (English)

To counteract effectively the growing pollution from motorized traffic in Germany for the protection of pedestrians participating the quantification and documentation in the first place are necessary. In another step, these methods of investigation can be implemented to arrange a quality destination for the reduction of the pollution. Following a permanent monitoring is necessary to ensure the achievement of the objectives.

The aim of the present task is to simulate the moving behavior of a pedestrian as precisely as possible especially with regard to existing practice in health burden by the harmful substances caused by the traffic.

To determine a suitable measuring method, it is recommended to define a route, which is typically done on foot, to make an assumption for trip length and duration and ways to simulate a pedestrian route as realistic as possible. In the present formulation a route of 2 km or 30 minutes in the center of Darmstadt is defined.

To give the topic importance, it is crucial to reflect in advance what health hazards of pedestrians due to traffic-related emissions are exposed: Pollutants such as carbon monoxide, nitrogen oxides, lead compounds, hydrocarbons, ozone gases and soot / particulate matter can cause among other cardiovascular diseases, respiratory damage, mutagenic effects, cancer or skin irritation. It should be noted that the intensity of exposure is dependent on the precise location of the person concerned. At intersections or to transportation used indoors (metro station, car tunnels, etc.) a higher concentration of pollutants can be expected as for example in pedestrian streets or side streets. It should be added that the pedestrian always receives a pollutant mixture of different sources and that separation does have to be done as accurately as possible, but makes no difference to the health concern of a person participating in the traffic. Against this background, the measurement methods are to reflect, which are assessed according to the following criteria: Finance, people need, time scale, measurement accuracy, operability, flexibility of application possibilities and finally - the most important point - the significance in terms of health effects.

In the present, various methods are presented, which can be broadly divided into gravimetric and optical methods.

Among the gravimetric methods the **Personal Ultrafine Particle Sensor C100** is classified, which financially is classified in the upper class and (strapped on a belt) is also suitable for mobile use. The device measures particulate matter of different sizes and can make a positive impression through simple operation. Similarly, the measurement data can be sorted by GPS-localization and chronology. In the further enumeration of the gravimetric method the **Leckel SEQ 47/50** is named: This transportable on castors apparatus detects Particulate Matter in four different sizes and is to be settled with about 15,000 € in the upper price range. The data can be processed on disk on the PC. The SEQ 47/50 works with a number of different filters, so that a high accuracy can be ensured.

The **measurement stations of the ‚Hessisches Landesamt für Umwelt und Geologie‘** work with a number of gravimetric, firmly localized measurement devices from different manufacturers, which are specified in each case to a pollutant substance. The data is sent automatically to the operator, which will be interpolated between the stations by means of mathematical theories. Thus it can be developed a graphical network, which visualizes the distribution of pollutants over a certain region. Monitoring and maintenance of the stations shall be carried out at regular intervals, which increases but the financial cost.

The **DC1700** is a mobile usable particle counter in handheld design, which sparks his full operability in conjunction with a corresponding Android app (VALARM, price € 8.81). It can measure particles from two different sizes (small and large) and result them in total counting. It is to acquire for 380 € and can optically detect different substances: Particulate matter, CO₂ and volatile organic compounds. It can assign metrics tracking and chronology.

The **COTS-PM sensors** (Sharp GP2Y1010) are a series of low-end devices (price about 10 €) can carry out the measurements of particulate matter fractions in the surrounding air. There must be a process of calibration using a reference device precede to achieve usable results. It is very handy and can be used as a handheld or fixed to the bicycle frame. The allocation of time and location data must however be carried out manually.

The laboratory method with the **pulse laser light scattering probe** specializes in the opto-technical acquisition and determination of gaseous pollutants. The apparatus operates using the following components: Absorber, hole optical combination, interference filters, photomultiplier, vacuum chamber and laser optics. Overall, the process requires a high financial outlay to purchase and in the lab execution by qualified personnel.

At least are **statistical methods** to document the development of toxic substances conceivable and achievable in certain regions. Medical studies can be used for, or are specifically surveys and studies aimed at disease patterns, which are promoted by traffic fumes performed. This method is no direct link to the health burden of a pedestrian, but it can concomitantly and an alternative method underlining act and can be used to document the health burden of the population. Several other methods can be considered: This is just an overview and a selection of procedures that should provide an idea of the facet. In another step of drafting these methods (and in more procedures) rated, listed the pros and cons and weighted in view of the criteria described above componentwise. Each component of a procedure makes a grading from 1 to 5, in which 5 makes the best grade. Finally, an explanation and justification of the vote follows which was outlined above. After the reviews of a balance sheet is drawn takes place as a recommendation for future research, the method with the **DC1700**: The primary advantage is that it is cheap to buy and can be done in today's age of smartphones also by a broad mass of the population in the self-experiment. The machine and all other necessary components could be distributed in the course of a study on a group of volunteers, with the device which - coupled with its localizable

smartphone and the app ,Valarm' - regularly run a predetermined route. On the way, it is possible to develop a network that visualizes how the pollution develop for the pedestrian in a particular region. Furthermore, this method has the advantage that not only fine dust is determined but also VOC's. Accompanying as a reference and for quality assurance the process of HLUg-stations can be considered: Here you would also develop a mapping by interpolation, which is updated similar to the primary recommended method visualizes the development of toxic substances in a given region. The two maps can be used as a reference but also serve as an extension to each other, if gaps or errors occur