jugend forscht

Tödliche Luft
– dem Feinstaub auf der Spur

Ein Projekt von Anna König

Kurzfassung

Die Luftverschmutzung findet sich fast täglich in den Nachrichten wieder und ist eines der meist diskutierten Themen in der Politik. So stellt sich die Frage: Wie gefährlich ist die Luft in meiner Umgebung? Ich spezialisiere mich auf Feinstaub, da dies neben Stickstoffdioxid die größte Herausforderung der Luftreinhaltung ist. Diese mikroskopisch kleinen Partikel dringen in die Lunge ein und verursachen Erkrankungen des Herz-Kreislaufsystems und Lungenkrebs. Allein an den Folgen von verkehrsbedingten Emissionen (Abgase, Abrieb von Bremsen, Abnutzung von Reifen) sterben in Deutschland knapp 7000 Menschen pro Jahr. Das sind doppelt so viele Todesfälle, wie durch Verkehrsunfälle zu beklagen sind. Mittels Feinstaubsensoren messe ich sechs Monate lang die Feinstaubwerte an meiner Schule sowie an einem Kindergarten in Krefeld. Ziel ist zu erkennen, wie gefährlich der unsichtbare Feind im Alltag ist und bei welcher Wetterlage sowie zu welchen Tageszeiten die Luft besonders belastet ist.

Inhaltsverzeichnis

Einleitung 1
Problemstellung:..... 1
Aktueller Forschungsstand 1
Gesetzliche Vorgaben..... 2
Öffentliche Messungen in Krefeld..... 2
Erwartetes Ergebnis..... 3
Vorgehensweise, Materialien und Methode..... 3
Die Montage..... 4
Anbringen an die Standorte..... 5
Methode der Auswertung..... 6
Ergebnisse..... 7
Auswertung des Jahresdurchschnitts..... 7
Auswertung des Monatsdurchschnitts..... 7
Auswertung des Wochentagesdurchschnitts..... 8
Analyse der Feinstaubkonzentration im Tagesablauf..... 9
Auswertung der Tagesdurchschnitte..... 9
Ergebnisdiskussion..... 13
Quellenverzeichnis..... 15
Danksagung..... 15
Anhang..... 16

Einleitung

Problemstellung:

Gegen Ende des Kalenderjahres 2015 ist das Thema Feinstaub in den Mittelpunkt der gesellschaftlichen Diskussion geraten. Ursächlich hierfür war das Bekanntwerden des Abgasskandals bei der Volkswagen AG. Diese hatte mittels unzulässiger Abschalteinrichtungen in der Motorsteuerung von Dieselfahrzeugen gesetzlich vorgegebene Feinstaub- und Abgasgrenzwerte bei der Fahrzeugzulassung umgangen. Auf diesen Skandal folgten weitere Skandale bei anderen Automobilherstellern, wie Audi, Skoda, Opel und Ford. Seit diesen Skandalen wird der öffentliche und private Straßenverkehr von der Allgemeinheit als wesentliche Ursache für die Feinstaubbelastung in unserer Luft verantwortlich gemacht. Feinstaub birgt große gesundheitliche Schäden für den menschlichen Organismus, da dieser abhängig von der Partikelgröße durch Einatmen tief in den Körper eindringen kann. Neben der Stickstoffdioxidkonzentration stellt der Feinstaubgehalt die größte Herausforderung bei der Luftreinhaltung dar. Niemand kann die Gefahr erahnen, in die man sich begibt, wenn man das Haus verlässt.
Vor diesem Hintergrund stellen sich mir folgende bedeutende Fragen: Wie belastet ist die Luft in unserer Umgebung? Verändert sich die Feinstaubkonzentration in der Luft mit der Zeit oder bleibt sie gleich? Wodurch wird die Feinstaubkonzentration begünstigt? Wie werden die Feinstaubwerte gemessen und entsprechen sie den gesetzlichen Vorgaben? Brauchen wir eventuell mehr oder andere Maßnahmen/Ansätze, um den damit verbundenen Gefahren zu begegnen?

Aktueller Forschungsstand

Feinstaub ist Schwebstaub und wird im Englischen als “Particulate Matter”(PM) bezeichnet. Diese winzigen Partikel sind mit bloßem Auge nicht erkennbar und werden zur Unterscheidung nach Korngröße in Fraktionen unterteilt. Unter PM10 versteht man alle Staubpartikel, deren aerodynamischer Durchmesser kleiner als 10 Mikrometer ist.
Dem Prinzip folgend beinhaltet PM2,5 alle Partikel, deren aerodynamischer Durchmesser kleiner als 2,5 Mikrometer sind. Als Ultrafeinstaub bezeichnet man Staubpartikel, deren aerodynamischer Durchmesser kleiner als 0,1 Mikrometer ist. Je kleiner die Partikel sind, desto tiefer können sie in die Atemwege eindringen, dort länger verbleiben und die Lunge nachhaltig schädigen. [1]

Laut des Max-Planck-Instituts für Chemie sterben weltweit jedes Jahr 3,3 Millionen Menschen vorzeitig aufgrund von Luftverschmutzung. Feinstaubpartikel verursachen Erkrankungen des Herz-Kreislaufsystems und der Atemwege. Sie dringen tief in die Lunge und womöglich sogar in die Blutgefäße ein. Es besteht die Gefahr, dass sie dort zur Bildung von Plaques beitragen und somit das Risiko für Herzinfarkte und Schlaganfälle sowie für Lungenkrebs erhöhen. [2]

Feinstaub kann auf natürlichem Wege entstehen oder durch Menschen verursacht werden. Wichtige vom Menschen verursachte Quellen sind Kraftfahrzeuge, Kraft- und Fernheizwerke, Abfallverbrennungsanlagen, Öfen und Heizungen in Wohnhäusern, die Tierhaltung und bestimmte Industrieprozesse. Im Straßenverkehr gelangen die Partikel durch Motoren, aber auch durch Bremsen- und Reifenabrieb in die Atmosphäre. Zudem werden auf der Straßenoberfläche bereits entstandene Feinstaubpartikel durch den Verkehr aufgewirbelt. Die Landwirtschaft ist ebenfalls eine wichtige Quelle des Feinstaubs. Natürliche Quellen sind Vulkane und Bodenerosionen aber auch Wald- und Buschbrände. [3]
Die in der Luft enthaltenen Staubpartikel werden witterungsbedingt teilweise über weite Distanzen transportiert bevor sie auf den Boden absinken oder sich an Gegenständen, wie Pflanzen und Gebäuden, absetzen.

Gesetzliche Vorgaben

Das Umwelt Bundesamt (UBA) ist für die Überwachung der Feinstaubwerte in der Umwelt zuständig. Mittels Messstationen, Laboren und Simulationsanlagen werden die Werte analysiert und überwacht. Dabei hält sich das UBA an die gesetzlichen Vorgaben des Staates. Laut des UBA beträgt der Jahresmittelwert von PM10 zwischen 15 und 20 µg/m³.
Die gesetzlichen Vorgaben besagen, dass es pro Jahr nur 35 Überschreitungen eines Tagesmittelwertes von 50 µg/m³ geben darf. Darüber hinaus darf der Jahresmittelwert von PM10 nicht über 40 µg/m³ liegen [4]. Für die gefährlicheren und schädlicheren kleineren Feinstäube PM2,5 und PM0,1 gibt es keine Vorgaben. Zudem gibt es keine ersichtliche Begründung für die genaue Festlegung der Grenzwerte. Vielmehr gilt bei Feinstaub, dass, anders als bei anderen Gefahrstoffen, es keinen unteren Grenzwert gibt unter dem eine Schädigung der Gesundheit ausgeschlossen werden kann.

Öffentliche Messungen in Krefeld

Krefeld befindet sich am Niederrhein nordwestlich der Landeshauptstadt Düsseldorf. Mit 233.000 Einwohnern und 19 Stadtteilen ist Krefeld die 14. größte Stadt in Nordrhein-Westfalen.[5]

In Krefeld und Umgebung ist nur eine Station eingesetzt, welche die PM10 Konzentration der Luft kontinuierlich misst, das heißt in kurzen Zeitintervallen den jeweils aktuellen Feinstaubgehalt bestimmt. Die **Messstation DENW042** befindet sich im Stadtteil Linn und führt einzig PM10-Messungen durch. [6]
So wird der Lageplan von dem Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz Nordrhein Westfalen beschrieben: Die Station steht an einer Nebenstraße auf einer Grünfläche inmitten eines Wohngebietes. Die BAB A57 verläuft etwa 1 km westlich, die B288 ca. 1 km nördlich der Station. 2 km östlich befinden sich Industrieanlagen und Verladehäfen. 500 m nördlich erstreckt sich ein Gewerbegebiet, 2,5 km nördlich liegen die Bayer-Werke Uerdingen. [7]
Darüber hinaus gibt es noch diskontinuierliche Messverfahren, bei denen das Gesamtstaubaufkommen über einen längeren Zeitraum gemessen wird. Dieses Messverfahren wird in Krefeld nicht angewendet.

Erwartetes Ergebnis

Aufgrund der Aktualität der Feinstaubdiskussion sowie der damit verbundenen Schädigungen für unsere Gesundheit habe ich mich dazu entschlossen, die Feinstaubbelastung in meinem direkten Umfeld näher zu betrachten. Da zu bezweifeln ist, dass eine repräsentative Messung mit einer einzigen, von Hauptverkehrsadern abgelegenen Station für ganz Krefeld erzielt werden kann, möchte ich die Feinstaubbelastung mit meinen eigenen, zentraler gelegenen Messstationen messen. Durch meine Messungen erhoffe ich eine bessere Übersicht über die Luftverhältnisse in meiner Stadt zu erhalten. Ich hoffe einschätzen zu können, ob und wann die Feinstaubbelastung in meiner Umgebungsluft gefährlich ist, und inwiefern auch Kleinkinder bei ihrem Heranwachsen dem Feinstaub ausgesetzt sind. Außerdem will ich wissen, ob die gesetzlichen Vorgaben eingehalten werden und ob diese Rahmenbedingungen überhaupt sinnvoll und aussagekräftig sind.

Vorgehensweise, Materialien und Methode

Es gibt mehrere Möglichkeiten die Feinstaubwerte in der Umgebung zu erfahren oder zu bestimmen.

- Online-Plattformen, wie z.B. vom Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz oder von luftdaten.info und wetteronline.de, die Messwerte von eigenen Messstationen verfügbar machen. Hier ist zu beachten, dass die Anbieter nur eine begrenzte Anzahl von Stationen anbieten. [8]

- Eigene Messungen mit Feinstaubsensoren, die man im Handel oder im Internet erwerben kann. Diese Messgeräte sind i.d.R. klein und kompatibel; sie sind jedoch auch sehr teuer,z.B. kostet ein diskontinuierliches Messgerät ca. 120 Euro.
- Handybasierte Sensoren zur Messung der Feinstaubkonzentrationen. Das Karlsruher Institut für Technologie (KIT) führt einen Test durch, bei dem man mit dem Handy erstellte Aufnahmen zur Auswertung an das KIT schicken kann. Es gibt dazu eine entsprechende App. Jedoch ist nicht angegeben wie genau die Ergebnisse sind. [9]

Da ich kontinuierliche Messungen der Feinstaubkonzentration an mehreren Standorten durchführen möchte, habe ich mich entschlossen, einen Feinstaubsensor aus entsprechenden Einzelteilen herzustellen (siehe Abbildung 14 im Anhang). Dieser Sensor ist mit 30-50 Euro recht preisgünstig und wird bereits erfolgreich im Rahmen eines Feinstaubprojekts vom OK Lab Stuttgart für entsprechende Messungen verwendet [10].
Folgende Elemente werden benötigt:

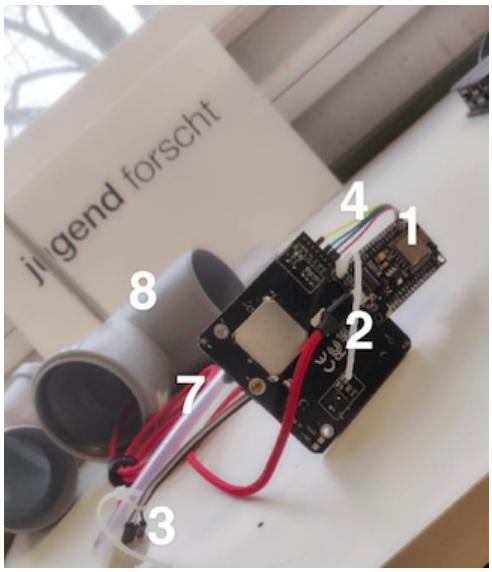

Abbildung 1: Aufbau eines Feinstaubsensors

1. Ein **Node MCU** WLAN-Board mit **Esp8266**-Modul**,** auf welchem die Firmware installiert ist
2. Ein **SDS011 Feinstaubsensor,** welcher PM10 und PM2,5 misst
3. Ein **DHT22 Sensor,** welcher die Temperatur und Luftfeuchtigkeit misst
4. Verschiedene Steckbrücken
5. Ein Steckernetzteil USB
6. Verschiedene Kabelbinder
7. Einen transparenten Schlauch, mit 6 mm Durchmesser
8. Zwei Marley Silent HT-Bögen, die das Gehäuse für das Gerät darstellen

Der Feinstaubsensor arbeitet mittels Streulichtverfahren und kann die Konzentration von Partikeln mit einem Durchmesser von 0,3 µm bis 10 µm in einem Gasgemisch (z.B. der Luft) bestimmen.

Die Montage

Zuerst wird das Node MCU WLAN-Board mit dem Computer verbunden und die vom OK-Lab entwickelte Firmware aufgespielt [11]. Danach folgt der Zusammenbau der einzelnen Elemente. Mithilfe der Steckerbrücken wird erst der SDS011-Sensor und danach der DHT22-Sensor an das WLAN-Board angeschlossen. Mit zwei Kabelbindern werden die Sensoren

befestigt und der Schlauch angebracht. Zuletzt wird das Gerät in den Wetterschutz eingebracht und befestigt.
Der Sensor braucht einen 5V-Stromanschluss und muss mit einem lokalen WLAN dauerhaft verbunden sein. Der aktivierte Sensor übermittelt die Messdaten per WLAN an einen Server im Internet.
Über die Internetseite www.madavi.de/sensor/graph.php ist es möglich, eine graphische Darstellung der Daten des jeweiligen Feinstaubsensors zu erhalten. Die Abbildung 2 zeigt ein entsprechendes Beispiel.

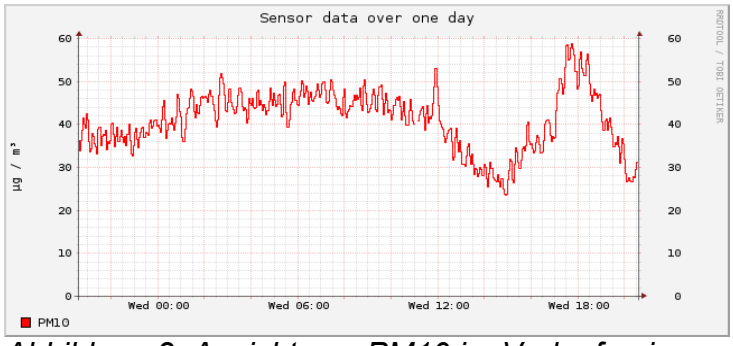

Abbildung 2: Ansicht von PM10 im Verlaufe eines Tages

Außerdem werden die Messdaten in einer Datei im CSV-Format in einer Datenbank auf der Internetseite http://archive.luftdaten.info/ gespeichert. Aus diesen Rohdaten ist es mir möglich, eigene Auswertungen und Darstellungen zu erstellen. (siehe Abbildung 14 im Anhang)
Der SDS011-Sensor misst alle 2 1/2 Minuten kontinuierlich, wodurch sich aussagekräftig Tagesmittelwerte ermitteln lassen.

Anbringen an die Standorte

Zwei Feinstaubsensoren wurden für das Projekt erworben. Mein Ziel war es diese so zu verteilen, dass ich einen guten Überblick über Feinstaubwerte in meiner Umgebung erhalte. Den ersten Sensor (**Sensor 5046**) habe ich an meiner Schule, dem Berufskolleg Vera Beckers, Girmesgath 131, 47803 Krefeld am 03.07.2018 angebracht (siehe Abbildung 12 im Anhang). Das Vera Beckers (BKVB) besteht aus zwei Gebäuden. Das orangene Rechteck in der Abbildung zeigt die Lage des Feinstaubsensors mit der Sensor ID 5046. Er ist etwa 3 Meter über dem Boden an der Fassade des Gebäudes befestigt. Eigentlich sollte der Sensor etwa auf

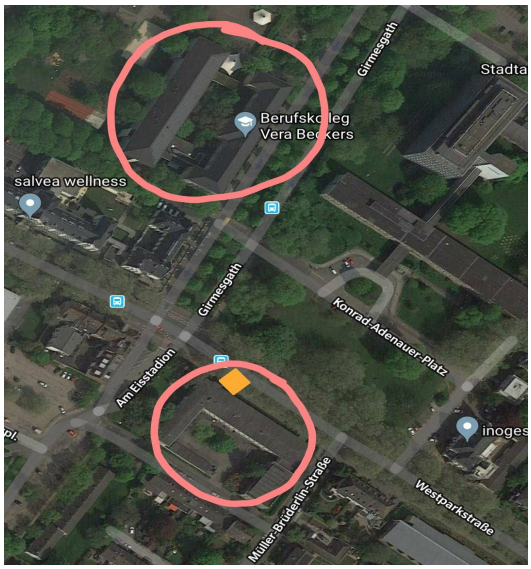

Abbildung 3: Berufskolleg Vera Beckers, Screenshot Google Earth, 3.01.2018

Kopfhöhe angebracht werden, jedoch war dies baulich bedingt nicht möglich. Der Sensor zeigt zur Westpark-Straße und befindet sich neben einer Bushaltestelle, von der innerhalb der Woche tagsüber alle 15 Minuten ein Bus abfährt. Dort befindet sich ebenfalls eine große Kreuzung. Besondere Stoßzeiten sind 7:30-8.00 Uhr, 13:10 und 15:10 Uhr, da zu diesen Zeiten aufgrund der Größe der Schule (ca. 3000 Schülerinnen und Schüler) sehr viele Schülerinnen und Schüler Schulbeginn oder -schluss haben.

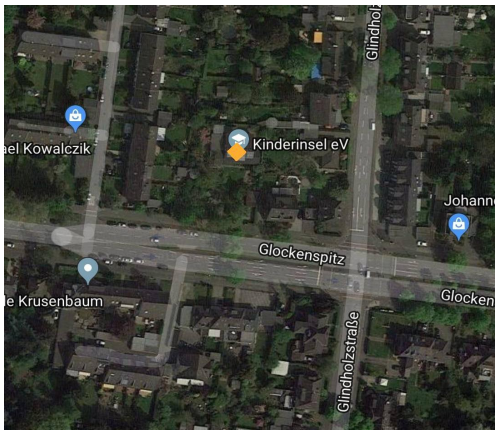

Abbildung 4: Kinderinsel eV, Screenshot Google Earth, 3.01.2018

Der zweite Sensor (**Sensor 5048**) wurde am 09.12.2018 an der Kinderinsel e.V. Glockenspitz 406, 47809 Krefeld angebracht (siehe Abbildung 15 im Anhang). Die Kinderinsel ist eine Kindertagesstätte in Krefeld-Oppum. Sie liegt an der zweispurigen Straße Glockenspitz. Das Gebäude ist zurückgelegen und nicht direkt an der Straße. Dadurch ist auch der Sensor etwa 15 Meter von der Straße entfernt. Er ist in etwa 2 Meter Höhe über dem Boden befestigt. Außerdem ist aufgrund des Kindergartens ein Tempolimit von 30 km/h gegeben. Jedoch verleitet die breite Straße zu rasantem Fahren. Die Straße führt von der Autobahn in die Stadt, daher ist sie viel befahren. Durch diesen Sensor ist es möglich, die Luftqualität für die Kinder der Kindertagesstätte zu ermitteln. Der Garten zeigt zur Straße und die Kinder verbringen viel Zeit dort. Beide Sensoren sind räumlich ca. sechs Kilometer voneinander entfernt.

Methode der Auswertung

Um die Werte der Messstation DENW042 mit meinen Werten vergleichen zu können, muss ich den Tagesmittelwert ermitteln, da das Umwelt Bundesamt alleinig den Tagesmittelwert veröffentlicht. Hierbei muss gerechnet werden [12]:

$$\bar{x}_{arithm} = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} x_i = \frac{x_1 + x_2 + x_3 + \cdots + x_n}{n}$$

So ist es mir ermöglicht, daraus Tabellen und Grafiken zu erstellen. Des Weiteren sollen bestimmte Tageszeiten, wie beispielsweise morgens zwischen sieben und acht Uhr, betrachtet werden, um zu sehen wie belastet die Luft zu bestimmten Tageszeiten ist. Zusätzlich soll die Konzentration des Feinstaubs an unterschiedlichen Wochentagen analysiert werden. Ein weiterer Aspekt meiner Forschung beinhaltet den Zusammenhang zwischen Feinstaubbelastung und Jahreszeiten beziehungsweise Feinstaubbelastung und Wetterlage.

Die Mittelwertberechnungen und Grafiken erstelle ich mit dem System Apache Open Office Calc.

Ergebnisse

Auswertung des Jahresdurchschnitts

In meiner Messanordnung waren die Sensoren unterschiedlich lange im Einsatz. Sensor 5046 (BKVB) insgesamt 6 Monate vom 03.07.2018 bis zum 06.01.2019 und Sensor 5048 (Kindertagesstätte) insgesamt 30 Tage vom 09.12.2018 bis zum 06.01.2019. Eine uneingeschränkte Berechnung eines Jahresdurchschnitts für beide Sensoren ist somit nicht möglich. Allerdings kann ich für den Sensor 5046 den Jahresdurchschnitt auf Basis des Halbjahresmittelwerts annähern. Der errechnete Halbjahresmittelwert des Sensors 5046 am Berufskolleg beträgt 20,664 µg/m³. Damit liegt dieser angenäherte Mittelwert am oberen Rand der von der UBA ermittelten jährlichen durchschnittlichen Feinstaubbelastung in Deutschland, die 15-20µg/m³ beträgt.

Auswertung des Monatsdurchschnitts

Vergleicht man die Mittelwerte der einzelnen Monate, wie in Abbildung 5 dargestellt für den Sensor 5046, so erkennt man, dass in den Sommermonaten die Feinstaubkonzentrationen deutlich niedriger ist als in den Wintermonaten. Die höchste Feinstaubkonzentration weist der November 2018 auf (PM10-Gehalt: 30,135 µg/m³). Am geringsten war der PM10-Gehalt im Juli 2018 (PM10-Belastung: 11,823 µg/m³). Die Belastung im Winter ist durchschnittlich 20 µg/m³ höher als im Sommer.

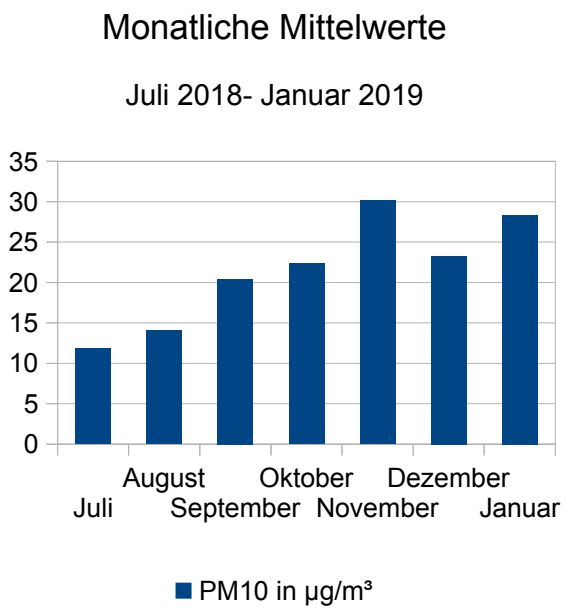

Abbildung 5

Betrachtet man die Entwicklung der Feinstaubkonzentration vor dem Hintergrund der Entwicklung von Luftfeuchtigkeit und Temperatur (Abbildung 6), so erkennt man, dass die höchsten Feinstaubkonzentrationen in Monaten mit hoher Luftfeuchtigkeit und geringen Temperaturen auftreten. Es ist möglich, dass die feuchte Luft im Winter dazu beiträgt, dass die Staubpartikel länger in der Luft verweilen und dadurch eine konstant höhere Feinstaubkonzentration in der

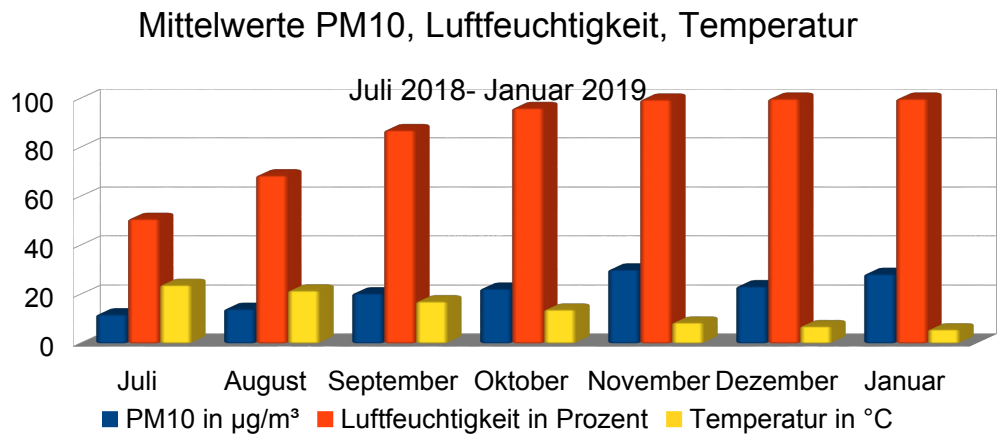

Abbildung 6

Atmosphäre erzeugen. Darüber hinaus können allerdings auch die witterungsbedingte Heizphase sowie auch die verringerte Biomasse einen negativen Einfluss haben. Es ist ebenfalls möglich, dass aufgrund der kälteren Temperaturen die Staubpartikel nicht in der Lage sind sich in der Atmosphäre zu verteilen und somit gehäuft auftreten [13]. Weiterhin erzeugen auch Verbrennungsmotoren in kalten Jahreszeiten vermehrt Feinstaub in der Warmlauf-Phase.

Auswertung des Wochentagesdurchschnitts

Vergleich man die Mittelwerte der Feinstaubbelastungen der Wochentage miteinander, so ergibt sich ein interessantes Phänomen (siehe Abbildung 7). So haben die Messungen ergeben, dass die Feinstaubkonzentrationen für PM10 und PM2.5 an Donnerstagen am höchsten sind. (PM10: 23,44µg/m und PM2.5: 11,55 µg/m³). Mit deutlichem Abstand von 5 µg/m³ ist der Samstag der Tag, an dem die Feinstaubkonzentration am geringsten ist. Darauf folgt der Sonntag als zweitgeringster Tag.
Während Möglichkeiten für die geringe Feinstaubkonzentration am Wochenende das vergleichbar geringere Straßenverkehrsaufkommen sowie die reduzierten Industrieaktivitäten sein können, konnte ich keine logische Begründung für den Donnerstag als Spitzenreiter der Wochentage ermitteln.

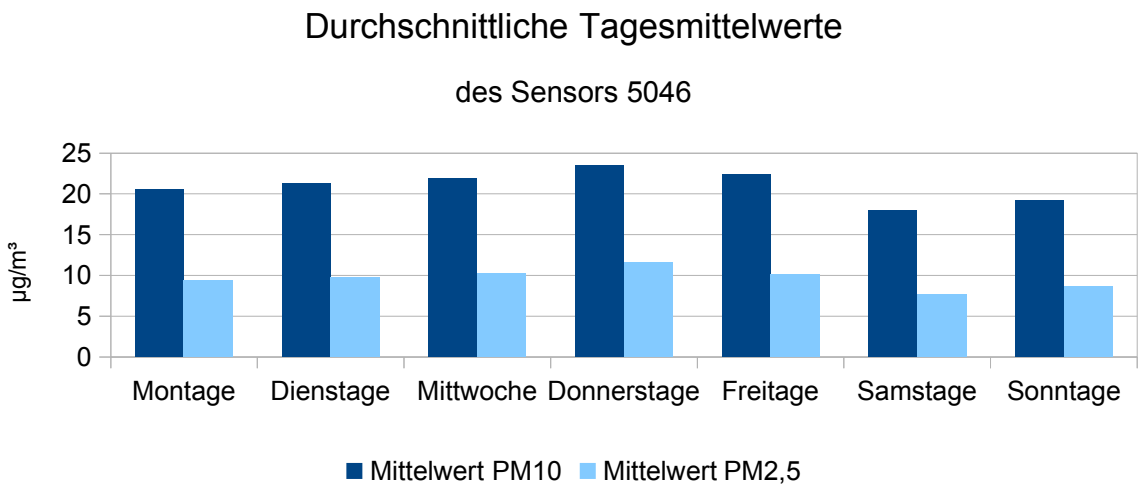

Abbildung 7

Analyse der Feinstaubkonzentration im Tagesablauf

Vergleicht man den Verlauf der absoluten Feinstaubkonzentrationen über einen längeren Zeitraum von z.B. sieben Tagen für den Sensor 5046 (die entsprechenden Abbildungen 16 bis 22 sind dem Anhang beigefügt), so erkennt man überraschenderweise, dass sich keine zyklisch wiederkehrenden Belastungssituationen darstellen. So ist beispielsweise im Zeitraum vom 30.09.2018 bis zum 06.10.2018 eine zeitlich wechselnde Belastungssituation gegeben (siehe Abbildungen 16-22), in der es immer wieder auch zu zeitlich begrenzten, hohen Belastungsspitzen kommt. Allerdings unterscheiden sich die Tagesmittelwerte kaum voneinander und auch im Verlauf der absoluten Werte ist kein Muster zu erkennen. Direkte Abhängigkeiten der Belastungssituationen von Effekten wie z.B. Berufsverkehr oder Nachtruhe sind nicht zu erkennen. Bezogen auf die spezielle Belastungssituation in Kindergärten kann somit gesagt werden, dass außerhalb der Verkehrsstoßzeiten die Feinstaubbelastung nicht zwangsläufig geringer sein muss.

Auswertung der Tagesdurchschnitte

Grundsätzlich gab es beim Sensor 5046 (BKVB) in einem halben Jahr 10 Tage, an denen der Tagesmittelwert überschritten wurde. Sowohl PM10 so wie auch das kleinere PM2,5 sind an folgenden Tagen deutlich erhöht:

- Di, 04.09.2018, PM10: 85,74 µg/m³
- Mi, 05.09.2018 PM10: 54,86 µg/m³
- Do, 06.09.2018 PM10: 68,22 µg/m³
- Fr, 23.11.2018 PM10: 50,73 µg/m³

- Sa, 24.11.2018 PM10: 55,21 µg/m³
- So, 25.11.2018 PM10: 77,30 µg/m³
- Mo, 26.11.2018 PM10: 59,52 µg/m³
- Sa, 29.12.2018 PM10: 50,23 µg/m³
- Mo, 31.12.2018 PM10: 67,95 µg/m³
- Fr, 04.01.2018 PM10: 50,87 µg/m³

Der Sensor 5048 (Kindertagesstätte), der erst ab dem 09.12.2018 gemessen hat, ermittelte folgende grenzüberschreitenden Tage:

- Sa, 29.12.2018 PM10: 55,34 µg/m³
- Mo, 31.12.2018 PM10: 75,26 µg/m³
- Fr, 04.01.2018 PM10: 50,06 µg/m³

Rechnet man diese Werte nun auf ein Jahr hoch, so würde es im Jahr 2018 insgesamt 20 Tage geben an denen der Tagesmittelwert von 50µg/m³ überschritten wurde. Dies liegt im Rahmen der gesetzlichen Vorgabe.

Die Überschreitungstage im Jahr kamen häufig direkt nacheinander vor. Eine konstant ungünstige Wetterlage könnte eine mögliche Ursache sein, welche diese hohe Konzentration in der Luft begünstigen. Im Juli, August und Oktober kamen keine Tagesüberschreitungen vor. Im September gab es drei Überschreitungen der Grenzwerte, im November gab es vier und im Dezember gab es zwei.

Betrachtet man die sogenannten Überschreitungstage, an denen die gesetzliche Vorgabe des Mittelwertes von 50 µg/m³ überschritten wird, so ist nachweisbar, dass beide Sensoren zu gleichen Zeiten ähnliche Schwankungen besitzen. Am 29.12.2018 sinkt die Feinstaubkonzentration an beiden Standorten um 17:00 Uhr auf 40µg/m³. Daraufhin steigt die Konzentration um 20:00 Uhr erneut auf etwa 80 µg/m³. Es ist auszuschließen, dass dies ein lokales Phänomen vor Ort ist, da beide Sensoren auf die erhöhte Belastung angesprungen sind und diese 6 km voneinander getrennt sind.
Außerdem zeigten die Abbildungen 8 und 9, dass die Konzentrationsschwankungen zeitlich leicht versetzt sind. Zuerst steigt die Feinstaubkonzentration der Sensors 5048 (Kindertagesstätte) in Oppum und darauf folgt die Feinstaubbelastung des Sensors 5046 (BKVB) in Inrath. Man kann darauf schließen, dass es weitere Einflüsse sind, die die Feinstaubkonzentration beeinflussen wie beispielsweise die Windverhältnisse. Hier zeigt sich, dass die Feinstaubbelastung nicht nur lokal beeinflusst wird, sondern auch Ursachen auf regionaler oder sogar überregionaler Ebene besitzen muss (siehe Abbildung 8 und 9). Weitere

Nachweise von ähnlichen Aspekten an Überschreitungstagen befinden sich im Anhang (siehe Abbildung 23-24).

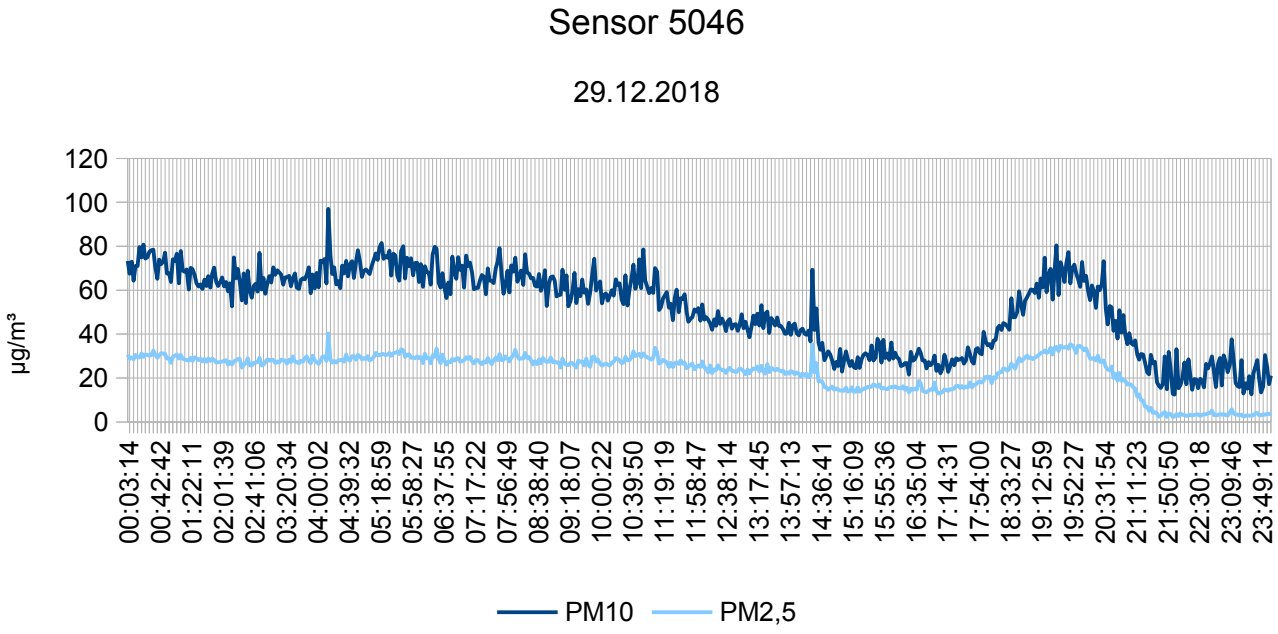

Abbildung 8

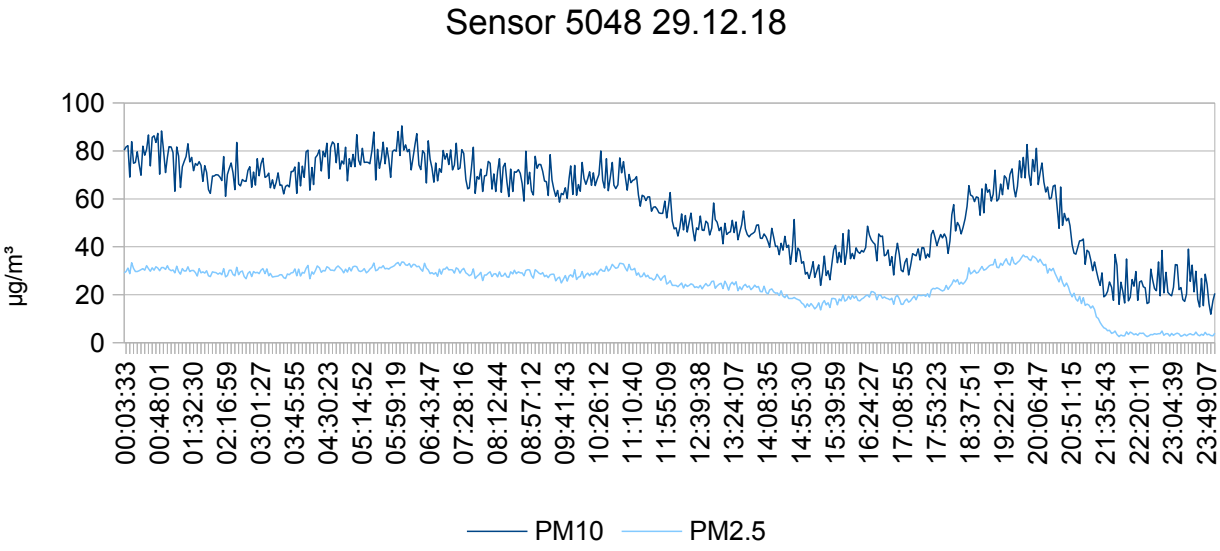

Abbildung 9

Bei weiterer Analyse ist festzustellen, dass die einmaligen, kurz erhöhten Feinstaubwerte der beiden Messstationen 5046 und 5048 nahezu immer einen unterschiedlichen Zeitursprung haben. Es gibt z.B. am 10.12. einen kurzfristigen, sehr hohen Ausschlag von PM10 über 200 µg/m³, welcher nur am Sensor 5046 gemessen wurde. Das liegt sehr wahrscheinlich daran, dass dies ein lokales Phänomen ist und wahrscheinlich den Abgasen eines Kraftfahrzeugs entspringt, welches einen hohen Schadstoff-Ausstoß besitzt (siehe Abbildungen 10-11.) Dies hat jedoch keinen großen Einfluss auf den Durchschnittswert des Tages, da die sogenannten Peaks nicht den Tagesmittelwert großartig erhöhen.

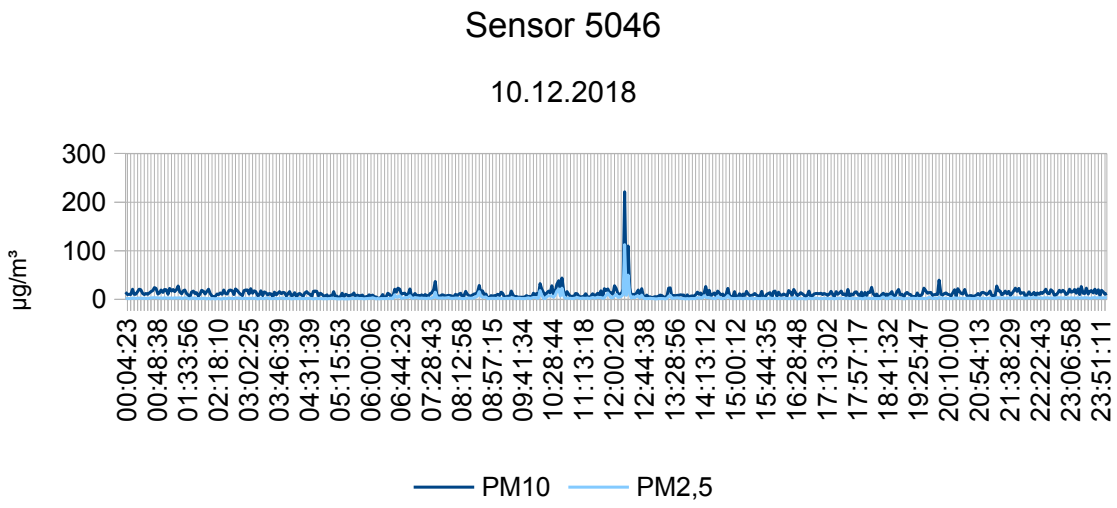

Abbildung 10

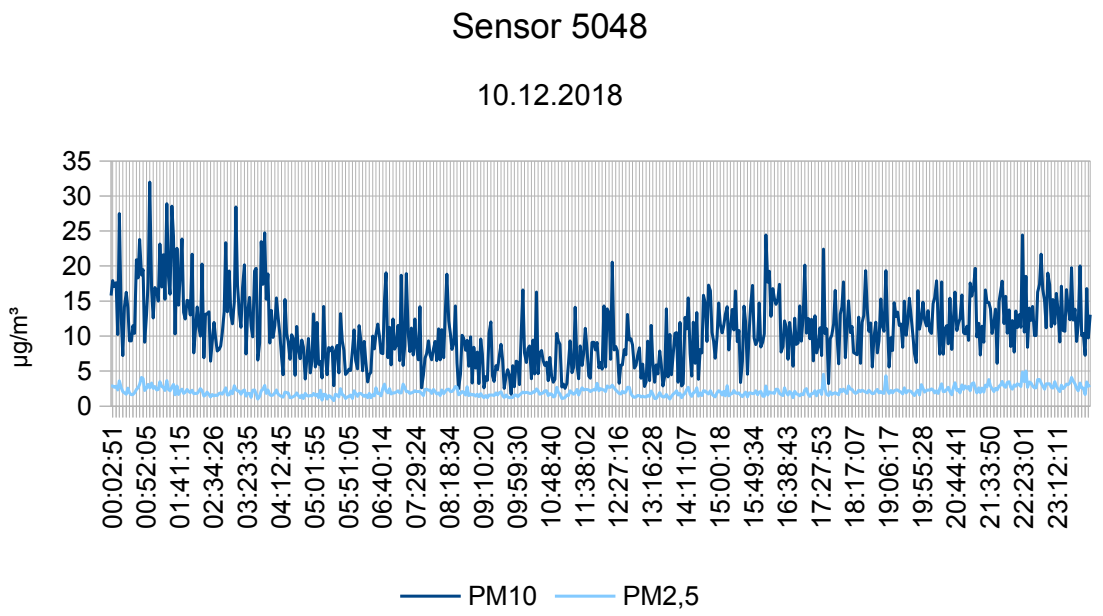

Abbildung 11

Ergebnisdiskussion

Auf der Basis der von mir durchgeführten Feinstaubanalysen kann gesagt werden, dass Krefelds Feinstaubbelastung den gesetzlichen Vorgaben im Wesentlichen entspricht. Die Tatsache, dass die offizielle Messung lediglich mit einer Messstation und meine Messung mit zwei Messstationen durchgeführt wurde hat hierauf keinen Einfluss, auch wenn im Detail die Werte abweichen mögen. Im Jahresdurchschnitt liegt die Feinstaubbelastung deutlich unterhalb der geforderten Grenze. Auch wenn hier fraglich bleibt, wie aussagekräftig ein Jahresdurchschnittswert bei der Bemessung der Gesundheitsgefährdung durch Feinstaub sein kann, können doch über das Jahr hinweg die Belastungen sehr stark streuen, was durch den Durchschnittswert nicht wiedergegeben wird.
Die Betrachtung der Feinstaubbelastung im Monatsdurchschnitt hat gezeigt, dass durchaus jahreszeitabhängige Schwankungen auftreten, die sehr wahrscheinlich auch auf klimatische Bedingungen zurückzuführen sind. So kann davon ausgegangen werden, dass die Luft über das Jahr hinweg unterschiedliche Fähigkeiten besitzt Feinstaub aufzunehmen und zu transportieren. Hier scheint insbesondere die Temperatur und die Luftfeuchtigkeit wichtig zu sein. Allerdings unterscheidet sich auch das Ausmaß an Feinstaubentstehung über das Jahr, wodurch die jahreszeitabhängigen Schwankungen ebenfalls zu erklären sind. So wird in kalten Jahreszeiten deutlich mehr geheizt, Motoren erzeugen mehr Feinstaub und die Natur kann, aufgrund fehlender Belaubung, weniger zur Feinstaubreduktion beitragen.
Im Wochenverlauf lässt sich eindeutig ein höheres Feinstaubaufkommen an den Arbeitstagen erkennen. Anscheinend führen weniger Straßenverkehr und weniger arbeitende Unternehmen zu geringerer Belastung an Wochenenden.
Mit Hilfe der Analyse von bestimmten Tageszeiten konnte ich erkennen, dass es kein bestimmtes Muster für die Feinstaubbelastung gibt, das sich jeden Tag oder in gleichen Abständen wiederholt. Kurzfristige hohe Belastungsspitzen sind auch bei niedrigen Tagesmittelwerten gegeben, haben also nicht zwangsläufig einen direkten Einfluss auf die längerfristige Belastung mit Feinstaub. Längerfristige Überschreitungen der Grenzwerte sind zu verschiedenen Tages- und Nachtzeiten sowie an unterschiedlichen Wochentagen und Wochenenden möglich. Daraus schließe ich, dass einzelne lokale Ereignisse durchaus einen direkten Einfluss auf die kurzzeitige Belastung mit Feinstaub an einem Standort haben. So sieht man immer wieder kurzzeitige hohe Grenzwertüberschreitungen, die sicherlich auch gesundheitsgefährdend sein können, obwohl der Tagesdurchschnittswert unkritisch ist. Situationen, in denen die Feinstaubbelastung längerfristig außerhalb der zulässigen Grenzwerte liegt, lassen sich meines Erachtens nur schwer auf einzelne lokale Ereignisse zurückführen. Vielmehr ist hier anzunehmen, dass die Gründe hierfür eher auf ungünstige Wettersituationen oder auf regionale oder sogar überregionale Ereignisse, d.h. auf andere,

größere Feinstaubproduzenten, beispielsweise Industriebetriebe, zurückzuführen sind. Diese sind dann sicherlich sehr schwer durch lokale Maßnahmen zu beheben. So kann ich mir durchaus vorstellen, dass eine erhöhte Feinstaubbelastung an einem Ort in Krefeld bei entsprechender Windrichtung durch Industrieabgase (z.B. Kohlekraftwerke) in anderen Regionen verursacht wird. Diese Annahmen werden auch dadurch unterstützt, dass deutliche Grenzwertüberschreitungen immer an mehreren aufeinander folgenden Tagen zu verzeichnen sind. Interessant wäre es daher in diesem Zusammenhang zu wissen, ob Daten über eine entsprechende Feinstaubentstehung bei den Großunternehmen der Region vorliegen und ob diese mit meinen gemessenen Daten korrelieren.

Wenn man jedoch meine Messungen mit denen der offiziellen Messstation DENW042 in Krefeld-Linn vergleicht, so ist deutlich zu erkennen, dass meine Messungen deutlich höher sind als die des offiziellen Sensors. Für das Kalenderjahr 2018 hat die Messstation in Krefeld-Linn zwei Überschreitungstage für PM10 aufgezeigt. Am 31.12.2018 beträgt der Tagesmittelwert für PM10 der Messstation DEN042 in Krefeld-Linn 20µg/m³. Der Tagesmittelwert meiner Station in Krefeld-Inrath am BKVB (5046) beträgt 67,86µg/m³ und der Tagesmittelwert meiner Station in Krefeld-Oppum an der Kindertagesstätte (5048) beträgt 77,4µg/m³.
Gründe hierfür sind sicherlich in der unterschiedlichen Messtechnologie zu suchen. So können die Messwerte des SDS011 Sensors insbesondere bei hoher Luftfeuchtigkeit etwas höher ausfallen [14]. Der Einfluss der unterschiedlichen räumlichen Anordnung der Sensoren auf die Messwerte sollte dagegen vernachlässigbar sein. Dennoch ist der Unterschied in den Werten sehr groß (Faktor 3-4), so dass es zulässig ist zu fragen, inwiefern die Aufstellung des offiziellen Sensors in einer Randlage Krefelds anstelle einer mehr innerstädtischen Lage tatsächlich sinnvoll ist.

Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass Feinstaub sehr schädlich für den Menschen ist. Es sollte, um diesen zu reduzieren, sowohl auf lokaler Ebene gearbeitet werden, um Belastungsspitzen zu reduzieren, als auch auf regionaler und überregionaler Ebene, um große langfristige „Belastungswellen“ zu verhindern. Auch möchte ich diese Arbeit als Anregung verstehen, mehr Messstationen in Krefeld oder auch anderswo zu installieren um einen besseren und zeitnahen Überblick über die lokale Feinstaubbelastung zu erhalten.

Quellenverzeichnis

- 1 :https://www.umweltbundesamt.de/service/uba-fragen/was-ist-feinstaub , 6.01.2019 , 13.00
- 2 :https://www.mpic.de/aktuelles/pressemeldungen/news/mehr-tote-durch-luftverschmutzung.html , 6.01.2019, 14.00
- 3 :https://www.umweltbundesamt.de/service/uba-fragen/aus-welchen-quellen-stammt-feinstaub , 6.01.2019, 13.00
- 4 :https://www.krefeld.de/de/umwelt/luftreinhalteplan-krefeld-2894812/ 27.12.2018, 17 Uhr
- 5 :https://www.krefeld.de/c125765d003d65ce/files/einwohnerzahlen_gesamtstadt.pdf/$file/einwohnerzahlen_gesamtstadt.pdf?openelement 27.12.2018, 17 Uhr
- 6 :https://www.umweltbundesamt.de/daten/luftbelastung/aktuelle-luftdaten#/stations?_k=70k1k7 , 27.12.2018, 17Uhr
- 7 :https://www.lanuv.nrw.de/luqs/messorte/steckbrief.php?ort=KREF , 6.01.2019, 13.00
- 8 :https://www.wetteronline.de/luftqualitaet/nordrhein-westfalen?day=27&metparaid=PM10&month=12&year=2018, 27.12.2018, 18 Uhr
- 9 : https://www.kit.edu/kit/pi_2014_15176.php , 27.12.2018 18 Uhr
- 10 : https://luftdaten.info/ , 28.12.2018, 13Uhr
- 11 : https://luftdaten.info/feinstaubsensor-bauen/, 28.12.2018, 13:00
- 12 :https://www.sixsigmablackbelt.de/median-mittelwert/, 28.12.2018, 14:00
- 13 : https://www.esslingen.de/site/Esslingen-Internet-2016/get/params_E312232250/11803169/DWD%20Kriterien%20Feinstaub.pdf, 6.01.2019, 14 Uhr
- 14 : https://luftdaten.info/evaluation/ , 6.01.2018, 14 Uhr

Danksagung

Mein Dank gilt in erster Linie meinem Lehrer Dr. Alexander Reugels, der mich bei der Themenwahl, Methodik und Durchführung der Messungen sowie der Korrektur der Arbeit unterstützt hat. An dieser Stelle möchte ich mich auch bei meiner Schule, dem Berufskolleg Vera Beckers, und der Kindertagesstätte, Kinderinsel e.V., für die Erlaubnis zur Montage der Messstationen und der Bereitstellung von Strom und WLAN bedanken. Des Weiteren gilt mein Dank der Ruhrmobil-E (https://ruhrmobil-e.de) für die Hilfe beim Aufspielen der Firmware.

Anhang

Abbildung 12: Feinstaubsensor am Berufskolleg Vera Beckers

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
1	sensor_id	sensor_type	location	lat	lon	timestamp	PM10	durP1	ratioP1	PM2.5	durP2	ratioP2
2	5046	SDS011	2542	51,339	6,543	2018-12-28T00:00:27	28,23			14,3		
3	5046	SDS011	2542	51,339	6,543	2018-12-28T00:02:56	31,23			14,53		
4	5046	SDS011	2542	51,339	6,543	2018-12-28T00:05:24	42,3			15,07		
5	5046	SDS011	2542	51,339	6,543	2018-12-28T00:07:52	29,83			15,4		
6	5046	SDS011	2542	51,339	6,543	2018-12-28T00:10:20	33,43			14,37		
7	5046	SDS011	2542	51,339	6,543	2018-12-28T00:12:48	29,7			13,77		
8	5046	SDS011	2542	51,339	6,543	2018-12-28T00:15:16	32,1			13,83		
9	5046	SDS011	2542	51,339	6,543	2018-12-28T00:17:44	25,87			13,23		
10	5046	SDS011	2542	51,339	6,543	2018-12-28T00:20:12	40,13			13,27		
11	5046	SDS011	2542	51,339	6,543	2018-12-28T00:22:40	22,87			13,6		
12	5046	SDS011	2542	51,339	6,543	2018-12-28T00:25:08	26,8			13,63		
13	5046	SDS011	2542	51,339	6,543	2018-12-28T00:27:36	30,53			12,6		
14	5046	SDS011	2542	51,339	6,543	2018-12-28T00:30:05	30,6			13,6		
15	5046	SDS011	2542	51,339	6,543	2018-12-28T00:32:33	36,5			12,47		
16	5046	SDS011	2542	51,339	6,543	2018-12-28T00:35:01	27,87			12,07		
17	5046	SDS011	2542	51,339	6,543	2018-12-28T00:37:29	34,7			12,8		
18	5046	SDS011	2542	51,339	6,543	2018-12-28T00:39:57	25,13			13,03		
19	5046	SDS011	2542	51,339	6,543	2018-12-28T00:42:25	33,9			12,93		
20	5046	SDS011	2542	51,339	6,543	2018-12-28T00:44:53	24,03			12,8		
21	5046	SDS011	2542	51,339	6,543	2018-12-28T00:47:21	36			12,8		
22	5046	SDS011	2542	51,339	6,543	2018-12-28T00:49:49	28,43			13,43		
23	5046	SDS011	2542	51,339	6,543	2018-12-28T00:52:17	32,77			13,53		

Abbildung 13

Abbildung 14: zusammengebauter Feinstaubsensor

Abbildung 15: Feinstaubsensor an der Kinderinsel eV

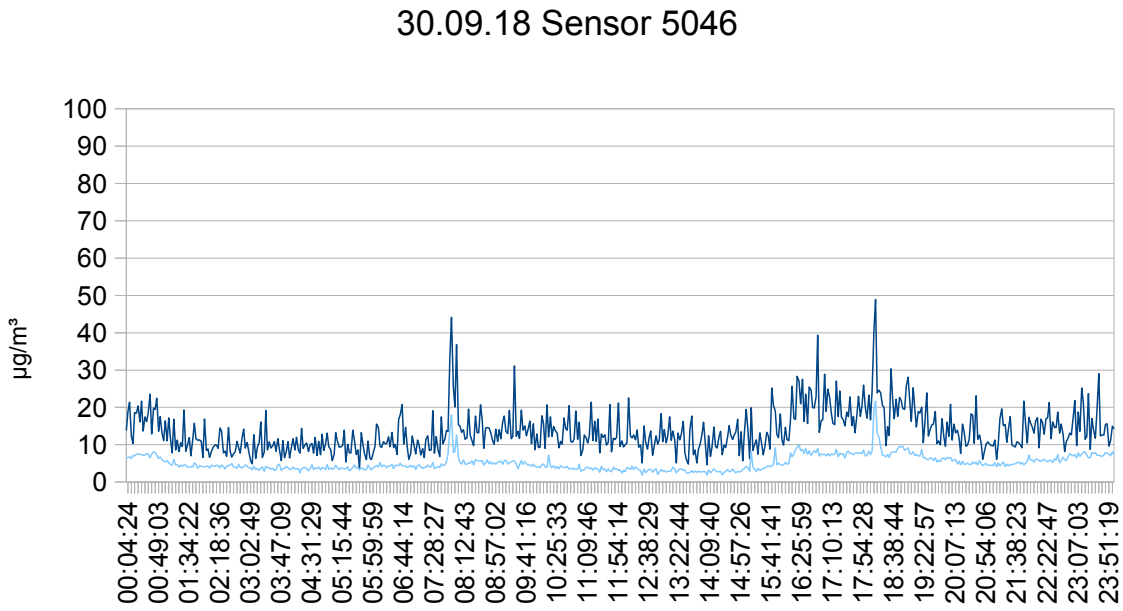

Abbildung 16

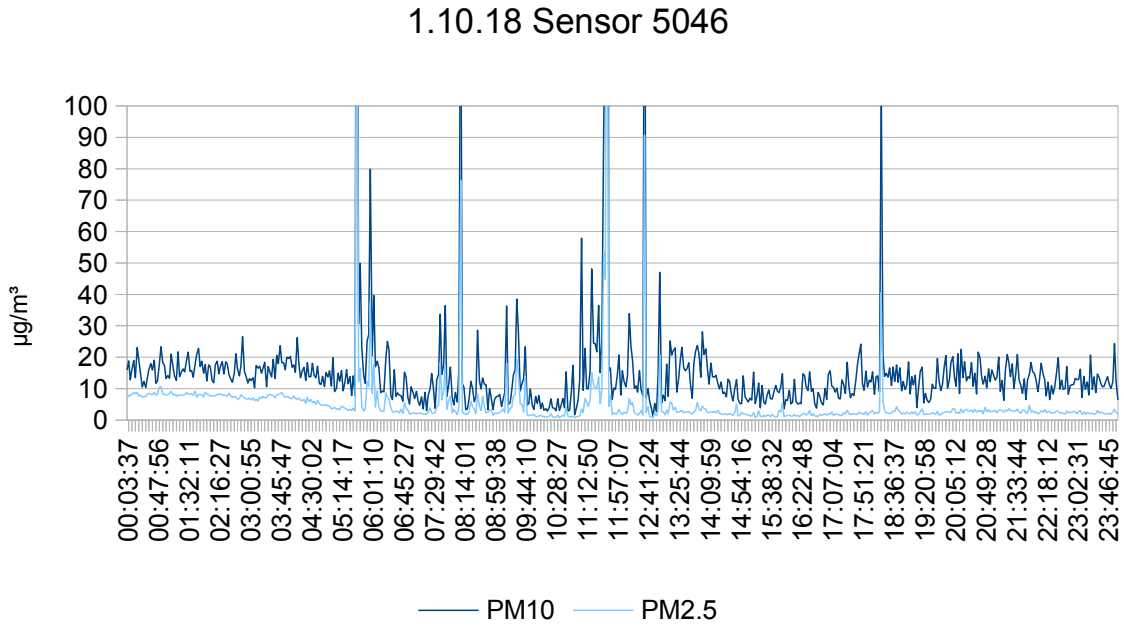

Abbildung 17

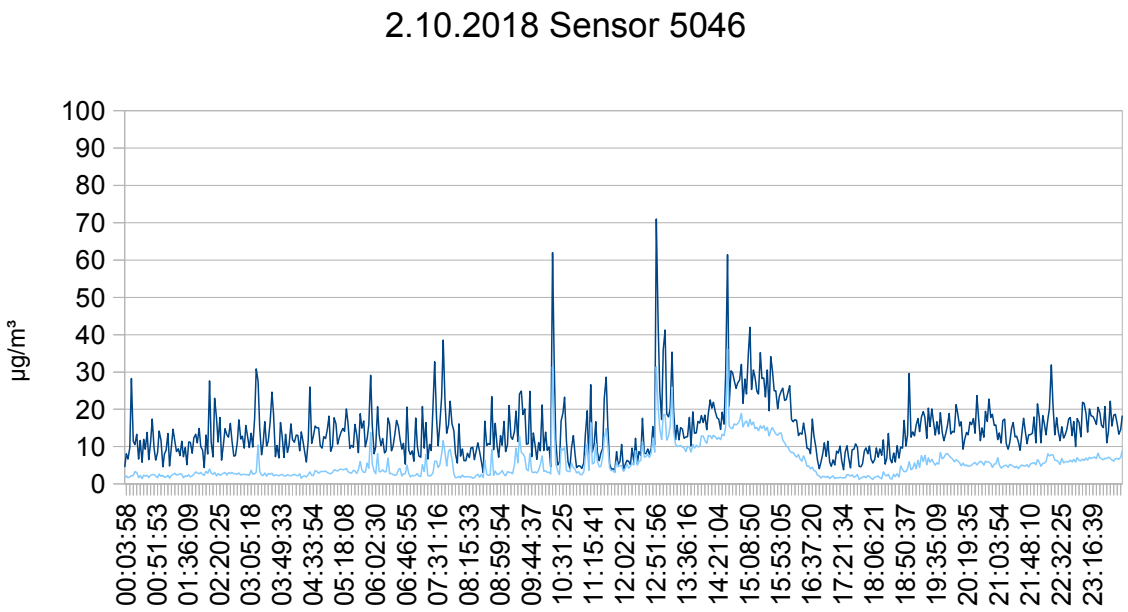

Abbildung 18

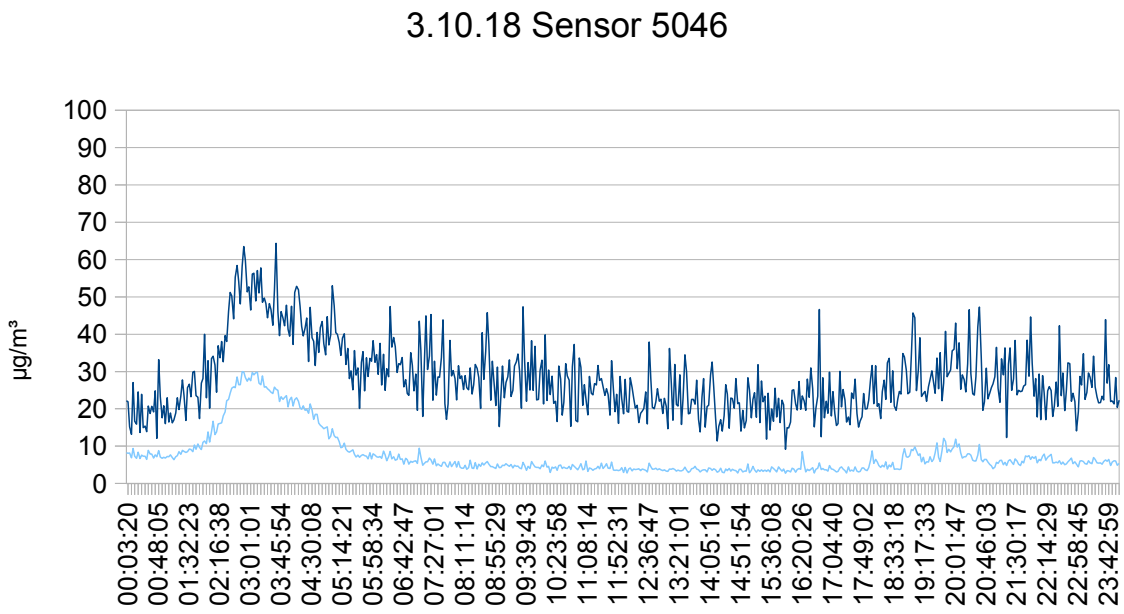

Abbildung 19

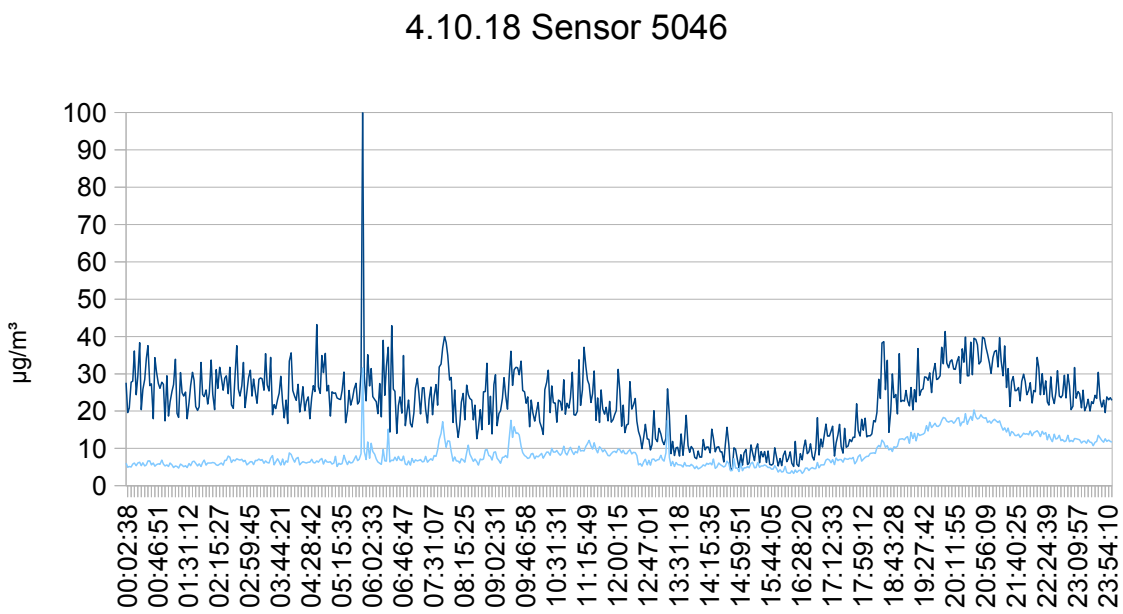

Abbildung 20

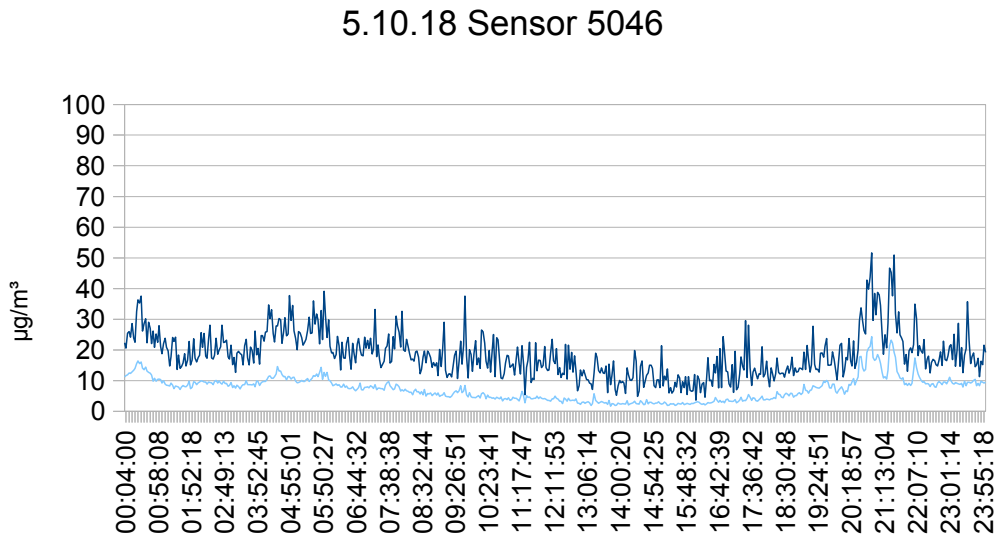

Abbildung 21

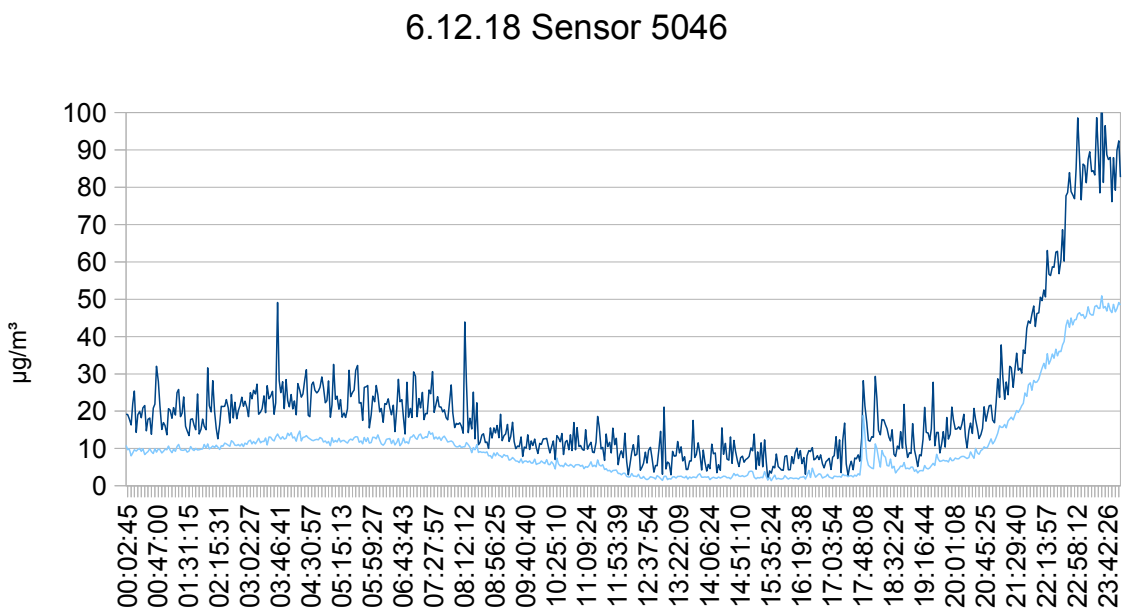

Abbildung 22

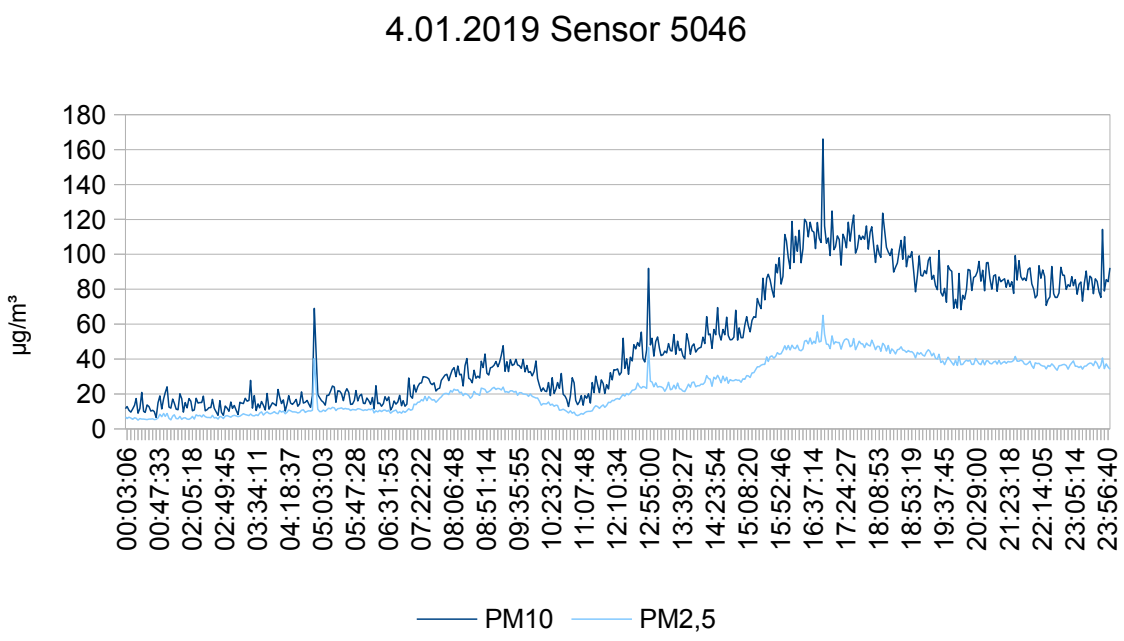

Abbildung 23

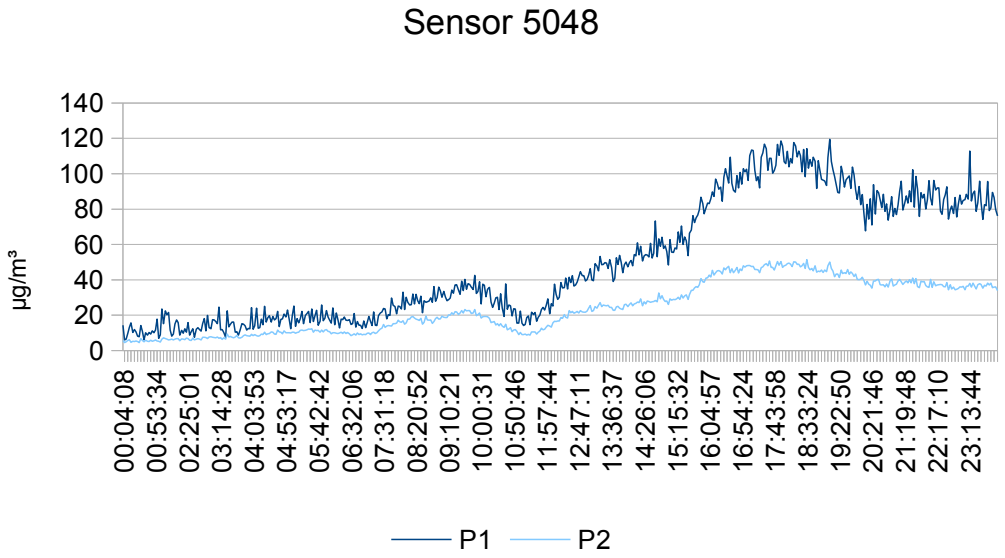

Abbildung 24