

## Rauchmelder-Testsprays für den Funktionstest von Feinstaubsensoren

Bernd Laquai, 26.1.2017



Abb.1: Anwendung eines Rauchmelder Testsprays

Bei der Suche nach Möglichkeiten für den Test und die Kalibrierung von Feinstaubsensoren kommt man schnell an den Punkt, an dem man erkennt, dass photoelektrische Rauchmelder im Prinzip einen ähnlichen Effekt nutzen wie Feinstaubsensoren nach dem Laser-Streulichtverfahren. Der Unterschied besteht nur in der Lichtquelle. Für einen Rauchmelder ist eine Infrarot-LED ausreichend, da keine Zählung einzelner Partikel vorgenommen werden muss um nur die Präsenz von Rauchpartikeln zu detektieren. Im Rauchmelder wird aber ebenfalls das Streulicht der sogenannten Lorenz-Mie-Streuung (nach dem dänischen Physiker Ludvig Lorenz und dem dt. Physiker Gustav Mie) an den feinen Partikeln genutzt, die im Rauch den sogenannten Tyndall-Effekt (nach dem Entdecker John Tyndall) auslösen. Der Tyndall-Effekt beschreibt die Aufhellung des Rauchs im Strahlengang der Lichtquelle durch die Lorenz-Mie-Streuung. Während der Rauchmelder lediglich die Aufhellung durch das Streulicht detektieren muss, ist es beim Feinstaub-Sensor erforderlich, dass das Streulicht einzelner Partikel erkannt wird um Zählimpulse zu generieren, welche eine Aussage über die Zahl der Partikel in einem Messvolumen ermöglichen.

Diese funktionelle Verwandtschaft legt es aber nahe, davon auszugehen, dass auch der Feinstaubsensor mit den selben Mitteln getestet werden kann, wie ein Rauchmelder. Für den Rauchmelder-Test stehen heute Testsprays zur Verfügung, die meist leicht flüchtige Alkohole unter dem Druck des Treibgases in der Spraydüse vernebeln, so dass Tröpfchen bis in den Sub-Mikrometerbereich entstehen und einen sehr feinen Aerosolnebel bilden. Je nach den verwendeten Inhaltsstoffen (meist ein Firmengeheimnis) und Feinheit der Tröpfchen hat der entstehende Nebel dann eine gewisse Standzeit in der Luft. Wichtig dabei ist natürlich auch, dass die Inhaltsstoffe rückstandsfrei verdampfen, was bei Alkoholen weitestgehend gegeben ist. Der Unterschied zum Test mit Räucherkerzen bzw. Räucherstäbchen besteht

beim Rauchmelder Testspray hauptsächlich darin, dass die Partikel, die der Feinstaubsensor beim Test detektiert, nicht aus Feststoffen bestehen, sondern feinste Tröpfchen sind.

In diesem Test wurde ein Rauchmelder-Testspray der Firma ITW Spraytec mit einem SDS011 Feinstaubsensor der Firma Nova Fitness, der über einen Arduino-basierten Datenlogger verbunden wurde, untersucht. Der Datenlogger erhält alle Sekunden den PM2.5 Massenkonzentrationswert und berechnet aus jeweils 10 Werten einen Mittelwert, der alle 10 Sekunden mit dem Zeitstempel einer Echtzeituhr auf die SD-Speicherkarte geschrieben wird. Hält man sich an die Gebrauchsanweisung und versprüht für 5 Sekunden den Aerosolnebel in einem Raum von 3m x 4m x 2.75m, dann detektiert der Feinstaubsensor nach wenigen Sekunden einen Spitzenwert für die PM2.5 Massenkonzentration von über 300 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ . Nach einer etwas instabilen Anfangsphase in der die Konzentration wieder rapide abfällt, beginnt eine Abklingphase, in der die PM2.5 Massenkonzentration mit einer Zeitkonstante von etwa 190 Minuten (ungefähr 3 Std.) nahezu exponentiell abfällt. Mit Hilfe einer exponentiellen Kurvenanpassung kann man daher eine theoretische Kurve mit hoher Genauigkeit dem Verlauf der Messkurve anpassen und erhält so die Zeitkonstante für den exponentiellen Abfall und eine Amplitude für die Empfindlichkeit des Sensors, d.h. einen Wert bei der die modellierte e-Funktion die Ordinate schneiden würde (hier 181 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ).

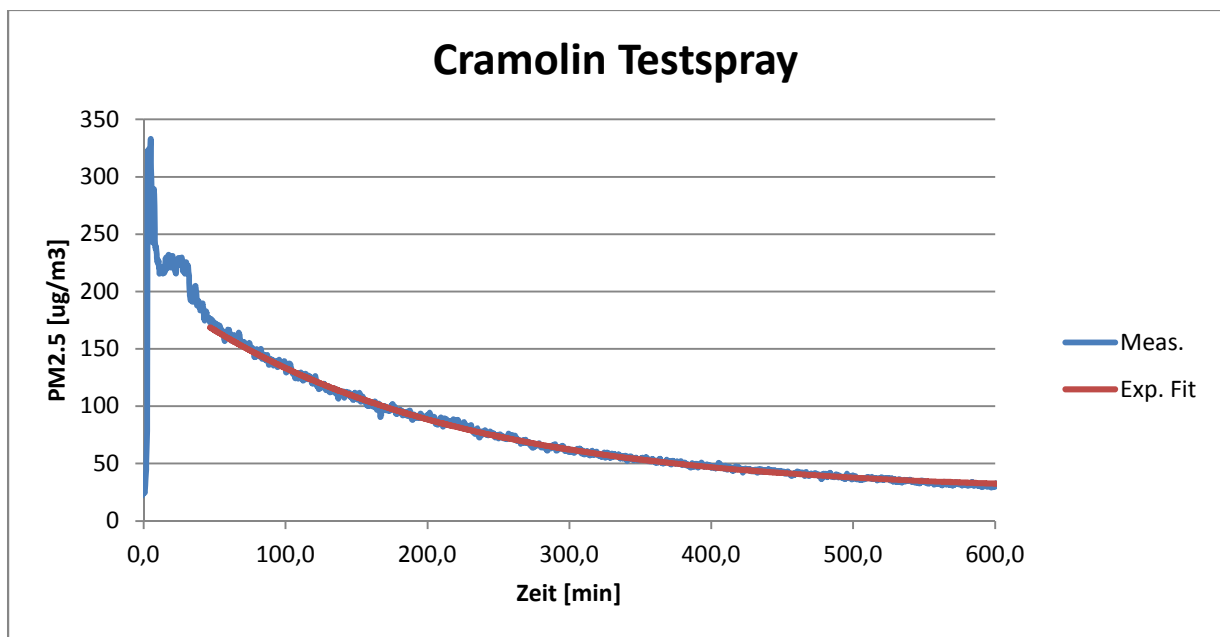


Abb. 2: Vom Datenlogger aufgezeichnete Messkurve und der Fit einer Exponentialkurve in die Messdaten nach Anwendung des Testsprays

Man kann aus diesem Versuch nun zwei wichtige Schlüsse ziehen. Ein erster wichtiger Schluss ist, dass diese Art von Laser-Streulicht Feinstaubsensoren genau wie photoelektrische Rauchmelder auch auf feuchten Dunst, also feinen Nebel mit Tröpfchen im Mikrometerbereich, empfindlich sind. Damit wird ebenfalls klar, dass solche Sensoren bei Außenluftmessungen von einer Nebelbildung erheblich beeinflusst werden. Eine Nebelbildung in der Außenluft setzt immer dann ein, wenn die Luftfeuchte hoch ist und die Lufttemperatur gegen den momentanen Taupunkt strebt. Allerdings muss man dabei berücksichtigen, dass Wasserdampf in der Außenluft bei Überschreiten des Taupunkts in den meisten Fällen dadurch kondensiert, dass sich flüssiges Wasser an feste Partikel, die als Kondensationskeime wirken, anlagert. Da in der Außenluft sehr viel mehr ultrafeine Partikel mit Durchmessern von weniger

als  $0.1\mu\text{m}$  vorliegen, als solche mit  $> 0.3\mu\text{m}$ , werden diese ultrafeinen Partikel vom Sensor erst dann erfasst, wenn diese durch die Wasseranlagerung bei der Kondensation soweit aufgequollen sind, dass sie vom Sensor auch wahrgenommen werden können. Dagegen wird in den amtlichen Messanlagen die Luft vor der Feinstaubmessung in der Regel so konditioniert, dass eine definierte Feuchte während der Messung vorliegt, die sicherstellt, dass nur trockener Feinstaub gemessen wird. Da der verwendete Sensor in der Regel eine Untergrenze für die detektierbare Partikelgröße in der Größenordnung von einigen zehntel Mikrometer hat, werden die ultrafeinen Partikel in der Regel ausgeschlossen. Ein Sensor wie der SDS011 aber beginnt bei Nebelbildung auch die ultrafeinen Partikel zu zählen und gewichtet sie anhand ihrer neuen, aufgequollenen Größe, d.h. mit dem kondensierten Wasser. Daher wird der SDS011 bei Nebelbildung deutlich höhere Feinstaubmassenkonzentrationen als Messergebnis liefern die amtlichen Messanlagen mit Messluft-Vorwärmung.

Zum zweiten kann man aber auch erkennen, dass sich Rauchmelder-Testsprays, die feuchte Aerosole versprühen, sehr gut zur Kalibrierung von Sensoren nach dem „Golden-Device-Prinzip“ eignen. Hat man also einen Sensor, dessen Anzeigewerte man als die goldene Referenz betrachtet, so kann man dieses „Golden Device“ als Referenzsensor in einen Testraum mit anderen Prüflingen bringen und die Messdaten aller Sensoren nach Applikation eines Testsprays zusammen mit dem „Golden Device“ aufzeichnen. Ignoriert man in den aufgezeichneten Messkurven die instabile Anfangsphase bis der Nebel gleichmäßig verteilt ist, dann kann man in der Phase des gleichmäßigen exponentiellen Abklingens durch eine exponentielle Kurvenanpassung sensorspezifische Amplitudenfaktoren extrahieren. Diese Amplitudenfaktoren können dann im Rahmen einer Kalibration so kompensiert werden, dass der exponentielle Teil des Abklingens der Feinstaubkonzentration bei allen Sensoren gleich verläuft. Damit hat man zwar noch nicht unbedingt eine absolute Genauigkeitsverbesserung erreicht, man erreicht aber dennoch, dass sich nach einer solchen Kalibrierung alle Sensoren identisch verhalten, was auch schon ein großer Gewinn sein kann. Ist die „goldene Referenz“ portabel und beispielsweise über einen Tag gegen eine amtliche Station abgeglichen, dann kann man so die Kalibrierung auf weitere Sensoren im Labor ausdehnen.

### Link

Cramolin Testspray  
IWT Spraytec Deutschland, Mühlacker bei Pforzheim  
<http://www.itwcp.de/rmt-spray.html>