

Feinstaubmessung mit dem TTN



Gliederung

1. Feinstaub

- 1.1. Definition
- 1.2. Entstehung
- 1.3. Gesundheitliche Folgen
- 1.4. Richtlinien und Grenzwerte

2. Feinstaubsensor

- 2.1. Physikalische Funktionsweise
- 2.2. Kurzzeitmessungen Alltag

3. TTN und LoRaWAN

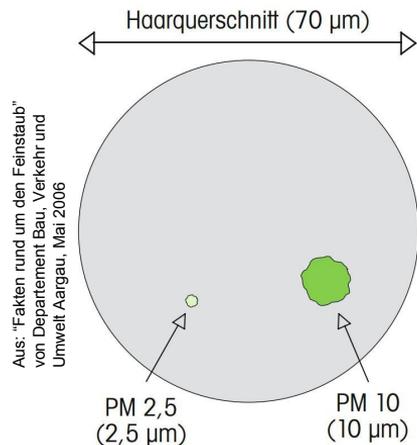
- 3.1. Definition
- 3.2. Funktionsweise
- 3.3. Vor- und Nachteile
- 3.4. Langzeitmessung: Autarke Stelle in Freiburg

4. Quellen

1. Feinstaub

1.1 Definition

- Auch Schwebstaub, “particulate matter” (PM)
- “Teilchen in der Luft, die nicht sofort zu Boden sinken, sondern eine gewisse Zeit in der Atmosphäre verweilen.” - Umweltbundesamt
- “Feinstaub besteht [...] aus einem komplexen Gemisch fester und flüssiger Partikel.” - Umweltbundesamt



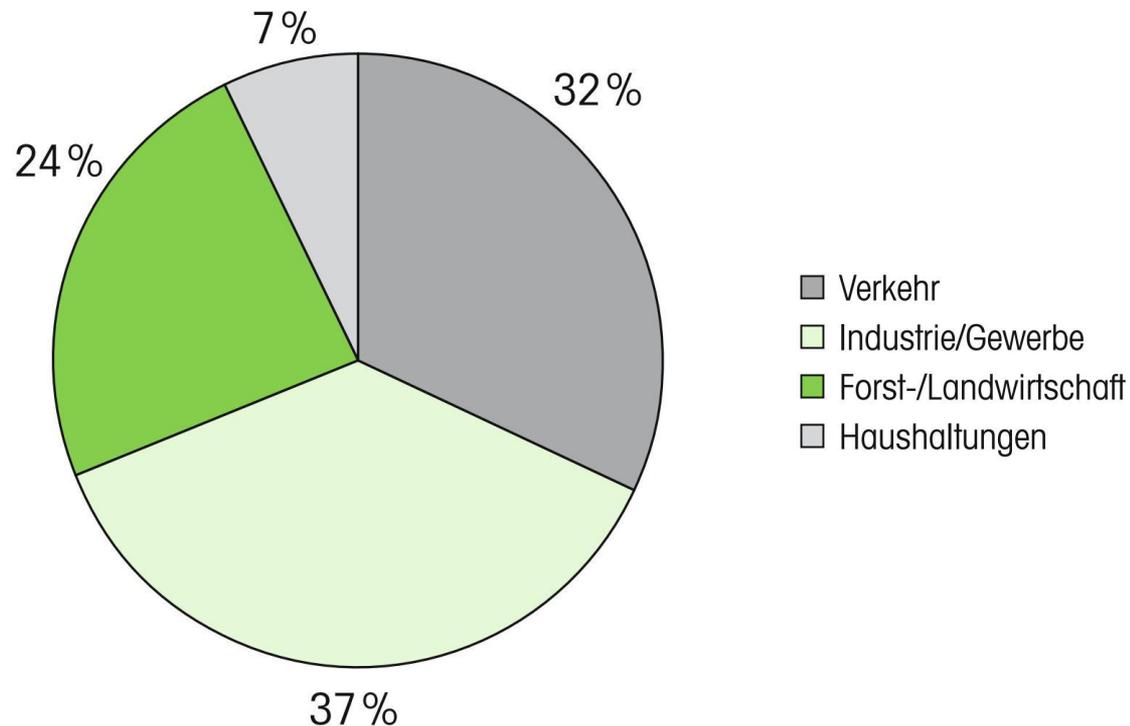
Fraktion	Bezeichnung	Durchmesser	Eindringung bis
PM 10	Grobstaub	2,5 - 10 μm	Nasenhöhle
PM 2.5	Feinstaub	1 - 2,5 μm	Bronchien, Lungenbläschen
PM 1	Ultrafeinstaub	< 1 μm	Lungengewebe, Blutkreislauf

1.2 Entstehung

Künstlich	Natürlich
<ul style="list-style-type: none"> ● Landwirtschaft, Viehhaltung, Verkehr (Auspuffgase, Abrieb von Bremsen und Reifen), Verbrennung von Holz (z. B. Kaminen), fossilen Energieträgern (Kohle), Industrieprozessen, Schüttgutverladungen, Feuerwerke ● Meist kleinere Partikel 	<ul style="list-style-type: none"> ● 10 - 50% je nach Wetterlage und Ort ● Vulkanausbrüchen, Busch- und Waldbrände, Kleinstlebewesen, Pflanzenpollen, Gesteinserosionen ● Meist größere Partikel
Primär	Sekundär
<ul style="list-style-type: none"> ● Verbrennung von fossilen Brennstoffen und Holz ● Verkehr, Kraft- und Fernheizwerke, Abfallverbrennungsanlagen, Heizungsanlagen 	<ul style="list-style-type: none"> ● Reaktion von Gasen mit anderen Stoffen zu Feinstaub z. B. in Landwirtschaft (Großteil des durch den Menschen erzeugten Feinstaub)

1.2 Entstehung

Die verschiedenen
Verursacher von
Feinstaub



Aus: "Fakten rund um den Feinstaub" von Departement Bau, Verkehr und Umwelt Aargau, Mai 2006

1.3 Gesundheitliche Folgen

“In Deutschland [...] hat sich die Luftqualität in den letzten Jahrzehnten deutlich verbessert. [...] Ein Level, bei dem nachteilige gesundheitliche Wirkungen nicht mehr vorkommen, [ist] noch nicht erreicht.”

- Umweltbundesamt

“[...] in the European Union, where PM concentrations in many cities do comply with Guideline levels, it is estimated that average life expectancy is 8.6 months lower than it would otherwise be, due to PM exposures from human sources.”

- WHO fact sheet

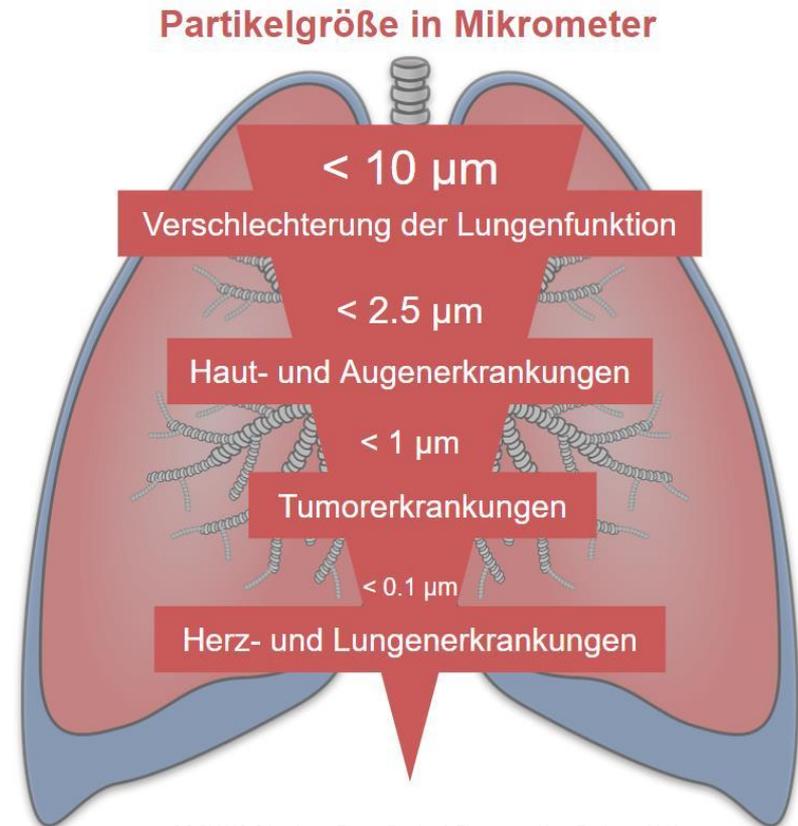
“Je nach Größe und Eindringtiefe der Teilchen sind die gesundheitlichen Wirkungen von Feinstaub verschieden.

Sie reichen von Schleimhautreizungen und lokalen Entzündungen in der Luftröhre und den Bronchien oder den Lungenalveolen bis zu verstärkter Plaquebildung in den Blutgefäßen, einer erhöhten Thromboseneigung oder Veränderungen der Regulierungsfunktion des vegetativen Nervensystems (Herzfrequenzvariabilität).”

- Umweltbundesamt

1.3 Gesundheitliche Folgen

- Je kleiner der Feinstaub, desto tiefer dringt er in den Körper ein und desto schädlicher ist er
- Künstlicher Feinstaub für Menschen besonders gefährlich
 - Giftige Stoffe und Pollenteilchen haften an künstlichen Verbrennungspartikeln an und verstärken allergische Reaktionen



1.4 Richtlinien und Grenzwerte

“[Die] EU orientier[t] sich zwar an den von der WHO vorgeschlagenen Werten, berücksichtig[t] aber gleichzeitig auch die Kosteneffizienz der Minderungsmaßnahmen, was häufig zu weniger ambitionierten Werten führte.

[...] Die EU hat sich mit ihrem Kurzzeitwert [Tagesmittel] an den Luftqualitätsleitlinien der WHO orientiert [50 µg/m³], erlaubt aber für das Jahresmittel einen Wert von 40 µg/m³, [...], der doppelt so hoch ist, wie von der WHO vorgeschlagen.”

- Umweltbundesamt

“Die derzeit geltenden EU-Grenz- und Zielwerte [von 2008] sind ein Kompromiss zwischen dem Schutzziel (der menschlichen Gesundheit) und der Machbarkeit”

- Umweltbundesamt



2. Feinstaubsensor

2.1 Physikalische Funktionsweise

Informationen über den Sensor

- Typ: Laser PM 2.5 Sensor
- Modell: SDS011
- Version: 1.3
- Hersteller: Nova Fitness Co.,Ltd

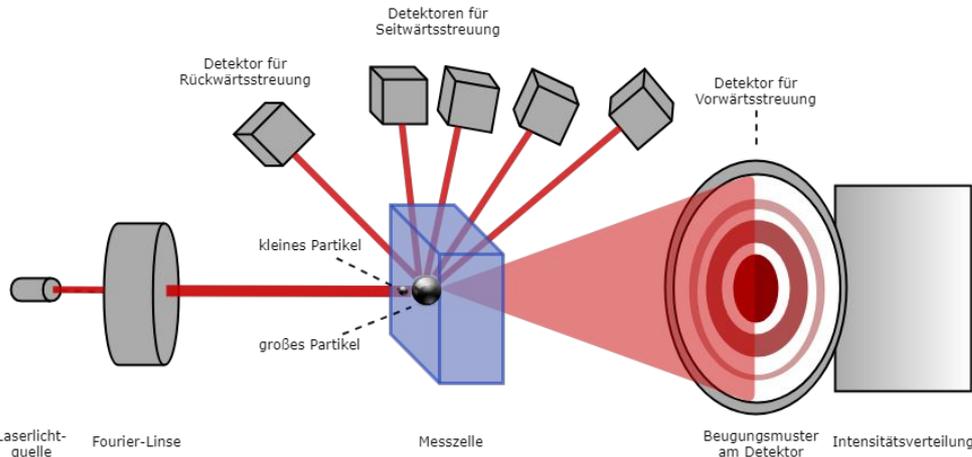
Technische Spezifikationen

- Messung der Konzentration von Partikeln mit einem Durchmesser von 0,3 - 10 μm in der Luft
- Nutzt das Prinzip der (statischen) Lichtstreuung
- Besitzt einen eingebauten Lüfter
- Messdaten werden digital ausgegeben
- Reagiert innerhalb von 10 Sekunden auf Umgebungswechsel (lt. Hersteller)

2.1 Physikalische Funktionsweise

Aufbau

- Über den Schlauch wird Luft in die Messzelle eingesaugt
- Die Messzelle befindet sich in einer lichtundurchlässigen Box



Messvorgang

- Laser emittiert Licht in Form eines Strahls
- Partikeln streuen und beugen den Strahl
- Gestreutes Licht wird von Detektoren registriert
- Detektoren senden ein elektrisches Signal, das von der Platine verarbeitet wird

2.1 Physikalische Funktionsweise

PM 10 Messung

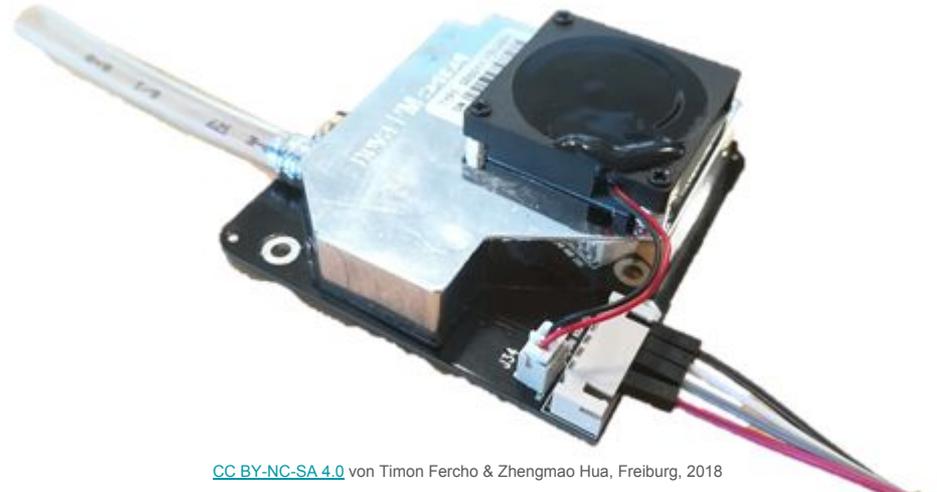
- Partikel sind signifikant größer als Lichtwellenlänge (ca. 10-fache Größe)
→ Licht wird hauptsächlich in Vorwärtsrichtung gestreut
- Beugungswinkel $< 35^\circ$
- Partikelkonzentration wird mit Hilfe der Fraunhofer-Theorie bestimmt

PM 2.5 Messung

- Partikel sind ähnlich groß wie Lichtwellenlänge (ca. 2.5-fache Größe)
→ Licht wird mit einem größeren Winkel gestreut
- Beugungswinkel $> 35^\circ$
- Partikelkonzentration wird mit Hilfe der Mie-Theorie bestimmt

2.2 Kurzzeitmessungen Alltag

- Eine Vergleichsmessung, um standortspezifische und zeitliche Schwankung festzustellen, wird vor dem tatsächlichen Messvorgang durchgeführt
- Für jeden Messvorgang werden die Abstände des Sensors zum Objekt und Boden festgehalten



2.2 Kurzzeitmessungen Alltag 1: Autoabgase



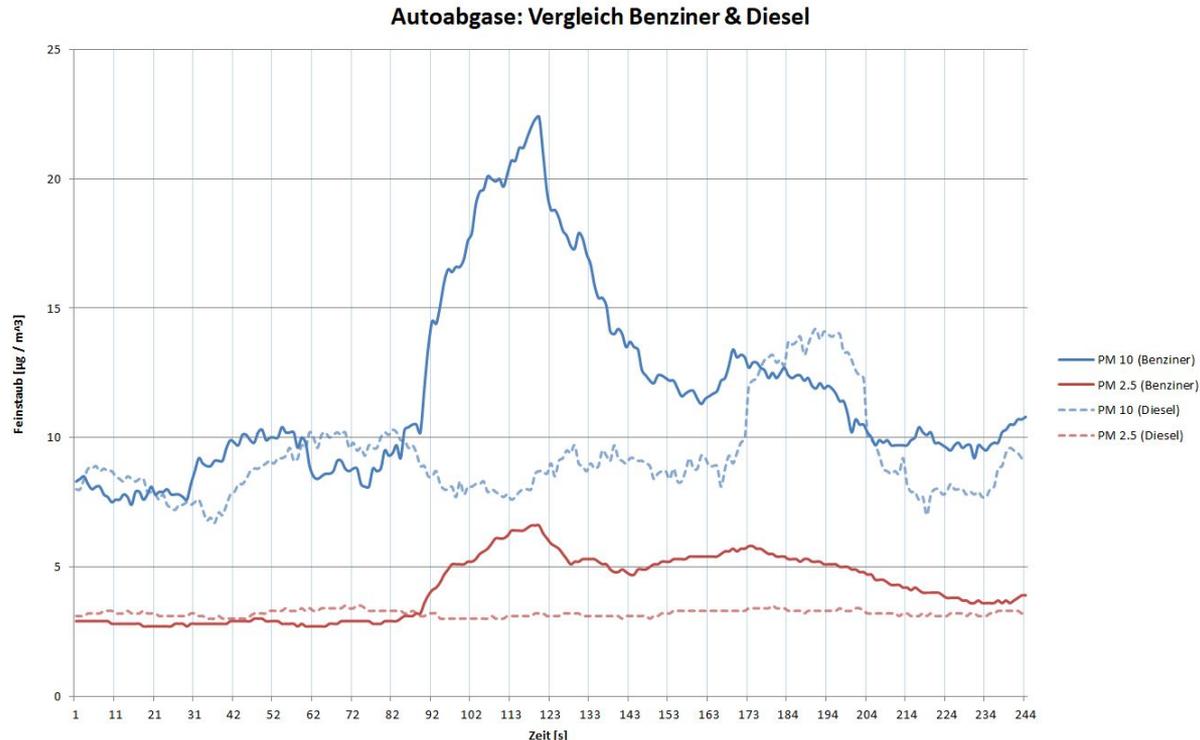
[CC BY-NC-SA 4.0](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/) von Timon Fercho & Zhengmao Hua, Freiburg, 2018

Diesel

Benziner

Messabstand	1 m
Höhe über Boden	0,5 m
Motor gestartet	nach ~5 s
Motor gestoppt	nach ~70 s
Messungsort	geschlossene Garage
Abstand Auto zu Wand	2 m

2.2 Kurzzeitmessungen Alltag 1: Autoabgase



2.2 Kurzzeitmessungen Alltag 1: Autoabgase

Beobachtung

Benziner

- 90 s nach Start des Motors starker Anstieg bei PM 10 und PM 2.5
- Peak bei $\sim 23 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (PM 10) und bei $\sim 7 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (PM 2.5)
- Abfall auf ~ 12 bzw. $\sim 5 \mu\text{g}/\text{m}^3$
- 2. Anstieg mit Peak bei ~ 13 bzw. $\sim 6 \mu\text{g}/\text{m}^3$
- Stetiger Abfall der Werte bis auf Ausgangswert

Diesel

- Peak auf $\sim 14 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (PM 10) nach 170 s nach Start des Motors
- Abfall nach 200 s auf Ausgangswert ($\sim 8 \mu\text{g}/\text{m}^3$)
- Keine relevante Erhöhung der PM 2.5 Werte

Fazit

- Diesel aufgrund besserer Umwelteigenschaften (Euro 6) bessere PM 10 Werte als Benzin
- Diesel weist sogar keinerlei Erhöhung in PM 2.5 auf

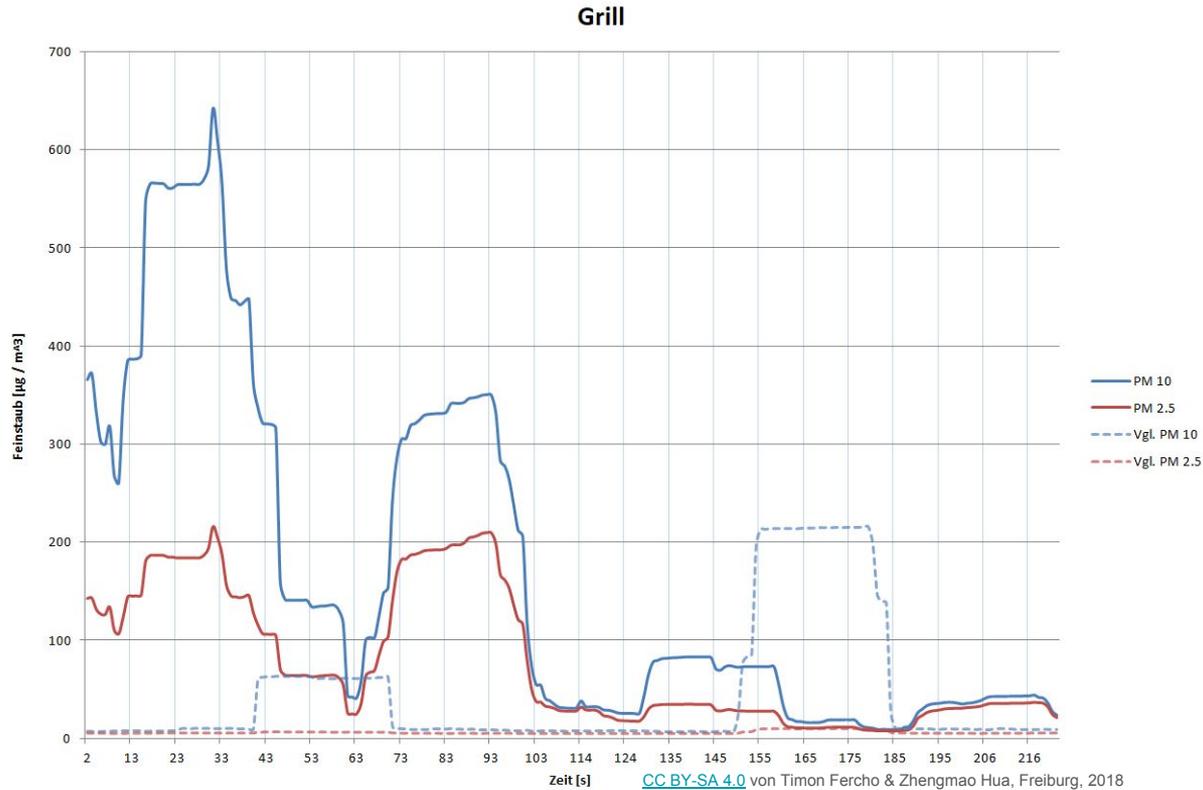
2.2 Kurzzeitmessung Alltag 2: Grill



[CC BY-NC-SA 4.0](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/) von Timon Fercho & Zhengmao Hua, Freiburg, 2018

Messabstand	1 m
Höhe über Boden	1 m

2.2 Kurzzeitmessung Alltag 2: Grill



2.2 Kurzzeitmessung Alltag 2: Grill

Beobachtung

- Erster Peak nach 30 s mit 650 bzw. 220 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
- Zweiter Peak nach 100 s mit 350 bzw. 220 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
- Dritter Peak nach 145 s mit 100 bzw. 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
- Vierter Peak nach 210 s mit 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (PM 10 und PM 2.5)
- Peaks in der PM 10 Vergleichsmessung sind höchstwahrscheinlich Messfehler

Hypothese

- Windrichtung dreht sich, sodass der Feinstaubsensor in bestimmten Perioden deutlich erhöhte Feinstaubwerte feststellt
- Rauchentwicklung nimmt in den ersten 3 min der Messung rapide ab

Fazit

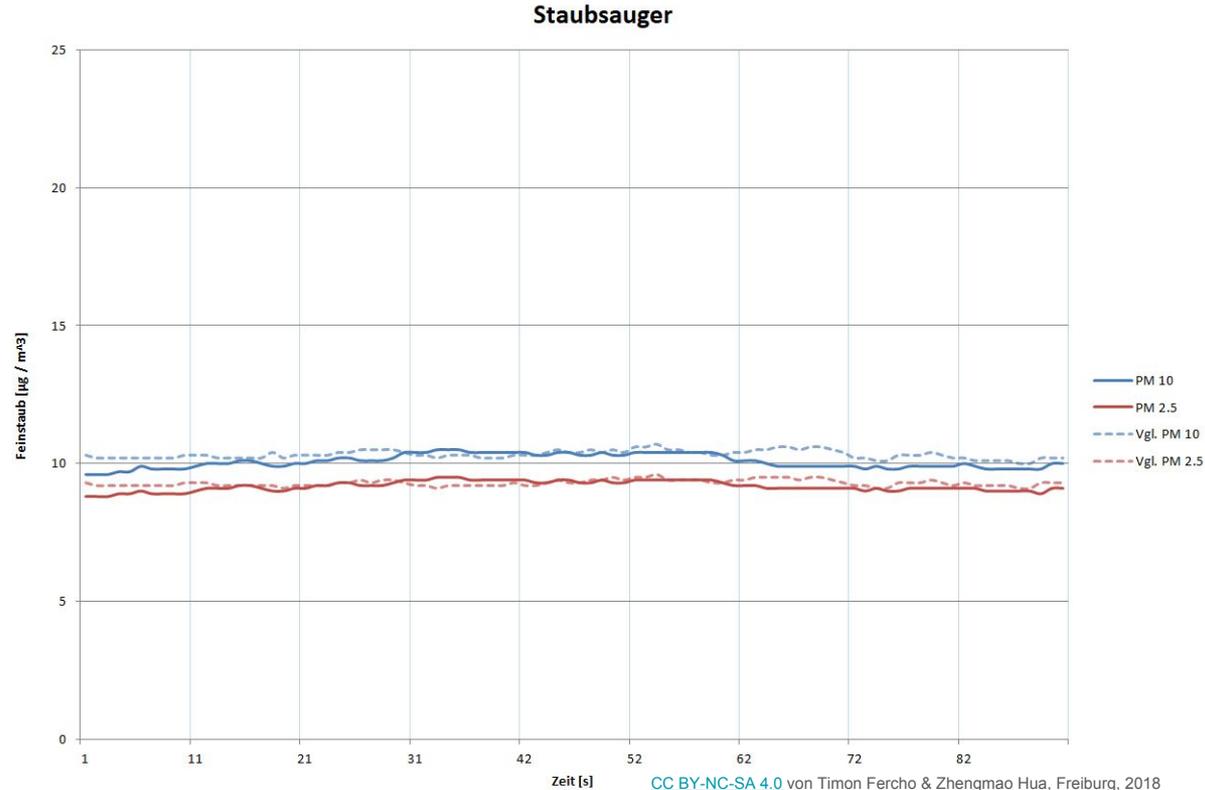
- Grillen ist sehr schädlich für die Gesundheit, wenn man sich direkt im Rauch aufhält (bis zu 6000%ige Erhöhung der PM 10 Belastung)

2.2 Kurzzeitmessungen Alltag 3: Staubsauger



Messabstand	1 m
Höhe über Boden	1 m
Zusatzinformationen	<ul style="list-style-type: none">● Integrierter Staubfilter● Aufsaugen von Staubansammlungen

2.2 Kurzzeitmessungen Alltag 3: Staubsauger



2.2 Kurzzeitmessungen Alltag 3: Staubsauger

Beobachtung

- Bei beiden Werten kann man keine für die Auswertung relevanten Veränderungen erkennen
- Trotz Aufsaugen von extra viel Staub stößt der Staubsauger kein Feinstaub aus
- Auch die Messung mit einem älteren Staubsaugermodell zeigte keinerlei Auffälligkeiten in den Werten

Fazit

- Staubfilter halten effektiv Feinstaub zurück

2.2 Kurzzeitmessungen Alltag 4: Laserdrucker



[CC BY-NC-SA 4.0](#) von Timon Fercho & Zhengmao Hua, Freiburg, 2018

Messabstand	0 m
Höhe über Boden	0,5 m
Zusatzinformationen	<ul style="list-style-type: none">● 2 schwarze Seiten gedruckt● nach 5 min Raum gelüftet

2.2 Kurzzeitmessungen Alltag 4: Laserdrucker



2.2 Kurzzeitmessungen Alltag 4: Laserdrucker

Beobachtung

- PM 10 Werte
 - Starke Schwankungen, Werte bis 20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
 - Sinkt nach ~ 360 s zurück auf Ausgangswert
- PM 2.5 Werte
 - Keine relevanten Veränderungen

Fazit

- Laserdrucker sind eine ernstzunehmende Feinstaubquelle
- Wie wir in Messbeispiel 3 gesehen haben, verringern Feinstaubfilter deutlich den Feinstaubausstoß
- Es empfiehlt sich auch bei einem Laserdrucker einen Feinstaubfilter zu verwenden

3. TTN und LoRaWAN

3.1 Definition

LoRaWAN

LoRaWAN: Long Range Wide Area Network

- Media access control (MAC) Protokoll für wide area networks (WANs)
- Erlaubt es Geräten mit geringer Funkleistung mit Gateways über kabellose Verbindungen auf über große Entfernungen zu kommunizieren



TTN: The Things Network

- Erste dezentralisierte, open source Infrastruktur für das Internet der Dinge (IoT)
- Nutzt LoRaWAN Technologie

3.2 Funktionsweise

End Device, Node, Mote

- Endgerät, das über ein Funkmodul mit Gateways kommuniziert (z. B. Feinstaubsensorbox)

Gateway

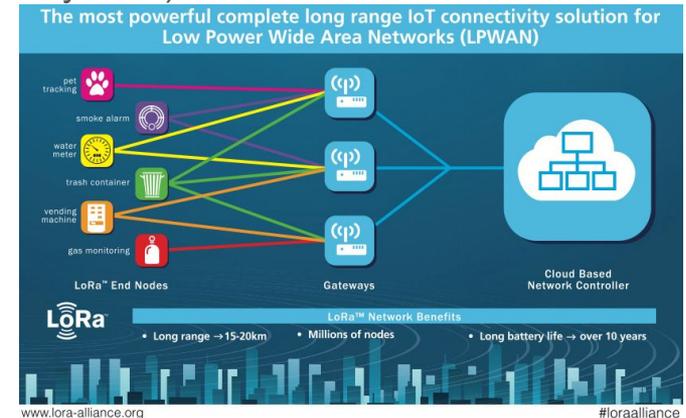
- Empfängt Daten über LoRaWAN von den Endgeräten und sendet sie weiter an einen Network Server

Network Server

- Leitet Pakete vom Endgerät zur Online-Anwendung und zurück (z. B. TT-Netzwerk Server)

Application

- Software auf einem Server, die die Daten benutzerfreundlich aufbereitet (z. B. Cayenne)



THREE EASY STEPS FOR A COMPLETE SOLUTION DEPLOYMENT



3.3 Vor- und Nachteile

Vorteile	
Hohe Reichweite	Offenes Netzwerk
Niedrige Leistung	Hohe Durchdringungstiefe
Kostengünstig	Einfach
Hohe Skalierbarkeit	Nicht staatlich
Hohe Sicherheit	Vielseitige Anwendung
Kleiner Formfaktor	Hohe Energieeffizienz

3.3 Vor- und Nachteile

Nachteile	
Niedriger Datendurchsatz	Noch keine großflächige Abdeckung
Kleine Paketgrößen	Noch keine große Community
Evtl. hohe Latenz	Begrenzte Sendezeit

3.4 Langzeitmessung: Autarke Stelle in Freiburg



Messstandort

Kronenbrücke / Zubringer B31

- Wurde aufgrund der vorhandenen LoRaWAN-Abdeckung und Position neben einer Hauptverkehrsstraße gewählt

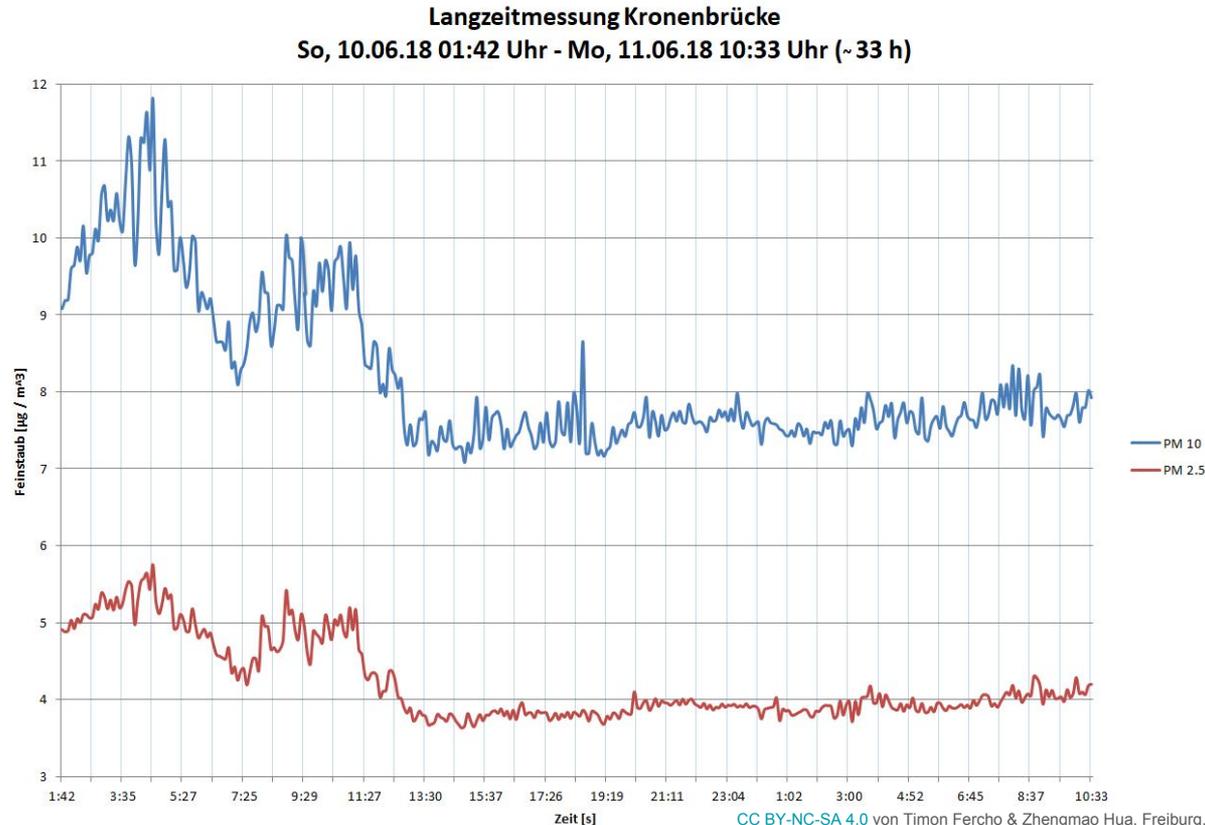
Messbeginn

So, 10.06.18, 01:03 Uhr

Messende

Mo, 11.06.18, 10:33 Uhr

3.4 Langzeitmessung: Autarke Stelle in Freiburg



3.4 Langzeitmessung: Autarke Stelle in Freiburg

Beobachtung	Hypothese
Relativ hohe Werte von Mitternacht bis 7 Uhr morgens	Angesammelter Feinstaub vom Samstag, der weggetragen wird
Peak am Sonntag zwischen 7 und 11 Uhr morgens	Erhöhtes Verkehrsaufkommen
Geringeres Level der Feinstaubbelastung am Sonntag ab 12 Uhr	Allgemein weniger Verkehr an Sonntagen Sonntagsfahrverbot für LKW mit Anhängern über 7,5 t zwischen 0 und 22 Uhr
Starke Schwankungen in kurzer Zeit (So 14.40 - 18:40 Uhr und Mo 8 - 9 Uhr)	Zurückzuführen auf große Feinstaubemissionen durch viele Fahrzeuge, die aber schnell wieder durch natürliche Luftströme weggetragen werden

4. Quellen

Literatur

- “Zellen unter Staubstress”, Dominik Heßler, Badische Zeitung vom 12.05.2018
- “Feinstaub über TTN messen” - Vortrag von Sebastian Müller, 07.05.2018
- “Laser PM2.5 Sensor specification” - Nova Fitness Co., Ltd, 09.06.2018
- “Forschungs & Entwicklungs-Projekte für LPWA und NB-IoT” - Vortrag von Prof. Axel Sikora, 08.05.2018
- “Fakten rund um den Feinstaub” von Departement Bau, Verkehr und Umwelt Aargau, Mai 2006

Web

- <https://www.thethingsnetwork.org/docs/lorawan/>, 13.06.2018
- <https://www.thethingsnetwork.org/docs/devices/>, 13.06.2018
- <https://www.umweltbundesamt.de/service/uba-fragen/was-ist-feinstaub>, 14.06.2018
- <https://www.umweltbundesamt.de/themen/luft/wirkungen-vo-n-luftschadstoffen/wirkungen-auf-die-gesundheit>, 14.06.2018
- [http://www.who.int/en/news-room/fact-sheets/detail/ambient-\(outdoor\)-air-quality-and-health](http://www.who.int/en/news-room/fact-sheets/detail/ambient-(outdoor)-air-quality-and-health), 14.06.2018
- <https://www.retsch-technology.de/de/applikationen/technische-grundlagen/statische-lichtstreuung/>, 14.06.2018
- <https://www.thethingsnetwork.org/#>, 14.06.2018

4. Quellen

Bilder

- [Titelbild](#) von alex Lázaro, [CC0](#), 20.06.2018
- [Infographic](#) von IBM Research, [CC BY-ND 2.0](#), 20.06.2018
- [USA EU Russia Flags](#) von Global Panorama, [CC BY-SA 2.0](#), 20.06.2018
- [Logo Umweltbundesamt](#) von Umweltbundesamt, [CC0](#), 20.06.2018
- [Lunge](#) von OpenClipart-Vectors, [CC0](#), 21.06.2018
- [TTN-Overview](#) von TTN, 20.06.2018

Eigene Bilder

- Nova SDS011 PM Sensor von Timon Fercho & Zhengmao Hua, [CC BY-NC-SA 4.0](#), 09.06.2018
- Dieselfahrzeug von Timon Fercho & Zhengmao Hua, [CC BY-NC-SA 4.0](#), 14.06.2018
- Benziner von Timon Fercho & Zhengmao Hua, [CC BY-NC-SA 4.0](#), 14.06.2018
- Grill von Timon Fercho & Zhengmao Hua, [CC BY-NC-SA 4.0](#), 14.06.2018
- Staubsauger von Timon Fercho & Zhengmao Hua, [CC BY-NC-SA 4.0](#), 13.06.2018
- Laserdrucker von Timon Fercho & Zhengmao Hua, [CC BY-NC-SA 4.0](#), 14.06.2018
- Feinstaubsensorbox von Timon Fercho & Zhengmao Hua, [CC BY-NC-SA 4.0](#), 14.06.2018
- Lungengrafik, [CC BY-NC-SA 4.0](#), 21.06.2018



[CC BY-NC-SA 4.0](#) von Timon Fercho & Zhengmao Hua, Freiburg, 2018