

## Feinstaubkonzentrationen in öffentlichen Gebäuden in Stuttgart

Bernd Laquai, 23.01.2017



Abb. 1: Feinstaub über Stuttgart (am 21.1.17 kurz vor Mittag vom Fernsehturm aus gesehen)

Die Stuttgarter Bevölkerung verfolgt derzeit die Feinstaub-Debatte in den Medien mit einer gewissen Sorge. Die immer häufigeren Bilder vom Smog in den chinesischen und indischen Mega-Metropolen tragen nicht gerade zur Beruhigung bei, denn an manchen Tagen haben sie durchaus Ähnlichkeit zu Bildern aus der Feinstaub-Hauptstadt Stuttgart. Gerade wenn man nach China schaut, sieht man dort die Menschen in den Städten schon mit Atemschutz herumlaufen und in den Wohnungen stehen meist etliche Luftreiniger, welche die Raumluft reinigen sollen. Kinder dürfen zum Spielen nur dann raus, wenn die an vielen Stellen installierten Feinstaub-Messgeräte „grün“ also reine Luft anzeigen. Aber bietet der Aufenthalt in Gebäuden bei einem Feinstaubalarm denn wirklich Schutz gegen die Partikel, die nur wenige Mikrometer groß sind und durch jede Ritze hindurchdiffundieren?

Auch Beschäftigte von Läden, Firmen und Ämtern in der Stadt machen sich Gedanken, ob sie am Arbeitsplatz geschützt sind. Wie dicht sind die Fenster bzw. wie gut filtert die Klimaanlage? Und schließlich werden sich die Bewohner von Stadtwohnungen fragen, was sie denn sinnvolles tun können um sich wenigstens in der Wohnung gegen Feinstaub schützen zu können.

Dieser Frage wurde im Laufe der Feinstaub Episode, die das Hoch Brigitta in der Woche vom 16.1.-22.1.17 in ganz Deutschland erzeugte, nachgegangen. In der Feinstaub-Metropole Stuttgart erreichten die Feinstaubkonzentrationen in dieser Zeit Spitzenwerte von deutlich über  $100\mu\text{g}/\text{m}^3$  Feinstaub der Klasse PM<sub>10</sub> in der Außenluft an den Hauptverkehrsstraßen. Der Feinstaubalarm wurde am Montag den 16.1. ausgerufen. Am Neckartor, der am meisten belasteten Straßenkreuzung wurde der 24-Stunden-Tagesmittelwert von  $50\mu\text{g}/\text{m}^3$  bereits am Dienstag erreicht und am Mittwoch überschritt die Feinstaubkonzentration auch im Stadtzentrum die  $50\mu\text{g}/\text{m}^3$  Marke. Grund war die

Inversions-Wetterlage mit kalter verunreinigter Luft im Talkessel und wärmerer Luft in den höheren Luftschichten. Da die kalte Luft im Talkessel schwerer ist als die darüber liegende warme Luft und das Hochdruckgebiet zu einer Windstille führt, wird die verunreinigte kalte Luft nicht abgeführt und so konzentriert sich der Feinstaub weiter auf, mit jedem Tag an dem eine solche Wetterlage anhält.

Um nun die Dichtigkeit der Gebäude hinsichtlich der in der Außenluft herrschenden hohen Feinstaubkonzentration zu untersuchen, wurden nun etliche öffentliche Gebäude und Räume unterschiedlicher Bauart mit einem Handmessgerät besucht und es wurde die Feinstaubkonzentration für die Feinstaubklassen PM2.5 und PM10 sowohl im Gebäude-Inneren wie auch an einer Referenzposition an der Außenluft bestimmt. Dazu wurden für beide Feinstaubklassen jeweils 10 Einzelmessungen gemacht und Mittelwert und Streuung berechnet.

Das verwendete Messgerät nutzt den Feinstaubsensor HK-A5 von Bjhike, der Partikel noch bis zu einem aerodynamischen Durchmesser von 0.3µm detektieren kann. Dieser Sensor liefert die Feinstaubkonzentrationen für die Feinstaubklassen PM1.0, PM2.5 und PM10 in µg/m<sup>3</sup>. Die Sensordaten werden in dem Messgerät von einem Arduino-Mikrocontroller aufgenommen und auf einem LCD-Display zur Anzeige gebracht. Diese Werte wurden notiert und mit MS Excel ausgewertet.

Bei der Auswahl der Gebäude und Räume wurden sowohl Bahnhöfe von U- und S-Bahn, wie auch Kaufhäuser, eine Kirche, ein Museum, die Bibliothek, das Touristbüro oder die Markthalle besucht um ein möglichst breites Spektrum zu erhalten. In großen Gebäuden wurden auch die Verhältnisse auf verschiedenen Stockwerken untersucht. Aus den jeweiligen Messdaten im Innenraum und der Referenzmessung der Außenluft wurde die Differenz gebildet. Diese Differenz wurde in Bezug gesetzt zum größeren der beiden Messwerte. Auf diese Weise wurde ein Dichtigkeitsfaktor  $D_{Fstb}$  des Innenraums gegen Feinstaub gewonnen, der mathematisch wie folgt formuliert werden kann:

$$D_{Fstb} = \frac{k_{Außen} - k_{Innen}}{\max(k_{Außen}, k_{Innen})}$$

Dieser Dichtigkeitsfaktor hat die Eigenschaft, dass er die absolute Dichtigkeit eines Raumes (Konzentration 0 im Innenraum) auf den Wert 1 und die Gleichheit der Konzentrationen innen und außen auf den Wert 0 abbildet. Diese Skala visualisiert dann besonders deutlich die Dichtigkeit eines Raumes gegenüber Feinstaub. Ein interessantes Verhalten dieses Faktors ist auch zu erkennen, wenn im Innenraum eine größere Feinstaubkonzentration herrscht als im Außenraum. Dann entstehen negative Werte. Der Wert -1 würde dann erreicht werden, wenn im Außenraum die Feinstaubkonzentration Null vorliegen würde gegenüber Werten größer Null in der Außenluft.

Dieser Dichtigkeitsfaktor wurde für beide Feinstaubklassen berechnet. Danach wurden die Ergebnisse nach dem Dichtigkeitsfaktor für die Feinstaubklasse PM10 sortiert.

Objekt	PM2.5	s(PM2.5)	PM10	s(PM10)	Referenz	PM2.5	s(PM2.5)	PM10	s(PM10)	D_Fstb (PM2.5)	D_Fstb (PM10)
U-Bahn Schlossplatz	51.4	2.8	77.8	7.5	Schlossplatz	34.7	5.0	38.2	3.2	-0.3	-0.5
Arnulf-Klett-Passage	50.9	3.0	66.4	1.8	Lautenschlagerstr.	38.6	0.8	46.6	6.8	-0.2	-0.3
U-Bahn Hbf	48.8	3.5	63.7	2.9	Lautenschlagerstr.	38.6	0.8	46.6	6.8	-0.2	-0.3
Bahnhofshalle	54	0.9	59.8	2.2	Lautenschlagerstr.	38.6	0.8	46.6	6.8	-0.3	-0.2
S-Bahn Stadtmitte	45.8	2.1	58	3.8	Calwerstrasse	40.2	1.3	46.1	2.4	-0.1	-0.2
Markhalle	45.3	0.8	52.7	3.3	Karlsplatz	36.5	1.8	43.7	5.1	-0.2	-0.2
Eberhardskirche	39	0.0	43.1	1.2	Königstrasse	33.2	0.4	37.8	1.8	-0.1	-0.1
S-Bahn Hbf	34.6	3.8	45.4	2.4	Lautenschlagerstr.	38.6	0.8	46.6	6.8	0.1	0.0
Stadtbibliothek 1. OG	27	0.0	36.1	1.6	Mailänder Platz	31	0.9	38.4	2.4	0.1	0.1
Stadtbibliothek EG	27.3	1.1	34	3.5	Mailänder Platz	31	0.9	38.4	2.4	0.1	0.1
i-Punkt Touristinfo	20.9	1.2	28.7	3.0	Theaterpassage	33.1	1.1	36.5	1.3	0.4	0.2
Rathaus 1. OG	31.7	0.8	36.1	2.1	Marktplatz	35.2	1.5	51	3.5	0.1	0.3
Stadtbibliothek UG	21	0.0	21.7	2.0	Mailänder Platz	31	0.9	38.4	2.4	0.3	0.4
Wittwer 3.OG	10.1	1.2	12.6	1.5	Kleiner Schlosspl.	29	1.1	38.3	1.4	0.7	0.7
Stadtbibliothek 7. OG	9	1.0	11.5	1.2	Mailänder Platz	31	0.9	38.4	2.4	0.7	0.7
Kaufhof 2.OG	7.2	1.1	5.4	1.3	Theaterpassage	33.1	1.1	36.5	1.3	0.8	0.9
Kaufhof 4.OG	3.3	1.1	5.1	0.9	Theaterpassage	33.1	1.1	36.5	1.3	0.9	0.9
Milaneo Mediamarkt	2.3	1.0	3.4	1.0	Mailänder Platz	31	0.9	38.4	2.4	0.9	0.9
Kunstwürfel 1.OG	0	0.0	0.3	0.4	Schlossplatz	34.7	5.0	38.2	3.2	1.0	1.0

Tabelle 1: Ergebnis der Auswertung der Messwerte

Schaut man sich nun das Ergebnis der Auswertung der Messwerte an, dann kann man doch recht schnell einige interessante Erkenntnisse feststellen, die im Nachhinein durchaus logisch erscheinen.



Abb. 2: Der Kunstwürfel am kleinen Schloßplatz, bietet dem Besucher (und vor allem auch den Mitarbeitern) fast optimalen Schutz gegen Feinstaub

Zunächst sieht man auf der „Gut“-Seite bei Werten für den Dichtigkeitsfaktor in der Nähe von +1, dass dieser von Gebäuden, die klimatisiert sind, erreicht werden. Der absolute Spitzenreiter ist das Kunstmuseum am kleinen Schloßplatz (Kunstwürfel). Es war faszinierend festzustellen, dass im ersten Stock dieses Gebäudes das Messgerät wirklich den Messwert 0 liefert und zwar konsistent über viele Messungen hinweg. D.h. diese Klimaanlage verfügt über ein sehr gutes Feinstaubfilter, das den Feinstaub wirklich komplett ausfiltert. Man kann sich denken, dass dies bei der Auslegung der Klimaanlage durchaus auch ein Ziel war um die kostbaren Kunstwerke zu schützen, da ja Luftschadstoffe bekanntlich auch Farben und wertvolle Werkstoffe zersetzen können. Interessant ist auch, dass ein Kaufhaus wie das Milaneo ebenfalls eine Klimaanlage besitzt, das den Feinstaub sehr gut ausfiltert. Möglicherweise ist diese Anlage auch neuerer Bauart, als z.B. die im Kaufhof, wo aber immer noch eine sehr gute Dichtigkeit erreicht wird. Allerdings merkt man im Kaufhof, dass die Dichtigkeit im Obersten Stockwerk am besten ist und gegen die unteren Stockwerke hin abnimmt.



Abb. 3: Die Stadtbibliothek bietet wenig Schutz für die Besucher gegen Feinstaub

Die Stadtbibliothek verfügt offensichtlich nicht über eine ganz so gute Klimaanlage wie z.B. das Milaneo, was die Feinstaubdichtigkeit angeht. Möglicherweise trägt da auch die Architektur dazu bei, da hier ein durchgängiger Innenbereich angelegt wurde, der sich vom Erdgeschoß bis in den 7. Stock durchzieht. Aber auch hier sieht man, dass die Luftqualität im obersten Stockwerk immer noch am besten ist.

Nur mäßig gut ist dagegen die Luftqualität bezüglich des Feinstaubs im Rathaus und im Touristbüro. Beide Einrichtungen habe relativ viel Publikumsverkehr und zumindest das Rathaus ist ein älteres Gebäude. Möglicherweise ist dort auch eine Klimaanlage älterer Bauart installiert.



Abb. 4: Kein guter Platz sich vor Feinstaub zu schützen: das Rathaus in Stuttgart

Zu negativen Werten kippen schließlich die Dichtigkeitsfaktoren für die Bahnhöfe. Aber auch das erscheint recht logisch, denn es ist bekannt, dass die Züge durch Abrieb der Laufräder und der Bremsen relativ viel Feinstaub erzeugen, so dass im Innern von Bahnhöfen höhere Feinstaubkonzentrationen zu finden sind als in den nahegelegenen Außenbereichen. Besonders schlecht scheint in dieser Hinsicht der U-Bahnhof Schloßplatz zu sein, wohingegen der Bahnsteig für die S-Bahn am Hauptbahnhof besser belüftet erscheint. Die Arnulf-Klett Passage sowie der Bahnsteig für die U-Bahn haben wiederum schlechtere Werte als der S-Bahn Bahnsteig. Möglicherweise tragen hier auch andere Quellen dazu bei, wie beispielsweise Bäckereien und andere Betriebe, die Öfen und andere Geräte für die Zubereitung von Fastfood betreiben.

Ein ebenfalls nicht gerade gutes Ergebnis liefert die Eberhardskirche. Hier sind möglicherweise der Kerzenabbrand und eine schlechte Luftfilterung die Ursache für das schlechte Ergebnis. Auch die Markthalle erreicht keine guten Werte. Aber auch hier handelt es sich um ein altes Gebäude, das vermutlich keine Luftreinigung bei der Klimatisierung vornimmt. Dazu kommt auch hier vermutlich, dass Gastronomieanlagen Beiträge zu intern generiertem Feinstaub sind.

Vergleicht man nun noch die berechneten Dichtigkeitsfaktoren für die Feinstaubklasse PM<sub>2.5</sub>, die nicht als Ordnungskriterium verwendet wurden, mit denen der Klasse PM<sub>10</sub> nach denen sortiert wurde, so sieht man nur wenig Abweichung. Es ist also so, dass die PM<sub>2.5</sub> Werte weitestgehend zu den PM<sub>10</sub> Werten korreliert sind und daher auch eine ganz ähnliche Reihenfolge entstünde, wenn man nach PM<sub>2.5</sub> Werten sortieren würde.

Insgesamt kann man also sagen, dass öffentliche Gebäude heute so gebaut und mit Lüftungs- und Klimatechnik ausgestattet werden können, dass eine starke Reduktion der Feinstaubkonzentration der Außenluft erreicht werden kann. Das zeigt das Beispiel des Kunstmuseums am kleinen Schloßplatz überdeutlich. Das ist aber sicherlich auch eine Frage der Kosten für die Klimatechnik. Umgekehrt muss man aber auch deutlich sagen, dass Mitarbeiter der Verkehrsbetriebe, die ihren Dienst täglich in U-Bahnhöfen leisten, sowie die Fahrgäste ganz offensichtlich überdurchschnittlich hohen Feinstaubbelastungen ausgesetzt sind, die daher rühren, dass es in Bahnhöfen durch den Abrieb von Laufrädern und Bremsen der Bahnen lokale Feinstaubquellen gibt, die zu den Feinstaubquellen der Außenluft noch hinzu hinzukommen, so dass die Raumluft eine höhere Feinstaubkonzentration aufweist, als es in der Außenluft der Fall ist.

Mitarbeiter von Firmen im Innenstadtbereich sollten daher von ihren Arbeitgebern die Installation von Klimaanlage fordern, welche eine Luftreinigung in Bezug auf Feinstaub vornehmen. Bewohner von Stadtwohnungen müssten darauf achten, dass in den Häusern Lüftungsanlagen installiert sind, die wirklich auch eine Luftreinigung vornehmen, denn dass diese wirksam ist, sieht man an entsprechenden Bürogebäuden und Kaufhäusern, wo so etwas schon der Standard zu sein scheint.

Ein weiterer Aspekt ist noch eine Überlegung wert: Auch im Falle von Katastrophen ist die Frage der Dichtigkeit gegenüber Feinstaub wichtig. Unfälle wie in Tschernobyl haben Feinstaubwolken freigesetzt, deren Partikel radioaktiv waren, und die sich über lange Strecken sogar weit über Europa hinaus ausgebreitet haben. Die Tatsache, dass dieser Feinstaub lungengängig ist, stellt im Falle von sogenannten Radio-Aerosolen (vor allem Cäsium-137 und Iod-131) eine große Gesundheitsgefahr dar. Die Dichtigkeit eines Raumes gegen Feinstaub kann im Falle einer solchen Katastrophe auch lebensrettend sein. Im Augenblick wäre man jedenfalls die ersten acht Tage (Halbwertszeit des Jod-131) nach einer solchen Katastrophe im Kunstmuseum am ehesten geschützt, unter der Voraussetzung, dass die Luftreinigung nicht ausfällt. So gesehen aber hilft die Messung der Feinstaubdichtigkeit auch dem Katastrophenschutz, in dem sie gleichzeitig eine Abschätzung über die Dichtigkeit gegenüber Radio-Aerosolen (umgangssprachlich auch radioaktive Wolke genannt) darstellt.