

# Überschätzung der PM10-Feinstaubwerte durch die OK Lab Feinstaubsensoren auf Grund des hygroskopischen Partikelwachstums am Beispiel einer Herbstwoche im September 2017

Bernd Laquai, 29.9.2017

Nachdem der Herbst 2017 gegen Ende September mit niedrigeren Tageshöhen der Sonne Einzug gehalten hatte, beobachtete man wieder eine deutliche Zunahme der morgendlichen Feuchte. Das konnte überdeutlich daran beobachtet werden, dass die OK Lab Sensoren in den Morgenstunden Werte anzeigten, die ungewöhnlich hoch lagen. In den letzten Woche des September 2017 lag in Stuttgart die Luftfeuchte morgens nahe bei 90% und sank gegen Nachmittag unter dem Einfluss der Sonneneinstrahlung wieder auf Werte um 50% ab. Und genauso schwankten auch die von den OK Lab Sensoren angezeigte Werte zwischen morgens hohen Werten (über  $50\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) und nachmittags wieder niedrigen Werten. Dieses Phänomen sorgt regelmäßig für Unmut bei den „Sensorpaten“ der OK Lab Feinstaubsensoren und solchen die es beobachten, da die amtlichen Werte konstant unter dem Grenzwert liegen und unklar ist woher die Unterschiede kommen. Dass diese Erscheinung mit der schwankenden Luftfeuchte zusammenhängen kann, ist für die wenigsten „Sensorpaten“ bekannt bzw. auf den ersten Blick erkennbar.

Zur Illustration dieses Feuchtezusammenhangs wurde in dieser Untersuchung der OK Lab Sensor 809 herausgesucht, dessen vernünftige Aufstellung geprüft wurde. Er ist an einem Balkon im 3.Stock eines Hochhauses in der Alexanderstraße im Stuttgarter Talkessel mit „guter Sicht“ über die Innenstadt angebracht. Für diesen Sensor wurden die PM10- und Feuchte-Werte für die 7 Tage vom 21.9. bis 27.9. in Intervallen von 1h analysiert. Die Interpolation der Rohdaten auf das Stundenraster ist in Abb. 1 und 2 dargestellt. Man kann hier sehr gut den tagesperiodischen Feuchtegang erkennen und sieht auch recht deutlich, dass das PM10-Signal dieselbe Tagesperiodizität hat. Was bei genauem Hinsehen noch auffällt ist, dass auch eine Zeitverschiebung in der Tagesschwankungen zwischen Feuchtesignal und PM10 Signal besteht. Diese Zeitverschiebung beträgt ca. 3 Stunden. Offensichtlich dauert es eine gewisse Zeit, bis das hygroskopische Partikelwachstum (das „Aufquellen“) durch den Feuchteeffekt sein Maximum erreicht.

Die Daten von PM10 und relativer Feuchte sind in Abb. 3 gemeinsam in einen Excel Graphen dargestellt , und zwar so, dass diese Zeitverschiebung kompensiert ist. Dazu ist noch der zugehörige 24 Stunden-Mittelwert geplottet. In Abb. 4 sieht man zum Vergleich den Graphen der Messung des LUBW, die mit einem Streulichtmessgerät vorgenommen wird, das mit einer Trockenstrecke ausgestattet ist und die feuchten gequollenen Partikel vorher austrocknet, bevor der PM10-Wert gemessen wird (Fidas-200 von Palas). Damit passt das Ergebnis relativ gut zu den gesetzlichen gravimetrischen Messungen wo eine Präzisions-Wägung eines getrockneten Staubfilters nach 24h im Labor vorgenommen wird. Man kann erkennen, wie die Tagesschwankungen durch den Bildung des 24h Mittelwerts weggemittelt werden. Dennoch bleibt beim SDS011 bei vergleichbarer Mittelung eine Rest-Welligkeit zwischen 20 und  $30\mu\text{g}/\text{m}^3$  bestehen, die in den LUBW-Messdaten so nicht enthalten sind. Die LUBW-Messdaten, die in Abb. 4 vom 22.9.-28.9.17 zu sehen sind, zeigen dagegen keinerlei Periodizität.

Plottet man nun die zeitverschobenen PM10-Daten gegen die Feuchte-Daten und berechnet den Korrelationskoeffizienten R, so erkennt man sowohl in der Verteilung der Punktwolke, als auch im Korrelationskoeffizient selbst, dass das PM10-Signal und das Feuchtesignal im statistischen Sinne nicht voneinander unabhängig sind, sondern erheblich ( $R^2=0.48$ ) zusammenhängen.

Nun kann man jedoch die Feuchtedaten benutzen um das hygroskopische Partikelwachstum zu kompensieren bzw. zu korrigieren. Modelle für das hygroskopische Partikelwachstum gibt es in der einschlägigen Literatur etliche, einige davon sind in /1/ diskutiert. Ein besonders einfaches Modell für den sogenannten Growth Factor GF, der das hygroskopische Partikelwachstum in Abhängigkeit der relativen Luftfeuchte RH beschreibt, ist folgendes:

$$GF=a+b \cdot RH^2/(1-RH)$$

Dieser Growth Factor gibt an, um welchen Faktor die Partikelmasse unter dem Einfluss einer relativen Feuchte RH durch hygroskopisches Wachstum anwächst. Ein Plot von GF für die in /1/ als typisch bezeichnete Werte ( $a=1$  und  $b=0.25$ ) und für eine relative Feuchte RH von 0%-95% ist in Abb. 5 gezeigt. Man erkennt in der Modellgleichung und am Graphen, dass die Funktion für  $RH=1$  (100%) eine Polstelle erzeugt. D.h. die Partikel wachsen asymptotisch mit  $1/x$  an, wenn die relative Feuchte gegen 1 (100%) strebt. Wie schnell GF zunimmt bestimmt der Wert b. Der Faktor, der bei 0% Feuchte anzunehmen ist (normalerweise 1), wird von dem Wert a bestimmt.

Wendet man nun dieses Modell auf die PM10 Daten mit  $a=1$  und variiert b zwischen 0.1-0.5, berechnet also korrigierte Werte  $PM10' = PM10/GF$ , dann sieht man, dass sich die Korrelation der korrigierten PM10 Daten zur Feuchte deutlich verändert, wenn man den Wert b verändert. Man erkennt bei dem vorliegenden Datensatz, dass die Korrelation zwischen den korrigierten PM10 Daten und der Feuchte für eine Wert von  $b=0.18$  fast völlig verschwindet ( $R^2=3E-7$ ), siehe Abb. 8. Das aber bedeutet, dass die Feuchtekompensation mit dem in /1/ genannten Modell so berechnet werden kann, dass die PM10-Daten von den Feuchte-Daten statistisch völlig unabhängig werden. Damit kann man davon ausgehen, dass sich zumindest im statistischen Sinne, der Feuchte-Einfluss ganz beseitigen lässt. In Abb. 7 ist nun zu erkennen, wie sich diese Korrektur auf das PM10 Signal mit Stundenauflösung und seinen 24h Mittelwert auswirkt. Die enormen Peaks im Tagesrhythmus verschwinden fast vollständig, was auch zu erwarten ist. Denn diese starke Korrelation zur Feuchte legt schon sehr nahe, dass die tagesperiodischen PM10-Peaks wirklich durch das Feuchte-Wachstum ausgelöst werden.

Beim 24h Stunden Mittelwert dagegen reduziert sich nun der Einfluss dieser Feuchtekorrektur wieder, so dass es zunächst so aussieht, als ob man diese Korrektur eigentlich gar nicht bräuchte. Nun ist es aber absolut entscheidend zu erkennen, dass der in diesem Fall zur Illustration gewählte Datensatz im Wesentlichen nur Feuchte-Schwankungen mit 24h-Periodizität enthält, die also zum Mittelungsintervall genau passen. Damit kann der Mittelwert die Schwankung auch ideal wegglätten. Der entscheidende Punkt ist aber, sich jetzt die folgende Frage zu stellen: Was passiert, wenn sich bei einer typischen Inversionswetterlage im Winter ein hoher PM10 Wert zusammen mit einer hohen Feuchte tagelang hält, ohne dabei im Tagesrhythmus wie im Herbst zu schwanken? Die Antwort ist sehr einfach und auch anschaulich: dann nämlich würde auch ein 24-Stunden-Mittelwert das unkorrigierte Ergebnis der

Messung mit den OK Lab Sensoren auf den konstant überhöhten Wert „glätten“ und so einen völlig falschen, viel zu hohen Wert annehmen. Das mit dem passenden Growth Factor GF kompensierte PM10-Signal wäre dagegen annäherungsweise richtig. Wie man dem Plot in Abb. 5 entnehmen kann, wären die unkorrigiert angezeigte PM10-Werte um einen Faktor von 3 bis 5 (je nach Parameter b) überhöht. Für ein  $b=0.18$  wie oben bestimmt, wäre zu erwarten, dass bei konstant hoher Luftfeuchte von 95% die OK Lab PM10-Daten etwa 4 mal höher dargestellt würden, als die Werte des LUBW, ohne dass eine Tages-Mittelung den Effekt unterdrücken würde.

Da im Winter bei flacher Sonneneinstrahlung und häufiger Bodennebelbildung davon ausgegangen werden kann, dass die bei kritischen Inversionswetterlagen im Stuttgarter Talkessel stark ansteigenden Feinstaubwerte immer auch mit hoher Luftfeuchte einhergehen, kann man berechtigterweise annehmen, dass die unkorrigierten Daten der OK Lab Sensoren die tatsächlichen PM10-Werte daher massiv überschätzen, was die Bevölkerung erheblich ängstigen kann (vergleichbares gilt für die PM2.5 Daten).

Diesen Effekt zu politischen Zwecken zu missbrauchen wäre also genauso zu missbilligen, wie die Versuche der Automobilindustrie, die Bevölkerung über den Schadstoffausstoß von Fahrzeugen zu täuschen. Das Geringste, was daher zu erwarten wäre, wäre eine deutliche Aufklärung über die Messunsicherheit, die in den unkorrigierten Messdaten bezüglich des Feuchteinflusses steckt, wenigstens gegenüber den OK Lab „Sensorpaten“ (den Aufstellern). Denn man kann der Bevölkerung beim besten Willen nicht zumuten, die komplexen Zusammenhänge zwischen Feuchteinfluss und den angezeigten Feinstaubwerten selbst zu erkennen. Fair wäre zudem, wenn das OK Lab darüber hinaus auch aus eigenem Antrieb eine solche vergleichsweise einfache Korrektur der Messdaten serverseitig vornehmen würde und neben den Rohdaten auch solche, um den Feuchteffekt korrigierte Daten mit entsprechendem Hinweis zur auf die Hintergründe zur Verfügung stellen würde. Mit der Angabe der Messunsicherheit und der Aufklärung der Sensorpaten und der Bevölkerung über Quellen von Messfehlern würde auf Grund der großen Verbreitung der OK Lab Sensoren die Reputation von Open Data zu Luftgüte-Themen aus Citizen Science Mess-Netzwerken mit Low-Cost Sensoren auch ganz generell an Glaubwürdigkeit gewinnen.

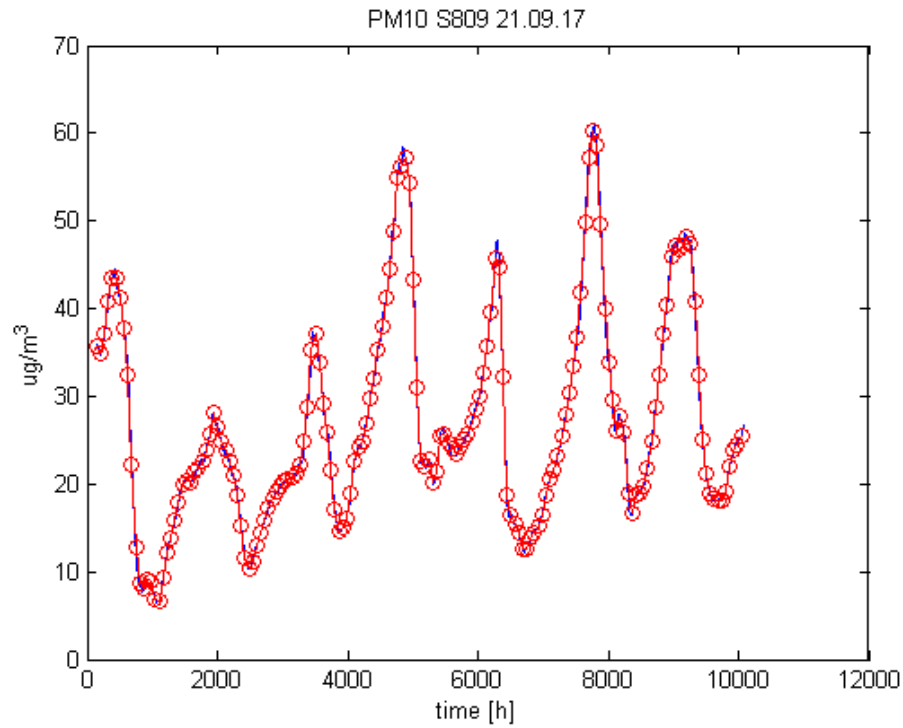


Abb. 1: Interpolation der PM10 Werte (Sensor 809) auf ein Stundenraster mit Beginn 21.9.17 0:00h

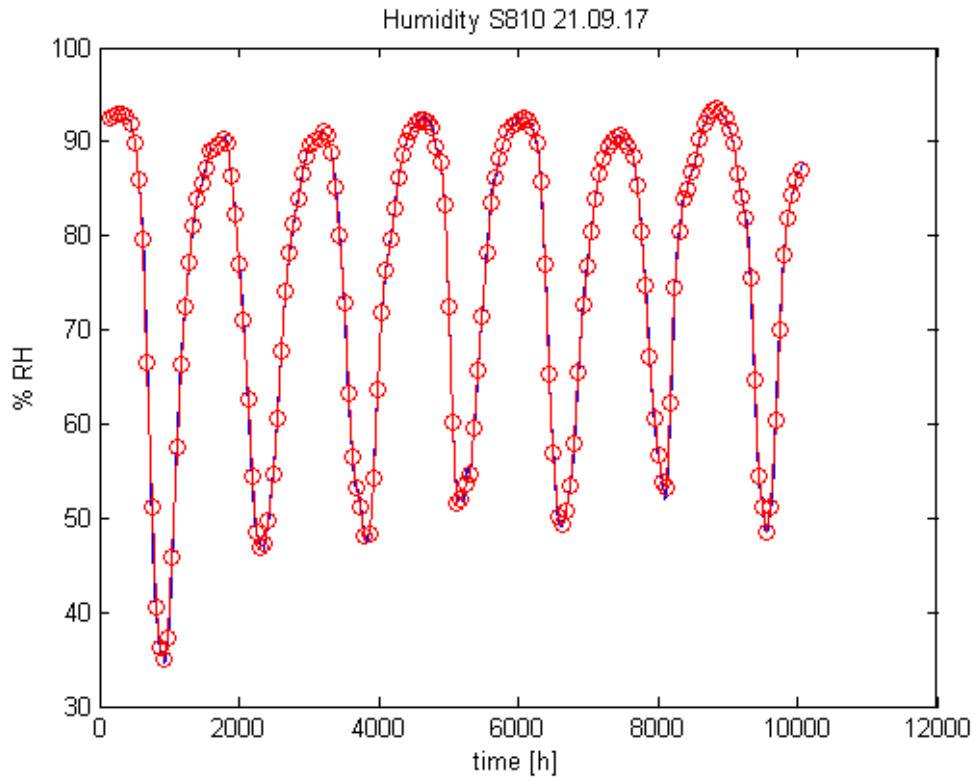


Abb. 2: Interpolation der Feuchtedaten auf das Stundenraster

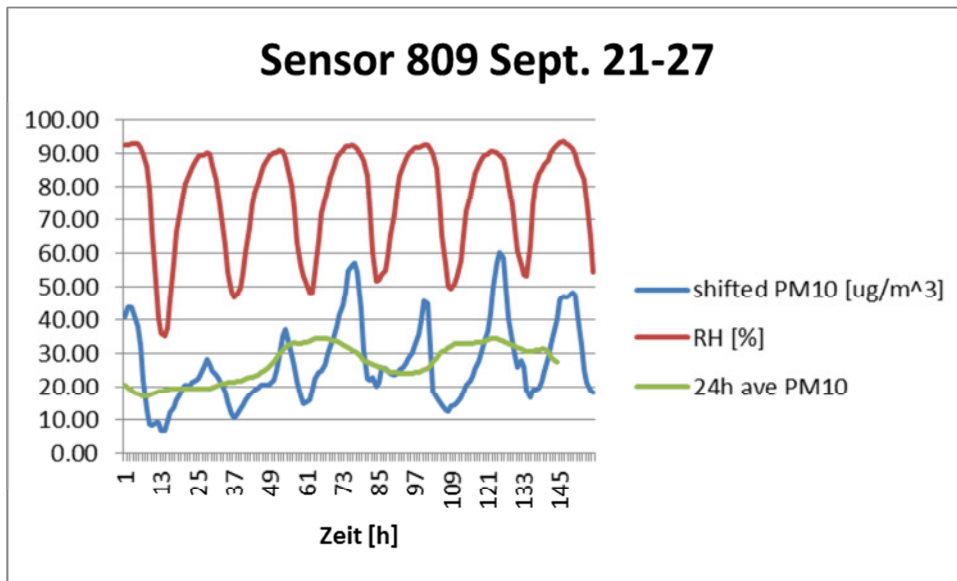


Abb. 3: Daten für Feuchte (rot) und zeitverschobene PM10 Rohwerte (blau), dazu der zugehörige PM10 Mittelwert über 24h

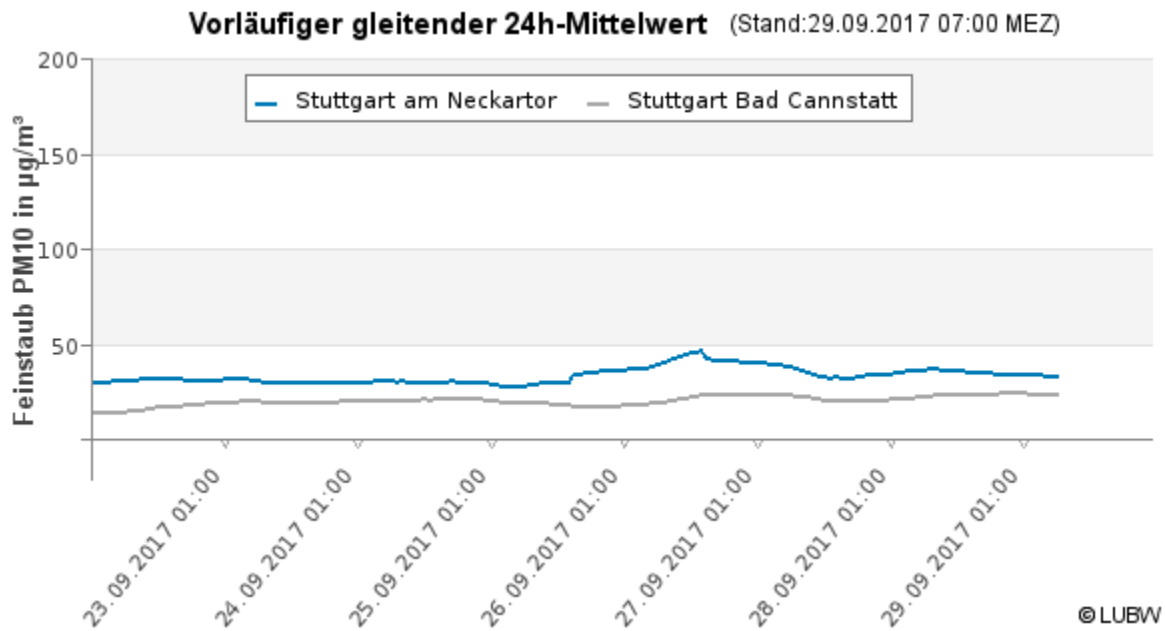


Abb. 4: Messwerte des LUBW ab 22.9. – 28.9.17

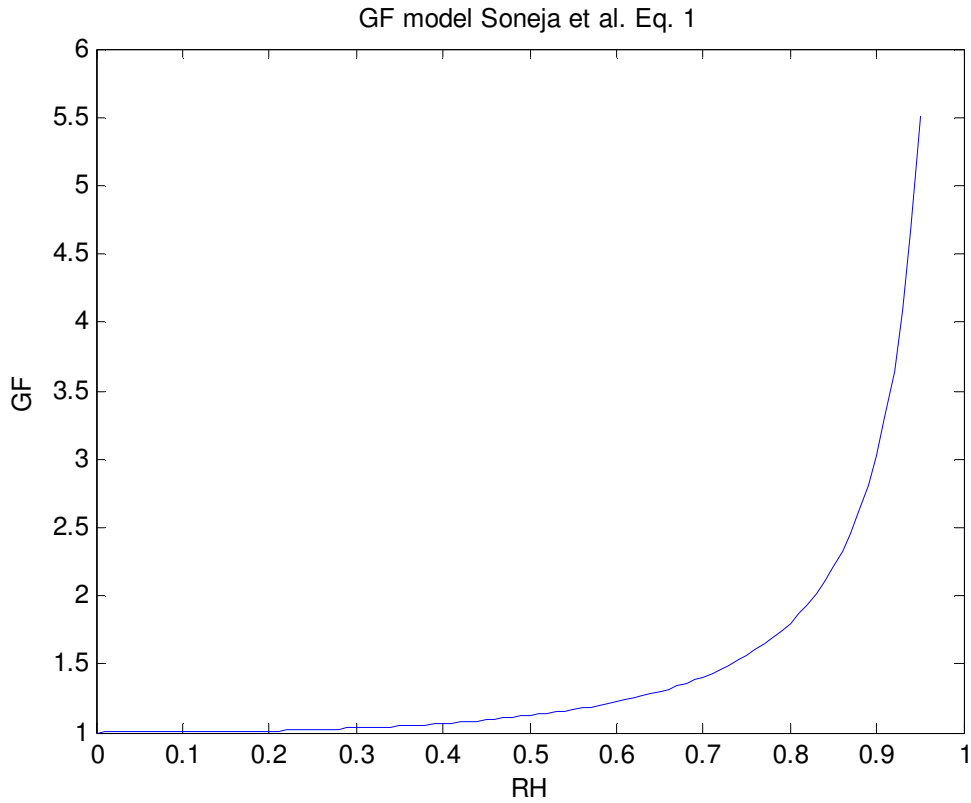


Abb. 5: Modell des hygroskopischen Partikelwachstums aus /1/ für a=1, b=0.25

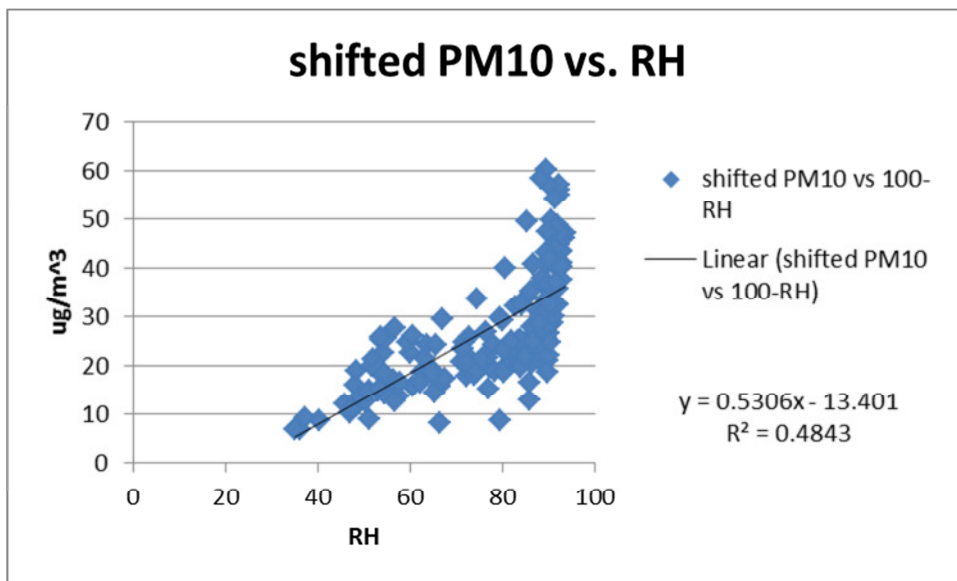


Abb. 6: Korrelationsplot zu den unkorrigierten und zeitlich zur Feuchte verschobenen PM10-Werten gegen die relative Luftfeuchte

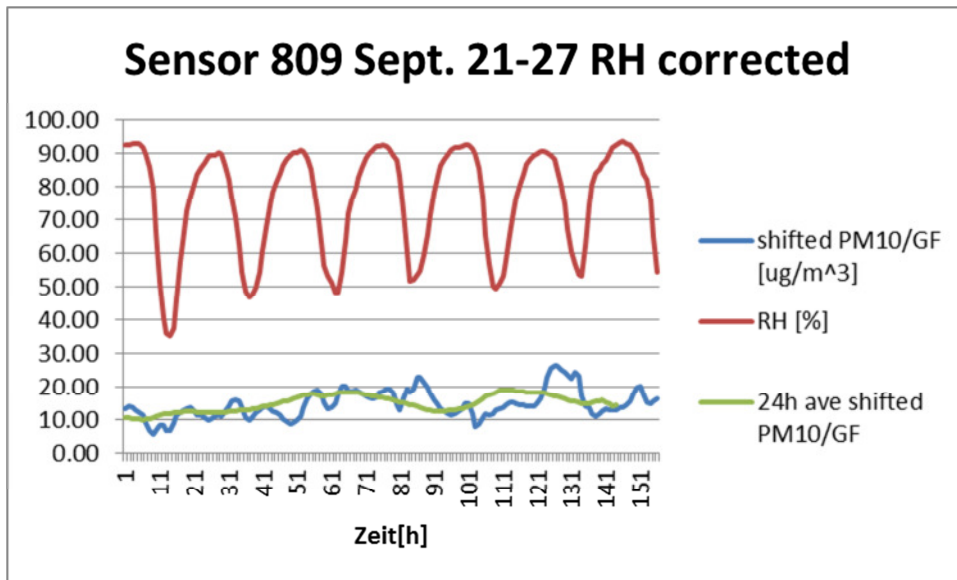


Abb. 7: Relative Feuchte (rot) und um den Growth Faktor GF korrigierte zeitverschobene PM10 Werte (blau), dazu der zugehörige PM10 Mittelwert über 24h

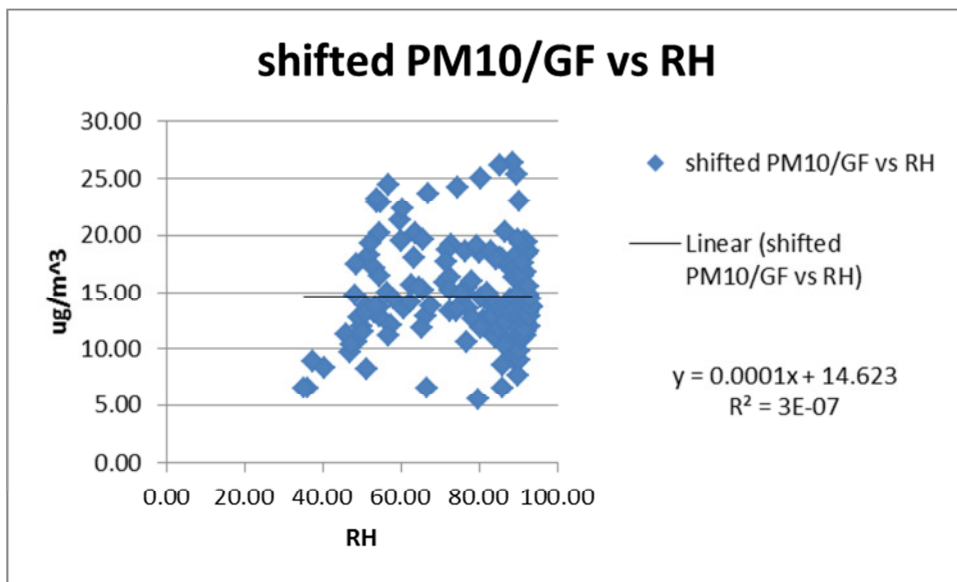


Abb. 8: Korrelationsplot zu den mit dem Growth Faktor GF korrigierten und zeitlich zur Feuchte verschobenen PM10-Werten gegen die relative Luftfeuchte

## Literatur

/1/ Sutyajeet Soneja et al.: Humidity and Gravimetric Equivalency Adjustments for Nephelometer-Based Particulate Matter Measurements of Emissions from Solid Biomass Fuel Use in Cookstoves; Int. J. Environ. Res. Public Health 2014, 11, 6400-6416; doi:10.3390/ijerph110606400

/2/ Messungen mit dem Feinstaubsensor SDS011 - Ein Vergleich mit einem eignungsgeprüften Feinstaubanalysator; LUBW Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg; 2017