

Feinstaubmessungen (PM10 und PM2.5) mit dem Fidas 200 der Firma Palas im NABEL

Christoph Hüglin, Beat Schwarzenbach
Empa, Abteilung für Luftfremdstoffe und Umwelttechnik

12.08.2016

Einsatz des Fidas 200 im NABEL

| | Fidas 200 | Gravimetrie | |
|---------|-------------|----------------|--------------------------|
| Station | Messbeginn | PM10 (täglich) | PM2.5 (jeder vierte Tag) |
| DUE | 12. Dez 14 | x | x |
| BAS | 18. Dez 14 | x | x |
| ZUE | 14. Jan 15 | x | x |
| LUG | 5. Feb 15 | x | x |
| BER | 19. März 15 | x | x |
| HAE | 7. Okt 15 | x | x |
| MAG | 29. Okt 15 | x | x |
| PAY | 25. Nov 15 | x | x |
| RIG | 1. Okt 15 | x | x |

Schlussfolgerungen aus den bisherigen Erfahrungen

1. Das Fidas 200 von Palas ist ein automatischer PM-Monitor der sich gut für Messnetzbetrieb eignet (einfache Handhabung, zuverlässig, praktisch keine Geräteausfälle - Datenverfügbarkeit im NABEL >99 %).
2. Die Messwerte mit dem Fidas 200 (PM10 und PM2.5) können gegenüber denen der gravimetrischen Methode deutlich abweichen. Dies ist aufgrund des unterschiedlichen Messprinzips erklärbar und zu erwarten. Die Messwerte des Fidas 200 müssen daher mit gravimetrischen Messungen (Referenzmethode) korrigiert werden, um die Vergleichbarkeit sicherzustellen.
3. Nicht korrigierte Fidas 200 Messwerte können gegenüber der gravimetrischen Methode eine Abweichung von bis ca. $8\mu\text{g}/\text{m}^3$ im Tagesmittel, bzw. bis ca. $3\mu\text{g}/\text{m}^3$ im Jahresmittel aufweisen.
4. Optimal korrigierte Messwerte des Fidas 200 zeigen im 24h-Mittel gegenüber der gravimetrischen Methode zufällige Abweichungen von etwa $\pm 5\mu\text{g}/\text{m}^3$ (95% Vertrauensbereich; gilt für PM10 und PM2.5). Diese Abweichungen sind durch die variierende chemische Zusammensetzung des Feinstaubes und der unterschiedlichen Messprinzipien erklärbar. Auf den Jahresmittelwert haben diese Abweichungen keinen grossen Einfluss. Die Unsicherheit des Jahresmittelwertes (korrigierte Messwerte des Fidas 200) beträgt ca. $\pm 0.3\mu\text{g}/\text{m}^3$.
5. Die Unterschiede zwischen den korrigierten Messwerten des Fidas 200 (PM10 und PM2.5) und der gravimetrischen Methode zeigen eine leichte jahreszeitliche Abhängigkeit (im Sommer zeigt das Fidas 200 leicht höhere Werte als die gravimetrische Methode).
6. Die Korrektur der Messwerte des Fidas 200 basierend auf einmaligen zeitlich befristeten Vergleichsmessungen mit der gravimetrischen Methode (z.B. während 60 Tagen) ist nicht ausreichend. Die aus zeitlich befristeten Vergleichsmessungen ermittelten Korrekturfunktionen sind nicht notwendigerweise repräsentativ und können stark variieren. Dies führt dazu, dass die Messunsicherheit gegenüber nicht korrigierten Werten unverändert bleibt (siehe Punkt 3). Dies gilt nicht spezifisch für das Fidas 200 sondern für alle automatischen Feinstaubmonitore. Automatische Feinstaubmonitore sollten daher regelmässig mit der gravimetrischen Referenzmethode verglichen werden – die Anforderungen an regelmässige Vergleichsmessungen sind in der Technischen Spezifikation CEN/TS16450 (2013, kann bei shop.snv.ch erworben werden) bzw. im Normentwurf prEN16450 (2016) aufgeführt. Der Normentwurf prEN16450 (2016) ist noch nicht erhältlich.

Schlussfolgerungen aus den bisherigen Erfahrungen

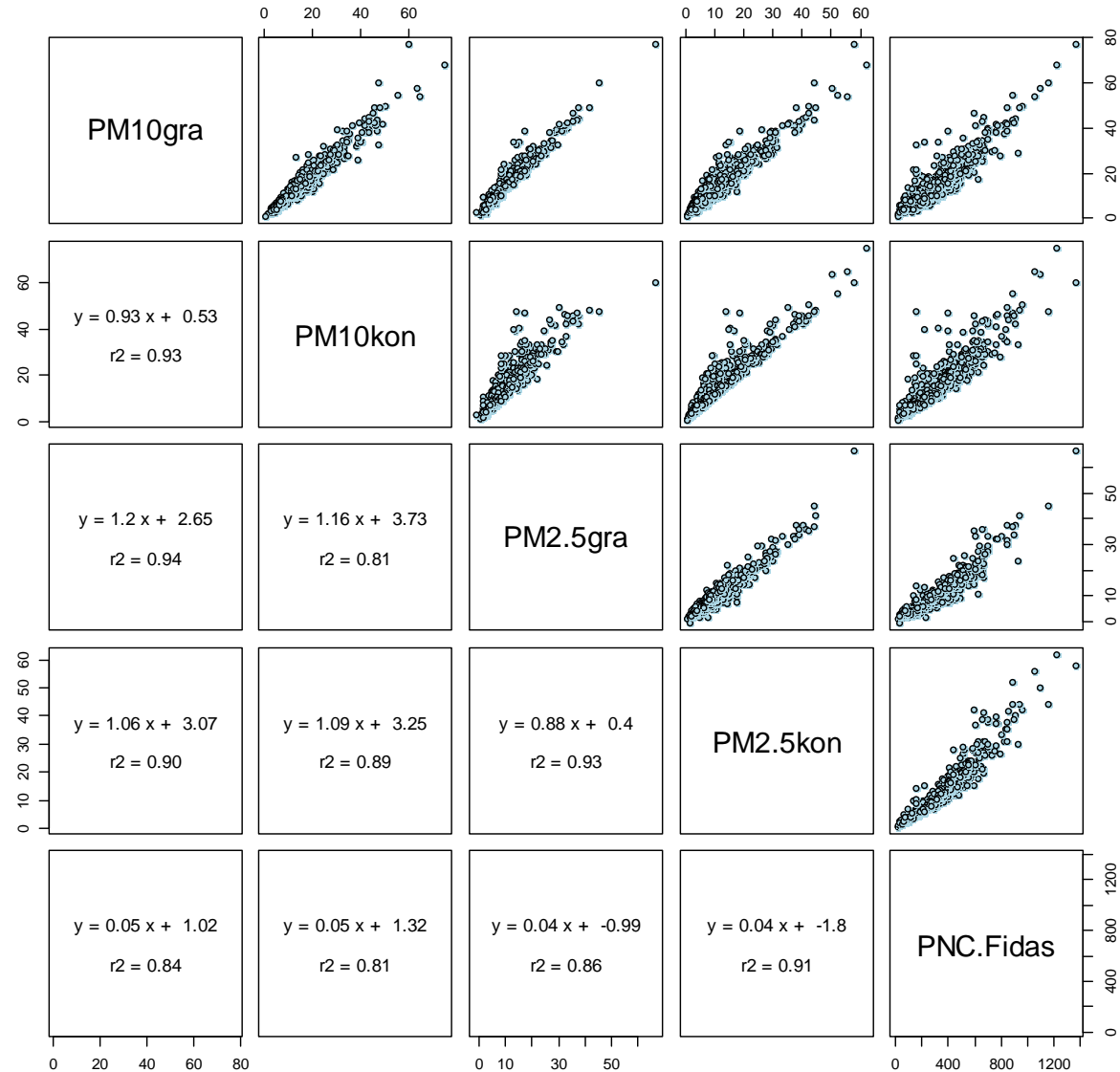
7. An den NABEL-Stationen kann der PM2.5-Jahresmittelwert mit guter Genauigkeit anhand der PM10 Korrekturfunktion bestimmt werden. Ausser am städtischen Verkehrsstandort Bern-Bollwerk sind die mittleren jährlichen PM2.5/PM10 Verhältnisse stabil. Dadurch führt die Anwendung von korrekten Korrekturfunktionen für PM10 auf das mit einem Fidas 200 gemessene PM2.5 zu ziemlich genauen Jahresmittelwerten für PM2.5 (die resultierende Unsicherheit liegt im Bereich von 0.4-0.5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, bei Bern-Bollwerk ca. 1.8 $\mu\text{g}/\text{m}^3$). Die Anwendung dieser Strategie kann ohne regelmässige Vergleichsmessungen von PM2.5 mit der gravimetrischen Methode jedoch **nicht** empfohlen werden, da die Übertragbarkeit auf andere Standorte unsicher ist. Zudem wird durch regelmässige Vergleichsmessungen mit gravimetrisch gemessenem PM2.5 sichergestellt, dass allfällige Änderungen des PM2.5/PM10 Verhältnisses erkannt und berücksichtigt werden können.
8. Das Verhältnis von PM2.5 zu PM10 weist jahreszeitliche Unterschiede auf. Im Winter ist das Verhältnis höher als im Sommer, was unter anderem durch einen im Sommer höheren Beitrag durch mineralische Stäube erklärt werden kann. Diese jahreszeitlichen Unterschiede werden vom Fidas 200 und der gravimetrischen Methode in guter Übereinstimmung wiedergegeben.

Exemplarische Datenauswertungen für die NABEL-Station Dübendorf

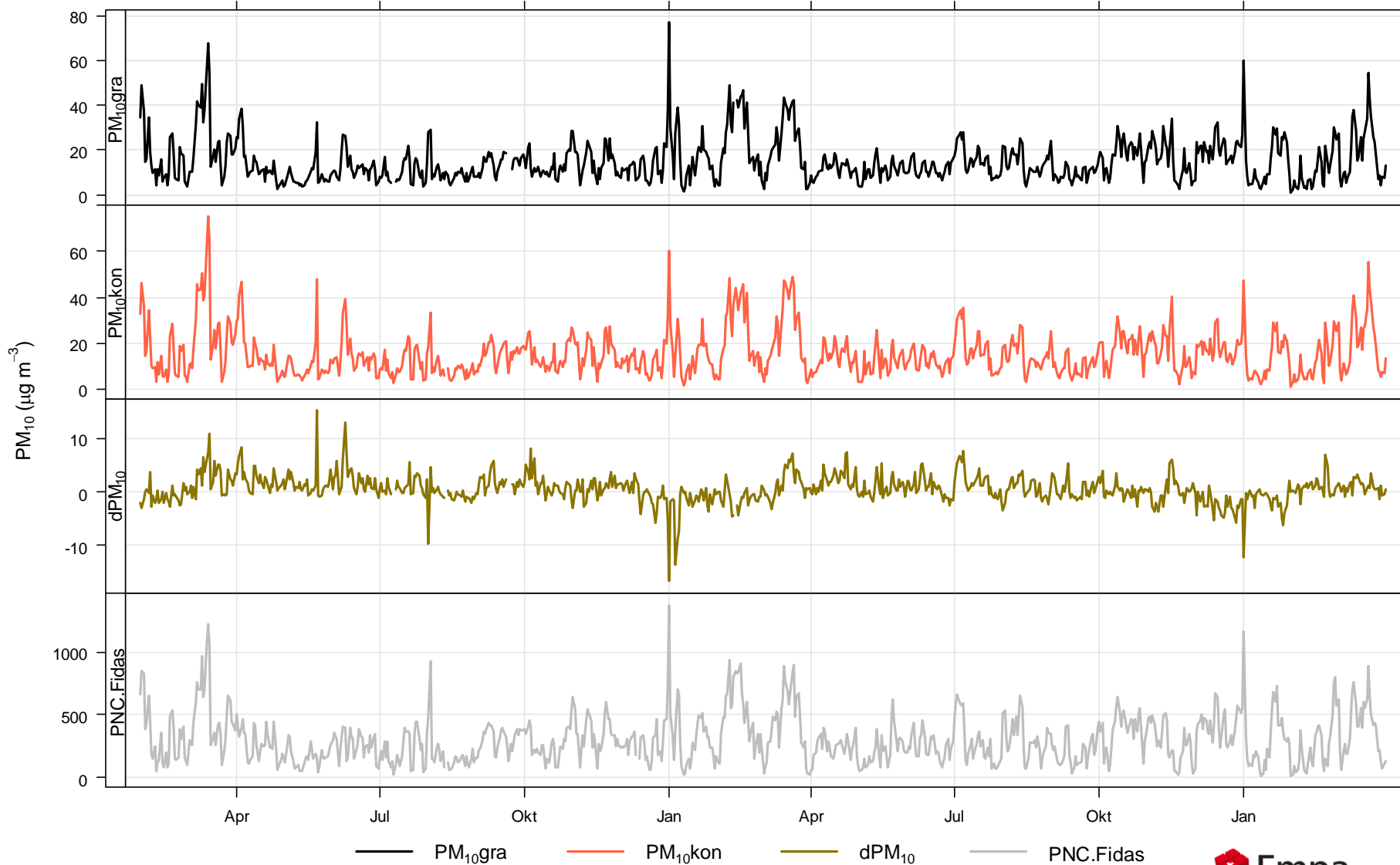
Dübendorf

Die längste Zeitreihe mit PM-Messungen mit dem Fidas 200 gibt es in Dübendorf (seit 12.12.2014). Nimmt man die Testphase in der Teststation DUT dazu, dann ergibt sich eine Messreihe seit 30.01.2014.

Paarweise Streudiagramme von gravimetrischem PM10 und PM2.5, kontinuierlichem PM10 und PM2.5 mit einem Fidas 200, sowie die mit dem Fidas gemessene Partikelanzahlkonzentration. In den unteren Quadranten sind die zugehörigen Ausgleichsgeraden und die Bestimmtheitsmasse r^2 angegeben.

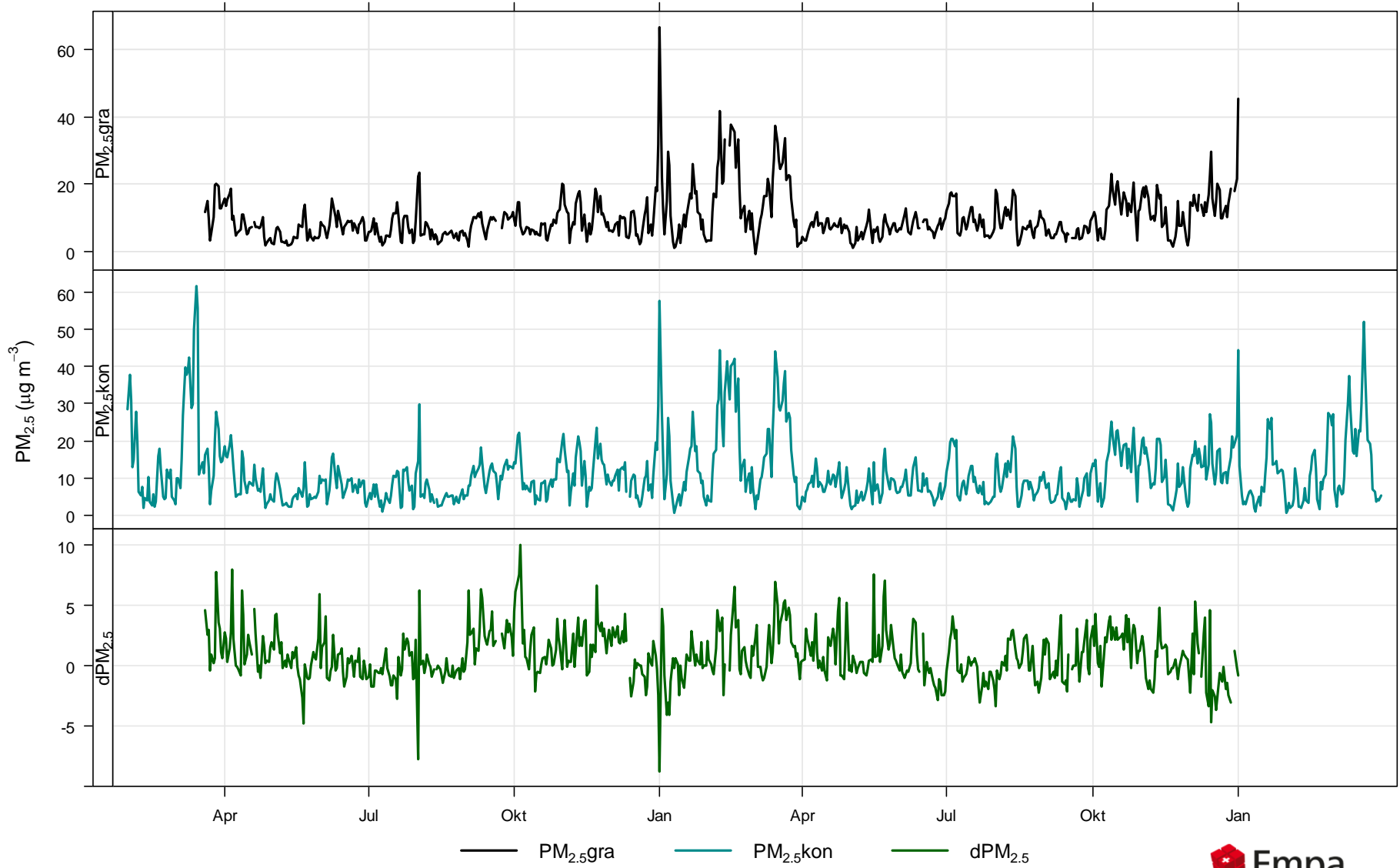


Dübendorf: Zeitverlauf PM10 (gravimetrisch, kontinuierlich, Tagesmittelwerte 30.01.2014-31.03.2016), deren Differenz (kontinuierlich – gravimetrisch), sowie die mit dem Fidas gemessene Partikelanzahlkonzentration. Der Zeitverlauf für die Differenz ($dPM_{10} = PM_{10, \text{kon}} - PM_{10, \text{gra}}$) zeigt eine leichte jahreszeitliche Abhängigkeit. Verglichen mit der gravimetrischen Methode zeigt das Fidas während der warmen Jahreszeit leicht höhere PM10-Messwerte, im Winter sind dagegen die gravimetrischen Messwerte etwas höher.



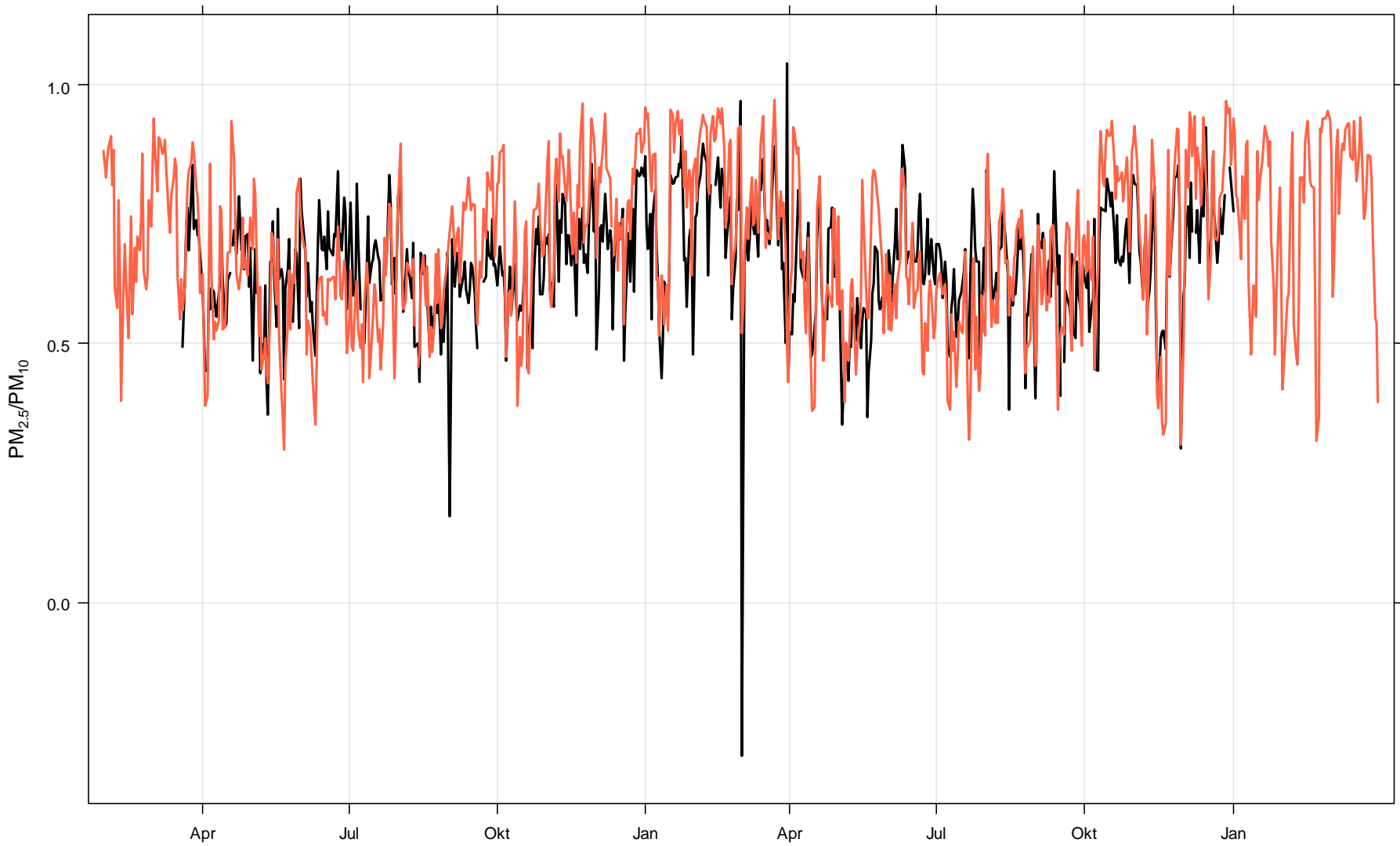
Dübendorf: Zeitverlauf PM2.5 (gravimetrisch, kontinuierlich, Tagesmittelwerte 30.01.2014-31.03.2016) sowie deren Differenz (kontinuierlich – gravimetrisch).

DUE



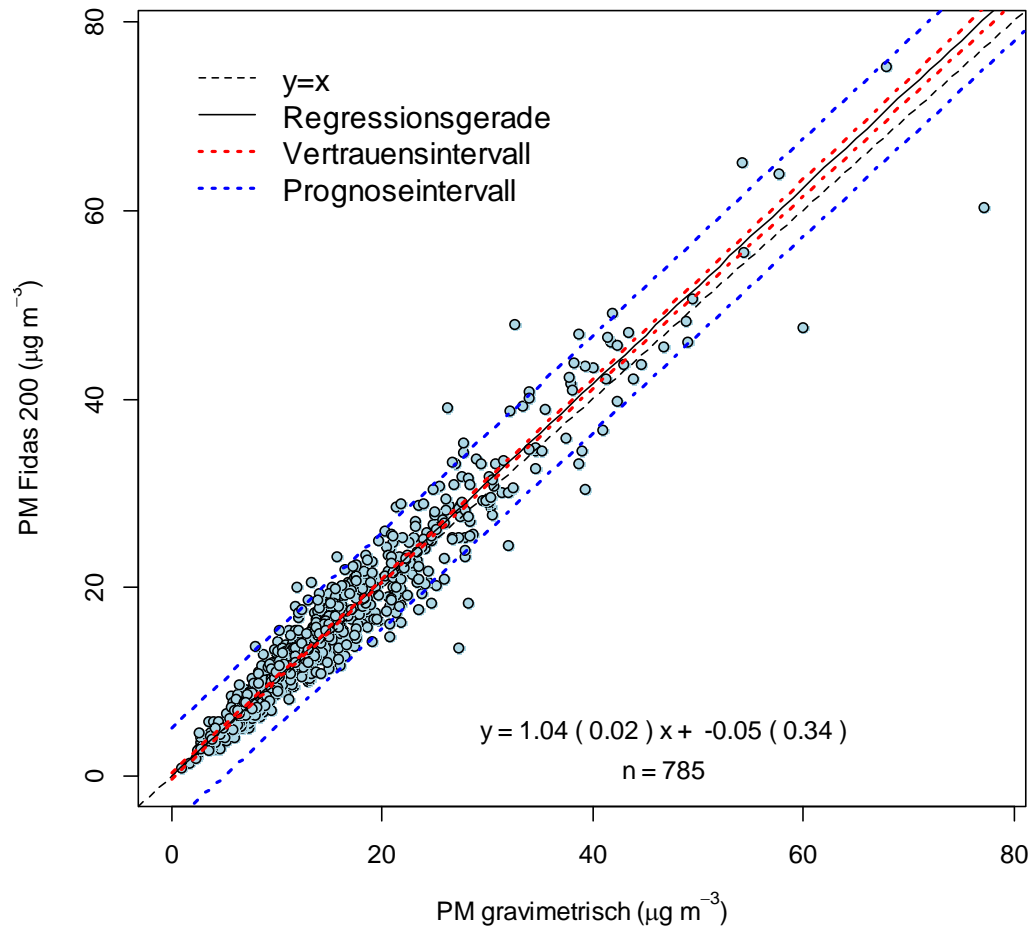
— $PM_{2.5,gra}$ — $PM_{2.5,kon}$ — $dPM_{2.5}$

Dübendorf: Zeitverlauf der Verhältnisse $PM_{2.5}/PM_{10}$ (Tagesmittelwerte 30.01.2014-31.03.2016) gemessen mit der gravimetrischen Methode (schwarz) sowie mit dem Fidas (rot). Negative Verhältnisse und solche grösser als 1 können beim Fidas nicht auftreten, da einerseits die Partikelmassenkonzentration von der Anzahl gezählter Partikel berechnet wird und andererseits die $PM_{2.5}$ und PM_{10} -Messungen nicht unabhängig voneinander sind. Das tiefere Verhältnis $PM_{2.5}/PM_{10}$ während der warmen Jahreszeit kann durch einen höheren Beitrag von aufgewirbeltem mineralischem Staub während dieser Zeit erklärt werden.

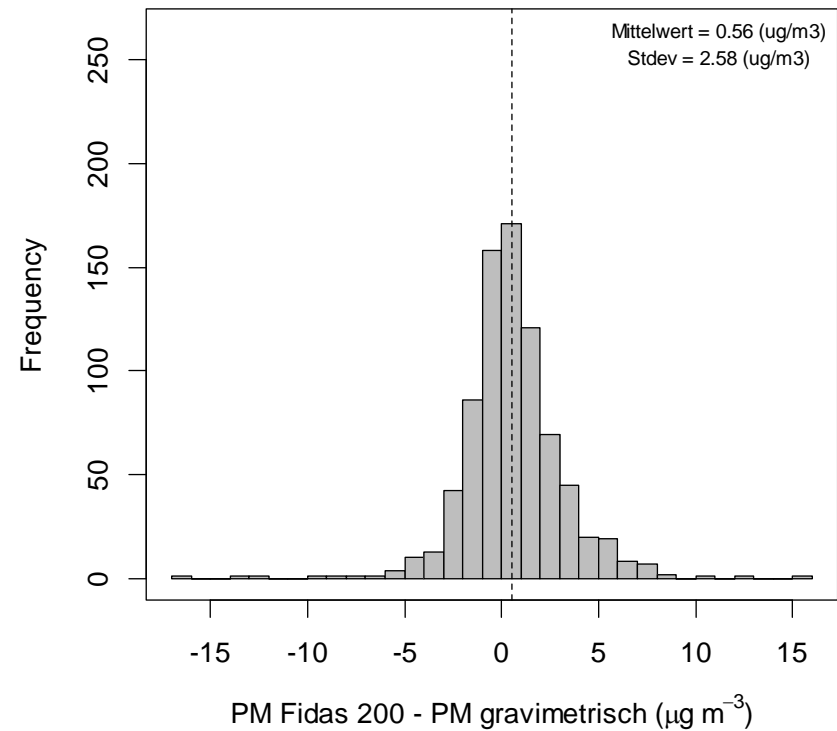


Dübendorf, PM10

Streudiagramm von 24h-PM10 mit dem Fidas 200 gegen die gravimetrische Referenzmethode. Daten vom 30.01.14-31.03.16. Mittels orthogonaler Regression berechnete Ausgleichsgerade inkl. 95%-Vertrauens- und 95%-Prognoseintervall.

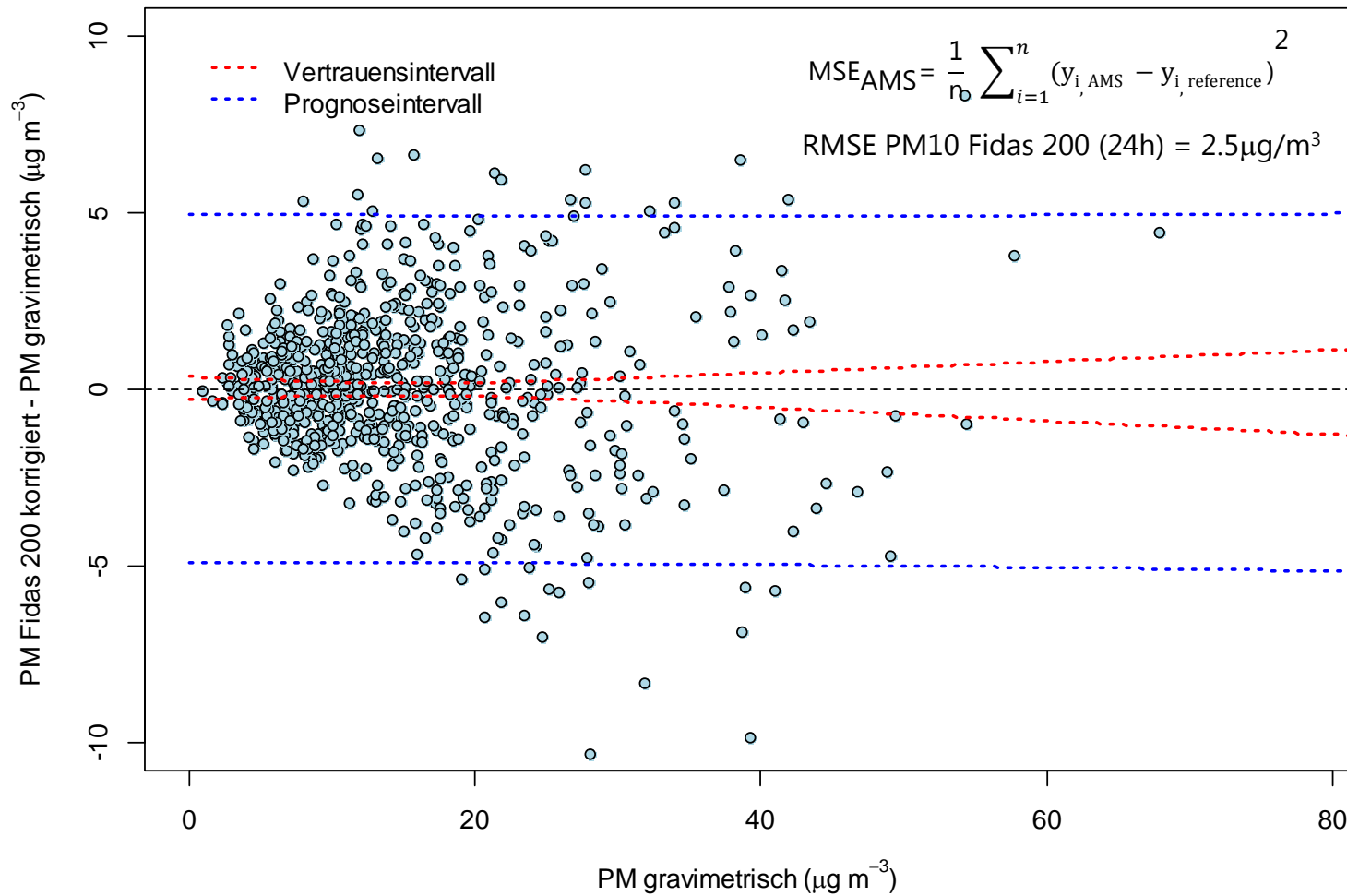


Histogramm der Differenz von 24h-Werten von PM10 mit Fidas 200 und gravimetrischer Methode Daten vom 30.01.14-31.03.16. Die systematischen Unterschiede können mit regelmäßigen Parallelmessungen korrigiert werden. Die zufälligen Unterschiede bleiben. Für 24h-Werte können diese ca. $\pm 2 \cdot \text{Stdev} = \pm 5.2 \mu\text{g/m}^3$ ausmachen, für Jahresmittelwerte sind die zufälligen Unterschiede vernachlässigbar ($\approx 5.2/\sqrt{365} = 0.3 \mu\text{g/m}^3$) – siehe auch nächste Seite.



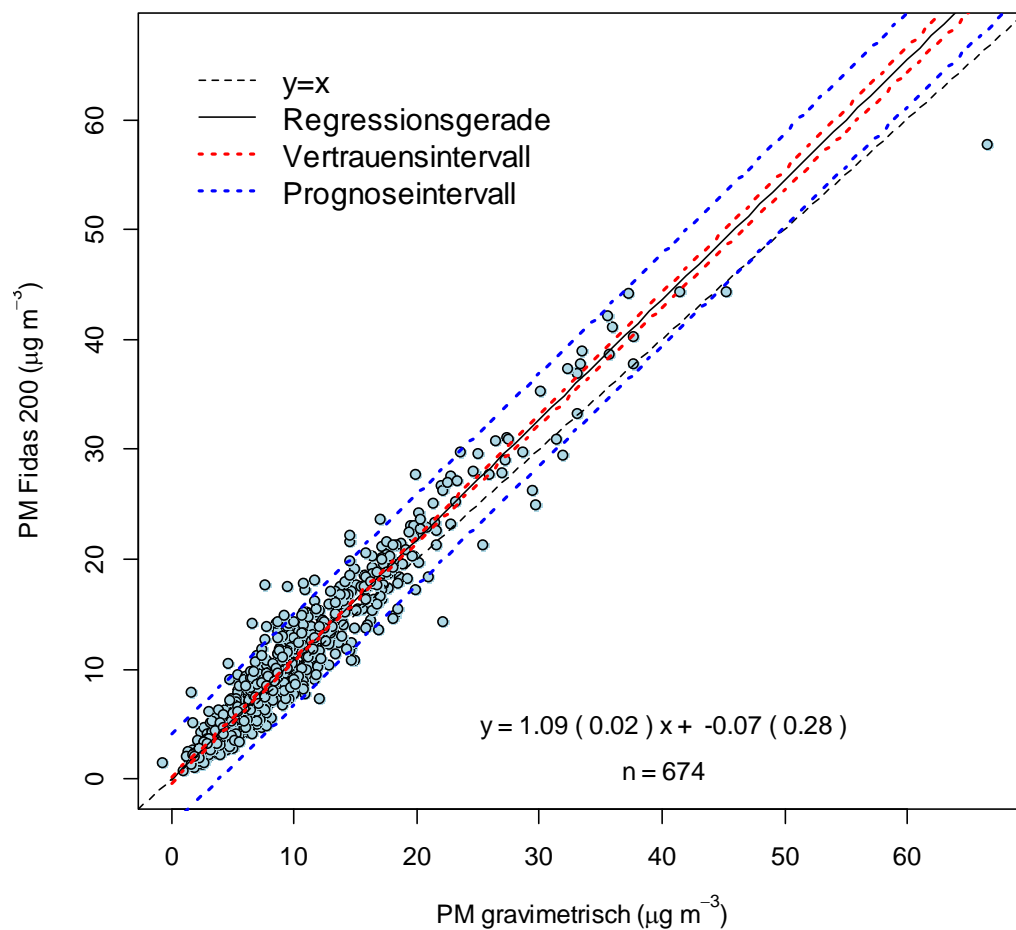
Dübendorf, PM10

Differenz von korrigierten PM10-Werte mit dem Fidas 200 (mit Steigung und Achsenabschnitt der Regressionsgerade korrigiert) und gravimetrischem PM10 gegen die gravimetrische Referenzmethode. Daten vom 30.01.14-31.03.16. Die zugehörigen 95%-Vertrauens- und 95%-Prognoseintervalle sind ebenfalls eingezeichnet.

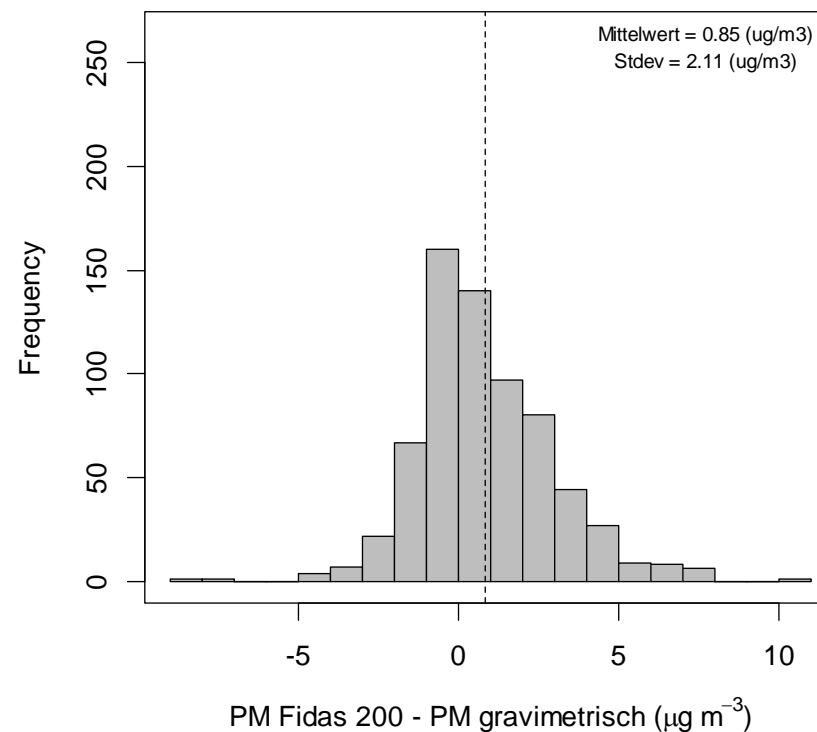


Dübendorf, PM2.5

Streudiagramm von 24h-PM2.5 mit dem Fidas 200 gegen die gravimetrische Referenzmethode. Daten vom 30.01.14-31.10.15. Mittels orthogonaler Regression berechnete Ausgleichsgerade inkl. 95%-Vertrauens- und 95%-Prognoseintervall.

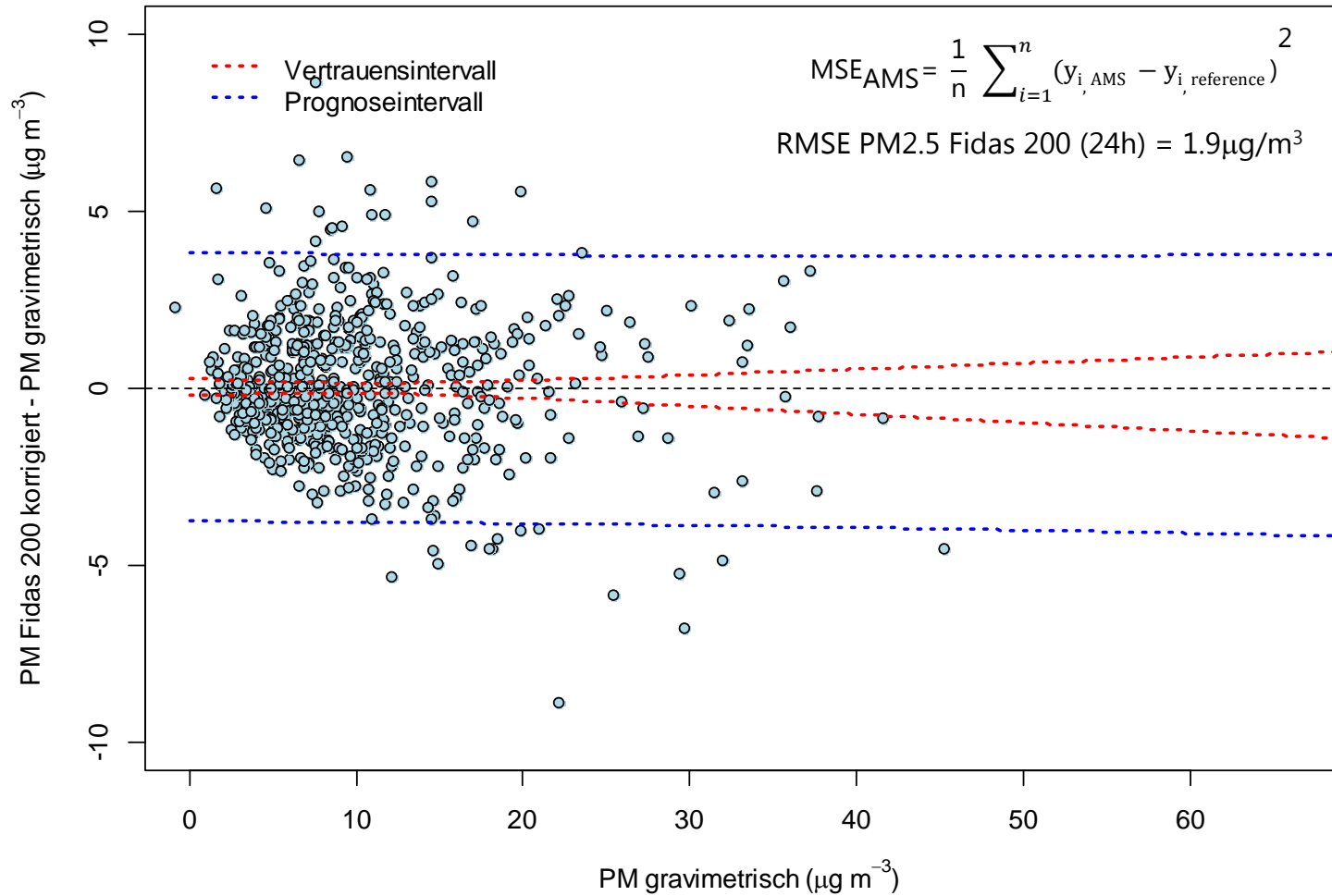


Histogramm der Differenz von 24h-Werten von PM_{2.5} mit Fidas 200 und gravimetrischer Methode Daten vom 30.01.14-31.10.15. Die systematischen Unterschiede können mit regelmäßigen Parallelmessungen korrigiert werden. Die zufälligen Unterschiede bleiben. Für 24h-Werte können diese ca. $\pm 2 \cdot \text{Stdev} = \pm 4.2 \mu\text{g/m}^3$ ausmachen, für Jahresmittelwerte sind die zufälligen Unterschiede vernachlässigbar ($\approx 4.2/\sqrt{365} = 0.2 \mu\text{g/m}^3$) – siehe auch nächste Seite.

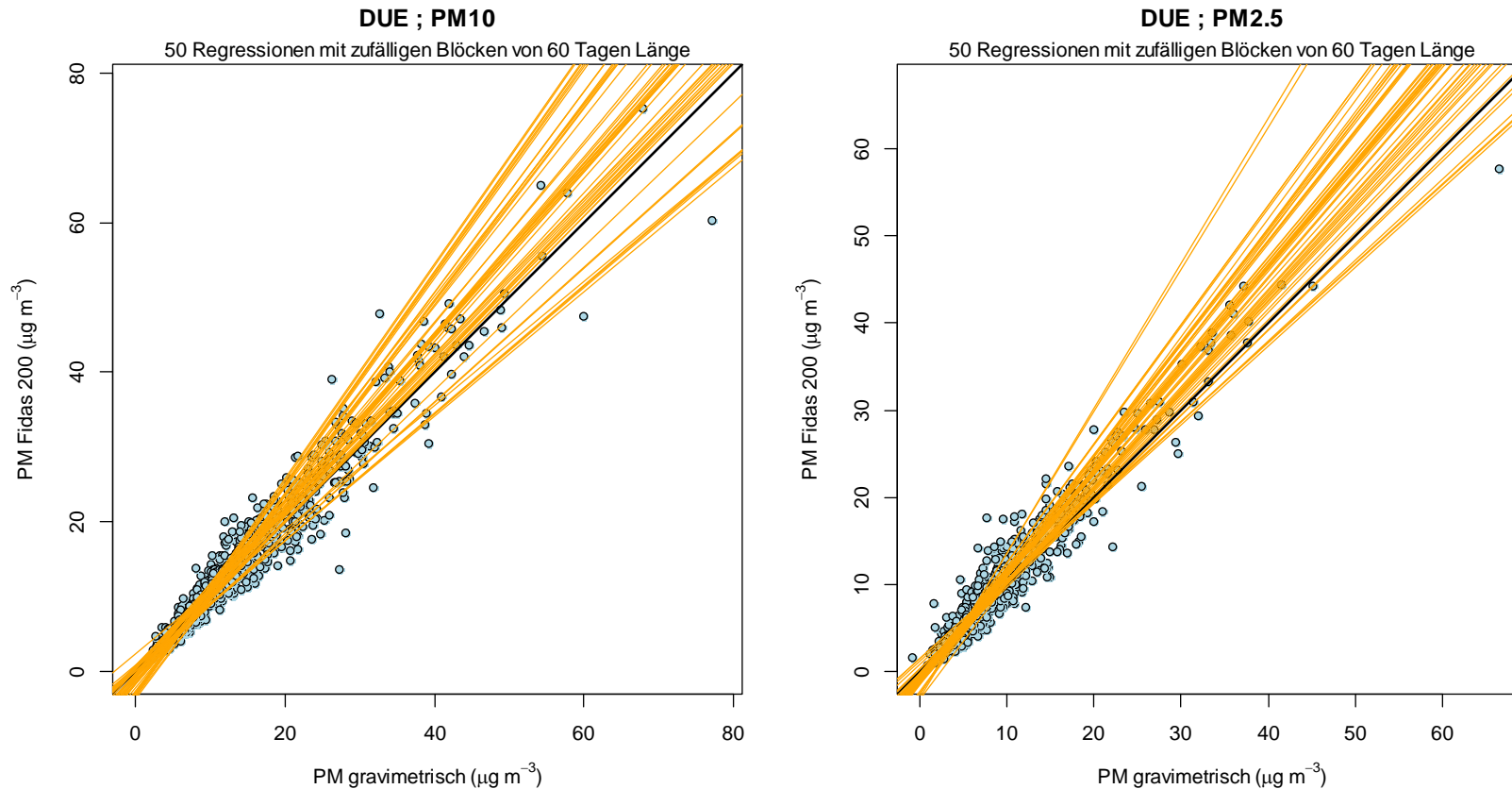


Dübendorf, PM2.5

Differenz von korrigierten PM2.5-Werte mit dem Fidas 200 (mit Steigung und Achsenabschnitt der Regressionsgerade korrigiert) und gravimetrischem PM10 gegen die gravimetrische Referenzmethode. Daten vom 30.01.14-31.10.15. Die zugehörigen 95%-Vertrauens- und 95%-Prognoseintervalle sind ebenfalls eingezeichnet.

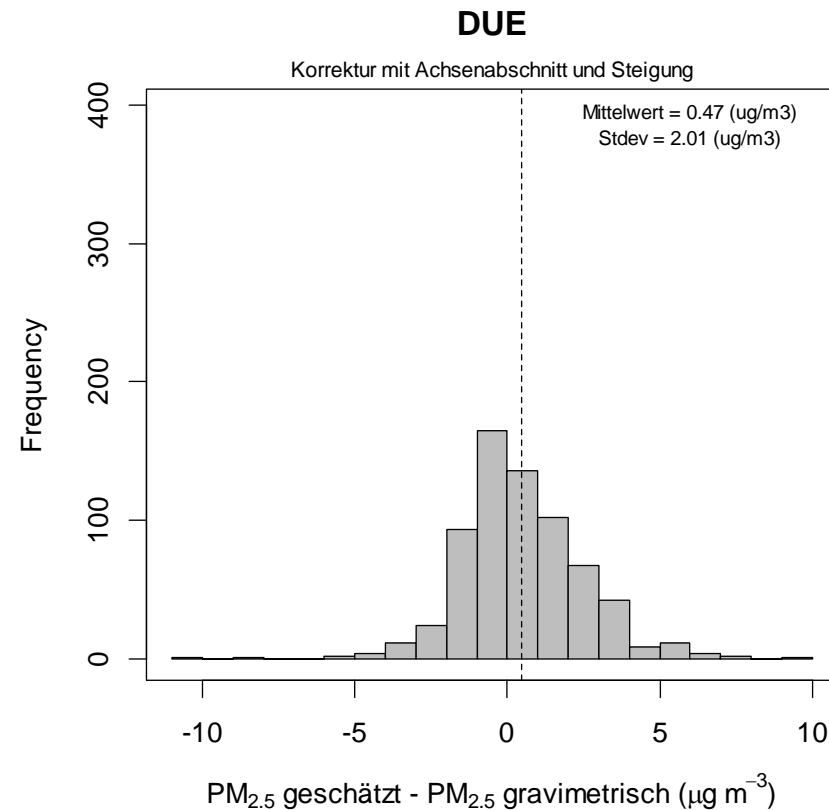
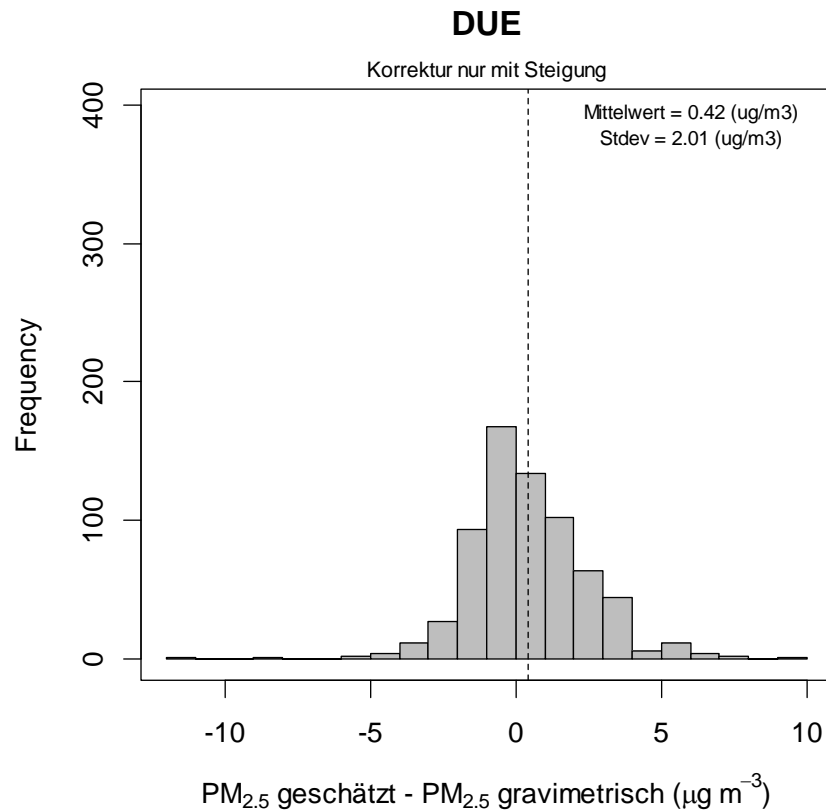


Frage 1: Wie stabil ist die Beziehung zwischen automatischem PM-Monitor und der gravimetrischen Methode? Reicht es aus, wenn die lineare Abhängigkeit während einer Kampagne (z.B. während 60 Tagen) bestimmt wird und diese danach zur Korrektur der kontinuierlichen Daten verwendet wird?



Antwort: Nein, eine Kampagne von ca. 60 Tagen ist nicht ausreichend. Die berechnete Beziehung hängt stark vom Zeitpunkt der Kampagne bzw. den Tagen ab, die für die Berechnung der verwendet wurden. Die gelben Geraden oben zeigen den Streubereich der linearen Beziehungen, wenn diese anhand von zufällig gewählten Blöcken von 60 Tagen Länge berechnet werden.

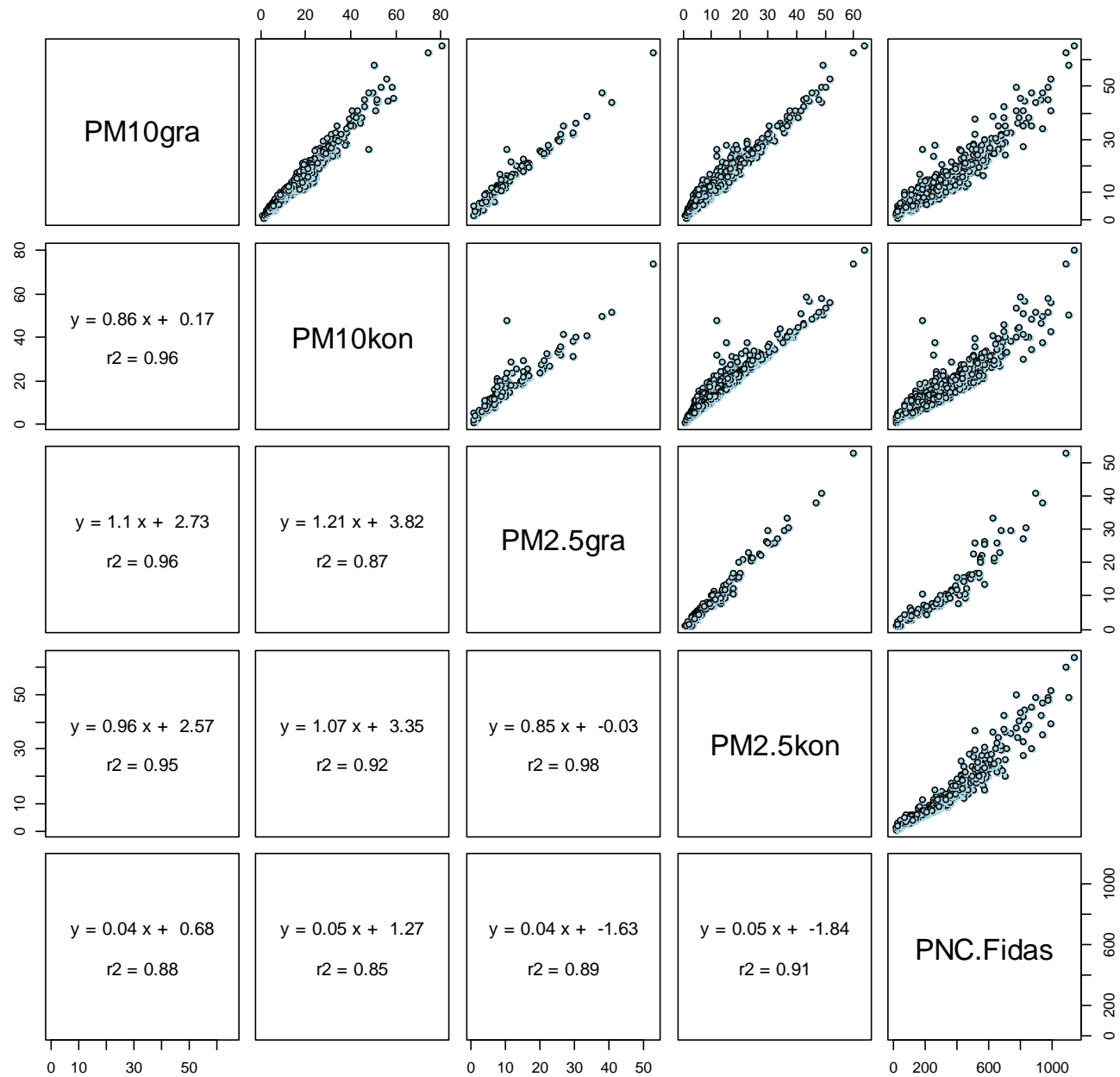
Frage 2: Wie genau kann der **Jahresmittelwert** von PM2.5 geschätzt werden, wenn die durch Vergleich von gravimetrisch bestimmtem und mit dem Fidas gemessenen PM10 berechnete Korrekturfunktion auch auf das mit dem Fidas gemessene PM2.5 angewendet wird?



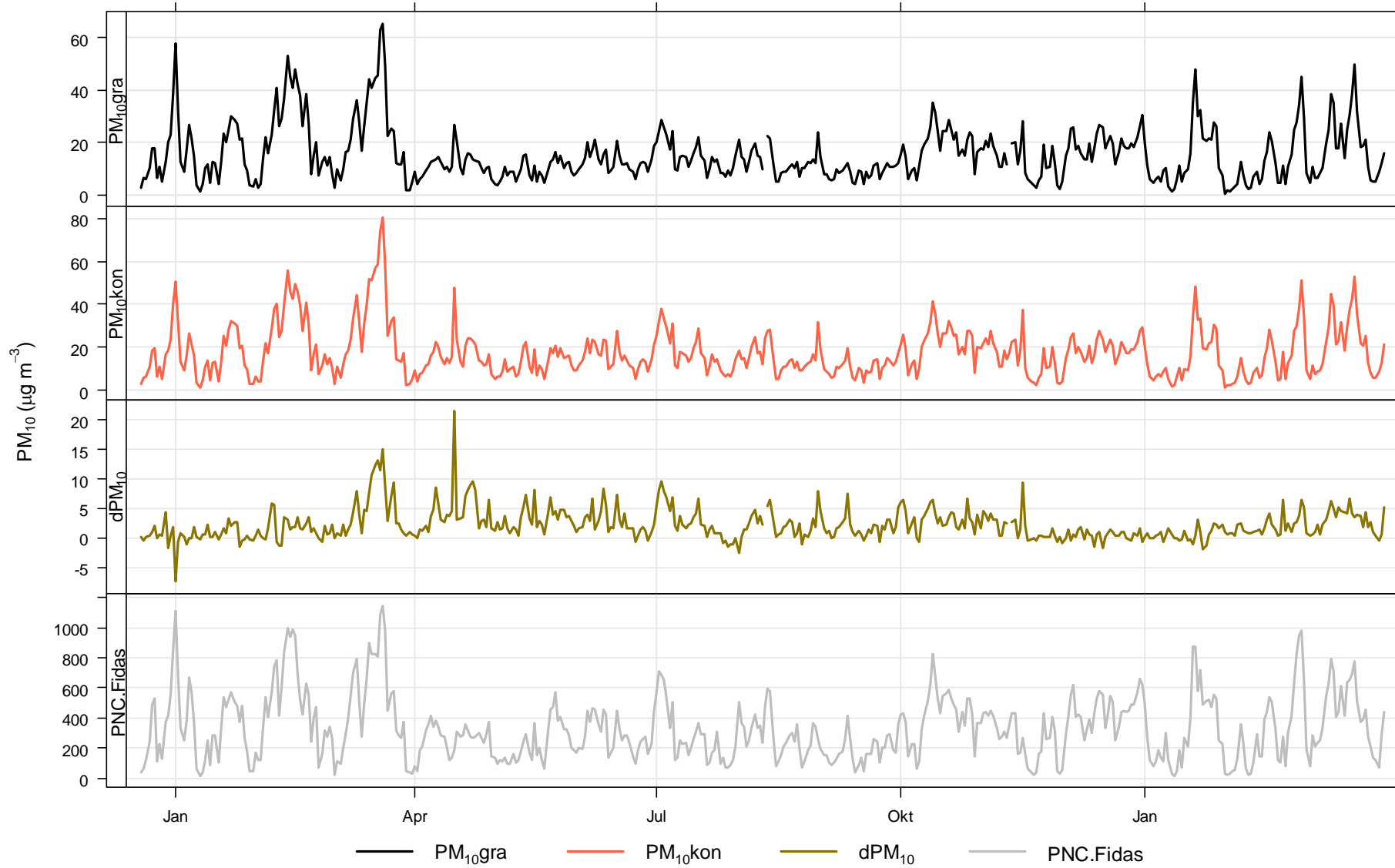
Antwort: Wird eine **korrekte** Korrekturfunktion für PM10 auch auf PM2.5 angewendet, dann resultiert **in Dübendorf** für den **Jahresmittelwert** von PM2.5 ein kleiner systematischer Fehler (ca. 0.2-0.5µg/m³) plus ein zufälliger Fehler von ca. $4/\sqrt{365} = 0.2\mu\text{g}/\text{m}^3$. Der gesamte Fehler des PM2.5 Jahresmittelwertes würde im Beispiel von Dübendorf ca. 0.3-0.5µg/m³ betragen.

Weitere identische Abbildungen für die NABEL-Stationen BAS, ZUE,
LUG und BER

Basel-Binningen

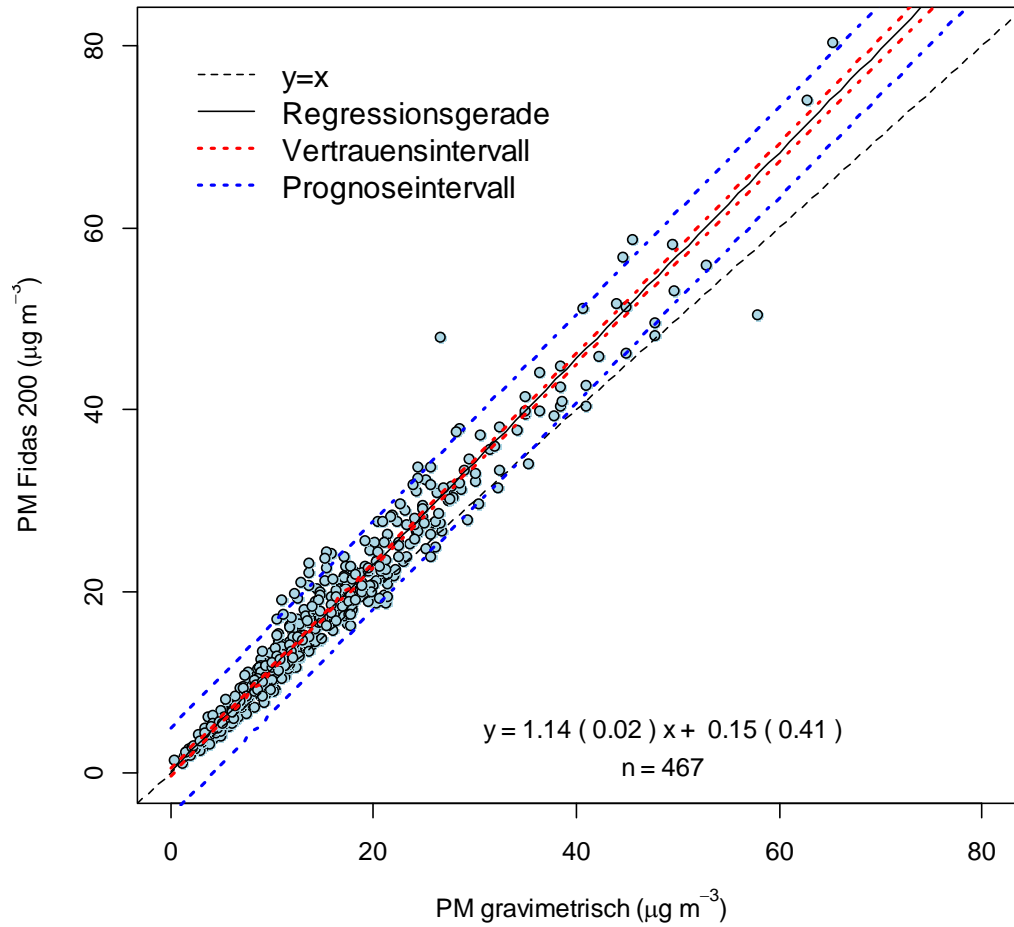


Basel-Binningen

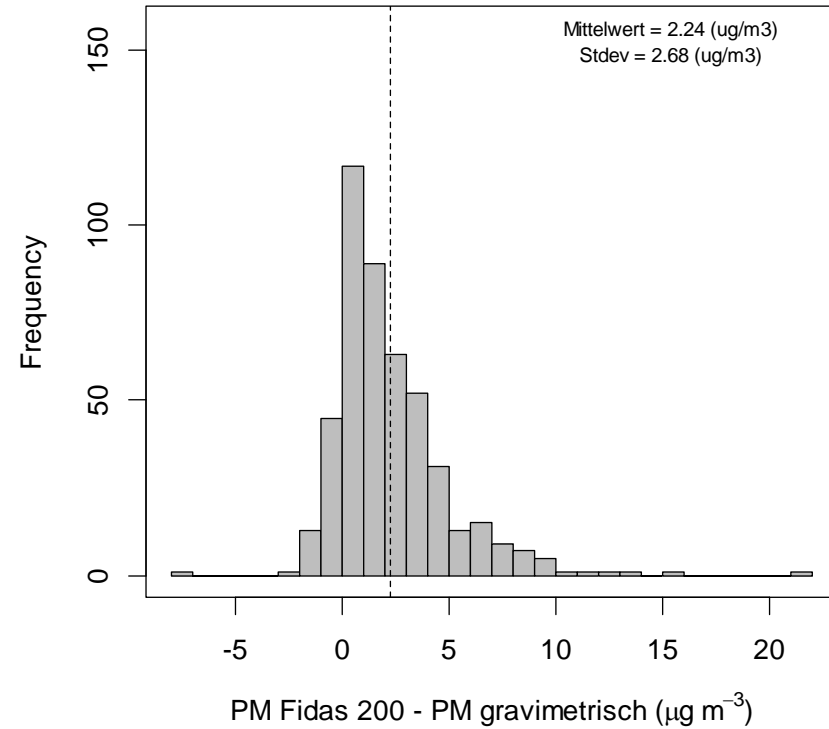


Basel-Binningen

BAS ; PM10

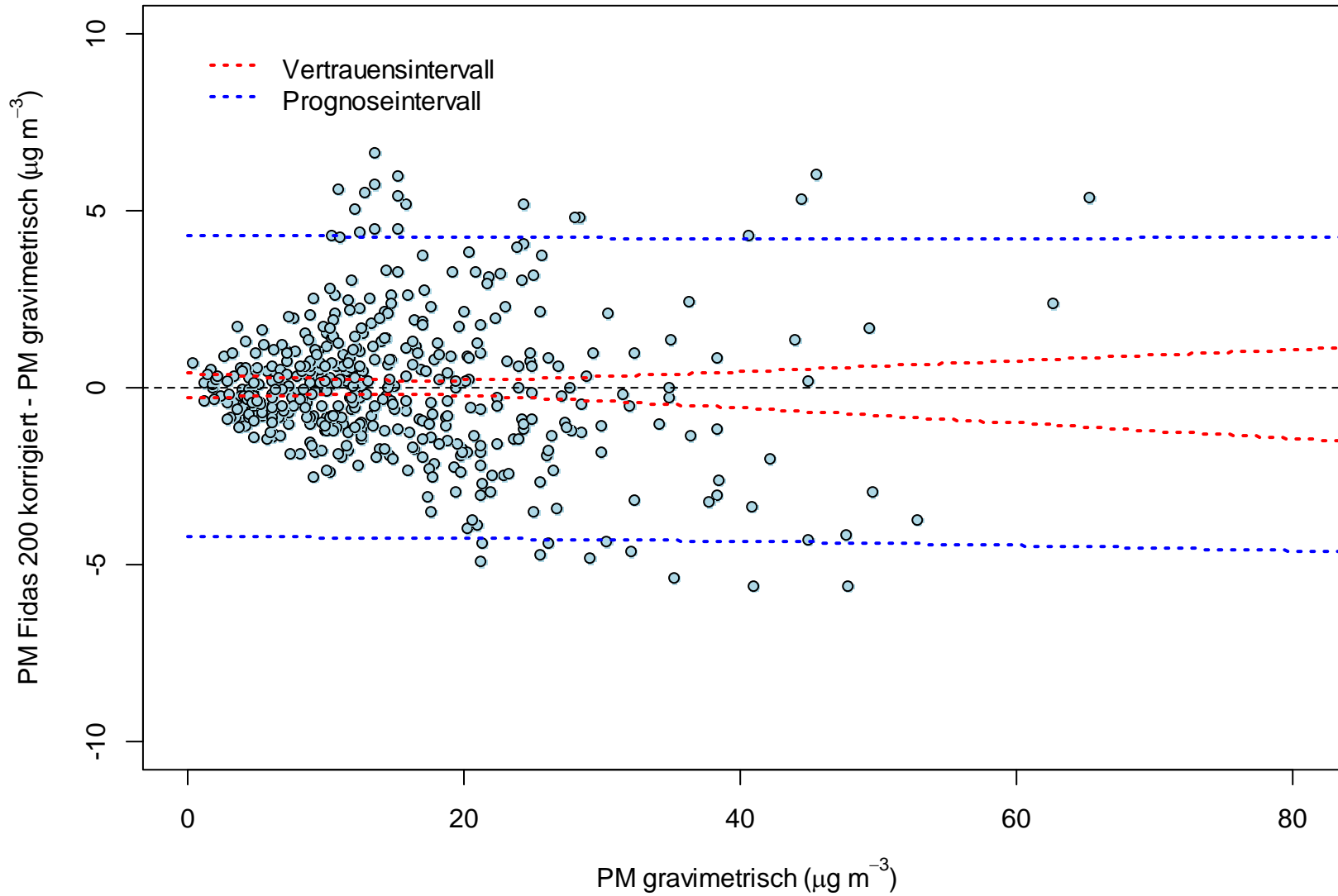


BAS ; PM10



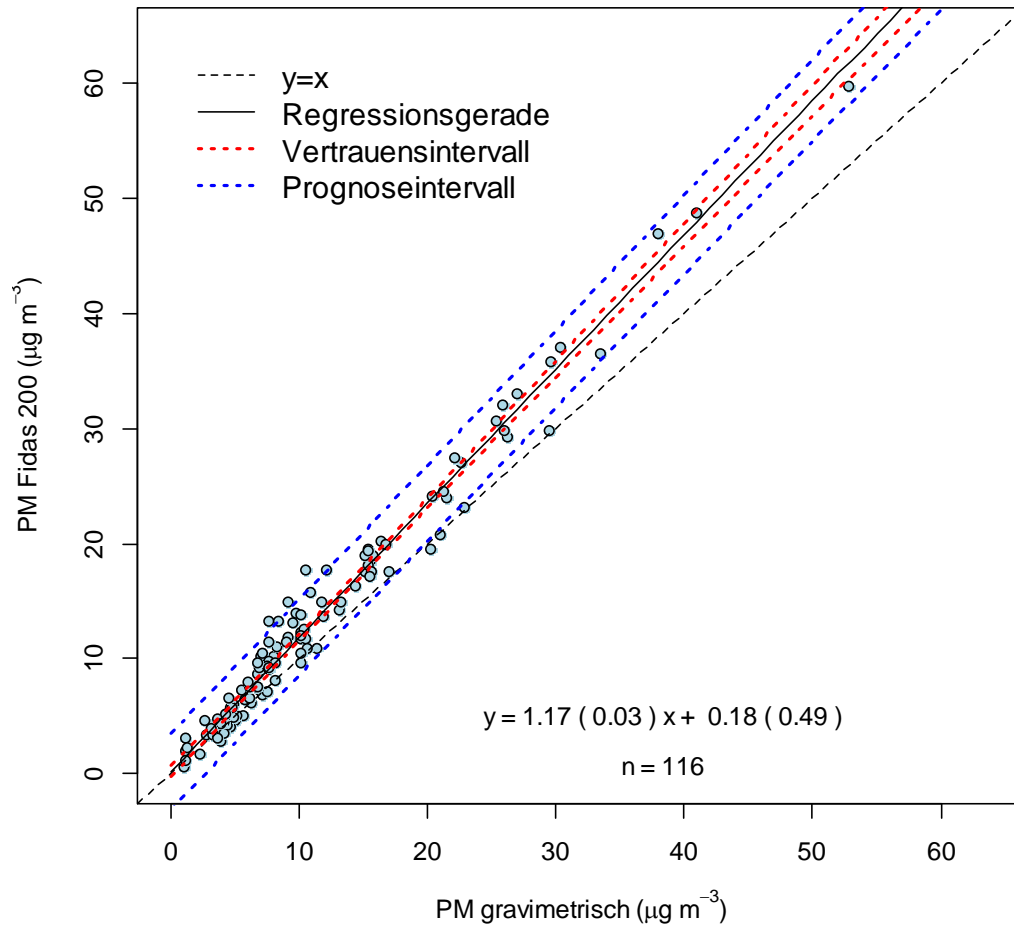
Basel-Binningen

BAS ; PM10

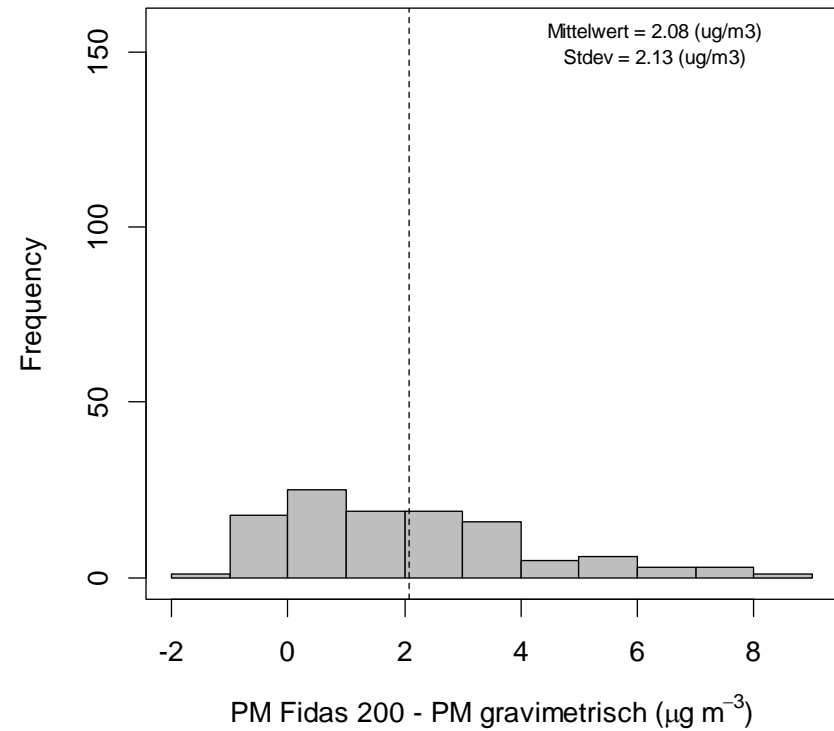


Basel-Binningen

BAS ; PM2.5

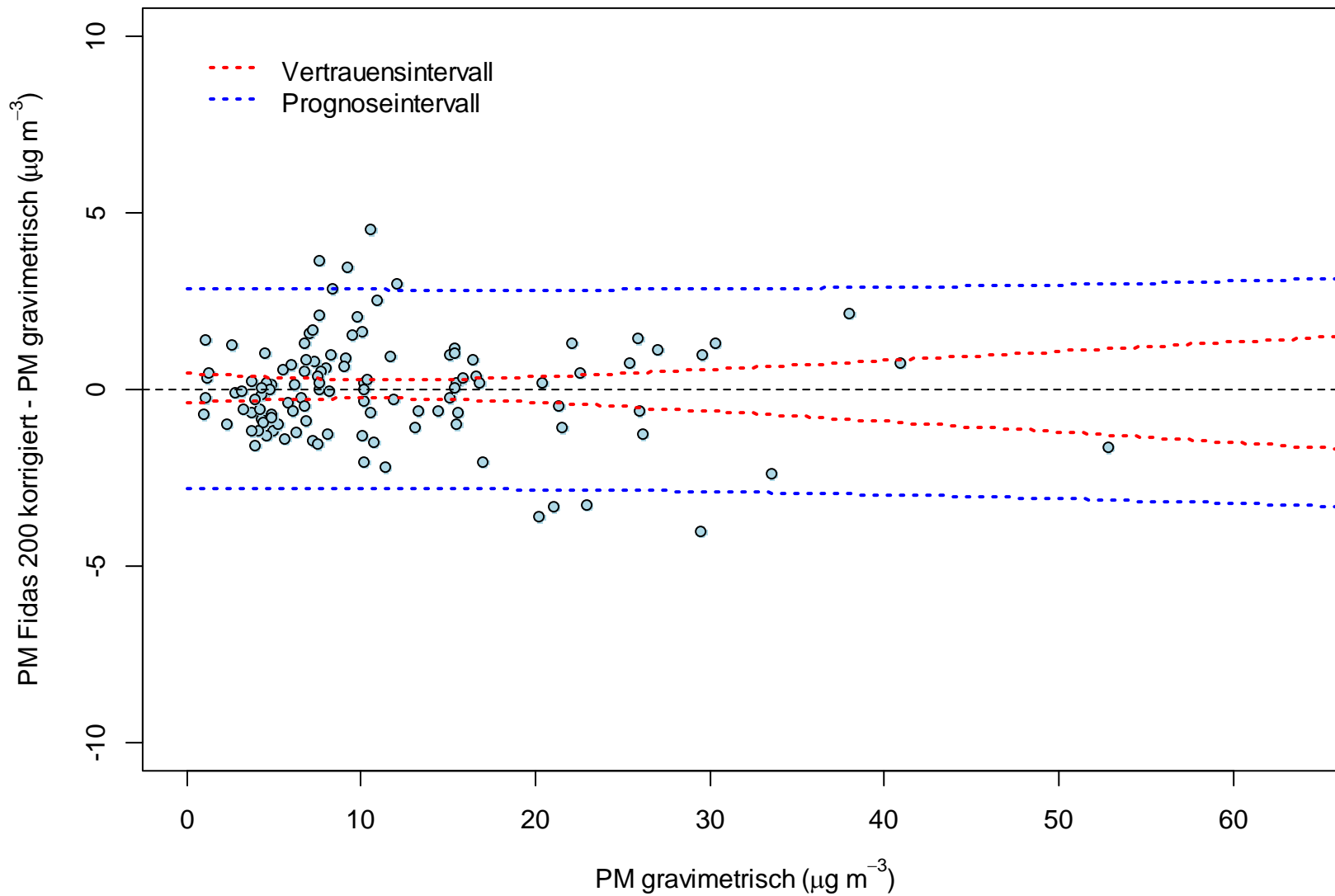


BAS ; PM2.5

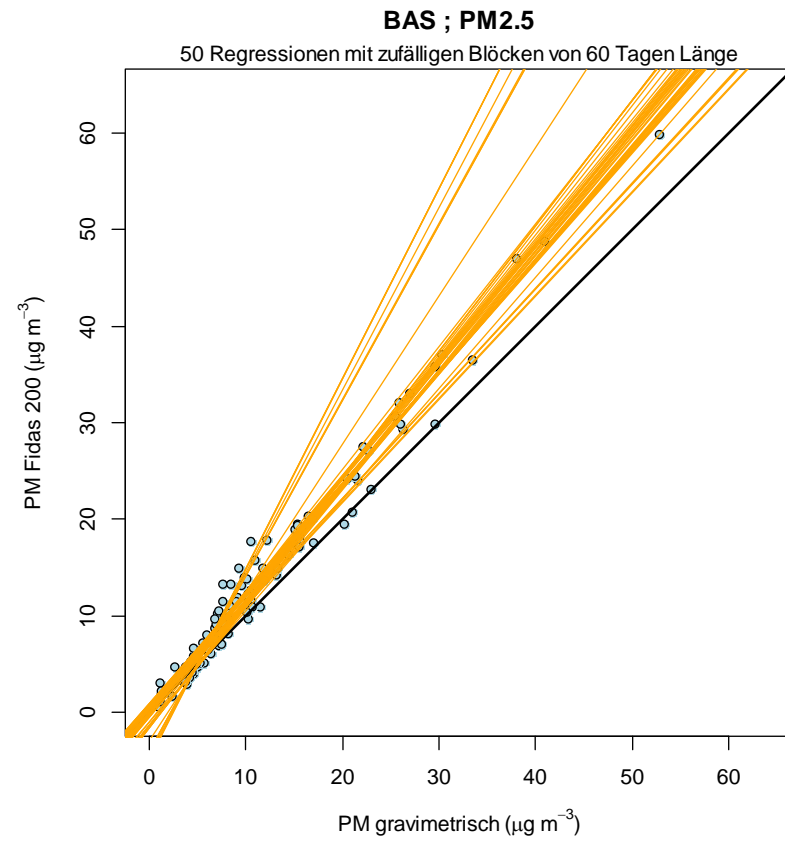
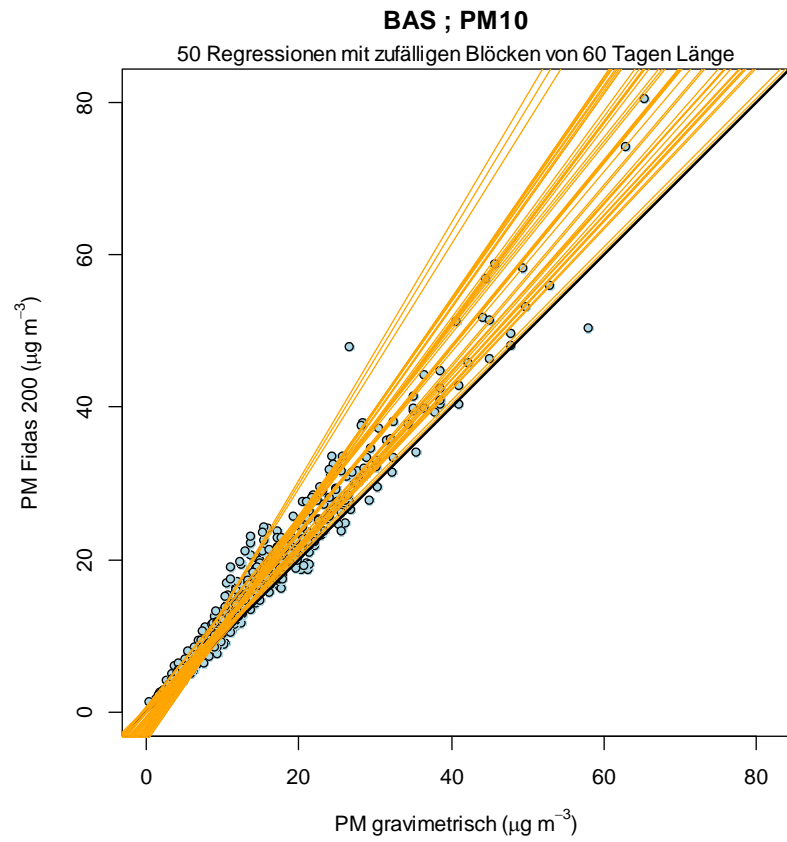


Basel-Binningen

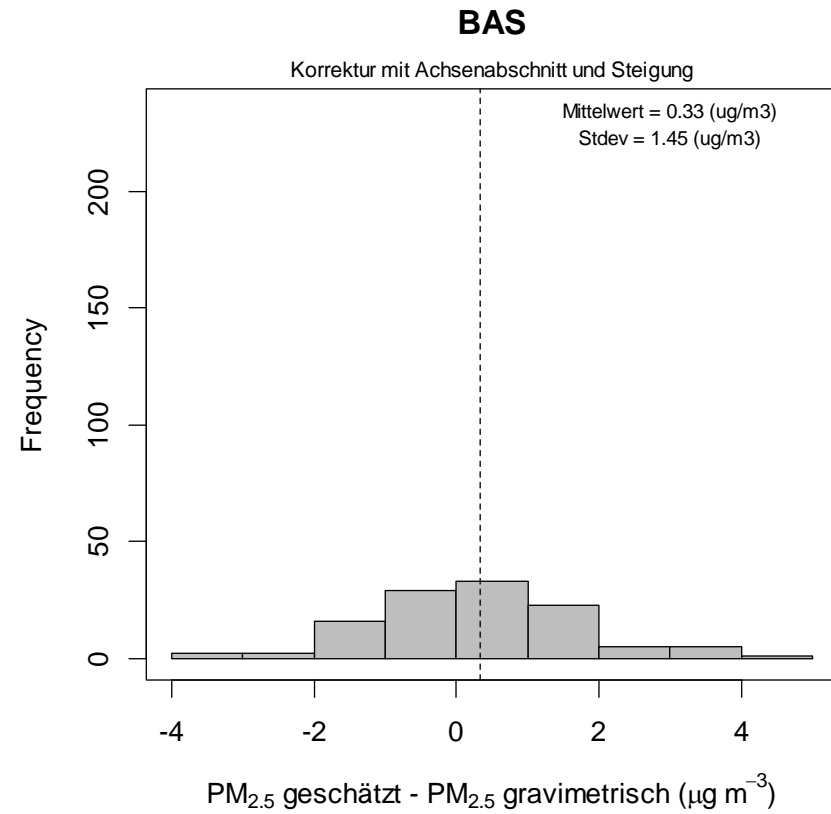
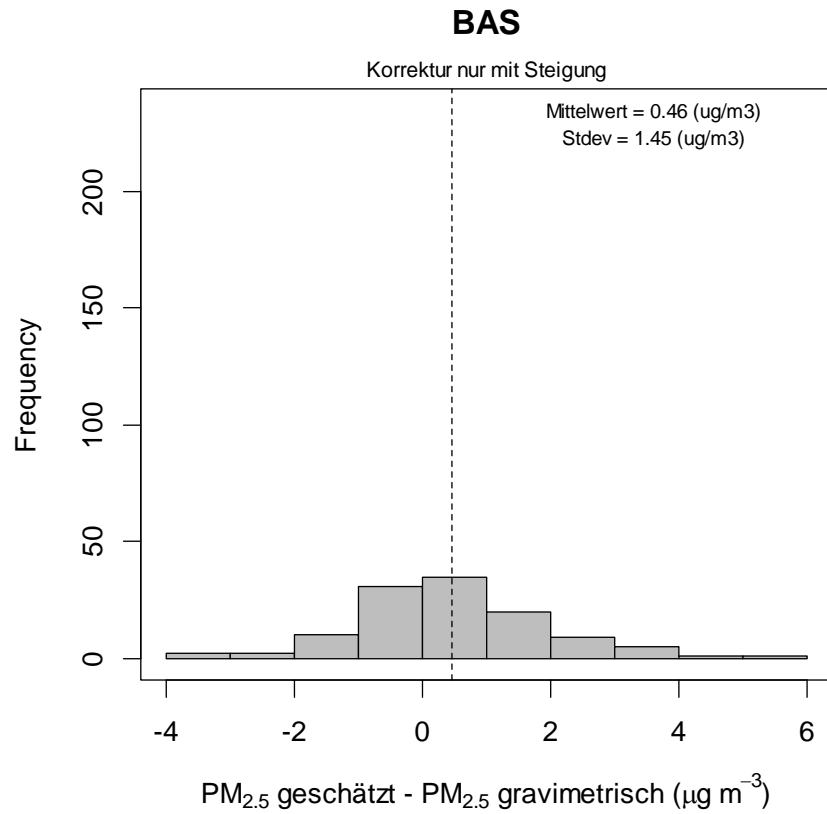
BAS ; PM2.5



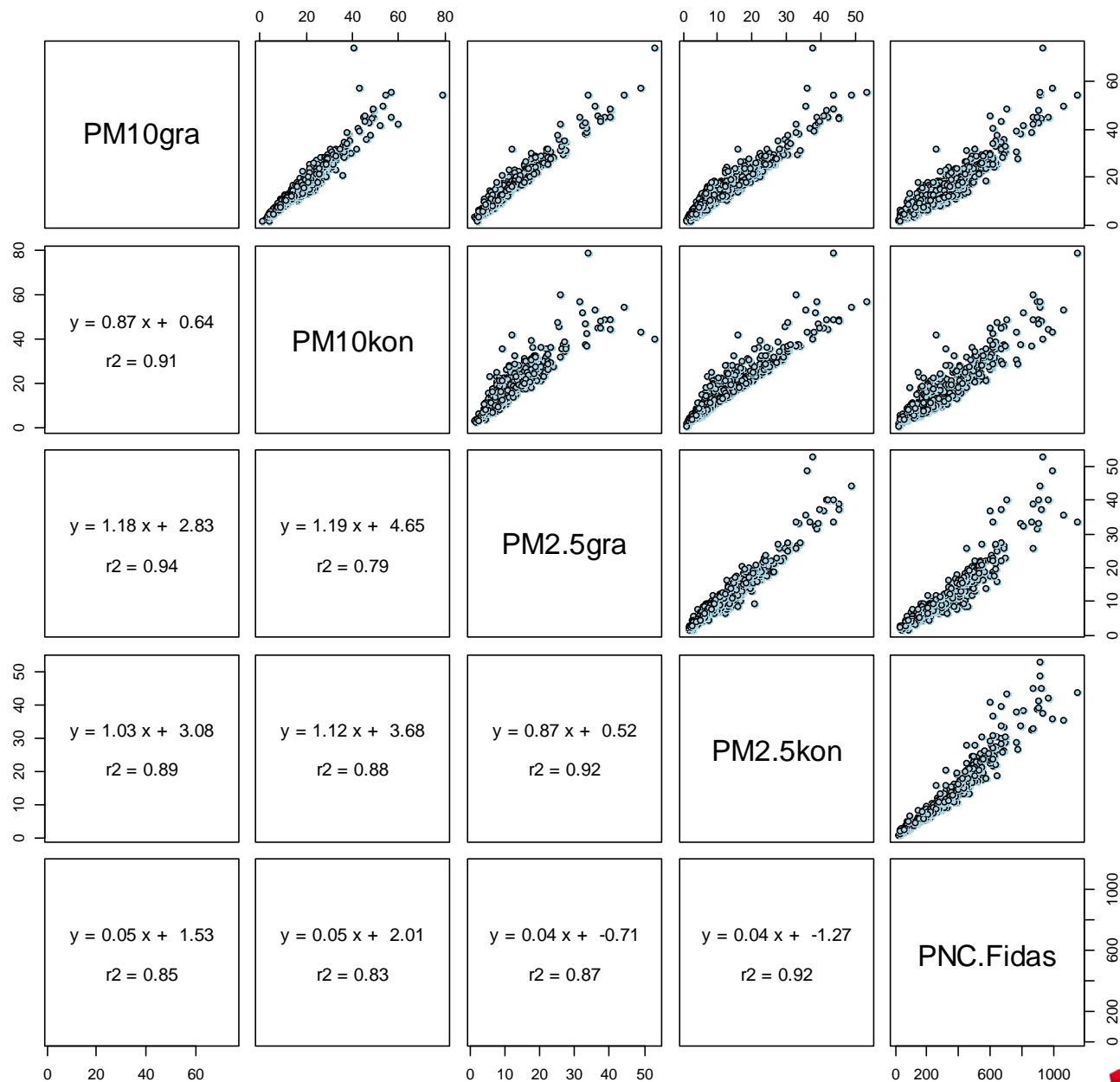
Basel-Binningen



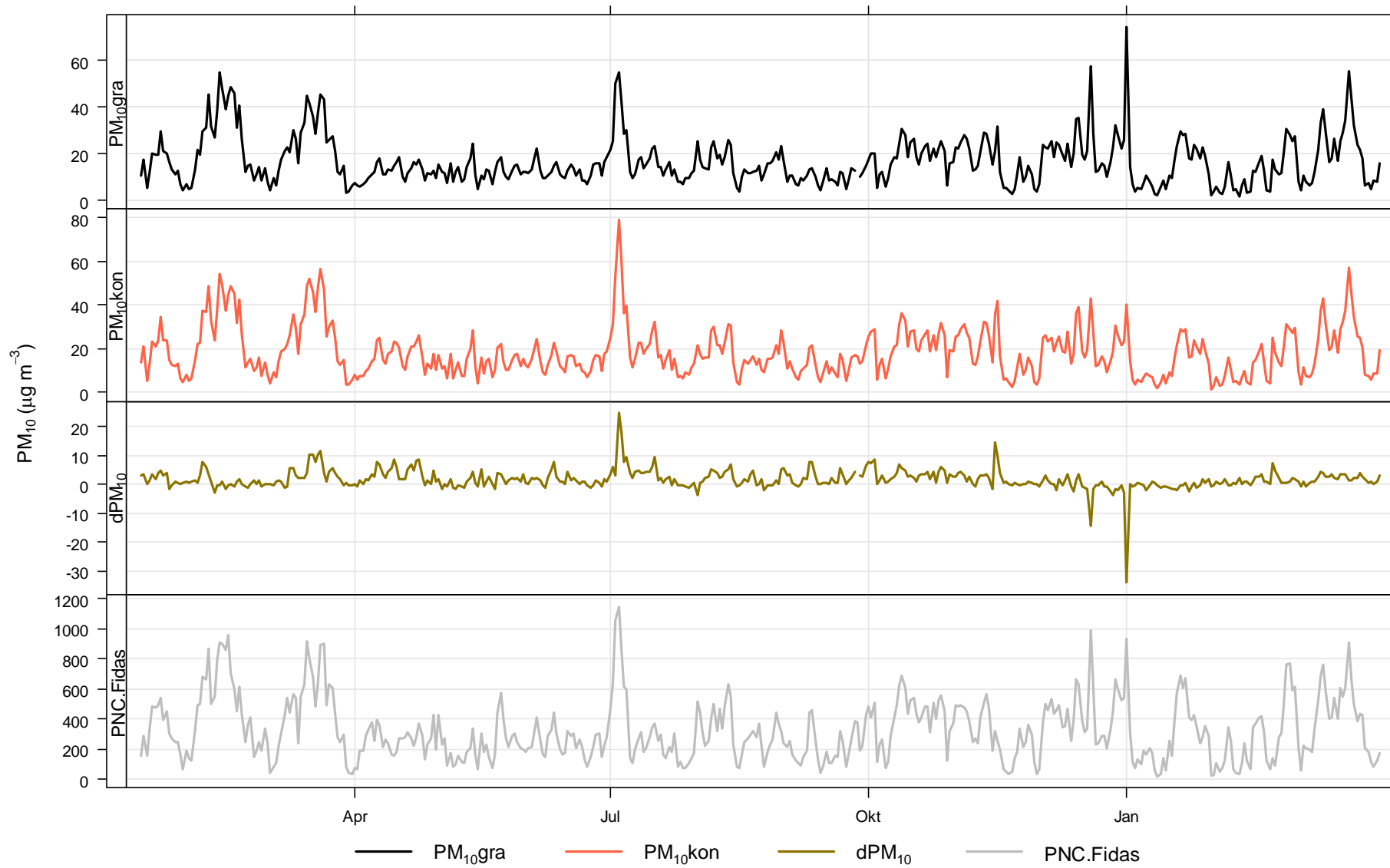
Basel-Binnungen



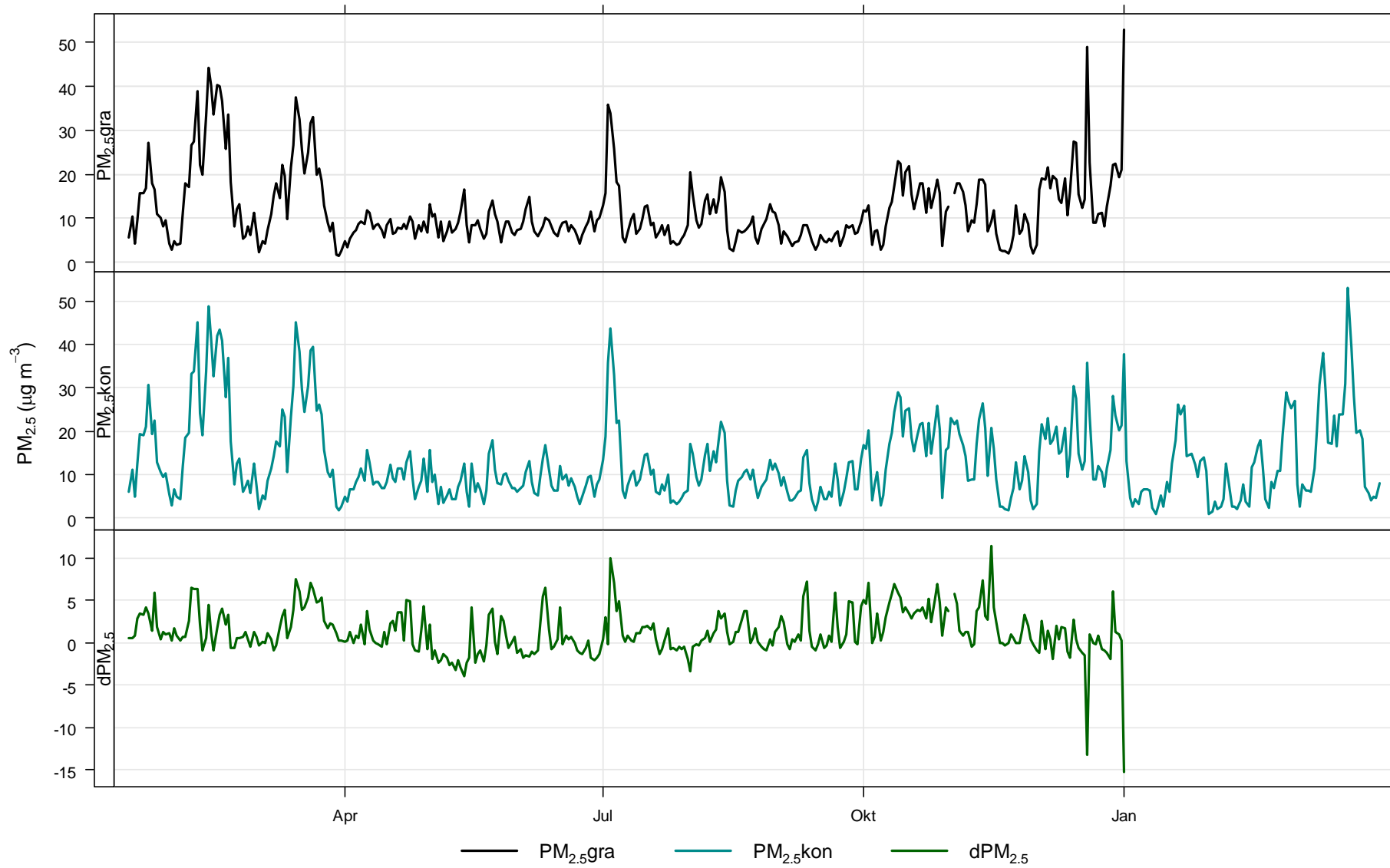
Zürich-Kaserne



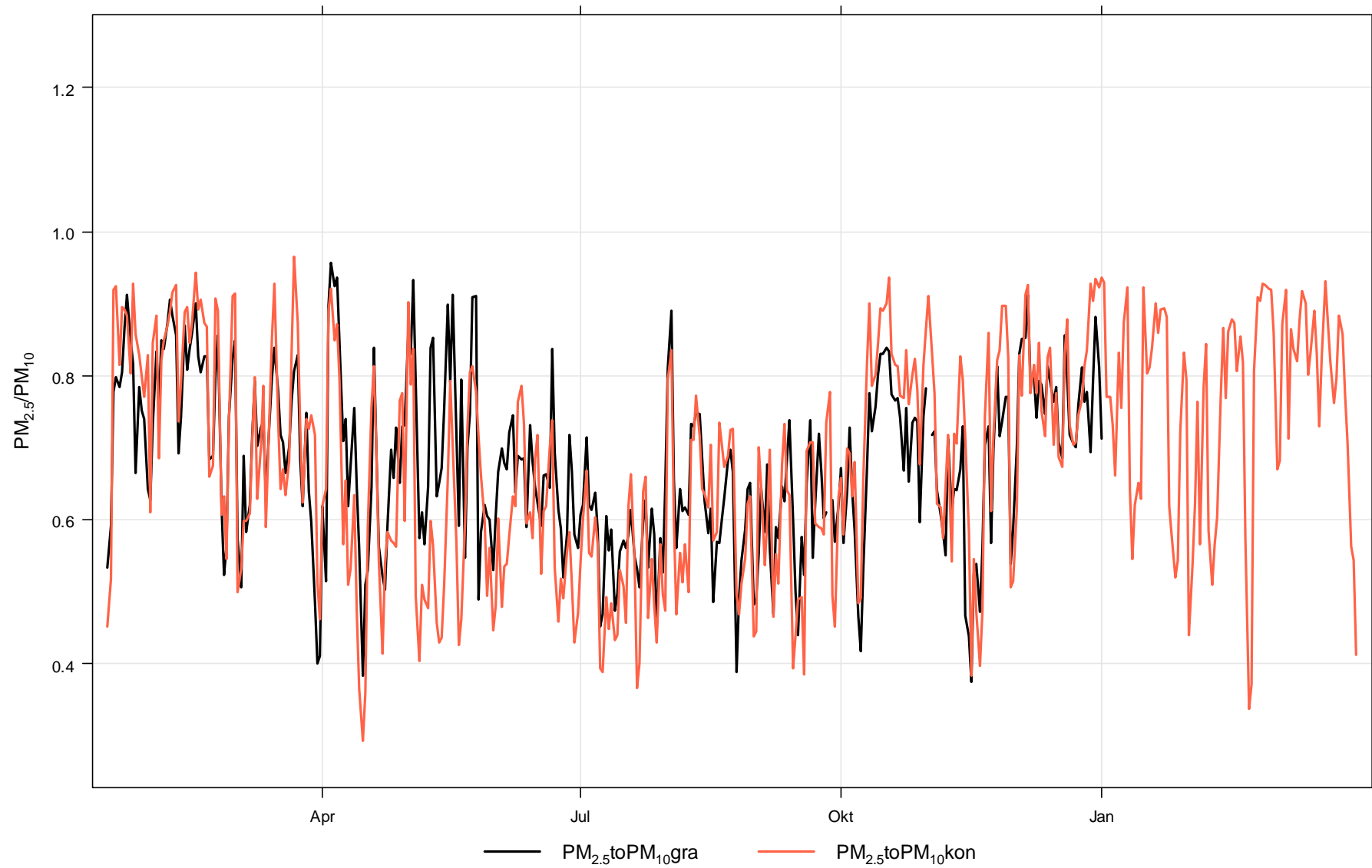
Zürich-Kaserne



Zürich-Kaserne

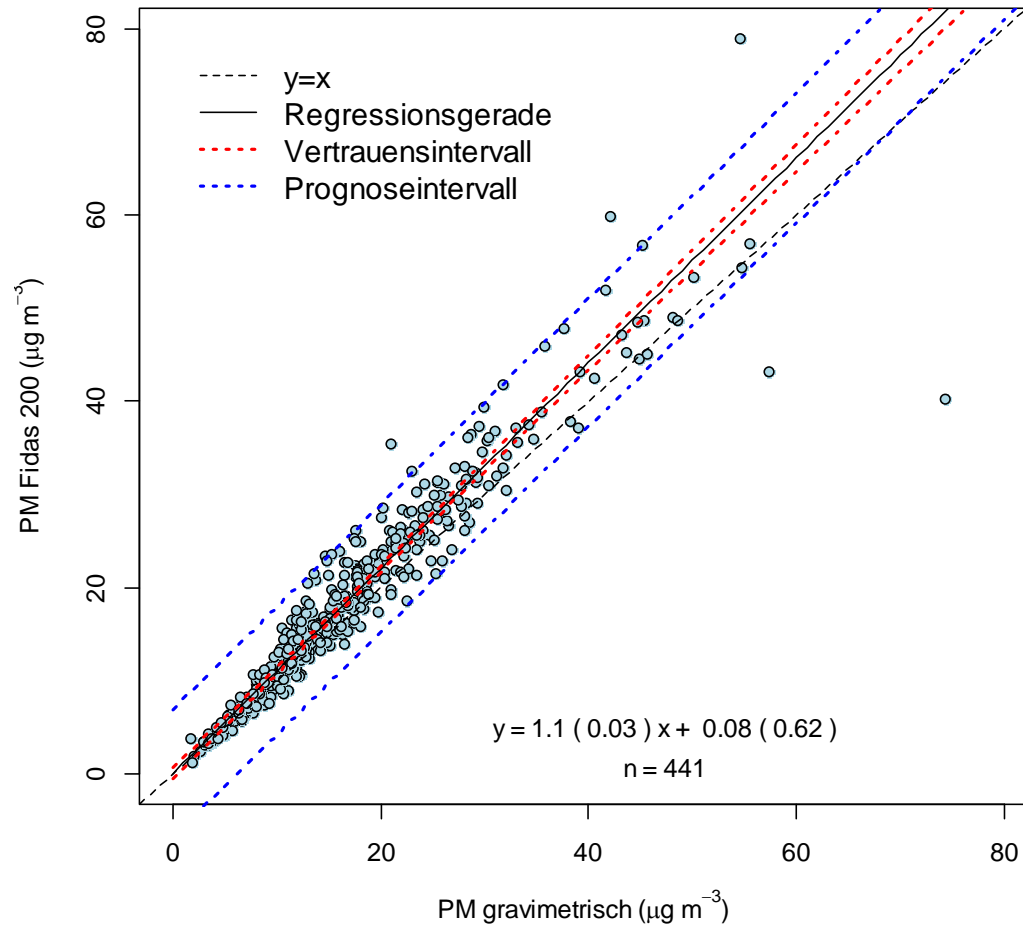


Zürich-Kaserne

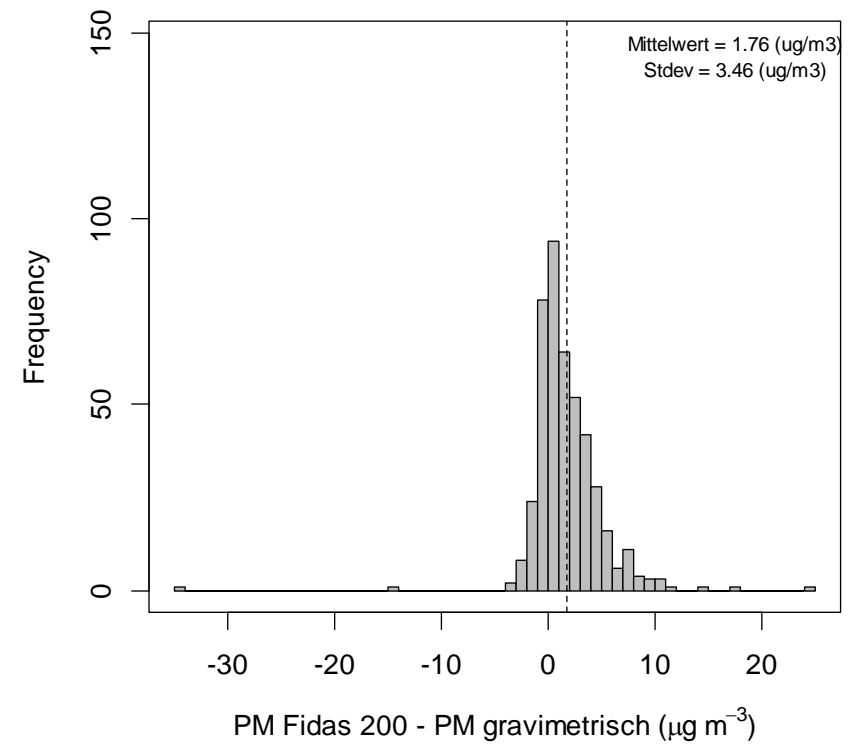


Zürich-Kaserne

ZUE ; PM10

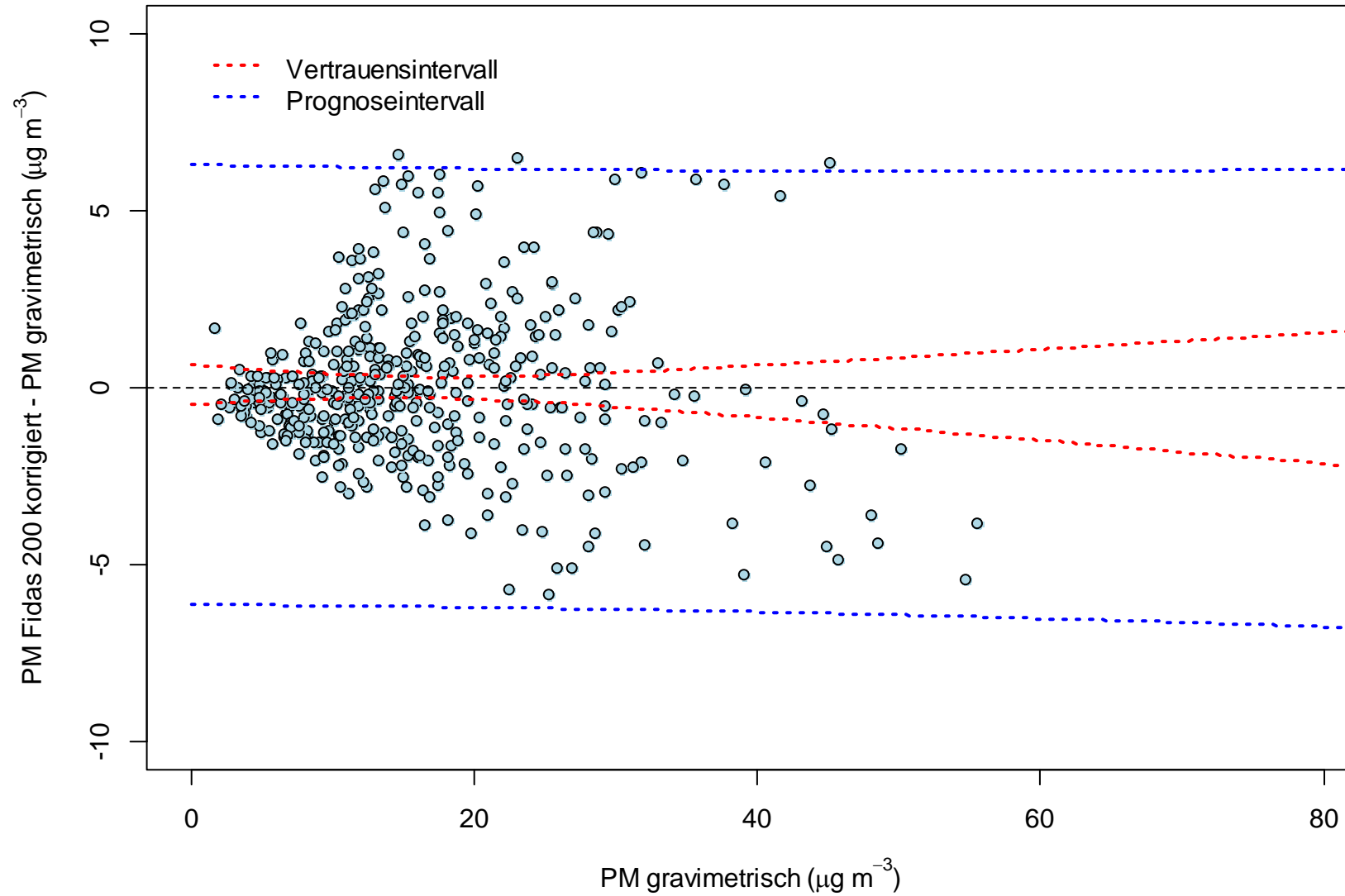


ZUE ; PM10



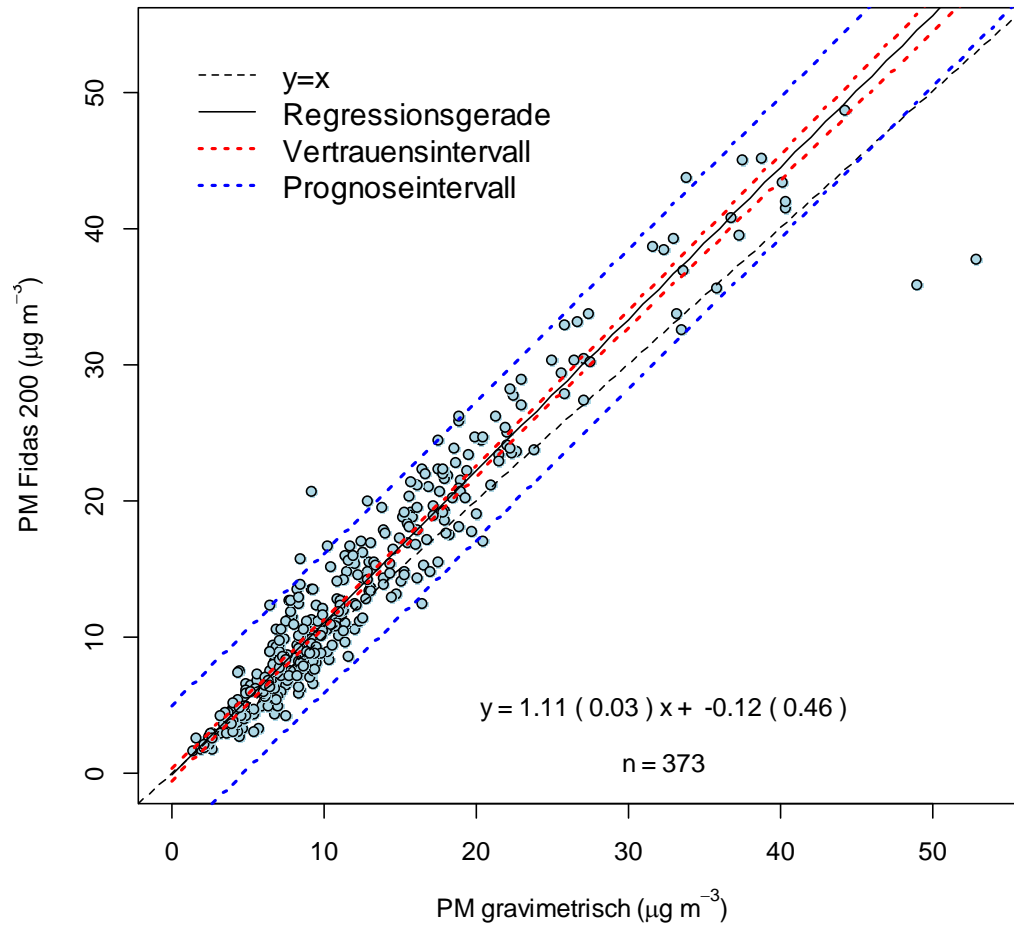
Zürich-Kaserne

ZUE ; PM10

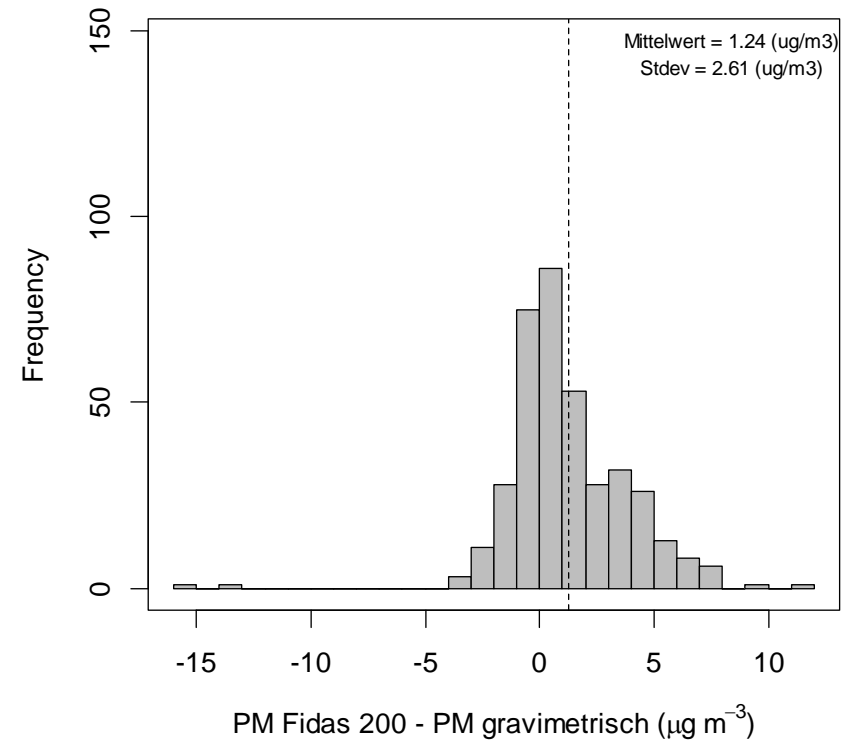


Zürich-Kaserne

ZUE ; PM2.5

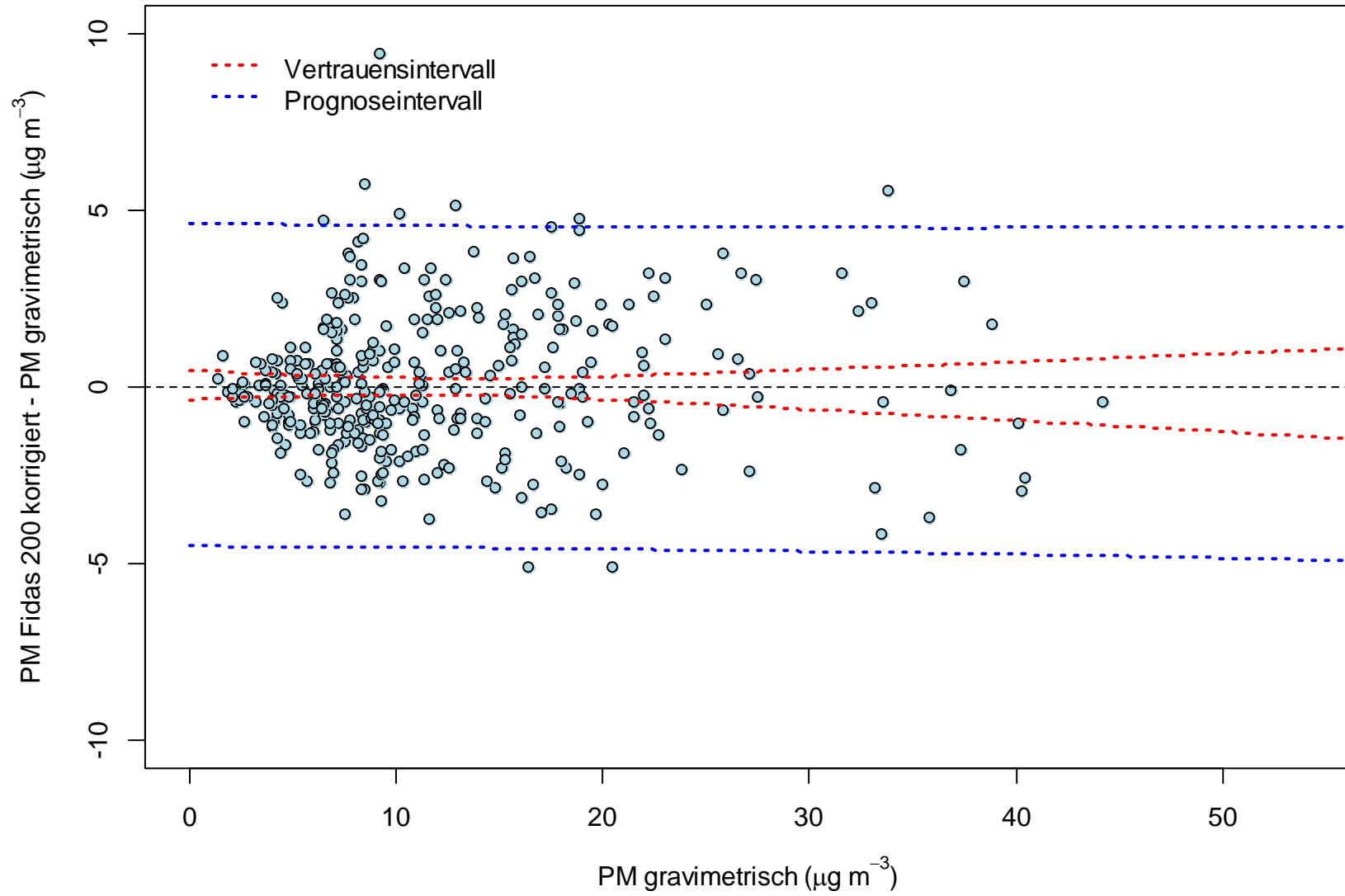


ZUE ; PM2.5

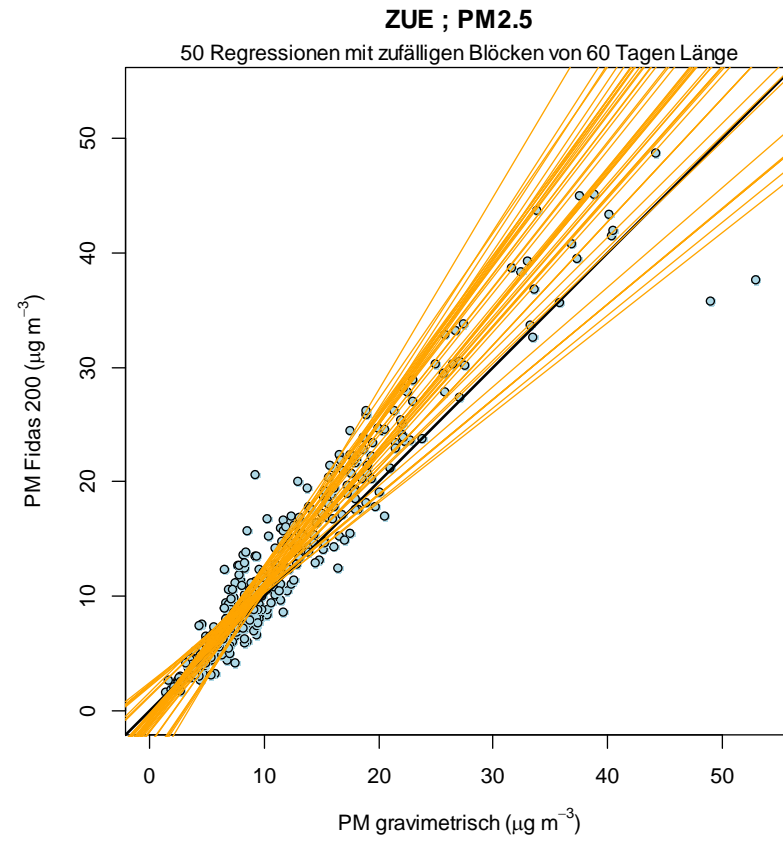
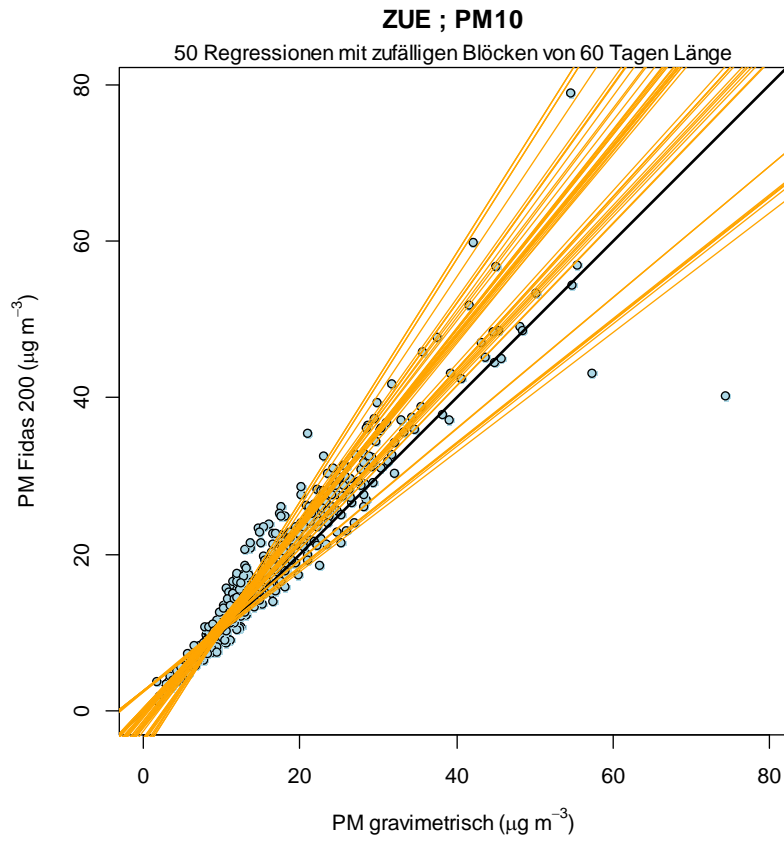


Zürich-Kaserne

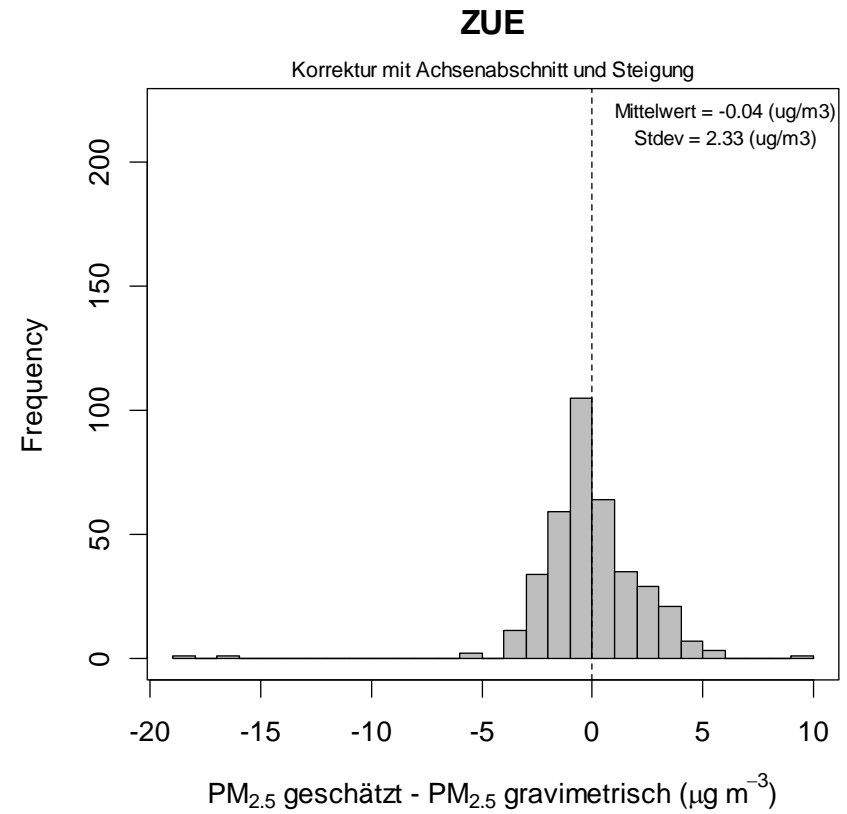
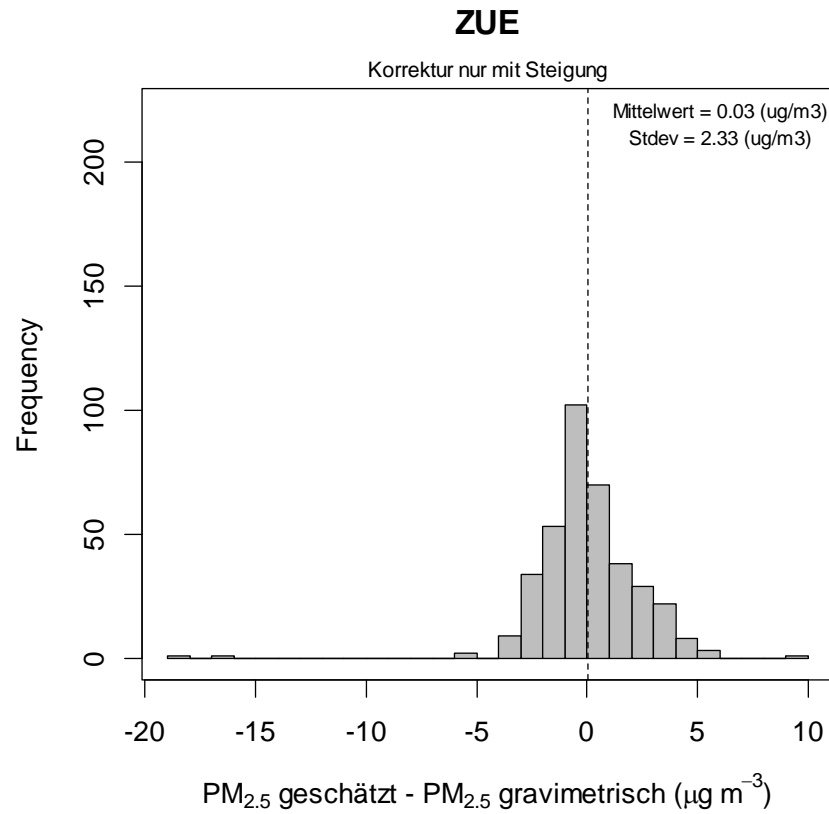
ZUE ; PM2.5



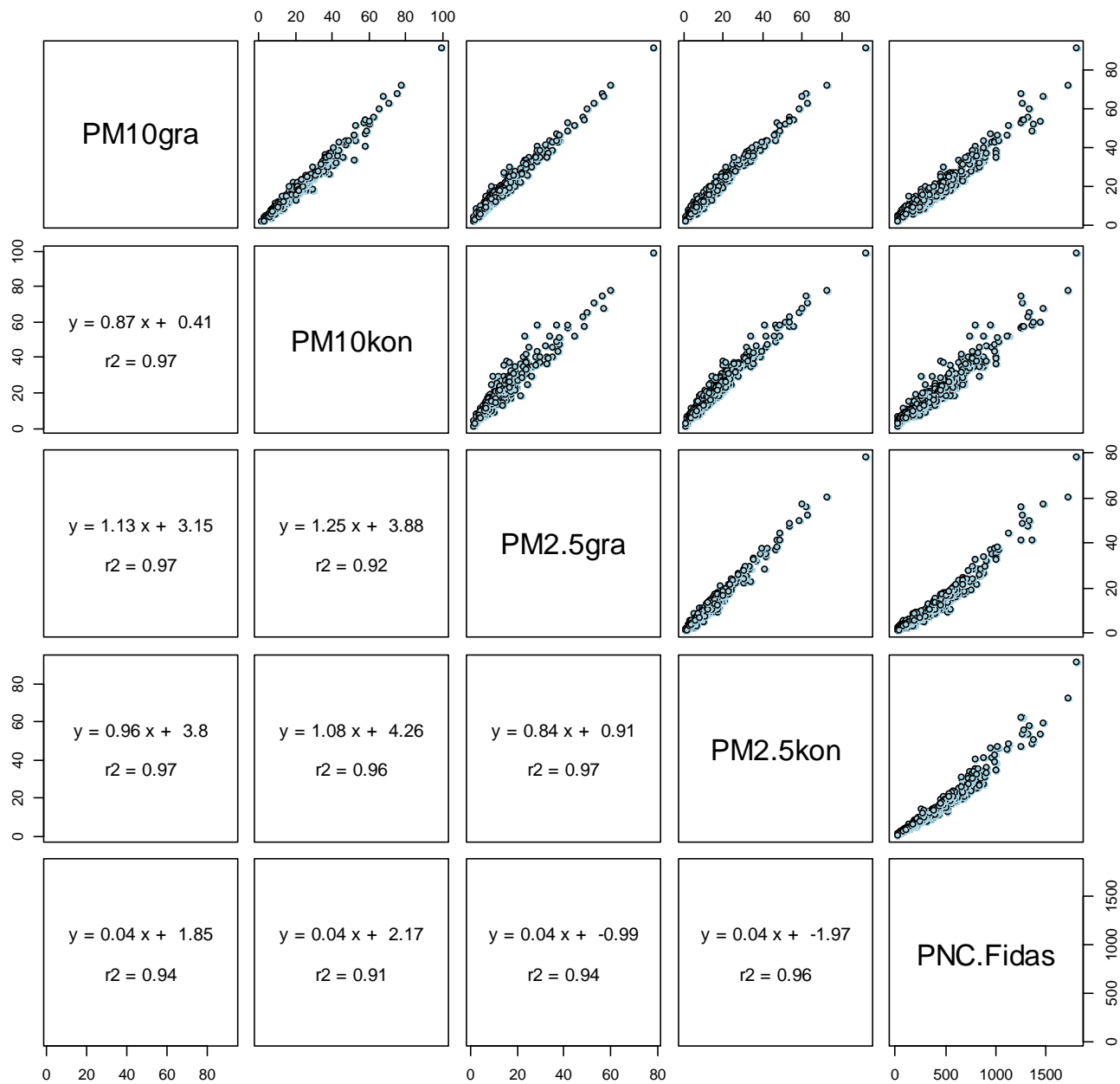
Zürich-Kaserne



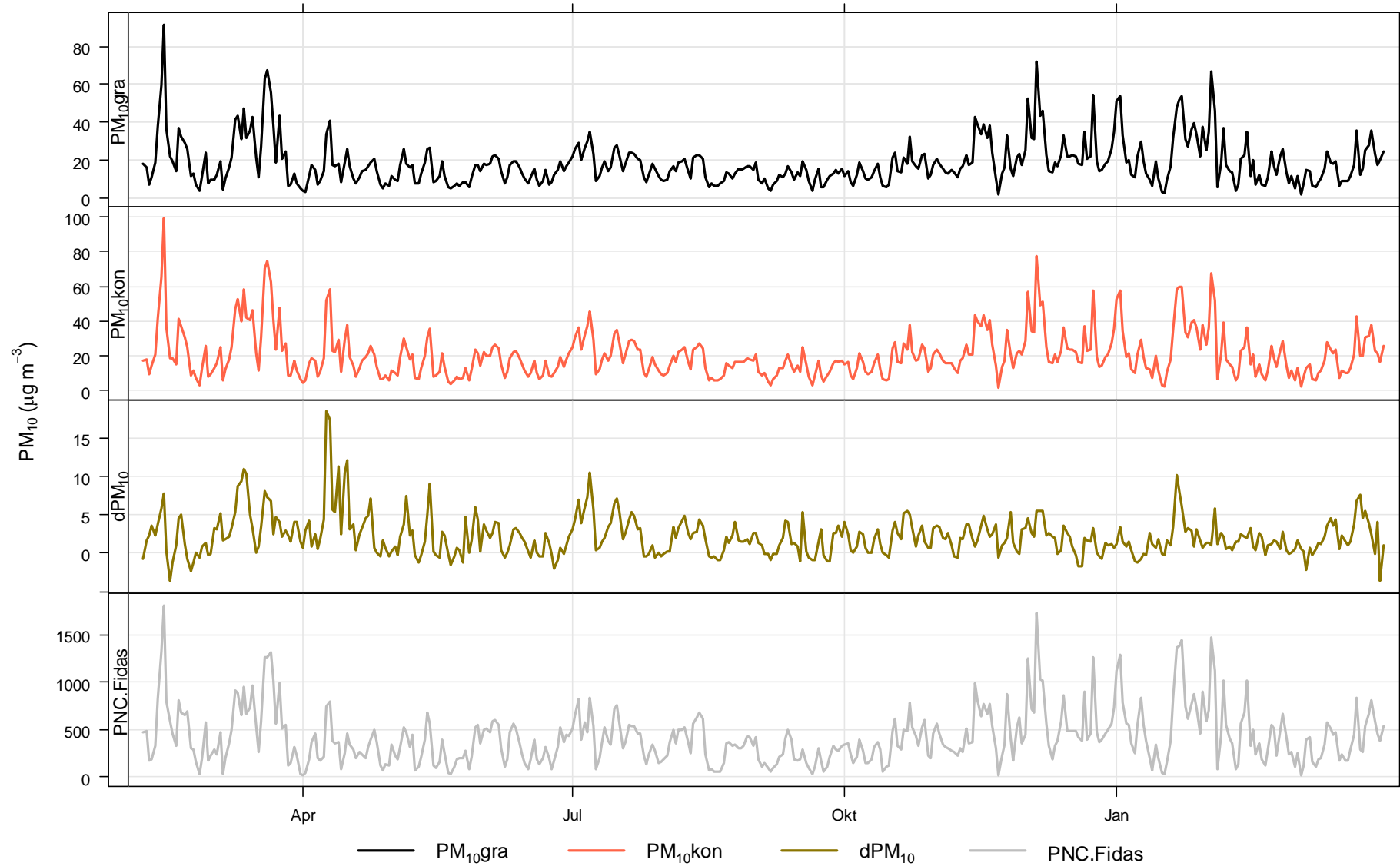
Zürich-Kaserne



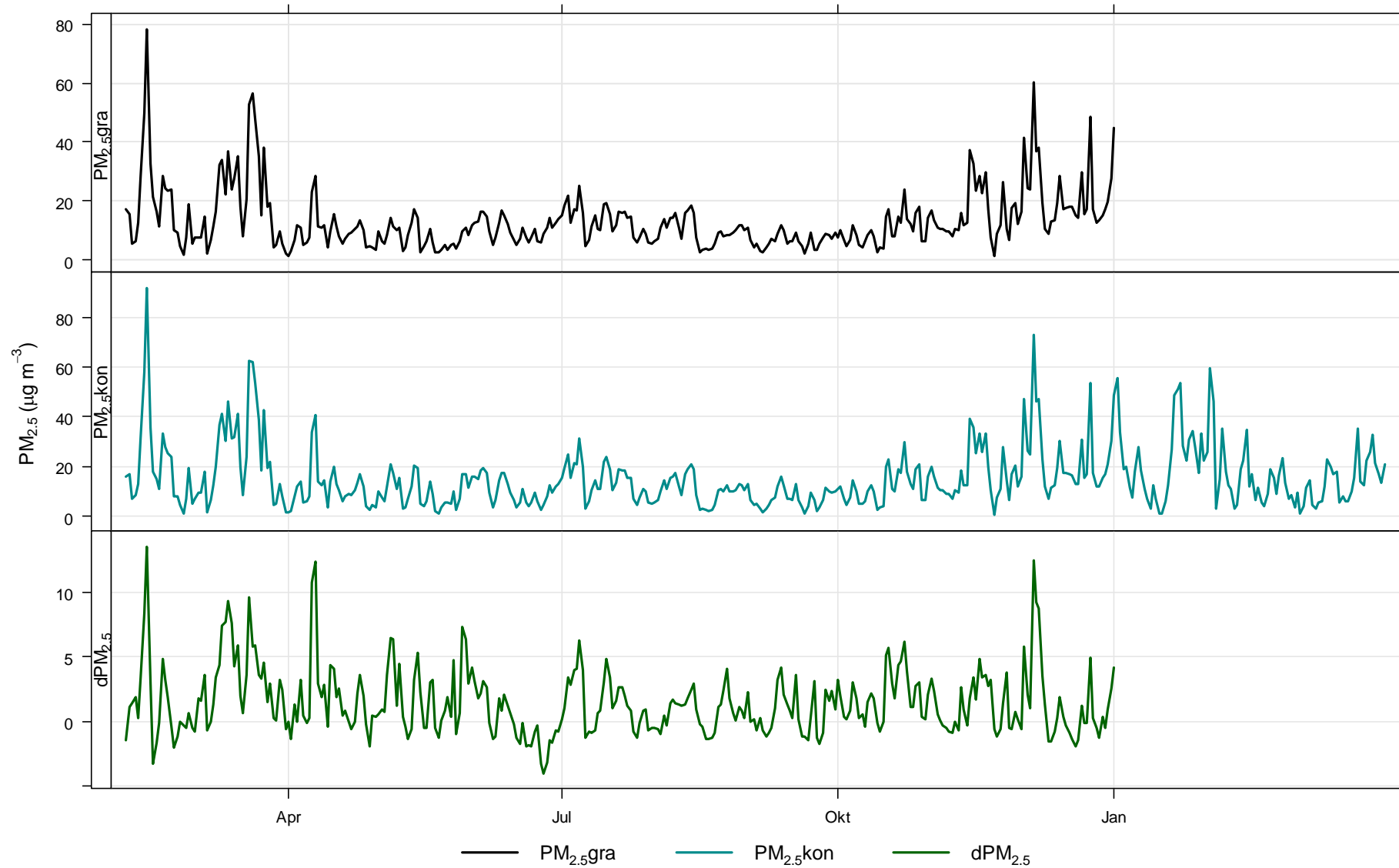
Lugano-Università



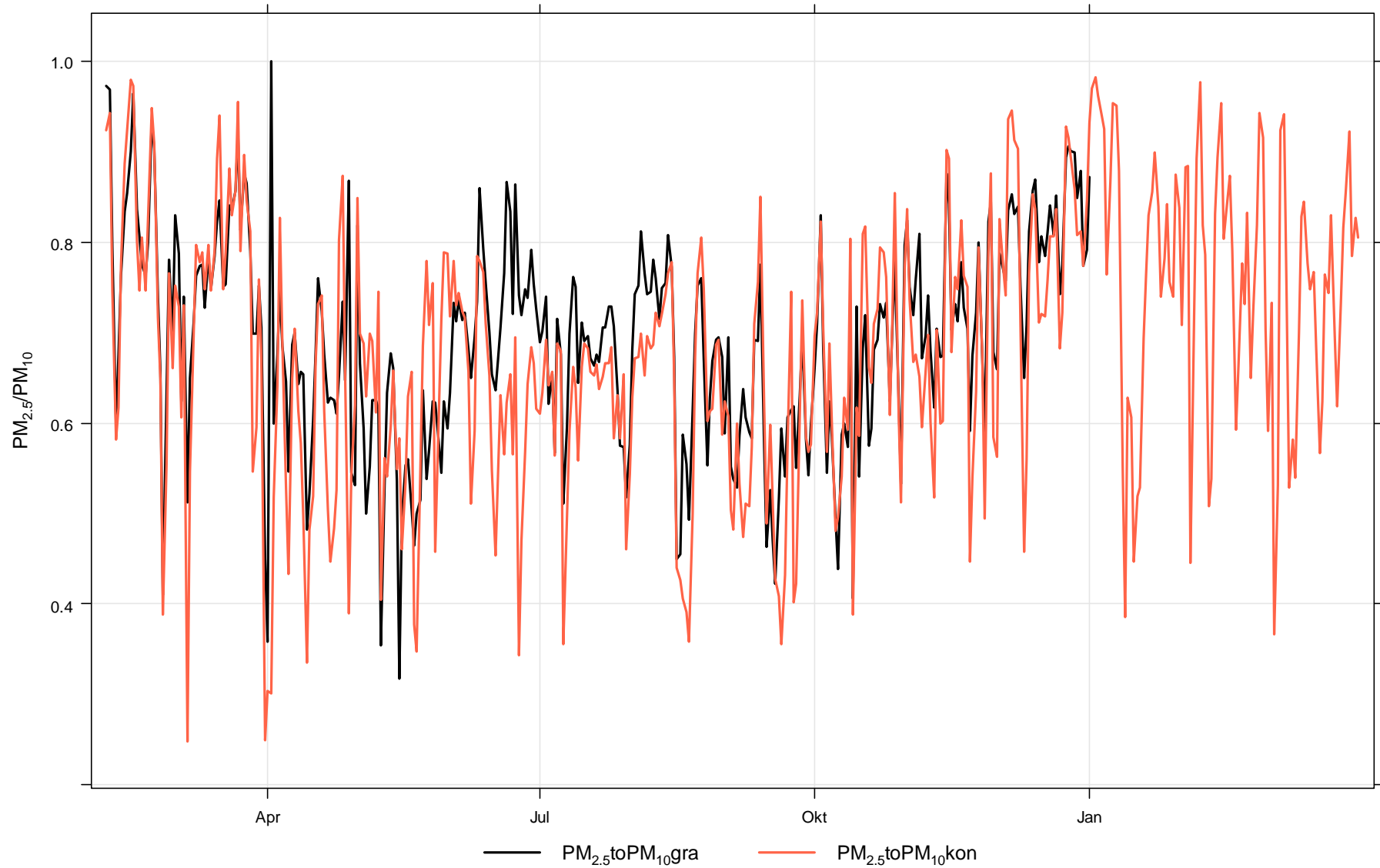
Lugano-Università



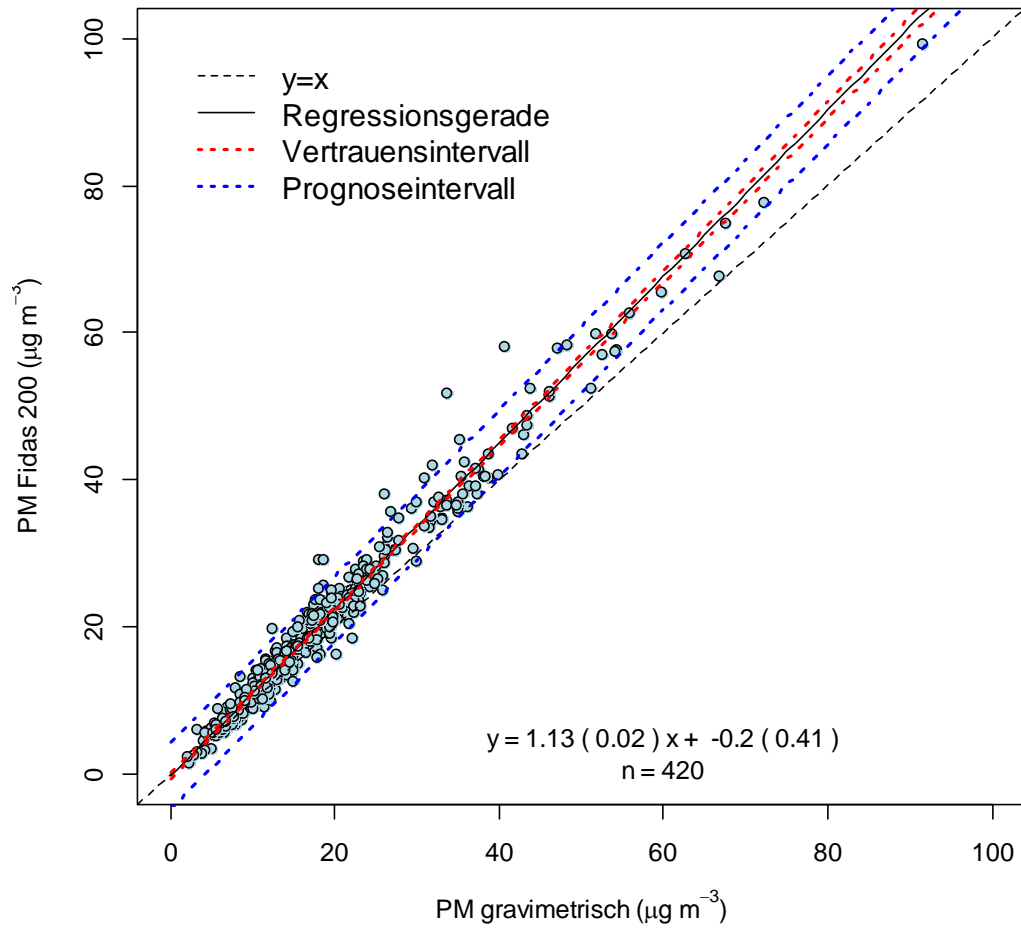
Lugano-Università



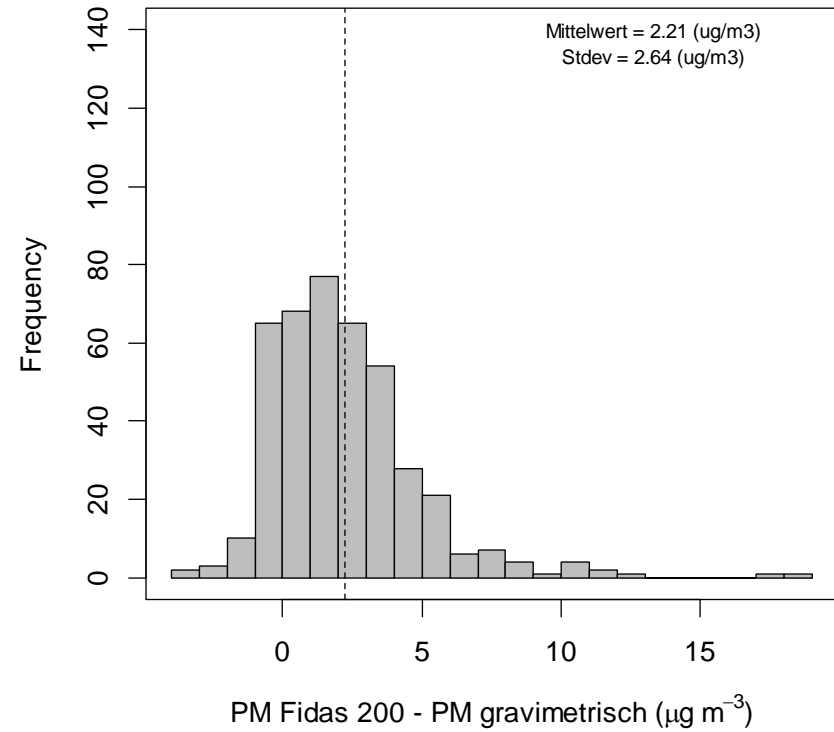
Lugano-Università



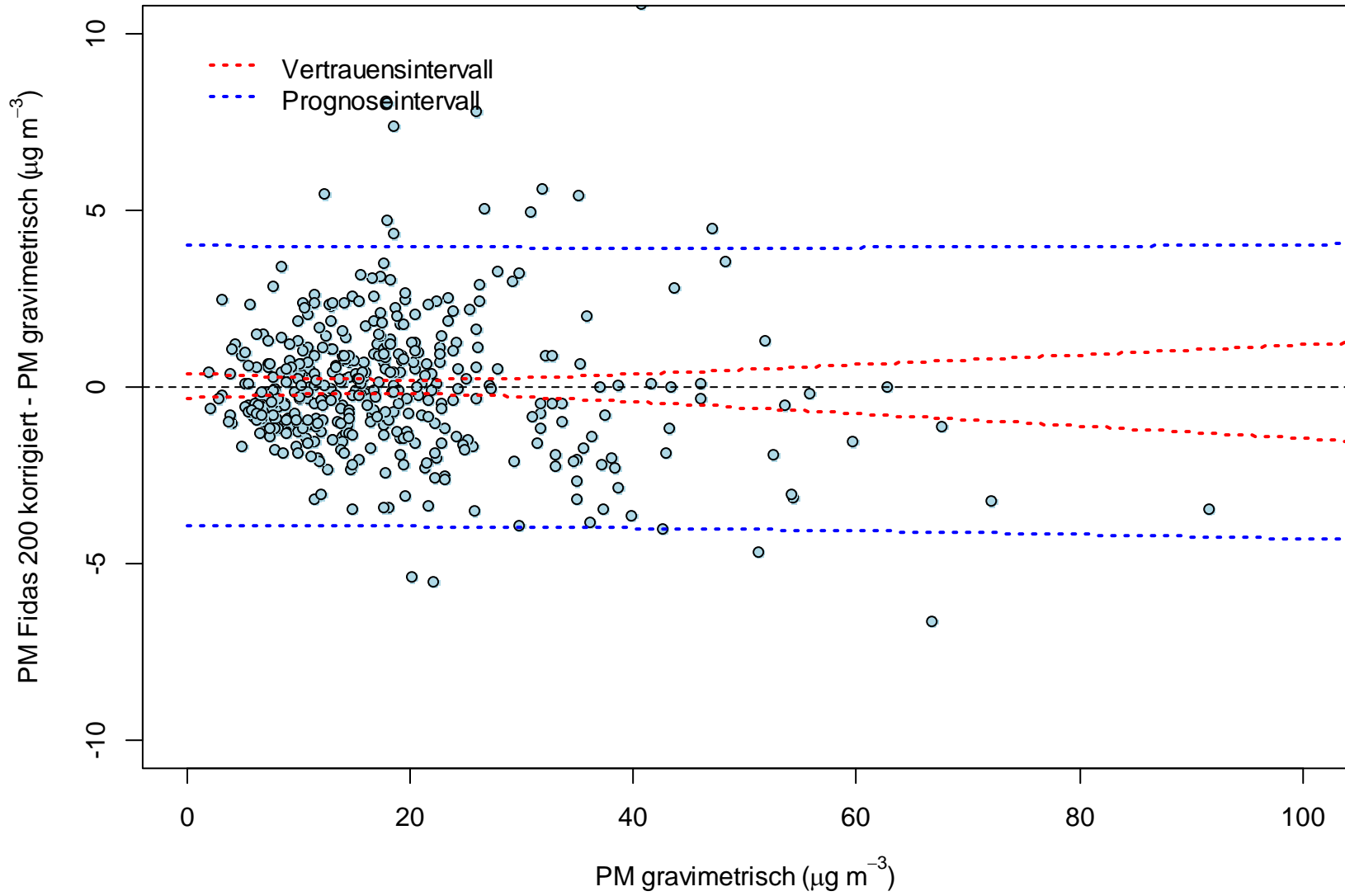
LUG ; PM10



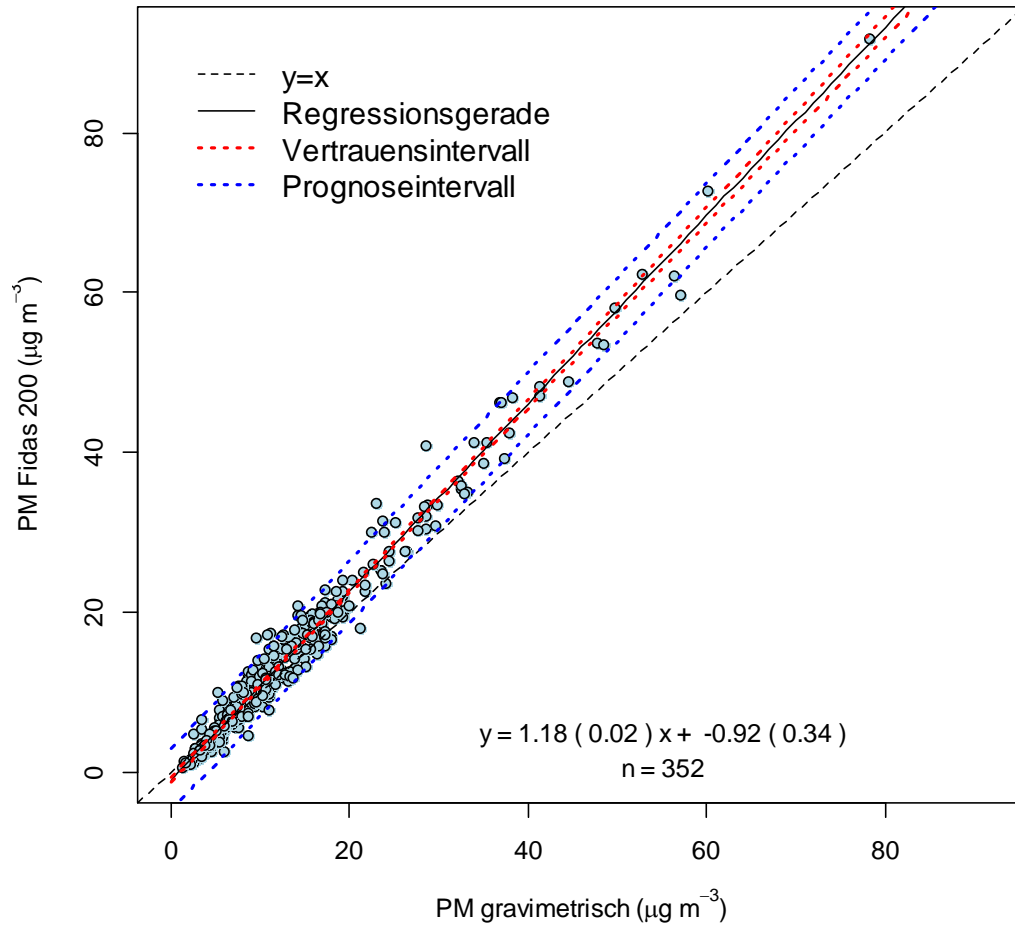
LUG ; PM10



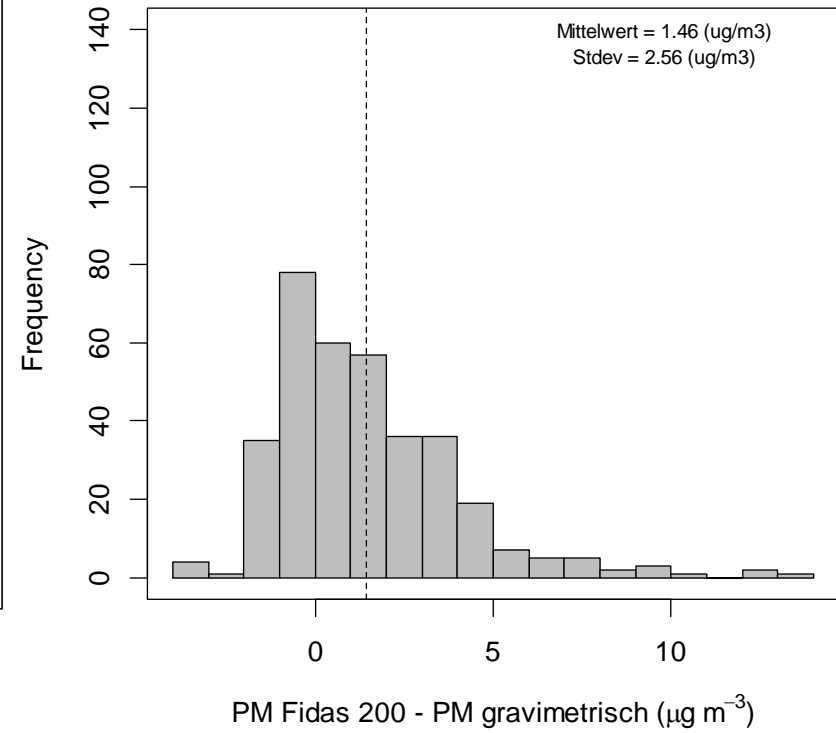
LUG ; PM10



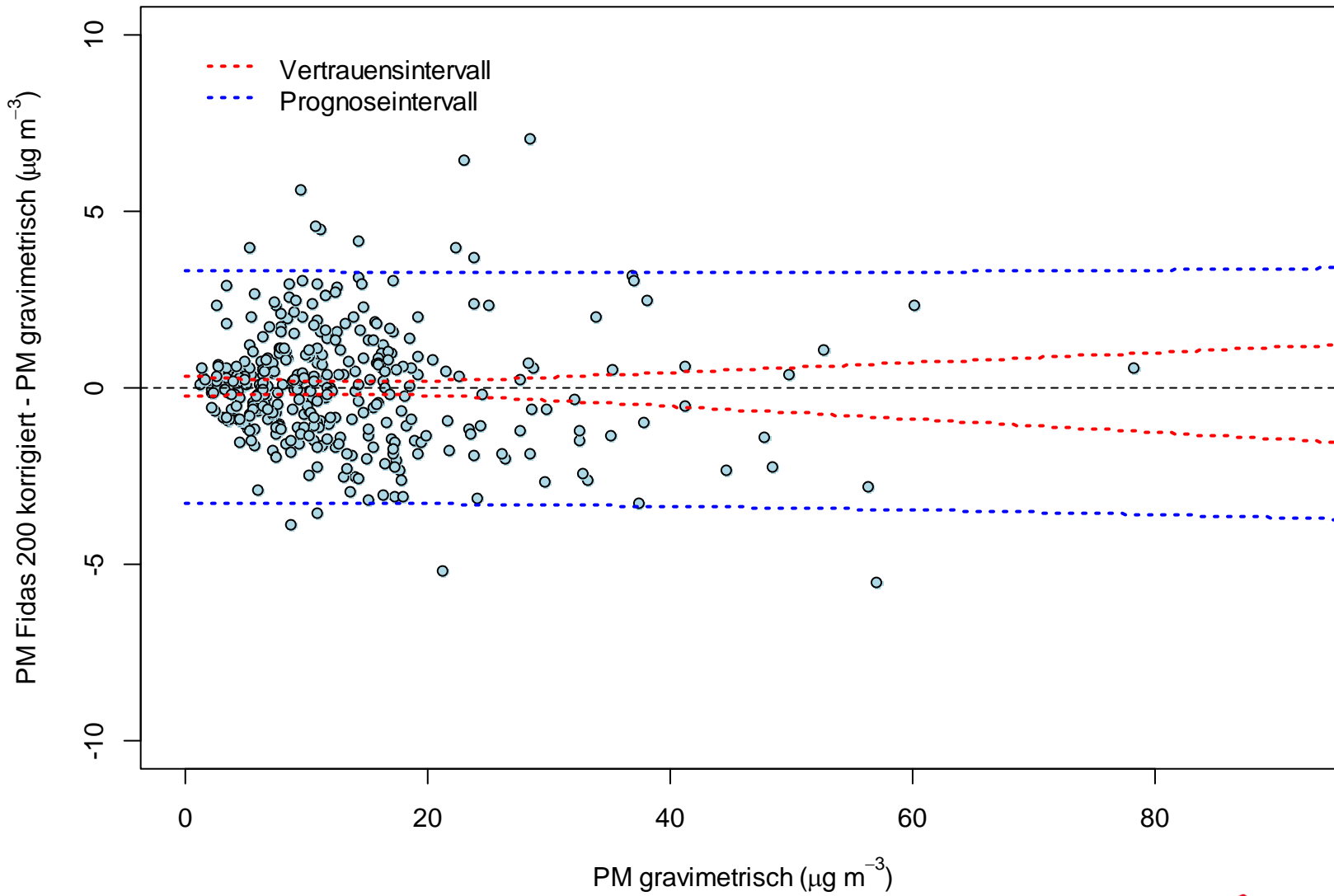
LUG ; PM2.5

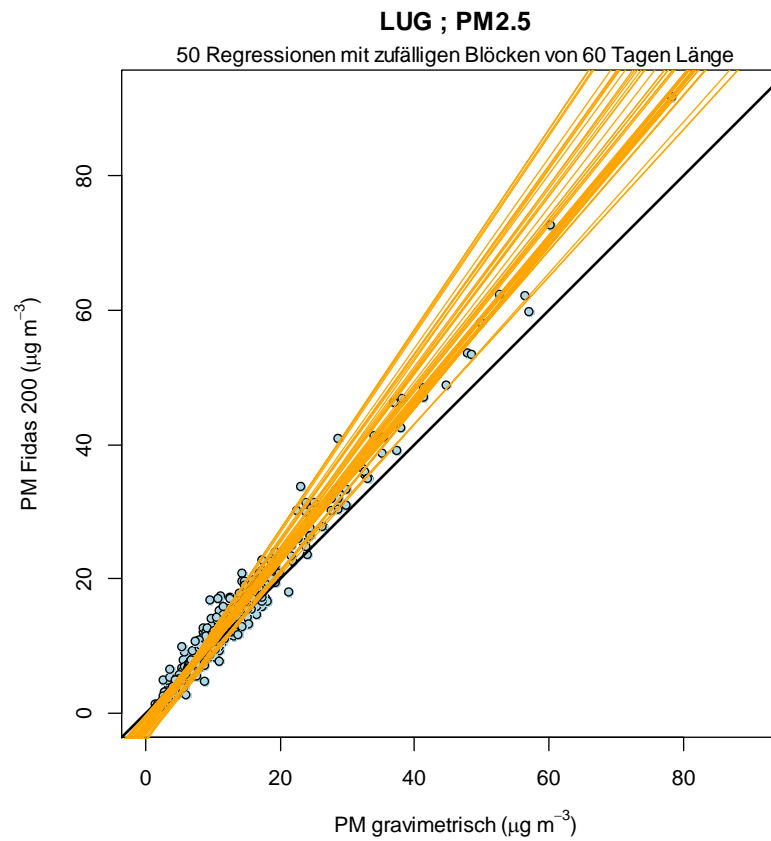
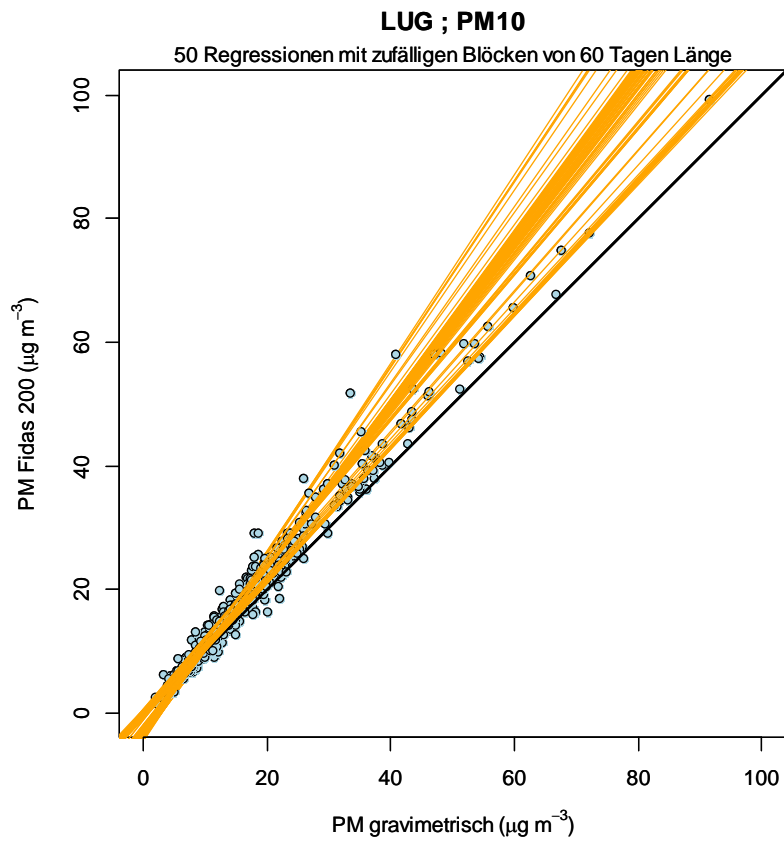


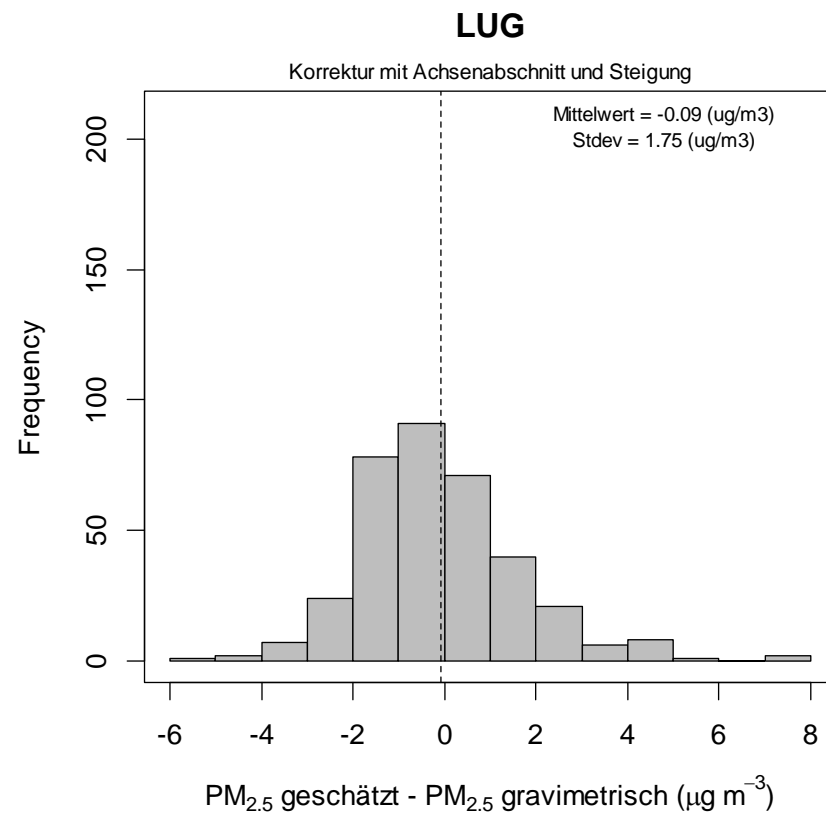
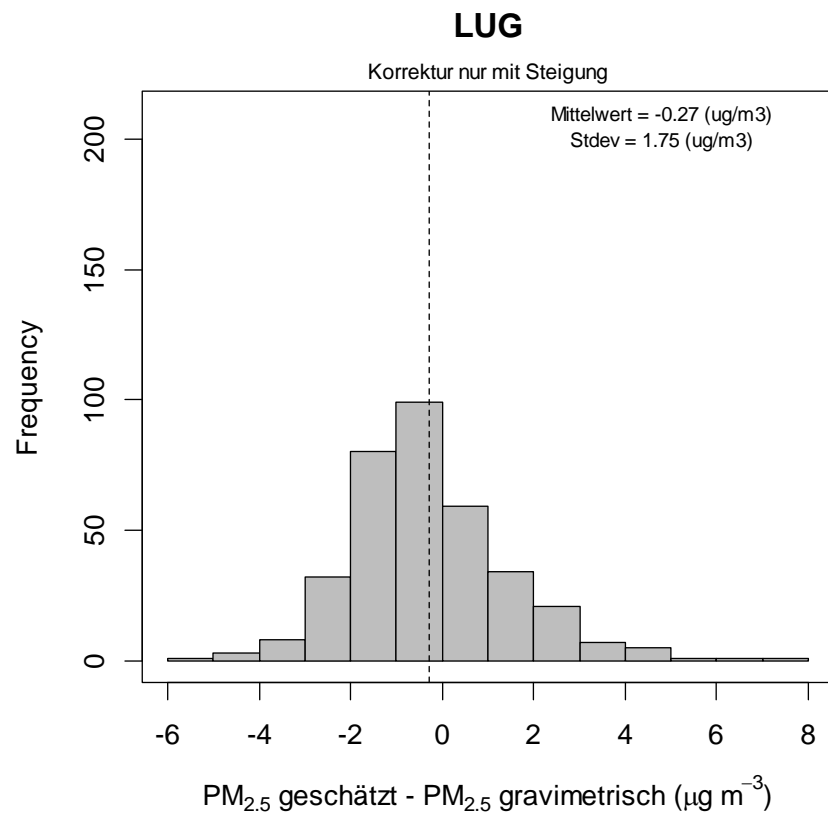
LUG ; PM2.5



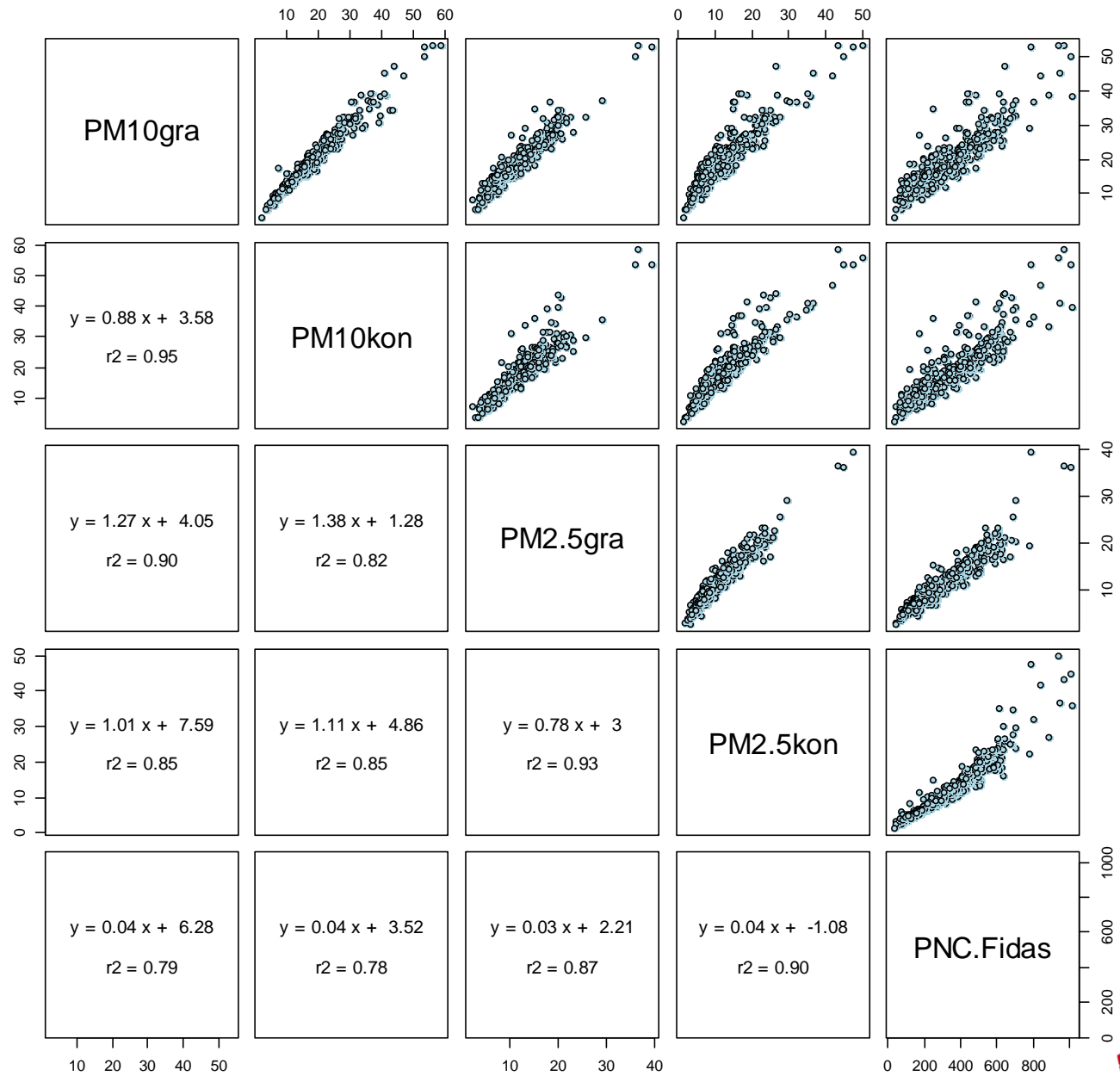
LUG ; PM2.5



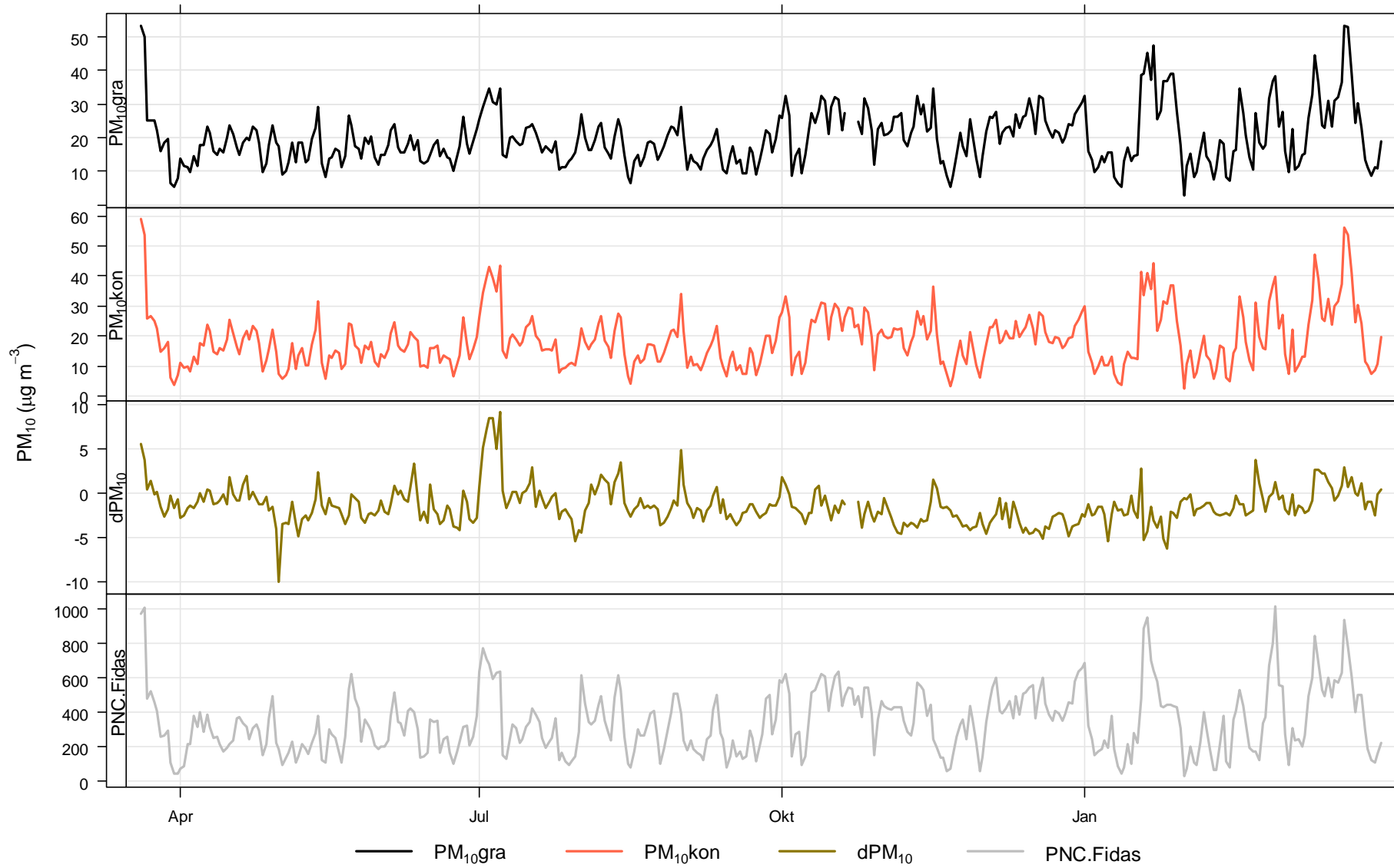




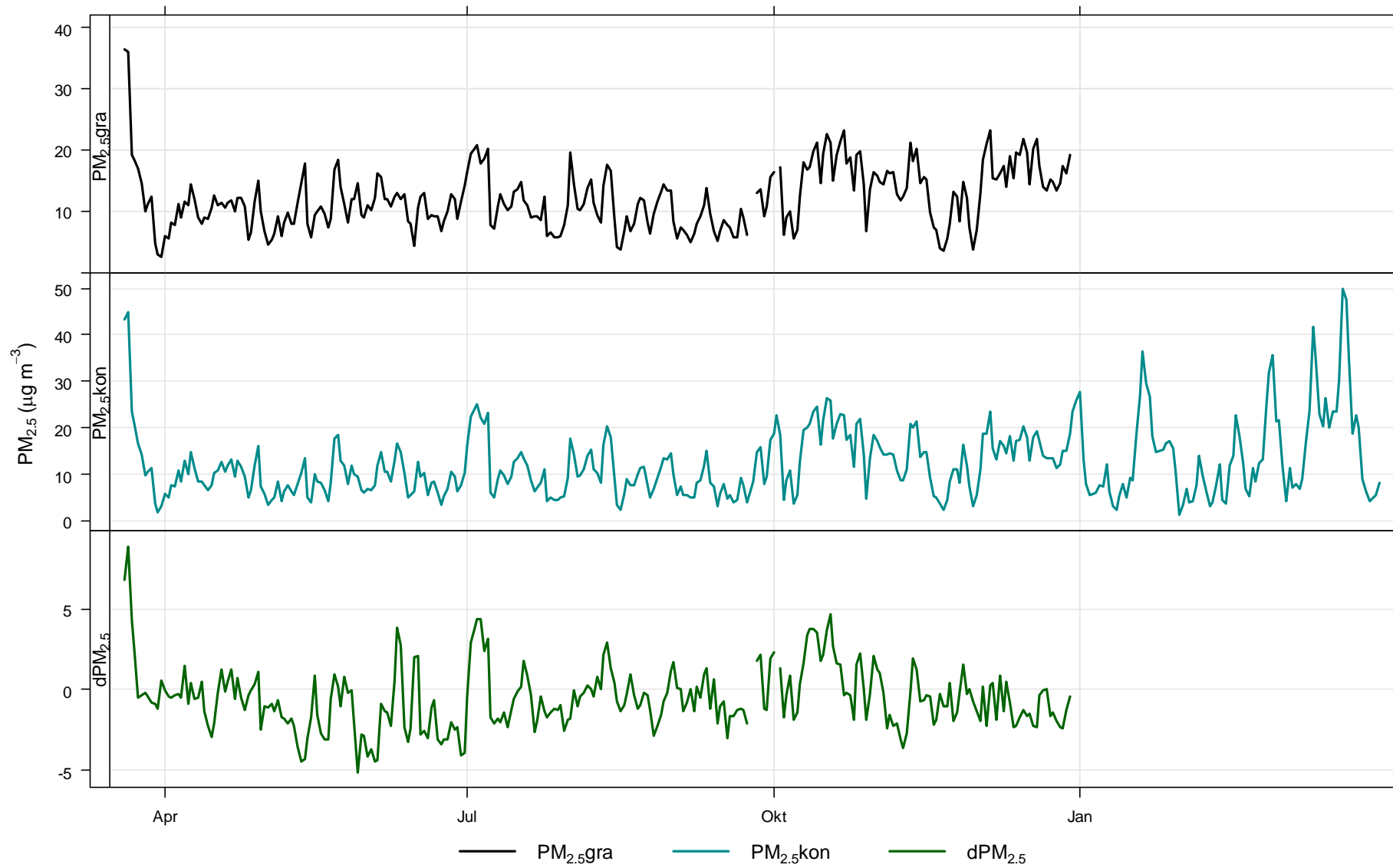
Bern-Bollwerk



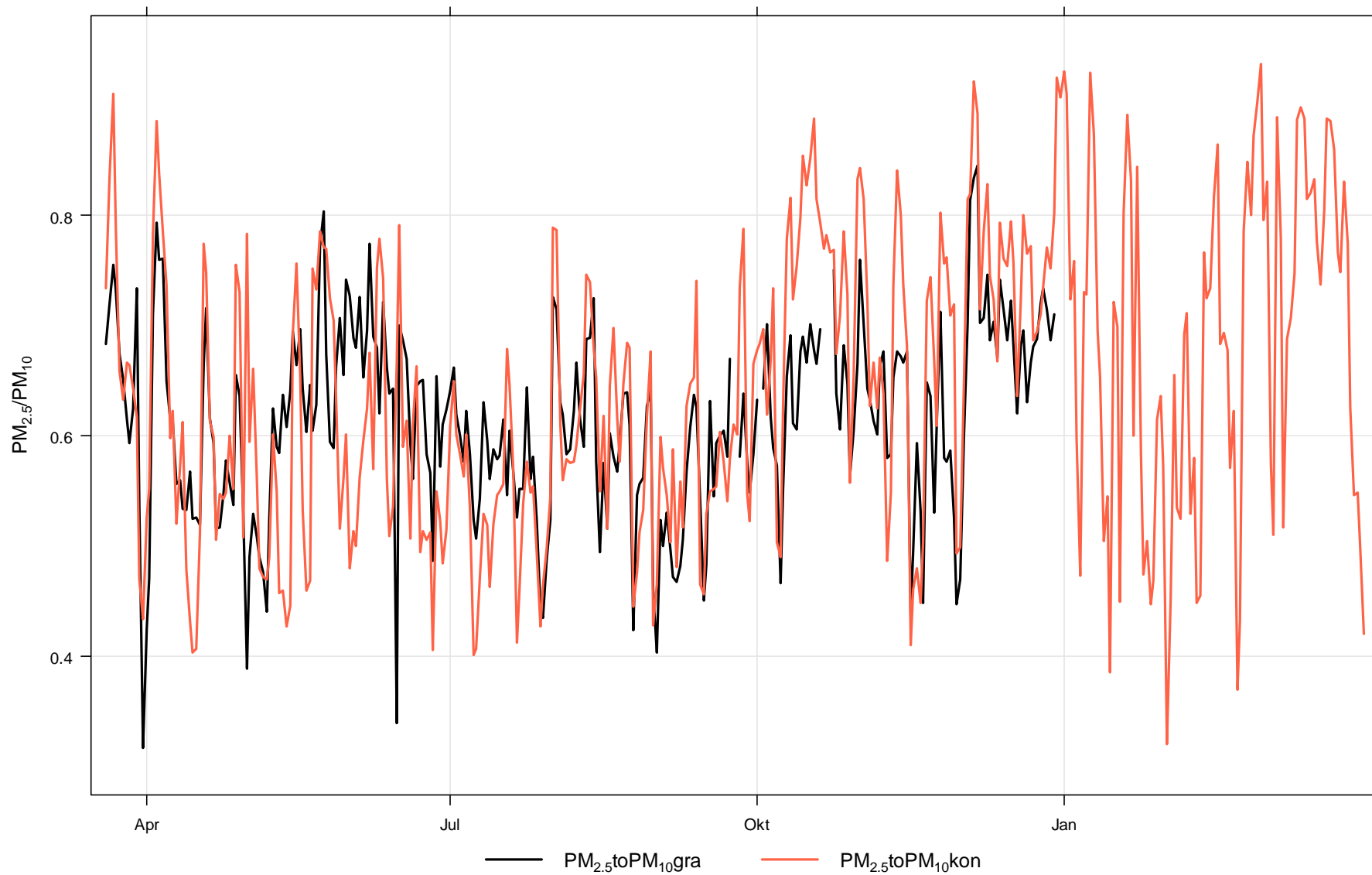
Bern-Bollwerk



Bern-Bollwerk

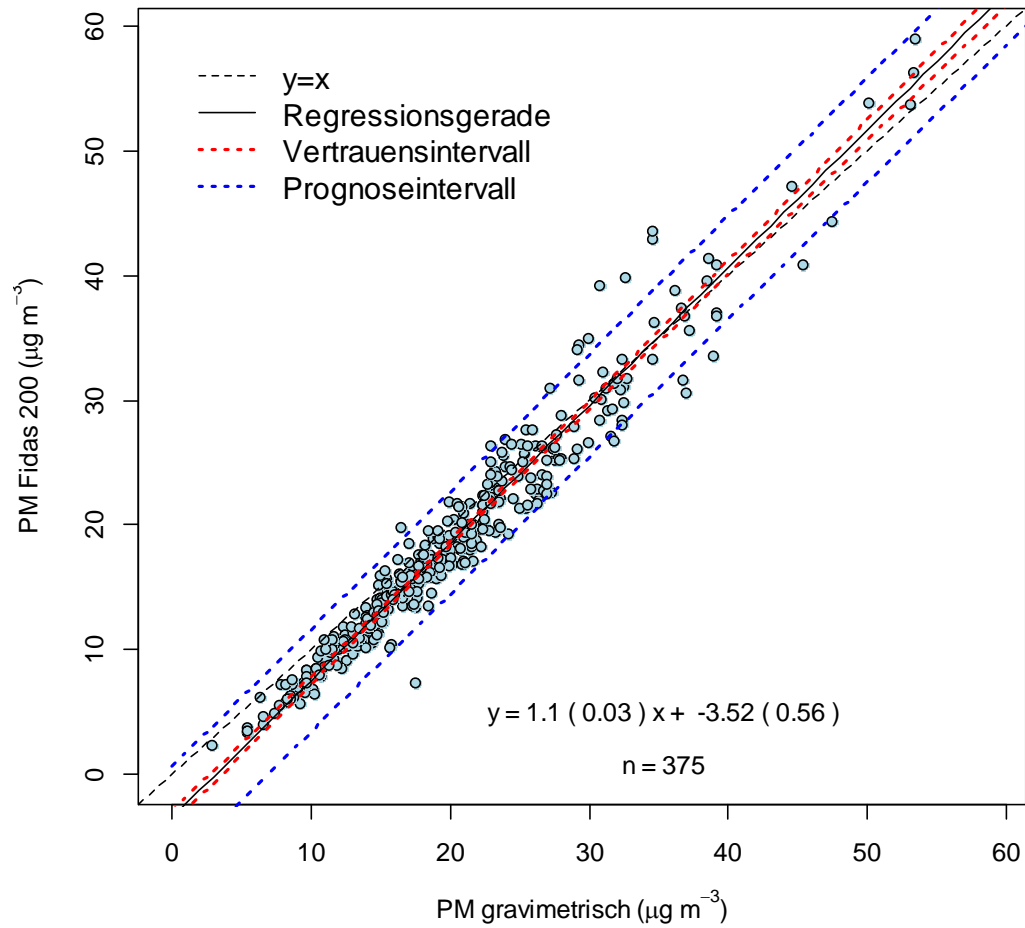


Bern-Bollwerk

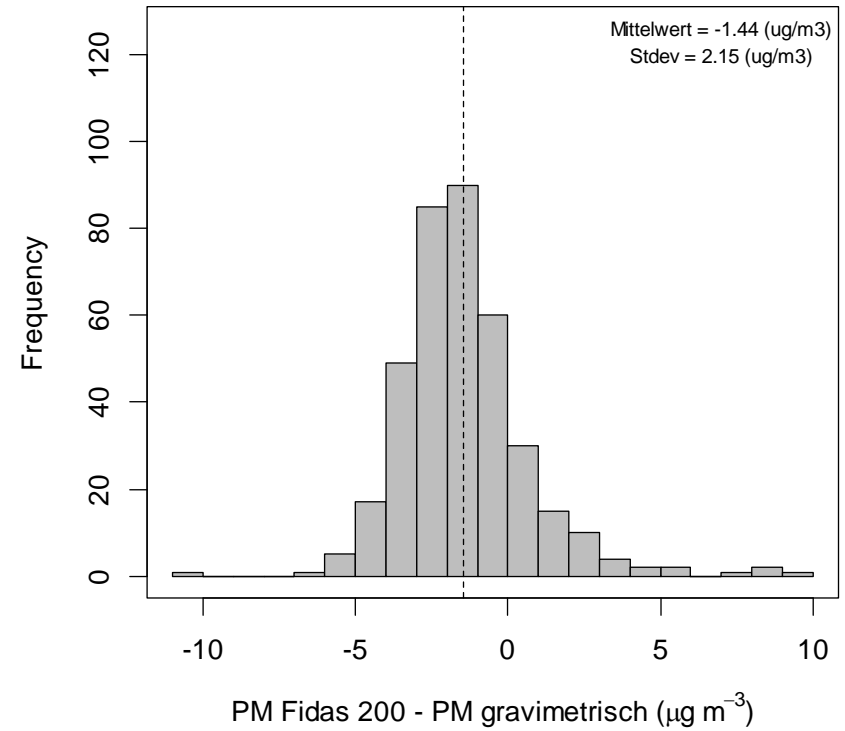


Bern-Bollwerk

BER ; PM10

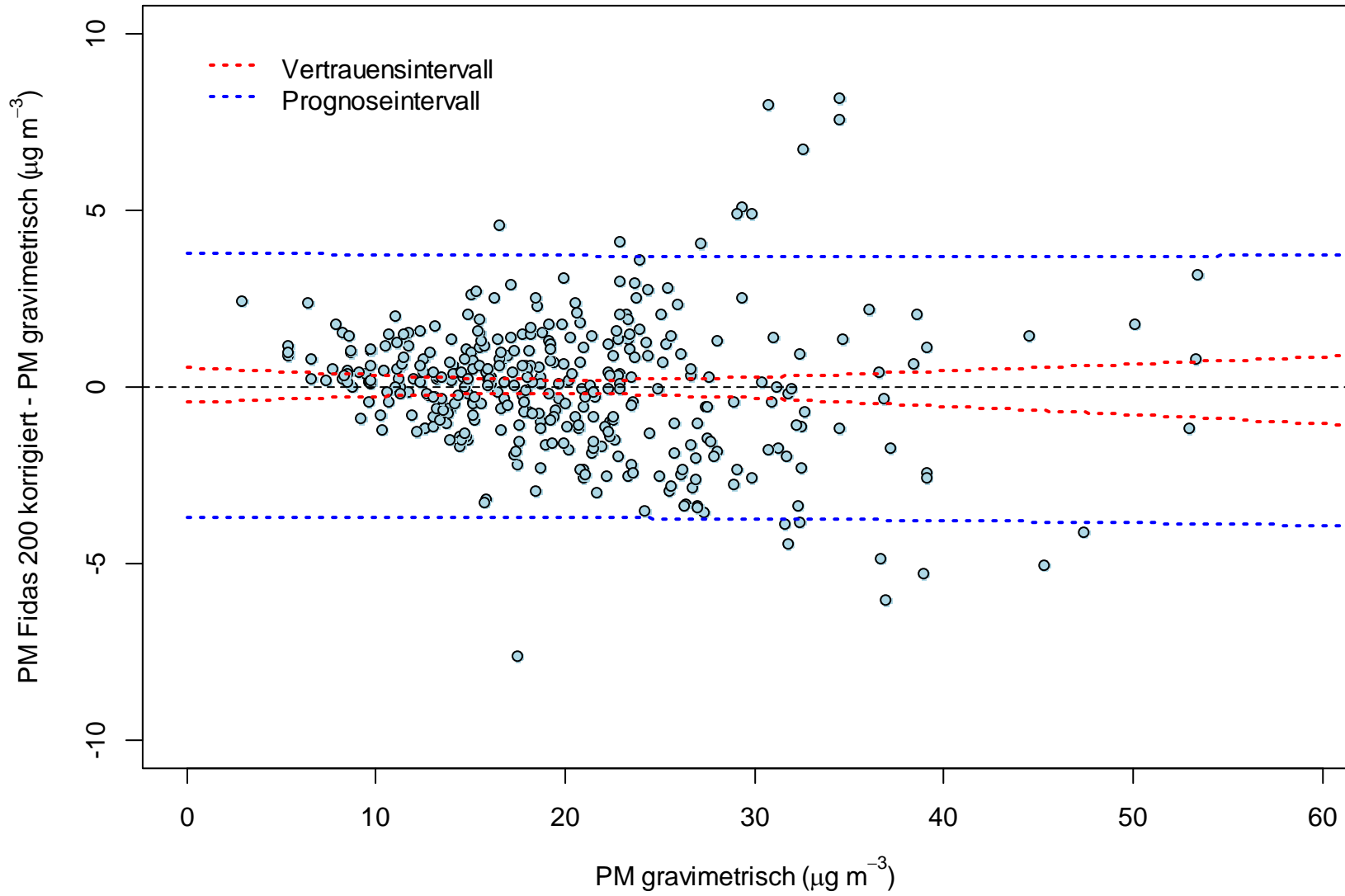


BER ; PM10



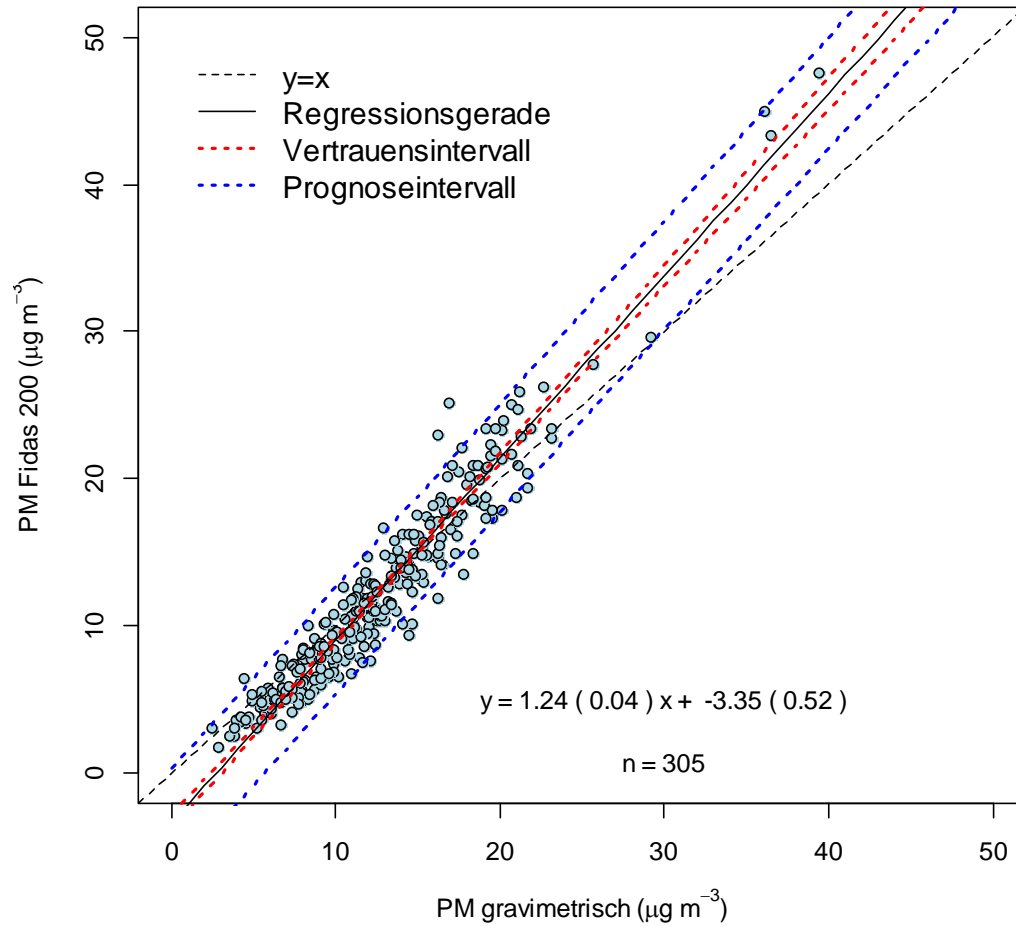
Bern-Bollwerk

BER ; PM10

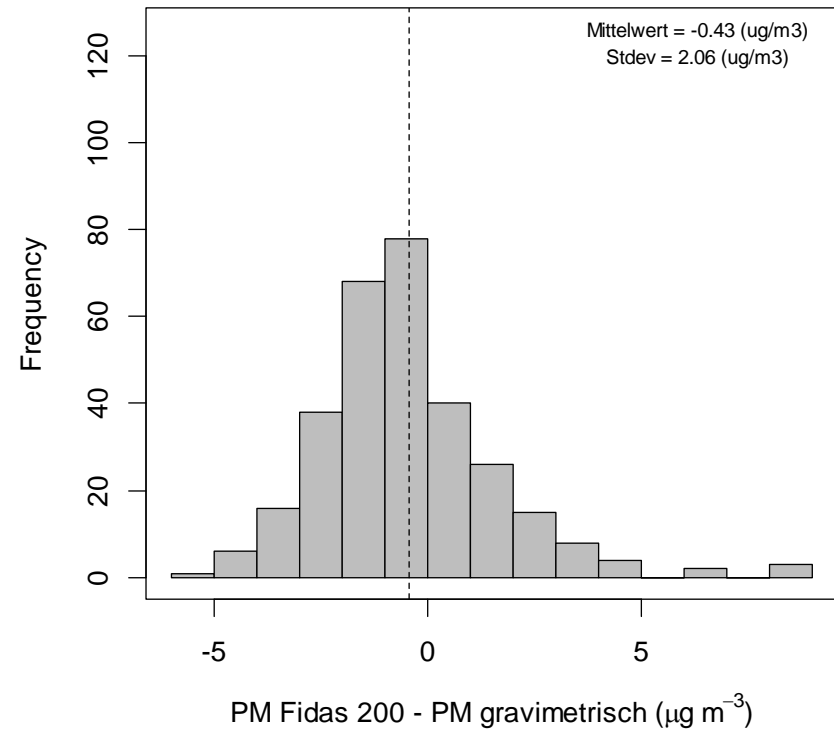


Bern-Bollwerk

BER ; PM2.5

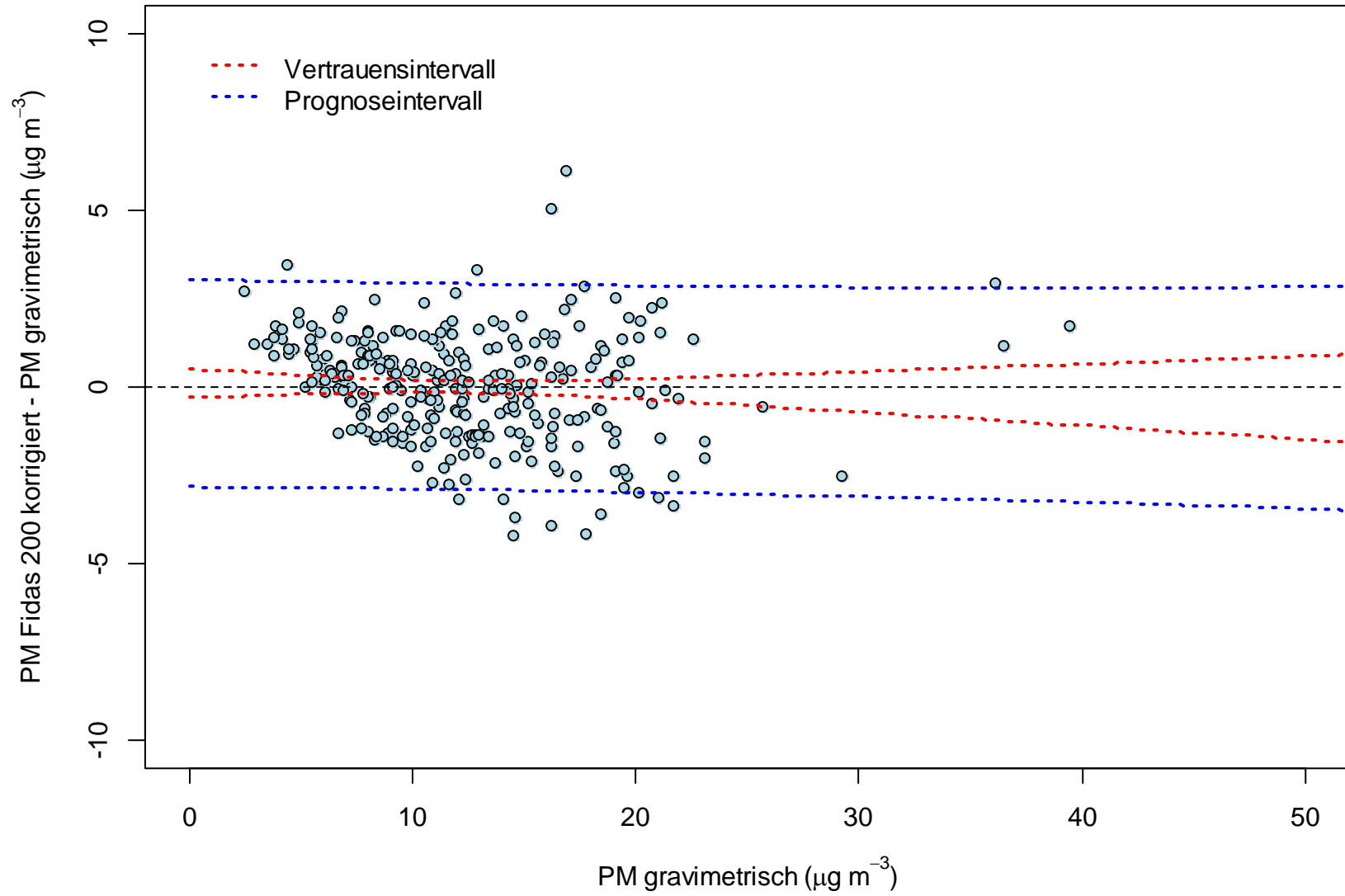


BER ; PM2.5

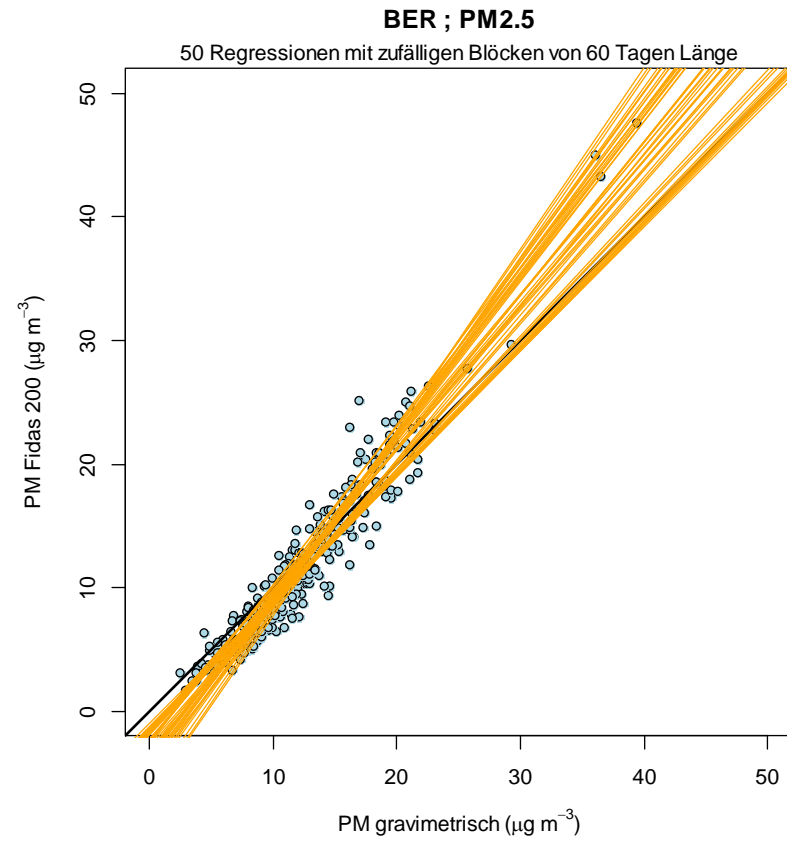
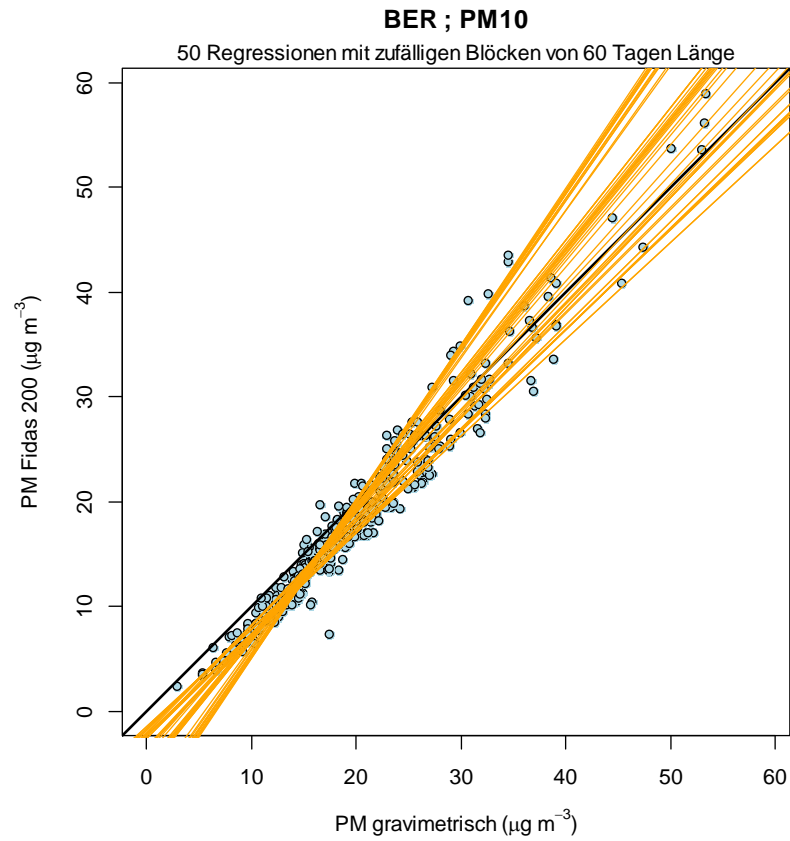


Bern-Bollwerk

BER ; PM2.5



Bern-Bollwerk



Bern-Bollwerk

