

Die Gotthardsperre und ihre Auswirkung auf die Luftqualität

Das Wetter ist ein entscheidender Faktor auf die Höhe der Feinstaubbelastung. Das von Motoren ohne Katalysator direkt emittierte Stickstoffmonoxid (NO) oder das daraus gebildete Stickstoffdioxid (NO₂) sind vom Wetter etwas weniger abhängig. Um Veränderungen in der Feinstaubbelastung (PM₁₀) als Folge von Massnahmen auszuweisen, muss der Wettereinfluss daher soweit wie möglich minimiert werden:

- **Vergleich mit ähnlichen Wetterlagen**

Bei dieser Methode werden die jeweiligen Messwerte mit früher oder später erhobenen Messwerten der gleichen Messstation bei denselben Wetterlagen verglichen. Der Wettereinfluss kann jedoch weder zahlenmässig genau definiert werden noch ist die Wetterlage kaum je während mehrerer Tage exakt gleich. Zudem beinhaltet das Ausschauen der Tage gleicher Wetterlage ein erhebliches Manipulationspotenzial. Diese Methode ist daher nur in besonderen Fällen anzuwenden.

- **Vergleich mit unbeeinflussten Messstationen**

Dieses besser geeignete Verfahren nutzt die Tatsache, dass die Wetterlage überregional meist gleich ist und die Schadstoffwerte somit regional ähnlich beeinflusst sind. Die Messwerte im Einflussbereich einer Vorkehrung werden folglich mit gleichzeitig gemessenen Werten einer möglichst wenig von der Massnahme beeinflussten Messstation der Region verglichen. Die Messstationen müssen aber zwingend auf praktisch gleicher Höhenlage über Meer (resp. über Grund) liegen, befinden sich doch die höher gelegenen Stationen bei Inversionslagen vielfach oberhalb der «Dunstglocke».

Beim Vergleich von Feinstaubwerten untereinander ist ferner zu berücksichtigen, dass der Verlauf der Feinstaubwerte regional sowieso ähnlich ist und somit nur wenig vom lokalen Feinstaubausstoss beeinflusst wird. Mit Ausnahme der Wahl der Vergleichsstationen ist bei dieser Auswertungsart das Manipulationspotenzial klein (eine möglichst lange Vergleichsperiode vorausgesetzt). Dafür gehen Messfehler im ungünstigsten Fall doppelt in die Berechnungen ein.

Problematische Mittelwerte

Mittelwerte erlauben eine einfache Beurteilung einer Situation auf einen Blick. Durch die Mittelung können sich aber schwerwiegende Falschbeurteilungen einschleichen, beispielsweise durch fehlende Werte, Ausreisser oder durch Kompensation gegenüberliegender Extremwerte (wer auf dem heissen Ofen sitzt und gleichzeitig die Füsse im Eiswasser ba-

det, würde die mittlere Temperatur als recht angenehm empfinden...). Die hier aufgeführten Mittelwerte wurden jedoch auf diesbezügliche Verfälschungen geprüft. Insbesondere zeigen erweiterte Untersuchungen, dass die Sperre keine Auswirkungen auf die Messwerte der Referenzstationen hatte. Diese Stationen sind für Vergleiche mit Autobahnstationen somit geeignet.

Zeitreihen

Eine andere und meist aussagekräftigere Auswertungsmethode ist die Zeitreihe. Das Resultat erscheint allerdings nicht in Form von Zahlen. Vielmehr müssen Zeitreihen visuell und damit subjektiv beurteilt werden, was insbesondere in den nicht eindeutigen Fällen zu unterschiedlichen Interpretationen führen kann.

Nach Bild 1 unterliegen die **Stickstoffdioxidwerte** (NO_2) der einzelnen Stationen während der betrachteten Zeitspanne starken Schwankungen. Bei offener Gotthardtransitstrecke haben die beiden Autobahnmessstationen Altdorf und Erstfeld vorwiegend die höchsten Werte. Anders während der Sperre: Dann sind die Autobahnwerte als Folge von geringeren Stickoxidemissionen und günstigeren Ausbreitungsbedingungen (Verdünnungsvorgänge) an der Autobahn tendenziell meist am tiefsten.

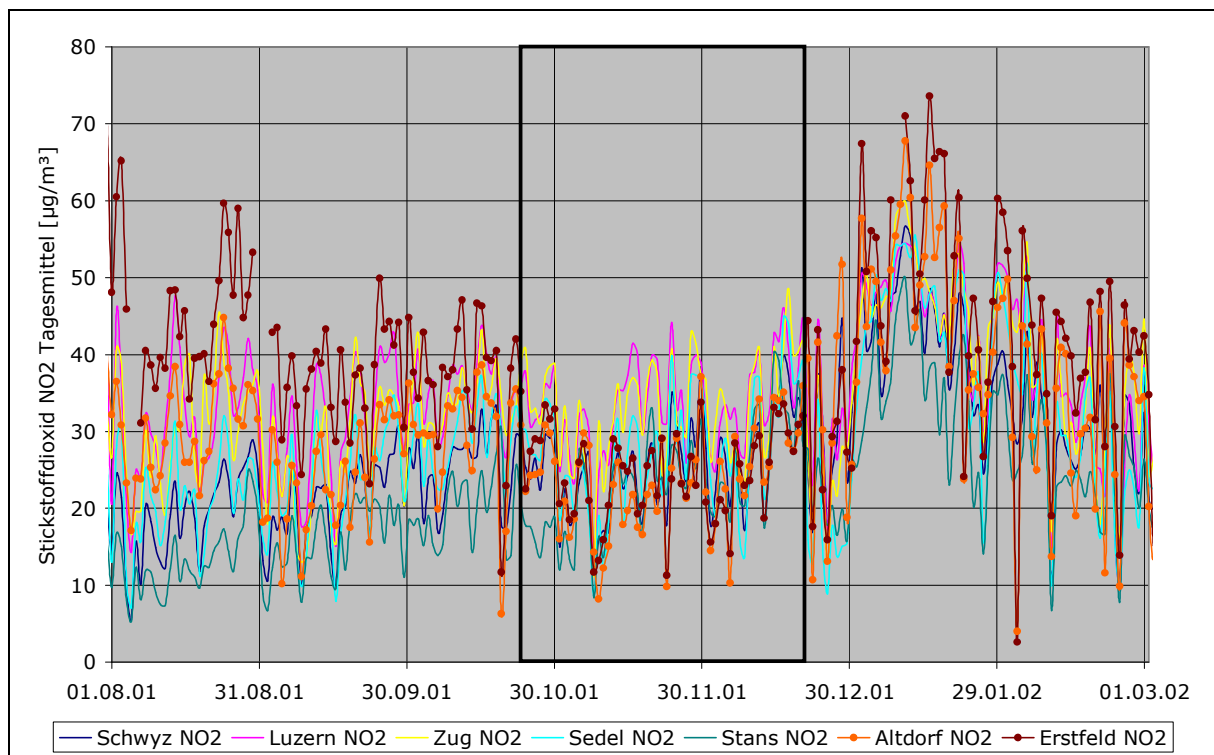


Bild 1: Zeitlicher Verlauf der Tagesmittelwerte von Stickstoffdioxid (NO_2) aller Referenz- und Autobahnmessstellen (Datenquelle www.inluft.ch).

Demgegenüber verlaufen nach Bild 2 die **Feinstaubwerte** (PM10) aller Stationen nahezu synchron und unabhängig von der Sperre, sowohl an den Autobahn- als auch an den Referenzmessstationen. Dies, obwohl – wie beim Stickstoffdioxid (NO₂) nach Bild 1 ersichtlich – der Schadstoffausstoss an der Autobahn während der Sperre deutlich geringer ist.

Leider wurde an der Messstelle Stans damals kein Feinstaub gemessen. Bei offener Gotthardstrecke waren die Stickstoffdioxidwerte in Stans nach Bild 1 meist am tiefsten, die Luft dort also am geringsten belastet. Ob die Feinstaubwerte vor, während und nach der Sperre auf demselben Niveau wie alle andern Stationen gewesen wären, ist somit nicht nachweisbar.

Schön zu sehen sind die Auswirkungen der Bundesfeier am 1. August, führten doch dann die Feuerwerke vor allem in den bewohnten Gebieten zu höheren Feinstaubbelastungen. Die atypischen Spitzen im Januar 2002 respektive die Ursachen bedürften einer detaillierteren Analyse.

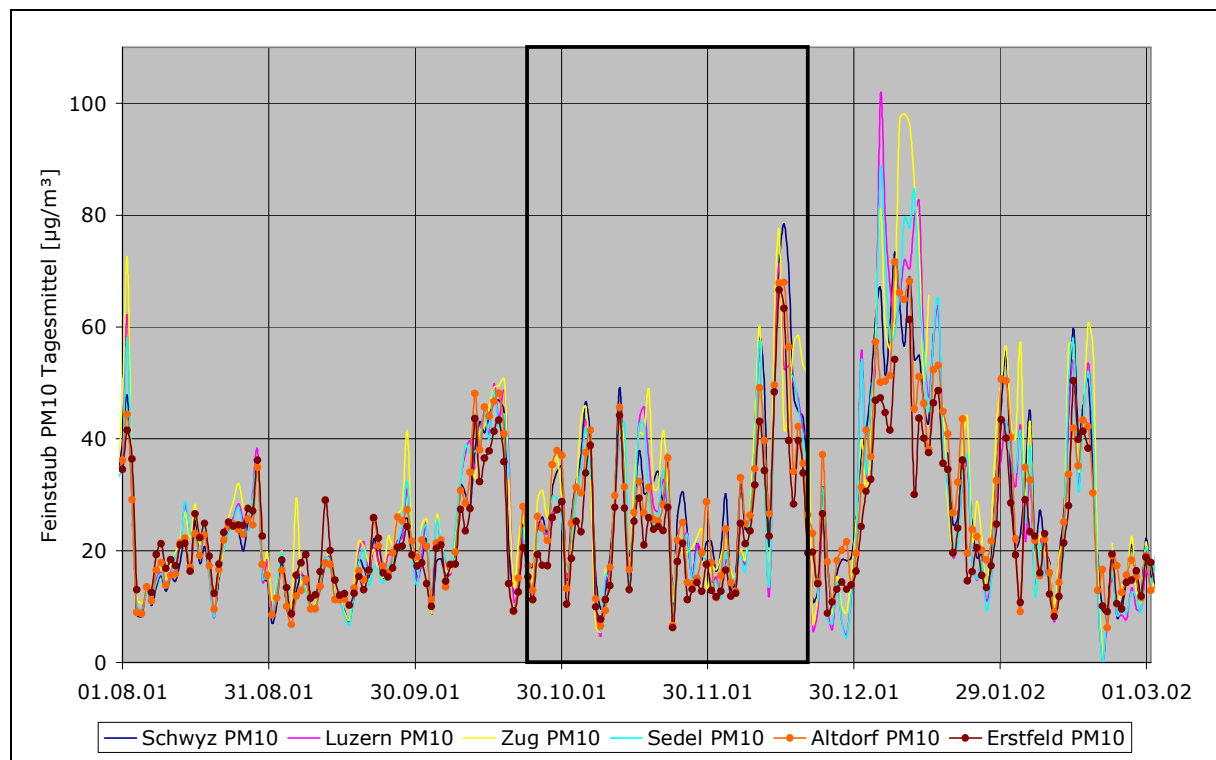


Bild 2: Zeitlicher Verlauf der Tagesmittelwerte von Feinstaub (PM10) aller Referenz- und Autobahnmessstellen (Datenquelle www.inluft.ch).

Zeitreihen mit gleitender Mittelung

Stark schwankende Werte können bei der Zeitreihe durch eine gleitende Mittelung geglättet werden. Bei einem gleitenden 7-Tagesmittel entspricht der hier in der Grafik aufgeführte Messpunkt effektiv dem Mittelwert der letzten sieben Tage bis zum angezeigten Tag (Beispiel: Der gleitende Mittelwert vom 15. Dezember entspricht dem Mittelwert der Periode vom 9. bis zum 15. Dezember). Mit einem gleitenden 7-Tagesmittel können allfällige Wochenend-Einflüsse abgeschwächt werden. Durch die Dämpfung sind ferner lange Zeitperioden übersichtlicher darstellbar. Zeitreihen mit vielen Lücken sind für eine gleitende Mittelung hingegen ungeeignet.

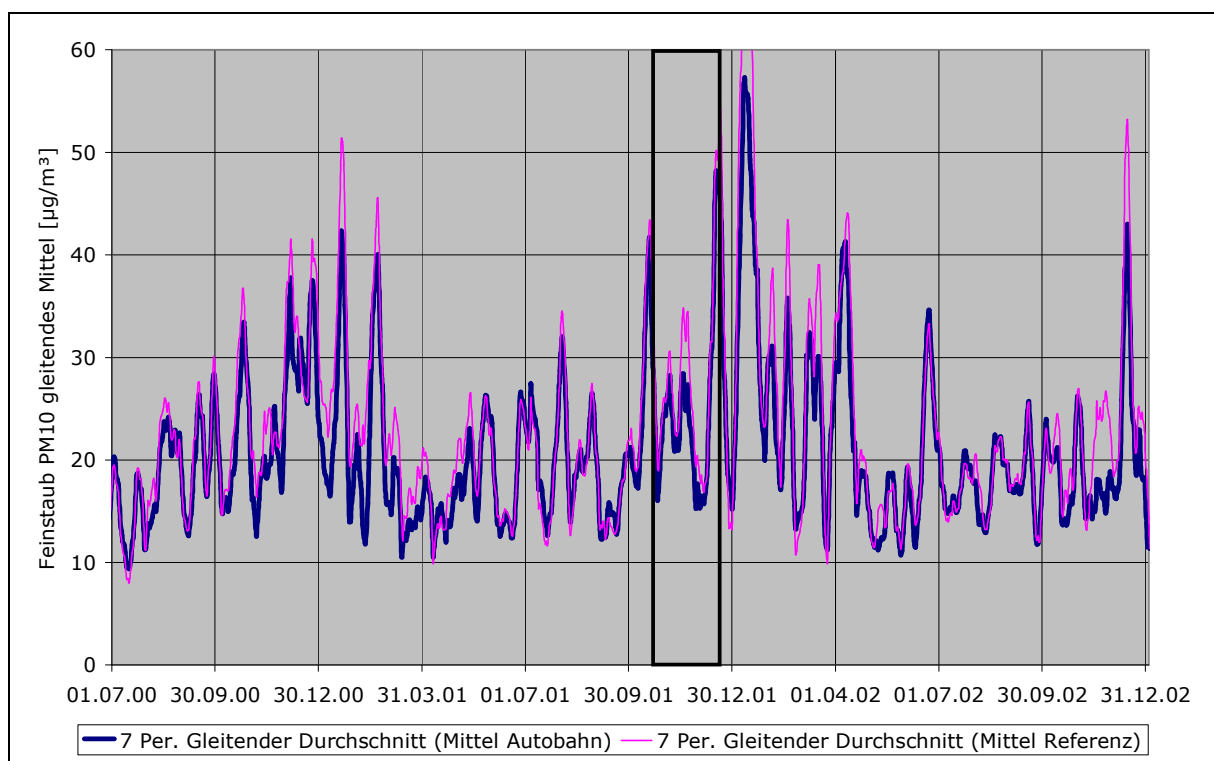


Bild 3: Zeitlicher Verlauf der mittleren Feinstaubwerte an der Autobahn und der Referenzstationen als gleitendes 7-Tagesmittel (7 Perioden gleitender Durchschnitt). Datenquelle www.inluft.ch.

Bild 3 zeigt den gemittelten Verlauf der **Feinstaubwerte** auf der Alpennordseite von Aldorf und Erstfeld an der Autobahn sowie das Mittel der Referenzstationen Schwyz, Luzern, Zug und Sedel (ab 01.01.2001), beides als gleitende 7-Tagesmittel. Die Feinstaubwerte von Autobahn und Referenz sind nahezu deckungsgleich, auch während der Sperre zwischen dem 24. Oktober und dem 21. Dezember 2001. Bei Episoden mit hohen Feinstaubbelastungen ist der gemittelte Referenzwert meist höher als der entsprechende Wert an der Autobahn. Dies dürfte im we-

sentlichen auf die bessere Luftdurchmischung als Folge fehlender Bebauung an der Autobahn zurückzuführen sein.

Wie zentral die Positionierung der Messgeräte sein kann, lässt sich auch an einer stark ansteigenden Autobahn nach einem Schneefall abschätzen: Am rechten Strassenrand bergwärts wird der Schnee nach kurzer Zeit in einer Breite von 1 – 2 Metern durch erhöhte Russemissionen verschmutzt; der rechte Strassenrand talwärts und der Mittelstreifen der Autobahn bleiben hingegen weitgehend weiss. Nach visueller(!) Beurteilung könnten daher die Anteile an Reifenabrieb, Bremsstaub, der Fahrbahnstaub sowie der von den (Diesel-)Abgasen stammende Feinstaub, welcher in einigen Metern Entfernung teils als Immissionsfeinstaub anfällt, möglicherweise etwas überschätzt werden.

Das xy-Diagramm

Die mit Abstand aussagekräftigste und auch recht manipulationssichere Auswertung führt über die sogenannte xy-Darstellung. Mit dem xy-Diagramm kann die Beziehung zweier Datenreihen durch Vergleich einander zeitlich entsprechender Werte aufgezeigt werden. Die Abhängigkeiten sind zudem mittels Regressionsgerade objektiv berechenbar, ebenso die Güte der Übereinstimmung. Bei fehlenden Werten, einer zu kleinen Stichprobe, stark streuenden Werten oder sonstigen störenden Einflüssen hilft das allerdings auch nicht weiter.

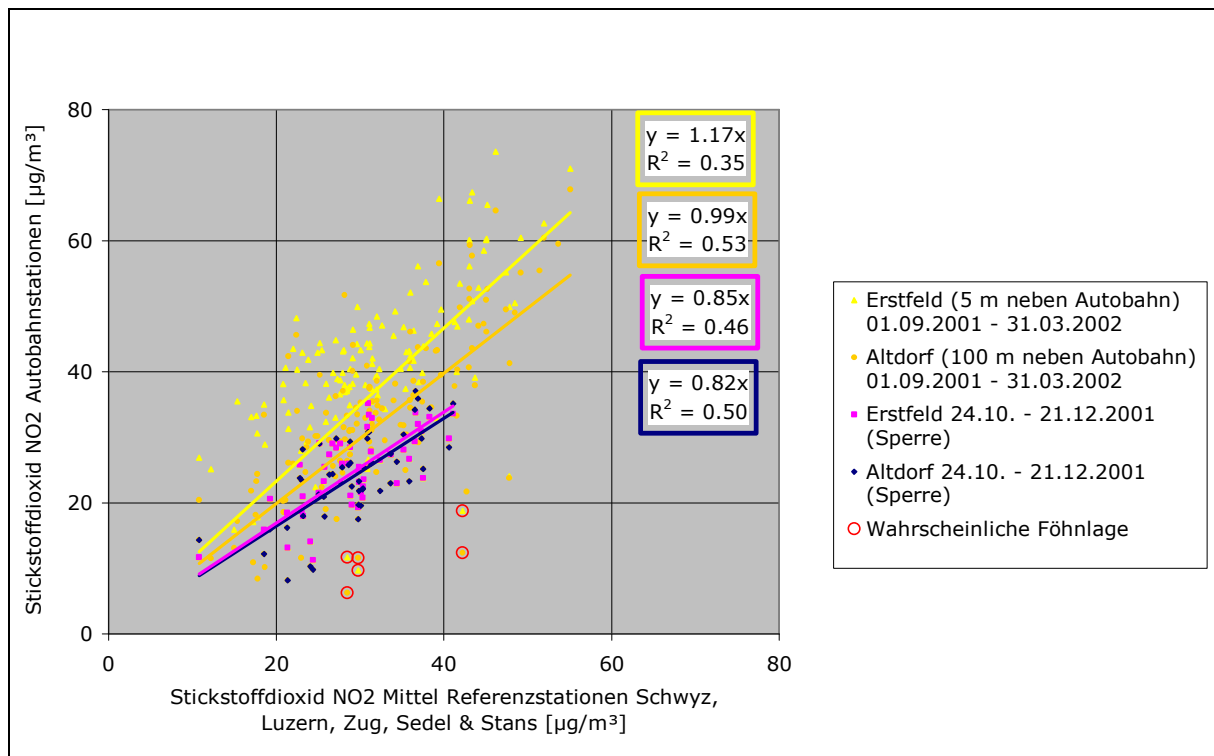


Bild 4: Stickstoffdioxidkorrelationen (NO_2) der Tagesmittel ohne Sonntage während der Sperrung im Vergleich zum Winterhalbjahr 2001/2002 (Datenquelle www.inluft.ch).

In Bild 4 werden die **Stickstoffdioxidwerte** (NO_2) beider Autobahnmesststellen mit den gemittelten Referenzwerten verglichen, einerseits vom Winterhalbjahr 2001/02 und andererseits während der Sperrung. Im ganzen Winterhalbjahr hat Erstfeld gegenüber den gemittelten Referenzmesststellen im Mittel rund 1.17 mal höhere Stickstoffdioxidwerte (hellgelbe Punkte, Steigung der Regressionsgerade = 1.17 im hellgelben Kasten in der Grafik). Während der Sperrung sinkt die Stickstoffdioxidbelastung von Erstfeld auf 0.85 mal die Referenzbelastung (rote Punkte, Steigung der Regressionsgerade = 0.85 im roten Rechteck). Altdorf hat

im Winterhalbjahr etwa die gleiche Belastung wie die Referenz (dunkelgelbe Punkte, Steigung 0.99); während der Sperre sinkt jene auf 0.82.

Föhn als Mitursache der Streuung

Erkennbar ist die grosse Streuung der Werte. Sicher verbergen sich darunter auch einige Ausreisser. Eine entsprechende Überprüfung müsste auf Stufe der Stunden- oder Halbstundenmittel erfolgen und alle verfügbaren Schadstoffparameter umfassen, bestehen doch zwischen den einzelnen Schadstoffen einige lose Abhängigkeiten. Der grosse Streubereich hat aber noch eine andere Ursache: Im Gegensatz zu den Referenzmessstellen befinden sich die Autobahnmessstellen an stärker föhnexponierten Lagen. Das heisst, es sind atypische Wertepaare wie hohe Referenzwerte bei tiefen Autobahnwerten möglich.

Man könnte die Werte bei Föhnlagen verwerfen, sei das über den Einbezug der Windrichtung oder über die Temperaturdifferenz zwischen den Referenz- und den Autobahnmessstellen - Föhn ist ja ein warmer Fallwind. Um dem Manipulationsvorwurf zu entgehen, wurden hier aber grundsätzlich sämtliche Messwerte inklusive offensichtlicher Ausreisser unverändert übernommen. Immerhin wurde geprüft, ob während der Sperre sowie den Vergleichsperioden hinsichtlich Föhns etwa ähnliche Verhältnisse herrschten. Je nachdem was als Indiz für Föhn angesehen wird oder was als wichtiger angeschaut wird - die Intensität des Föhnes oder die Auftretenshäufigkeit - sind während der Sperre tendenziell eher weniger Föhnlagen aufgetreten. In den Bildern 4 und 5 sind Wertepaare bei möglicher Föhnlagen (mit subjektiv festgelegten 3° K Temperaturerhöhung der Autobahn- gegenüber den Referenzmessstellen) mit einem roten Kreis markiert. Anzumerken ist dazu, dass der Wiederanstieg der Schadstoffwerte nach dem Zusammenbruch einer (reinigenden) Föhnlage wie nach Regen etwas Zeit braucht.

Der doch eindeutige Rückgang beim Stickstoffdioxid während der Sperre geht gemäss Bild 5 jedenfalls nicht mit einer verminderten **Feinstaubbelastung** einher. In Bezug zur Referenz sind die Feinstaubwerte sowohl von Altdorf wie von Erstfeld gleich, ob während dem Winterhalbjahr oder während der Sperre. Eine minimale Verbesserung der Feinstaubsituation in unmittelbarer Nähe der Autobahn während der Sperre ist zwar denkbar und auch wahrscheinlich, statistisch aber nicht nachweisbar. Bei dem grossen Streubereich sowie der insgesamt doch kleinen Stichprobe von rund 50 Tagen dürften sich weitergehende Analysen jedoch erübrigen, insbesondere auch unter Berücksichtigung der hier doppelt einflussenden Messgerätegenauigkeiten sowie der Repräsentativität der Messungen.

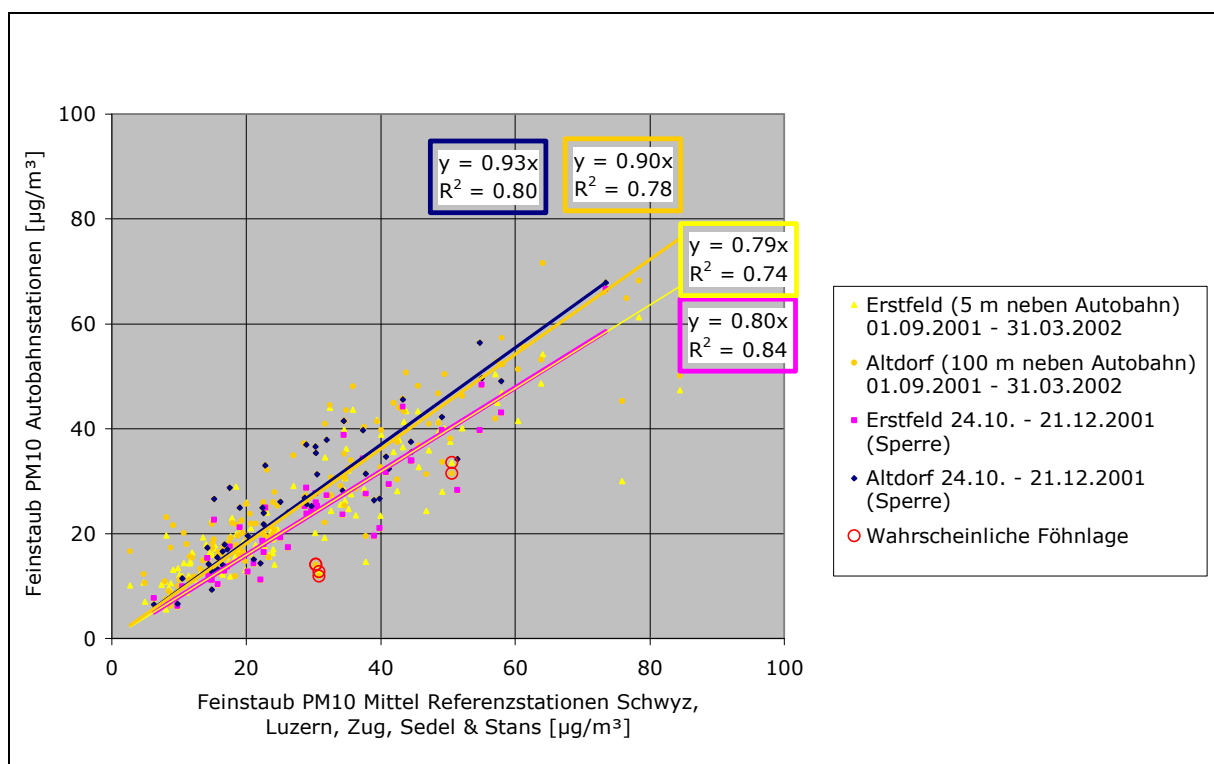


Bild 5: Feinstaubkorrelationen der Tagesmittel ohne Sonntage während der Sperre im Vergleich zum Winterhalbjahr 2001/2002 (Datenquelle www.inluft.ch).

Andere Beispiele mit kleinerer Streuung

Wie die Bilder 6 und 7 von einer anderen Untersuchung dokumentieren, ist die Streuung der Feinstaub-Tagesmittelwerte üblicherweise deutlich kleiner: Bild 6 zeigt den Zusammenhang zwischen den Feinstaubwerten der Messstationen in Opfikon und Wallisellen nordöstlich von Zürich. Die Messstation Opfikon liegt dicht an der stark frequentierten Flughafenautobahn, in unmittelbarer Nähe des Flughafens Zürich-Kloten sowie zusätzlich neben einer verkehrsreichen Hauptstrasse. Die Messstation Wallisellen befindet sich hingegen in unmittelbarer Nähe von landwirtschaftlichem Gebiet mit wenig Verkehr, jedoch auf praktisch gleicher Höhe über Meer wie die Station Opfikon. Die Feinstaubwerte von den rund vier Kilometer auseinander liegenden Stationen stimmen sehr gut überein. Der Einfluss des Sonntagsfahrverbotes für LKWs (blaue Punkte auf der Grafik) auf der sonst auch für Kiestransporte genutzten Autobahn ist gegenüber der Agglomeration mit wenig Verkehr allenfalls bei wohlwollender Prüfung ansatzweise erkennbar.

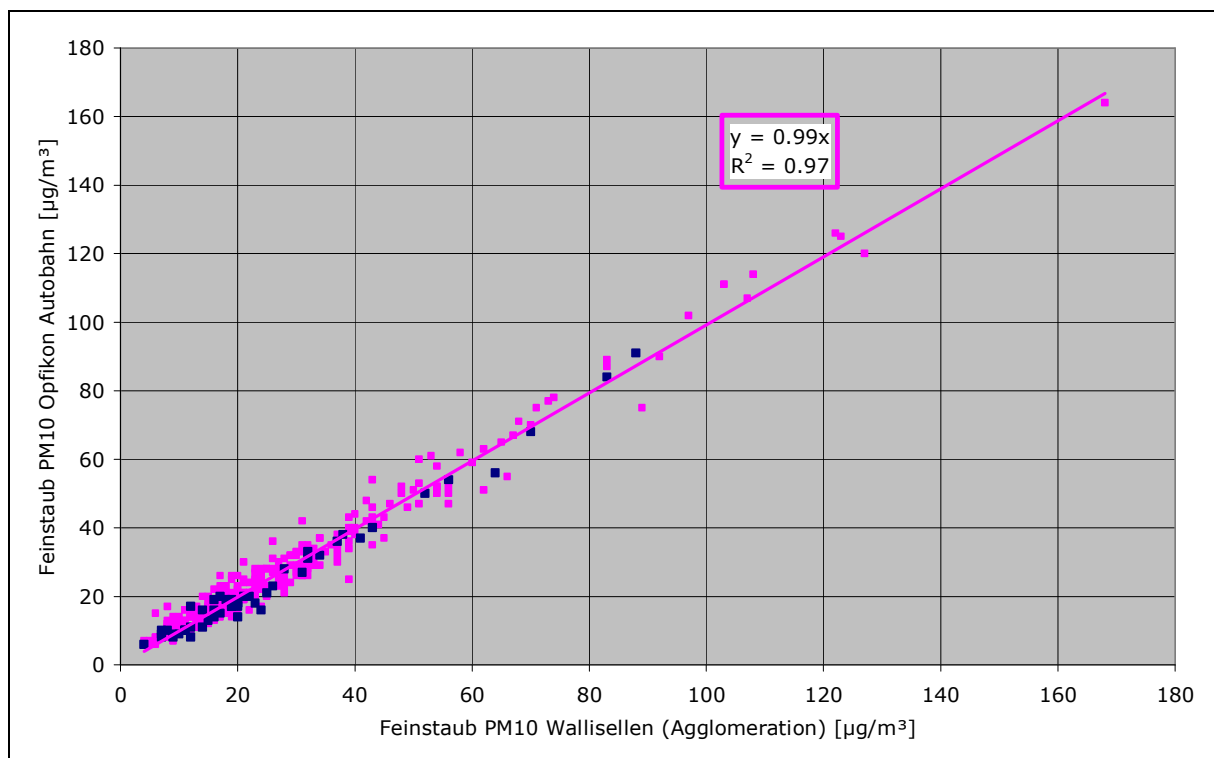


Bild 6: Feinstaubkorrelation zwischen den Messstationen Opfikon (Autobahn) und Wallisellen (Agglomeration). Sonntage gleich blaue Punkte. Gerundete Tagesmittelwerte vom 06.01.2006 – 08.01.2007 (Datenquelle www.ostluft.ch).

Auch bei der Gegenüberstellung der Feinstaubwerte Opfikon an der Flughafenautobahn mit einer Messstation auf ähnlicher Höhe an der Stampfenbachstrasse in der Stadt Zürich (Abstand etwa neun Kilometer, zentrale Lage, an Strasse mit mässigem Verkehr, eher offene Bebauung) ist die Streuung nach Bild 7 gering. Dies, obwohl die Stationen durch eine dazwischen liegende Hügelkette getrennt sind, welche die Stationen fast immer um mehr als 50 m überragt. Von der Station Stampfenbachstrasse hat man zudem freie Sicht auf den rund zwei Kilometer entfernten, etwas tiefer liegenden Zürichsee.

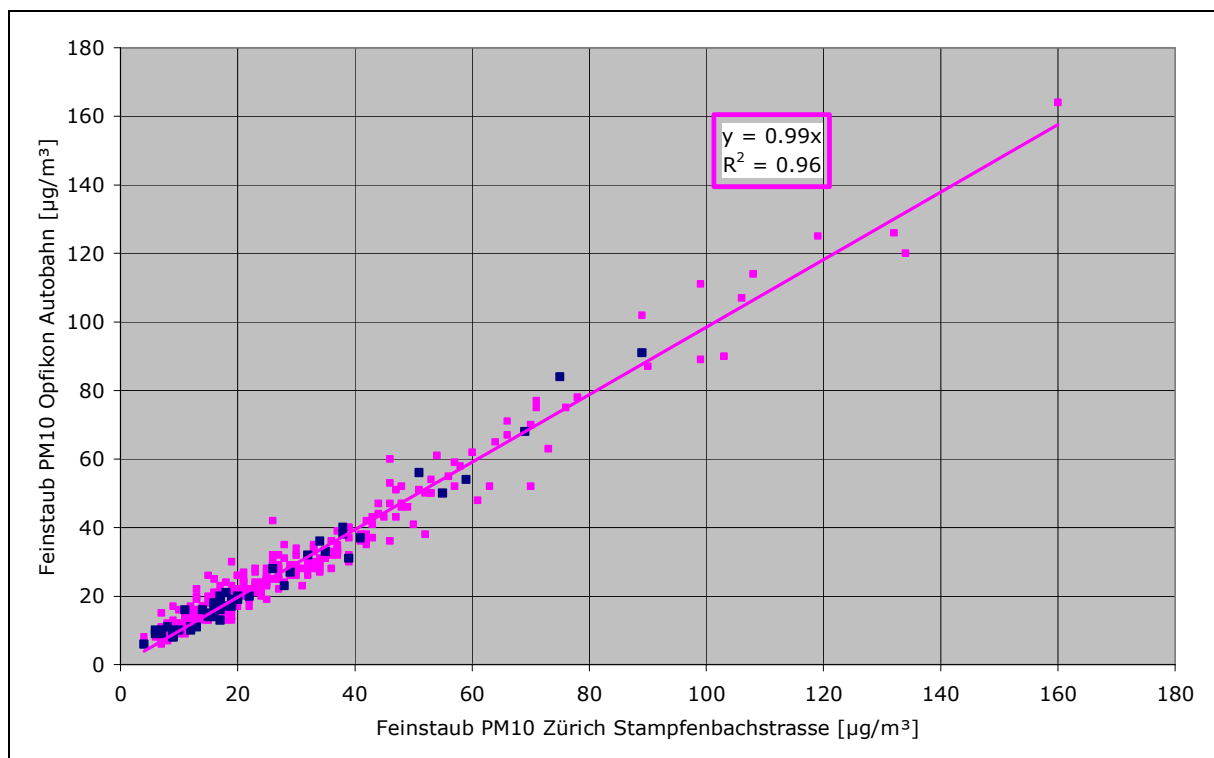


Bild 7: Feinstaubkorrelation zwischen den Messstationen Opfikon (Autobahn) und Stampfenbachstrasse (Stadt Zürich). Sonntage gleich blaue Punkte. Gerundete Tagesmittelwerte vom 06.01.2006 – 08.01.2007 (Datenquelle www.ostluft.ch).

Eine weitere Messstation steht mitten in der Stadt Zürich in einem parkähnlichen Hof der alten Kaserne. An der Station führt keine Hauptverkehrsstrasse vorbei. Der Verkehr im umliegenden Quartier ist jedoch Tag und Nacht recht lebhaft. Wie Bild 8 zeigt, ist die Korrelation mit den Werten von Opfikon Autobahn ebenfalls ausgezeichnet, obschon (wie bei Bild 7) beide Messstellen von verschiedenen Instanzen betrieben werden.

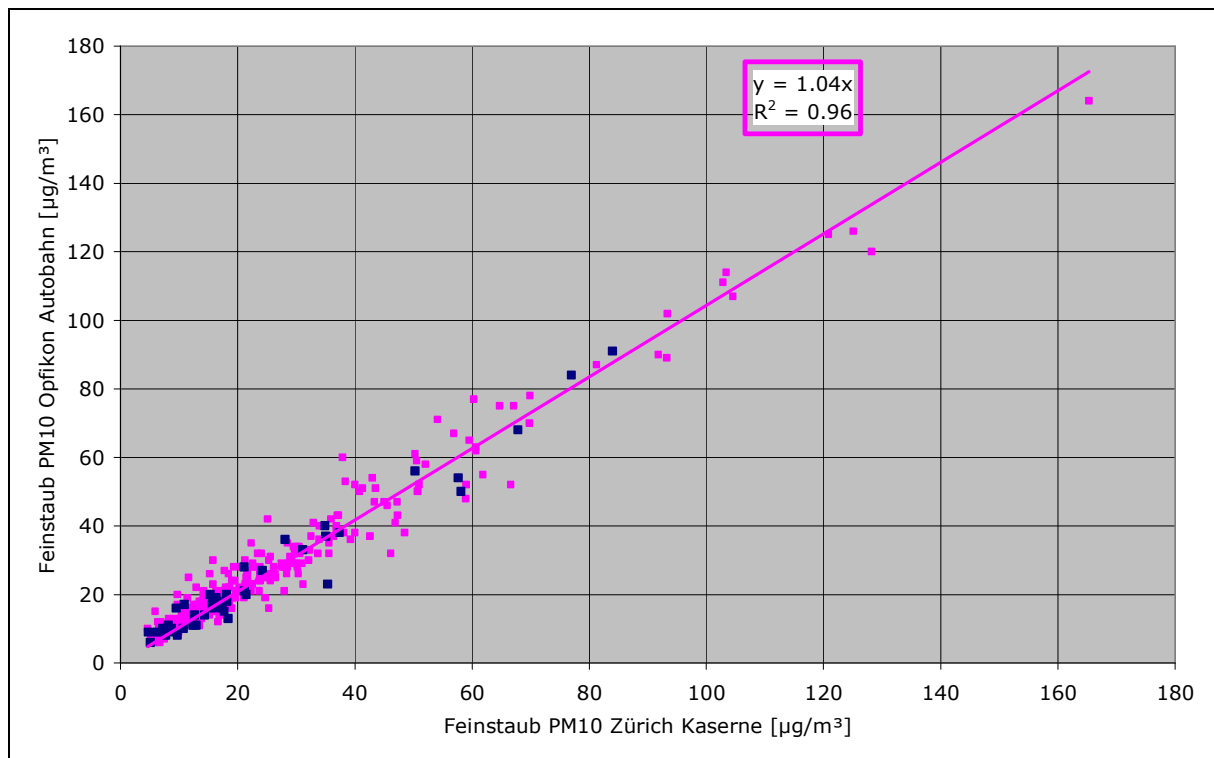


Bild 8: Feinstaubkorrelation zwischen den Messstationen Opfikon (Autobahn) und Kaserne (Stadt Zürich). Sonntage gleich blaue Punkte. Gerundete Tagesmittelwerte vom 06.01.2006 – 08.01.2007 (Datenquelle Bundesamt für Umwelt BAFU, www.ostluft.ch).

Diese (nicht einmal speziell ausgesuchten) Gegenüberstellungen einiger Feinstaub-Messreihen illustrieren anschaulich, wie selbst deutliche Standortsunterschiede oder klare Gegensätze sich bei der Art der Feinstaubemissionen weder örtlich noch regional auf die Immissionslage auswirken.

Ein Kommentar

Es kann sein, dass die Wetterverhältnisse etwas zu dem für Laien eher erstaunlichen Ergebnis beigetragen haben. Es ist auch sehr wahrscheinlich, dass sich das Resultat nicht im Massstab 1:1 auf eine Strassenschlucht in einer Stadt übertragen lässt. Besonders wenn der Feinstaub am Strassenrand, im Bereich des stockenden Verkehrs oder gar in dessen Abgasstrom «gemessen» wird. Je mehr nämlich die Immissionsmessung in eine Emissionsmessung übergeht, um so eher sind die Auswirkungen eines selbst nur wenig verminderten Feinstaubausstosses nachweisbar. Vor allem, wenn die Massnahme noch mit einer Stauauflösung einhergeht: Aus Sicht der Luftreinhaltung ist der Stau besonders nachteilig. Führt eine Umweltzone daher zu (regional) mehr Stau, steigt der Feinstaubausstoss. Dies wird durch repräsentative Immissionsmessungen allerdings ebenfalls kaum nachweisbar sein.

Mit ein Grund für den trotz Sperre ausbleibenden Feinstaubrückgang könnte in der relativ geringen Masse der (hauptsächlich dieselbedingten) Russemissionen liegen. Das heisst, je nach Messverfahren wirken sich möglicherweise selbst deutliche Veränderungen im Ausstoss des als gesundheitlich besonders gefährlich angesehenen Russes kaum auf die gemessene Feinstaubmenge bzw. die Belastung aus. Wenn dem so ist, sind die auf Masse pro Volumeneinheit ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) basierenden Feinstaub-Grenzwerte allerdings deplaziert: Die rund 100 Messgeräte (in der Schweiz) erfassen zudem eine irrelevante Schadstoffkomponente, die überdies noch für Sensibilisierungs- resp. Einschüchterungskampagnen der Bevölkerung missbraucht wird.

Zu hinterfragen sind auch die Bildungsmechanismen des sogenannten sekundären anorganischen Feinstaubes, welcher sich teils aus Autoabgasen und Ammoniak (aus der Landwirtschaft) usw. bilden soll und rund die Hälfte des gesamten Feinstaubes ausmacht. Mit Blick auf die unveränderten Feinstaubwerte während der Sperre könnte dieser Anteil womöglich etwas überschätzt werden und/oder die Entstehung des sekundären Feinstaubes etwas anders als bisher angenommen ablaufen.

In dieser Untersuchung sind detaillierte Zahlen nur bei den Korrelationen angeführt. Dies mit Absicht: Schadstoffmessungen unterliegen grossen Streuungen verschiedenster Ursachen. Diese zufälligen Fehler sind im Gegensatz zu den systematischen Fehlern (fehlerhafte Eichung der Messgeräte, Einflüsse der Probenahme, thermische Messgeräteprobleme, Querempfindlichkeiten usw.) unvermeidbar. Wird nun beispielsweise eine etwas andere Vergleichsperiode ausgewählt, verändert dies zwar das zahlenmässige Resultat, normalerweise nicht jedoch die Grundaussage. Ausser es wird grob gegen statistische Regeln und/oder die intellektuelle Redlichkeit verstossen:

Beispielsweise ist mit der Station Erstfeld und nur einer (ausgesuchten) Referenzstation ein deutlicher Feinstaubrückgang während der Sperre

herleitbar. Dafür resultiert dann mit der Station Altdorf und den übrigen Referenzstationen ein Feinstaubanstieg während der Sperre, was natürlich unsinnig ist. Oder es werden nur Werte tagsüber berücksichtigt und es wird vernachlässigt, dass die Sperre während der Nacht (rechnerisch) zu mehr Feinstaub führen würde.

Ausserordentlich problematisch sind vor allem Auswertungen, die lediglich einige Tage mit ein paar andern Tagen vergleichen. Zufällige Fehler (man könnte dies übrigens auch als Grundrauschen bezeichnen) machen dann insbesondere auf Differenzen aufbauende Ergebnisse völlig unbrauchbar, selbst wenn das numerische Resultat mit einigen Nachkommastellen eine besondere Genauigkeit vortäuscht. Die Dauer der Sperre ist gegeben; um den zufälligen Fehler möglichst klein zu halten, können daher nur die Vergleichsperioden (im Winter) länger angesetzt oder gleich mehrere Vergleichsperioden herangezogen werden. Als Referenzstationen wurden ferner alle regional verfügbaren Messstationen berücksichtigt, die auf etwa gleicher Meereshöhe resp. Höhe über Grund liegen.

CH-8706 Meilen, im Februar 2009

René Weiersmüller