

Feinstaubbelastungen in Schulen

T. Gabrio¹, G. Volland²

¹ Regierungspräsidium Stuttgart, Landesgesundheitsamt

² Materialprüfungsanstalt, Universität Stuttgart

Zusammenfassung

Den erhöhten Feinstaubkonzentrationen während des Unterrichts an Schulen kommt in der öffentlichen Diskussion eine große Bedeutung zu. Dabei wird immer wieder angesprochen, dass sich die erhöhte Feinstaubkonzentration durch verstärkte Reinigung reduzieren ließe. An einer Schule wurde in einem Langzeitversuch überprüft, welchen Einfluss verstärktes Reinigen auf die Höhe der Feinstaubkonzentration hat. Die Untersuchungen zeigen deutlich, dass eine Intensivierung der Reinigungsaktivitäten (tägliches feuchtes Wischen an Stelle feuchten Wischens jeden zweiten Tag) keinen signifikanten Einfluss auf die Höhe der Feinstaubkonzentration hat. Deutlich ist hingegen der Einfluss des Lüftens auf die Feinstaubkonzentration in den Klassenzimmern.

Problemstellung

Die Umsetzung der EU-Richtlinie 96/62/EG in nationales Recht im Jahre 2005 hat dazu geführt, dass das Thema Feinstaub sowohl in der Außenluft als auch im Innenraum in den Blickpunkt der öffentlichen Diskussion geraten ist. Im Innenraum konzentrierte sich diese Auseinandersetzung neben den Laserdruckern und Kopierern besonders auf das Problem der Belastung von Schulen mit Feinstäuben [1 – 5]. In dieser öffentlichen Diskussion wurde oft zu wenig bedacht, dass unter dem Begriff „Feinstaub“ eine Vielzahl von Partikel unterschiedlicher chemischer und biologischer Zusammensetzung sowie unterschiedlicher Größe und morphologischer Struktur zusammengefasst werden. Ursprung und gesundheitliche Wirkung dieser „Feinstäube“ sind mit hoher Wahrscheinlichkeit sehr verschiedenartig. Ihre Größe kann sowohl im Nanometer-Bereich als auch im Mikrometer-Bereich liegen. Untersuchungen zur Morphologie und Reaktivität der in der Innenraumluft vorhandenen Partikel liegen nach unserer Kenntnis nicht vor. Die Übertragung von Untersuchungsergebnissen aus dem Bereich der Außenluft erscheint wegen der erheblichen Unterschiede von Außenluft und Innenraumluft wissenschaftlich unzulässig. Um die Feinstaubbelastung in Innenräumen beurteilen zu können, bedarf es nach unserer Ansicht mehr als der Bestimmung eines Summenparameters wie z.B. PM₁₀ (vereinfacht Masse aller Teilchen kleiner 10 µm) oder PM_{2,5} (vereinfacht Masse aller Teilchen kleiner 2,5 µm) [6]. Ein derartiger Parameter kann unter toxikologischen Aspekten nur interpretiert werden, wenn die Zusammensetzung

der untersuchten Luft und die Dosis-Wirkungsbeziehung bekannt ist. Aufgrund der unterschiedlichen Quellen und der eng begrenzten Verteilungsräume im Innenraum ist davon auszugehen, dass die Zusammensetzung der Innenraumluft sehr variabel ist. Aufgrund des bisher vorliegenden Wissens sind Feinstaubmessungen in Innenräumen gegenwärtig toxikologisch nicht zu interpretieren. Ihre Ergebnisse können einstweilen nur dazu dienen, sich einen Überblick über die Höhe möglicher Expositionen zu verschaffen und die möglichen Einflussgrößen systematisch zu erfassen. In einem ersten Untersuchungsabschnitt 2005/06 waren 37 Schulen auf ihre Feinstaubbelastung untersucht worden. Diese Untersuchung hatte gezeigt, dass es während des Unterrichts vor allem zu einem Anstieg der Feinstaubkonzentration in dem Bereich von $PM_{2,5}$ bis PM_{10} kommt. Aufgrund der anhaltenden Diskussion in der Öffentlichkeit über Möglichkeiten den Anstieg der Feinstaubkonzentration während des Unterrichtes zu reduzieren, wurde in der 4. Klasse einer Grundschule von November 2006 bis Juli 2007 eine Feinstaubmessung durchgeführt. Das Lüftungsverhalten wurde durch die Messung der Kohlendioxid-Konzentration verfolgt. Um den Einfluss der Reinigung auf die Feinstaubkonzentration zu ermitteln, wurde das Klassenzimmer im Wechsel von ein bis drei Wochen normal bzw. verstärkt gereinigt. In einem Untersuchungsabschnitt wurde das Klassenzimmer überhaupt nicht gereinigt.

Material und Methode

Mittels Streulichtfotometrie wurde die $PM_{2,5}$ - und PM_{10} -Konzentration zeitgleich mit dem Air Pollution Monitor APM-2 der Firma Derenda kontinuierlich in der Außenluft (Abstand von der Schule ca. 100 m) und im Klassenraum einer Grundschule (4. Klasse) vom 20. November 2006 bis 26. Juli 2007 gemessen.

Die CO_2 -Konzentration in dem Klassenzimmer wurde kontinuierlich während der Schulzeit alle 10 Minuten mit dem Testo 950 (Firma Testo) gemessen.

Um den Einfluss von Reinigungsmaßnahmen auf die Feinstaubkonzentration zu bestimmen wurde folgender Reinigungsplan umgesetzt.

- 1) Normale Reinigung: Boden feucht, 2,5 mal pro Woche, feuchte Reinigung Tische 2,5 mal pro Woche an Tagen an denen der Boden nicht gereinigt wurde, daraus ergeben sich Unterrichtswochen mit 2 maliger und 3 maliger Reinigung von Boden und Tischen (entsprechend Vorgaben Anhang A DIN 77400 „Reinigungsdienstleistungen – Schulgebäude – Anforderungen an die Reinigung“)
- 2) Verstärkte Reinigung: Schultäglich Boden feucht, bei feuchter Reinigung der Tische jeden zweiten Schultag.

- 3) Nach den Februar-Ferien wurde das Klassenzimmer zwei Wochen lang überhaupt nicht gereinigt.

Die Nutzung des Klassenraums wurde über einen Fragebogen erfasst.

Die Auswertung der Daten erfolgte mit dem Programm Microsoft Excel 2000.

Außerdem wurde die Partikelanzahl in 15 Partikelgrößenfraktionen von 0,30 bis 20 µm in der Innenraum- und Außenluft an dieser Schule und an einer weiteren Schule bestimmt.

Die Ergebnisse dieser Untersuchungen werden an anderer Stelle berichtet.

Ergebnisse

Während des Schulunterrichtes stieg die PM₁₀-Konzentration deutlich an und lag wesentlich über der Konzentration der Außenluft. Auch die PM_{2,5}-Konzentration stieg in dieser Zeit an, aber in wesentlich geringerem Maße (Bild 1). In der Außenluft lag das durchschnittliche Verhältnis von PM_{2,5} zu PM₁₀ im gesamten Untersuchungsabschnitt bei 0,79, wobei dieses Verhältnis im Untersuchungsabschnitt November/Dezember bei 0,70 lag. In der Innenraumluft lag das durchschnittliche Verhältnis von PM_{2,5} zu PM₁₀ im Untersuchungsabschnitt November/Dezember bei 0,17. Bezogen auf den Unterrichtstag konnte ein charakteristischer Verlauf der PM₁₀-Konzentration festgestellt werden. Mit Beginn des Unterrichts nahm die PM₁₀-Konzentration bis zur großen Pause zu (Bild 2). In der Regel wurde, wie in Bild 3 am Verlauf der Kohlendioxid-Konzentration zu erkennen ist, gelüftet. Im Zuge der Lüftungsmaßnahme nahmen die PM₁₀- und die Kohlendioxid-Konzentration während der Pause ab. Mit der Wiederaufnahme des Unterrichts stieg die PM₁₀- und die Kohlendioxid-Konzentration wieder an (Bild 2 und 3) um nach Unterrichtsende langsam abzufallen. Auch bezüglich der Wochentage war eine Charakteristik im Verlauf der PM₁₀- und der Kohlendioxid-Konzentration (Bild 4 und 5) festzustellen. Außer am Mittwoch wurden die Unterrichtsstunden weitestgehend von der Klassenlehrerin gehalten, die in der Regel darauf geachtet hat, dass in der großen Pause gelüftet wurde. Am Mittwoch erfolgte der Unterricht durch eine andere Lehrkraft. Am Donnerstag war die Klasse während des Unterrichts geteilt, so dass sich nicht alle Kinder während der gesamten Unterrichtszeit im Klassenzimmer aufhielten.

Zwischen den normal gereinigten Abschnitten (Boden bzw. Tischflächen jeden zweiten Tag abwechselnd gewischt) und den verstärkt gereinigten Abschnitten (Boden täglich und Tischflächen jeden zweiten Tag gewischt), gab es bezüglich der Höhe der PM₁₀-Konzentration keine signifikanten Unterschiede. In einem Untersuchungsabschnitt wurde das Klassenzimmer bis nach den Ferien überhaupt nicht gereinigt. Das Zimmer war in die-

ser Zeit visuell wahrnehmbar stark verunreinigt. Der Median der PM_{10} -Konzentration lag in dieser Zeit zwar geringfügig über den Vergleichszeiträumen, deutlich ist jedoch die höhere Schwankungsbreite der Einzelergebnisse (vgl. Bild 6). Ein signifikanter Anstieg kann jedoch nicht erkannt werden. In den Wintermonaten waren die Mediane der PM_{10} -Konzentration, vor allem jedoch die 95-zigsten Percentile deutlich höher als in den Sommermonaten (Bild 6 und 7). Auch die Höhe der Kohlendioxid-Konzentration war in den Wintermonaten aufgrund des Lüftungsverhaltens deutlich höher als in den Sommermonaten. Dies zeigt auch der Vergleich zwischen Bild 1, Bild 8 und 9.

In Bild 8 ist zu erkennen, dass es im Zeitraum um den 31. Mai und erneut um den 05. Juni (während der Pfingstferien) zu einer Erhöhung der $PM_{2,5}$ - und PM_{10} -Konzentration kam. In dieser Zeit wurden im Nebenraum des Klassenzimmers, in dem die Messungen stattfanden, Gipskartonplatten ausgewechselt. Auffällig war, dass das Verhältnis von $PM_{2,5}$ zu PM_{10} mit 0,62 deutlich anders war, als während des Schulunterrichts. Auffällig war auch der völlig andere Verlauf der Abnahme der $PM_{2,5}$ - und PM_{10} -Konzentration zu den Zeiten, in denen keine neuen Partikel freigesetzt wurden. Ein anderes Sonderereignis verdeutlicht Bild 9. An dem Wochenende vom 30.06 - 01.07 veranstaltete die Schule einen Tag der offenen Tür. Dabei wurde bei geöffneten Türen und Fenstern unter einem Vorbau der Schule gegrillt. Das Verhältnis von $PM_{2,5}$ zu PM_{10} zeigte mit 0,77 einen deutlichen Unterschied zum täglichen Schulbetrieb. Auch bezüglich der Abklingkurve war der Unterschied zwischen, vor und nach dem Schulunterricht klar zu erkennen.

In Bild 8 und 9 ist außerdem zu erkennen, dass an den Wochenenden (21./22.04, 19./20.05, 16./17.06 und 14./15.07 in der Nähe des Außenluftmessplatzes gegrillt wurde. Während des Grillens kam es zu einem starken Anstieg der $PM_{2,5}$ - und PM_{10} -Konzentration und nach dem Grillen zu einem schnellen Abfall der Belastung.

Diskussion

Durch die Langzeituntersuchungen mit dem Air Pollution Monitor APM-2 der Firma Derenda konnte bestätigt werden, dass es während des Schulunterrichts zu einer deutlichen Erhöhung der Feinstaubkonzentration im Klassenzimmer kommt. Aufgrund des nachgewiesenen Verhältnisses der $PM_{2,5}$ - zur PM_{10} -Konzentration ist davon auszugehen, dass vor allem die Konzentration der größeren Partikel in dem Bereich von $PM_{2,5}$ bis PM_{10} erhöht ist. Dies deckt sich mit den Ergebnissen unserer Untersuchungen in den Jahren 2005/06 an 37 Schulen [1].

Der Vergleich zwischen der Feinstaubkonzentration in dem Klassenzimmer, das in Anlehnung an die DIN 77400 „Reinigungsdienstleistungen- Schulgebäude- Anforderungen an die

Reinigung“ nach dem allgemein in Stuttgart üblichen Vorgehen zweimal in der Woche feucht gewischt wurde und der Feinstaubkonzentration, die nach fünfmaligem feuchtem Wischen pro Woche gemessen wurde, zeigt, dass der Einfluss des Reinigens auf die Feinstaubkonzentration zu vernachlässigen ist. Selbst nach einer Periode ohne Reinigung kann keine signifikante Erhöhung des Medians der Feinstaubbelastung im Innenraum gesehen werden. Dies lässt den Schluss zu, dass der Feinstaubeintrag von Außen durch die Nutzer selbst über deren Kleidung, Haare, Hautpartikel und andere Quellen mit hoher Wahrscheinlichkeit größer ist, als die aus dem sedimentierten Bodenstaub durch mechanische Aktivitäten aufgewirbelten Partikel. Insgesamt handelt es sich um gröbere Teilchen die nach Schulschluss sehr schnell sedimentieren. Geht man von einem 300 m³ großen Klassenzimmer aus, das im Median mit einer PM₁₀-Konzentration von 200 µg/m³ belastet ist und berücksichtigt einen Luftwechsel von 2/h bei einer Unterrichtsdauer von 5 h, entspräche dies einer Gesamt-Staubmenge von 3000 mg. Bei einer Bodenfläche von ca. 100 m² würden somit etwa 30 mg Staub pro m² und Tag sedimentieren. Dies entspräche in der Größenordnung im übrigen den Annahmen, die im Zusammenhang mit Betrachtungen zur Expositionsabschätzung von belastetem Hausstaub [7] vorliegen.

Einen deutlich höheren Effekt auf die Reduzierung der PM₁₀-Konzentration hat das Lüften. Während der großen Pause nimmt die PM₁₀-Konzentration parallel zur Kohlendioxid-Konzentration deutlich ab. Auch der Effekt, dass die PM₁₀-Konzentration parallel zur Kohlendioxid-Konzentration im Sommer eindeutig niedriger ist als im Winter, ist auf das intensivere Lüften im Sommer zurück zu führen. Maßnahmen zur Verminderung der Feinstaubkonzentration sollten sich als vorrangig auf den Bereich der Verbesserung des Lüftungsregimes konzentrieren. Der zusätzliche Vorteil bei einem solchen Vorgehen wäre, dass es neben der Reduzierung der Feinstaubkonzentration in dem Klassenzimmer auch zu einer Abnahme der Belastung mit anderen Schadstoffen, wie vor allem dem Kohlendioxid aber auch gegebenenfalls anderen flüchtigen und schwer flüchtigen organischen Verbindungen käme.

Die Ergebnisse der während der Gesamt-Messung analysierten Sonderereignisse - Austausch und Sägen von Gipskartonplatten, Grillen - zeigen, dass von diesen Quellen Feinstäube anderer Zusammensetzung abgegeben werden, als die, die durch die Aktivitäten der Schüler im Innenraum auftreten. Der Anteil feinerer, langsamer sedimentierender Partikel, die beim Austausch und Sägen von Gipskartonplatten sowie beim Grillen freigesetzt werden, ist deutlich höher, wie an dem Verhältnis von PM_{2,5} zu PM₁₀ zu erkennen ist. Bei beiden Ereignissen ist das Verhältnis PM_{2,5} zu PM₁₀ dem üblichen Verhältnis beider Partikelfractionen in der Außenluft ähnlich. Bei der durch das Grillen ausgelösten Feinstaubbe-

lastung zeigt der Vergleich zwischen Außen- und Innenraumlufte, dass es während des Grillens außen und innen zu einem Anstieg der $PM_{2,5}$ - und der PM_{10} -Konzentration kommt. Nach Beendigung des Grillens erfolgt in der Außenluft sehr schnell eine Konzentrationsabnahme der Feinstäube. Diese schnelle Abnahme kann für den dynamisch anders gearteten Innenraum nicht gesehen werden. Möglicherweise werden, ähnlich wie für Kohlendioxid nachgewiesen und für gasförmigen Innenraumluftebestandteilen zu vermuten, Feinstaubpartikel aus nicht oder nicht ausreichend belüfteten Raumbereichen (Ecken) an den Messpunkt nachgeliefert. Bei der Erhebung von Feinstaubdaten und ihrer Interpretation ist also zu bedenken, dass in Innenräumen andere Einflussfaktoren vorliegen als in der Außenluft. Da sich Feinstaubmessungen bisher vor allem auf den Außenbereich konzentrierten, ergibt sich hieraus die Forderung, sich in der nächsten Zeit verstärkt der Durchführung und Interpretation von Feinstaubmessungen im Innenraumbereich zu widmen, wenn man das von Feinstäuben ausgehende gesundheitliche Risiko beurteilen will.

Das vorliegende Beispiel widerlegt die scheinbar plausible Annahme, dass eine Reduzierung der Feinstaubbelastung der Raumlufte durch eine Verdoppelung der Reinigungsaktivitäten von Böden und Möbeln möglich ist. Das Beispiel legt nahe, dass die Nutzer der Innenräume den Feinstaub zu einem nicht unerheblichen Teil in den Innenraum eintragen. Eine Erfahrung die auf ganz anderem Anforderungsniveau im übrigen von Betreibern von Reinräumen seit langem gemacht wurde. Die vorliegenden Daten belegen den dominanten Einfluss eines in der Regel kostenneutralen Lüftungsmanagements auf den Gehalt an Feinstaub im Innenraum. Das Beispiel zeigt auch, dass Überlegungen und Erkenntnisse aus dem Bereich der Außenluft nur nach gründlicher Überprüfung auf den Innenraum übernommen werden können und die Forderung nach der Entwicklung einer Strategie zur Messung von Feinstäuben in Innenräumen wird damit deutlich belegt. Die vorliegende Arbeit zeigt, dass sich Feinstaub in der Innenraumlufte bezüglich der Partikelgrößenverteilung wesentlich von der Außenluft unterscheidet. Die vorliegenden Daten sind damit nach unserer Ansicht ein weiteres Indiz, dass sich die chemische und biologische Zusammensetzung sowie die morphologische Struktur von Feinstaub in der Innenraumlufte mit hoher Wahrscheinlichkeit je nach Quelllage entscheidend von der der Außenluft unterscheidet. Eine Beurteilung des gesundheitlichen Risikos, das von Feinstaubbelastungen in Innenräumen ausgeht ist daher anhand der für die Außenluft geltenden Kriterien nicht möglich.

Wir möchten der Grundschule Neugereut, der Direktorin, den Lehrern und Schülern danken, die uns bei der Durchführung der Untersuchungen unterstützt haben.

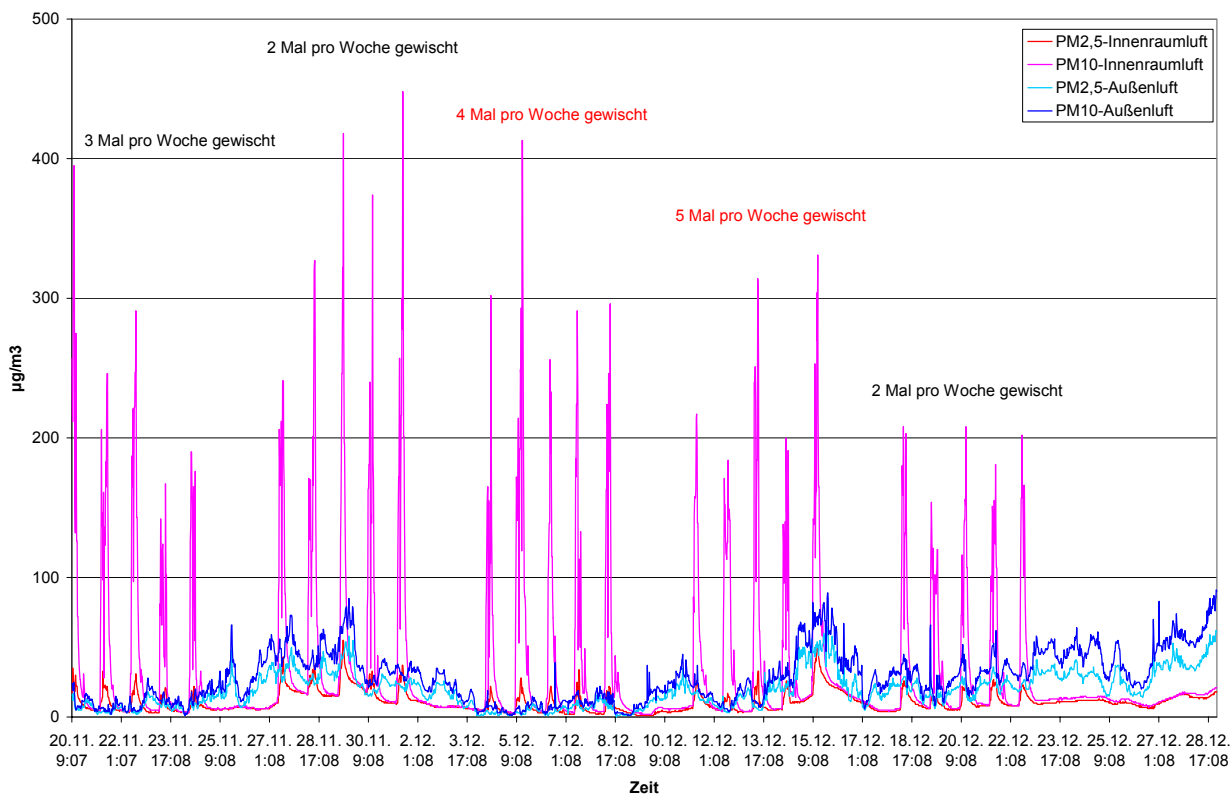


Bild 1: $\text{PM}_{2,5}$ - und PM_{10} -Konzentration in der Innenraumluft und der Außenluft einer Schule (4. Klasse) im November/Dezember

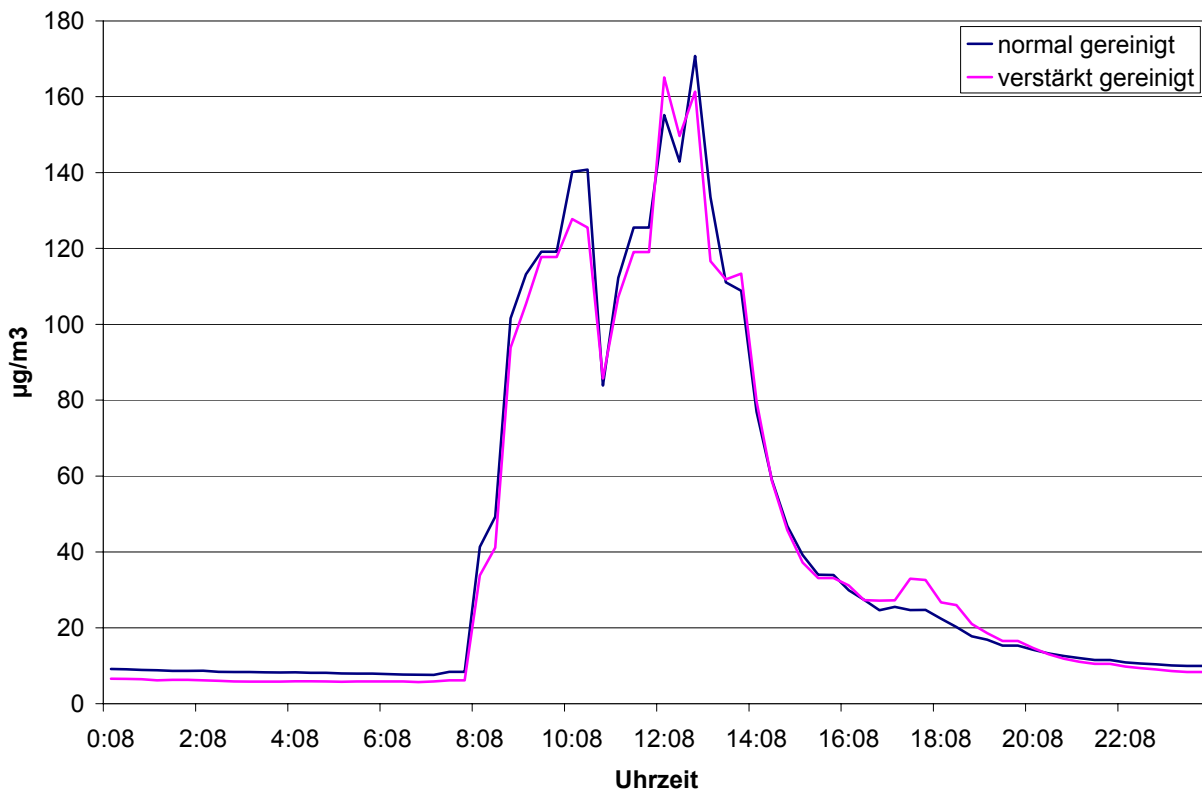


Bild 2: Durchschnittliche tägliche PM_{10} -Konzentration während der Unterrichtstage (November bis Februar) bei normaler und verstärkter Reinigung

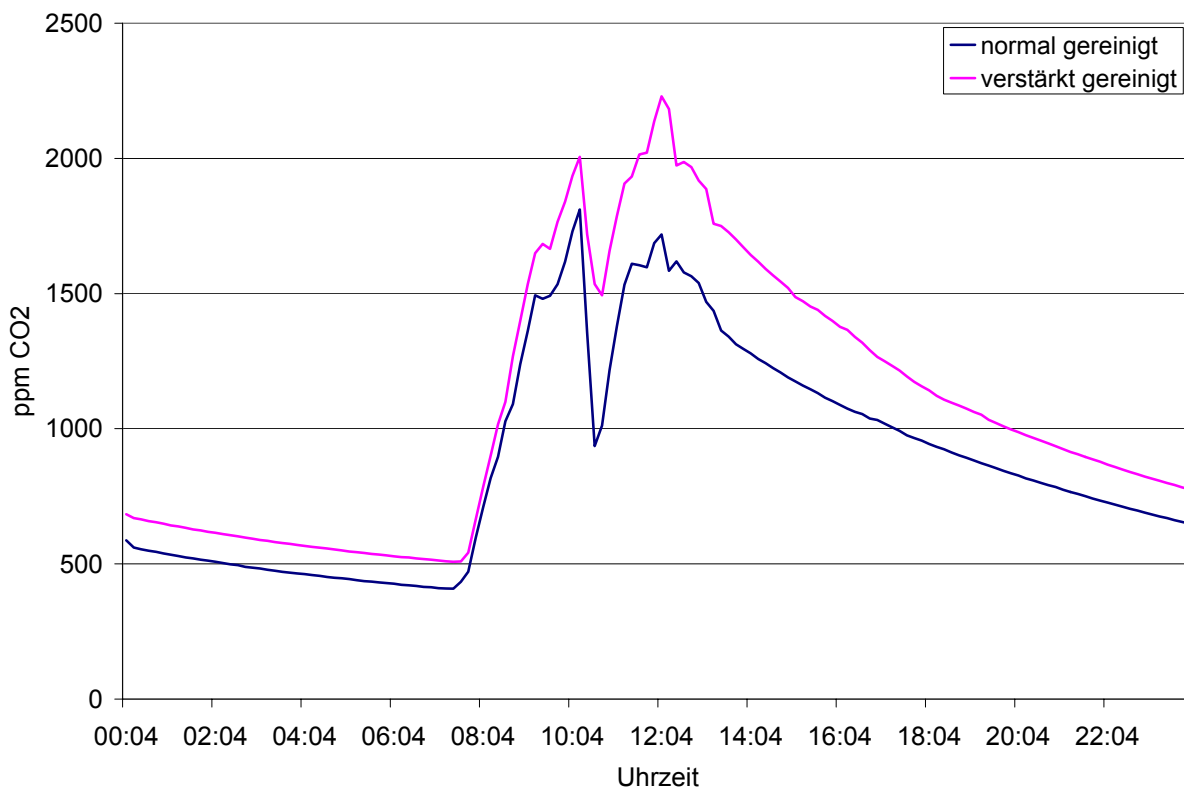


Bild 3: Durchschnittliche tägliche Kohlendioxid-Konzentration während der Unterrichtstage (November bis Februar) bei normaler und verstärkter Reinigung

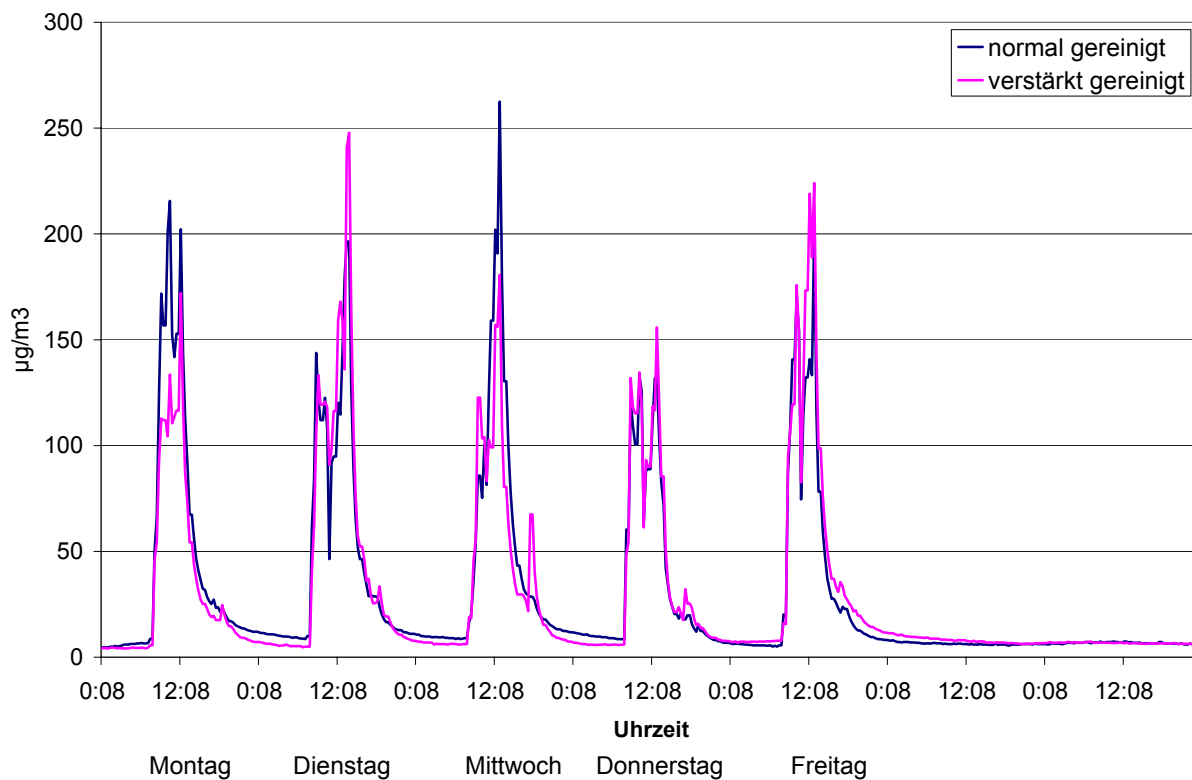


Bild 4: Durchschnittliche wöchentliche PM₁₀-Konzentration während der Unterrichtstage (November bis Februar) bei normaler und verstärkter Reinigung

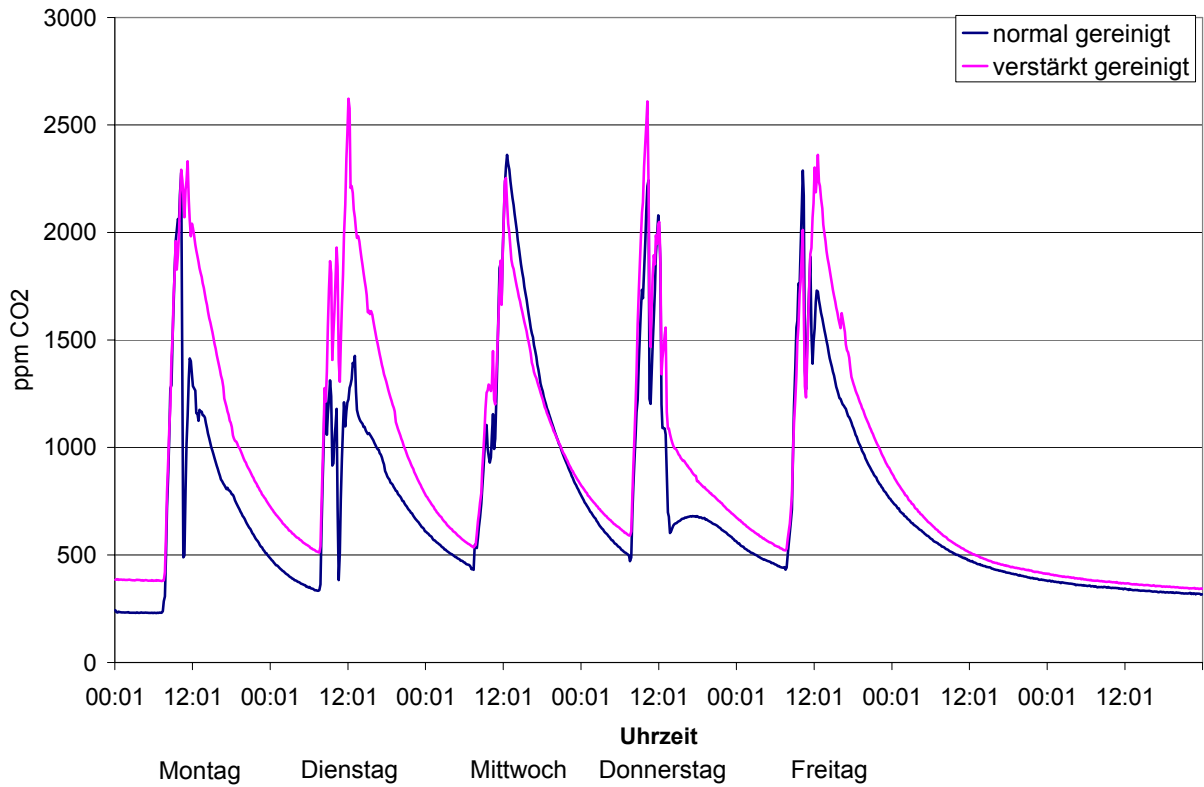


Bild 5: Durchschnittliche wöchentliche Kohlendioxid-Konzentration während der Unterrichtstage (November bis Februar) bei normaler und verstärkter Reinigung

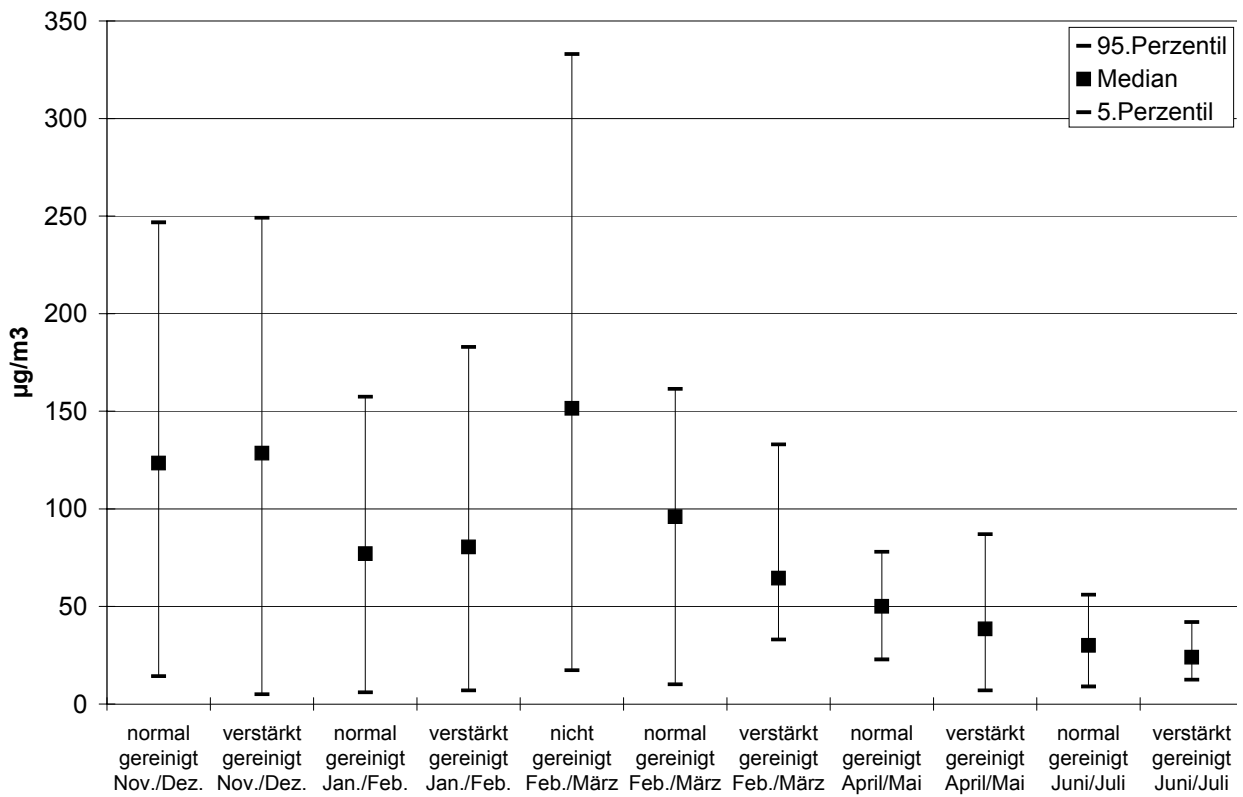


Bild 6: Durchschnittliche PM₁₀-Konzentration während der Unterrichtstage bei normaler und verstärkter Reinigung bzw. Nicht-Reinigung in den einzelnen Untersuchungsabschnitten

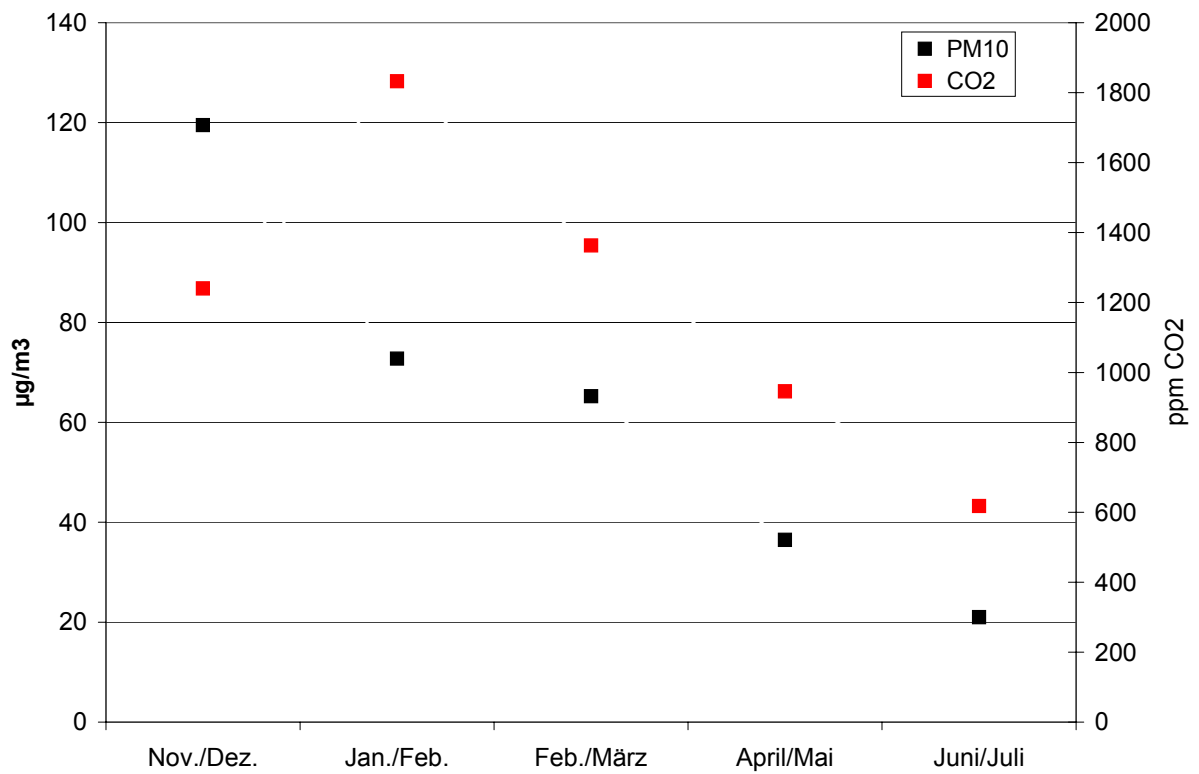


Bild 7: Durchschnittliche PM₁₀- sowie Kohlendioxid-Konzentration während der Unterrichtstage in den einzelnen Untersuchungsabschnitten

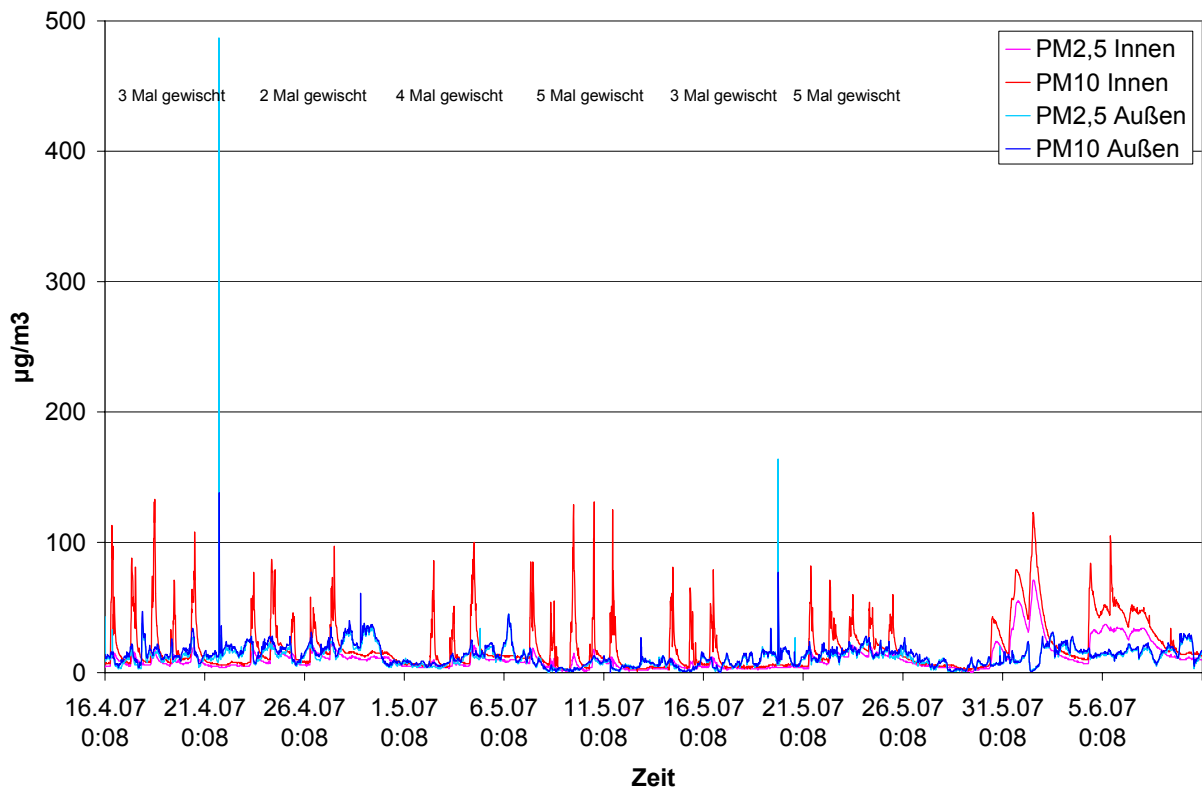


Bild 8: PM_{2,5}- und PM₁₀-Konzentration in der Innenraumlufte und der Außenluft einer Schule (4. Klasse) von April bis Anfang Juni

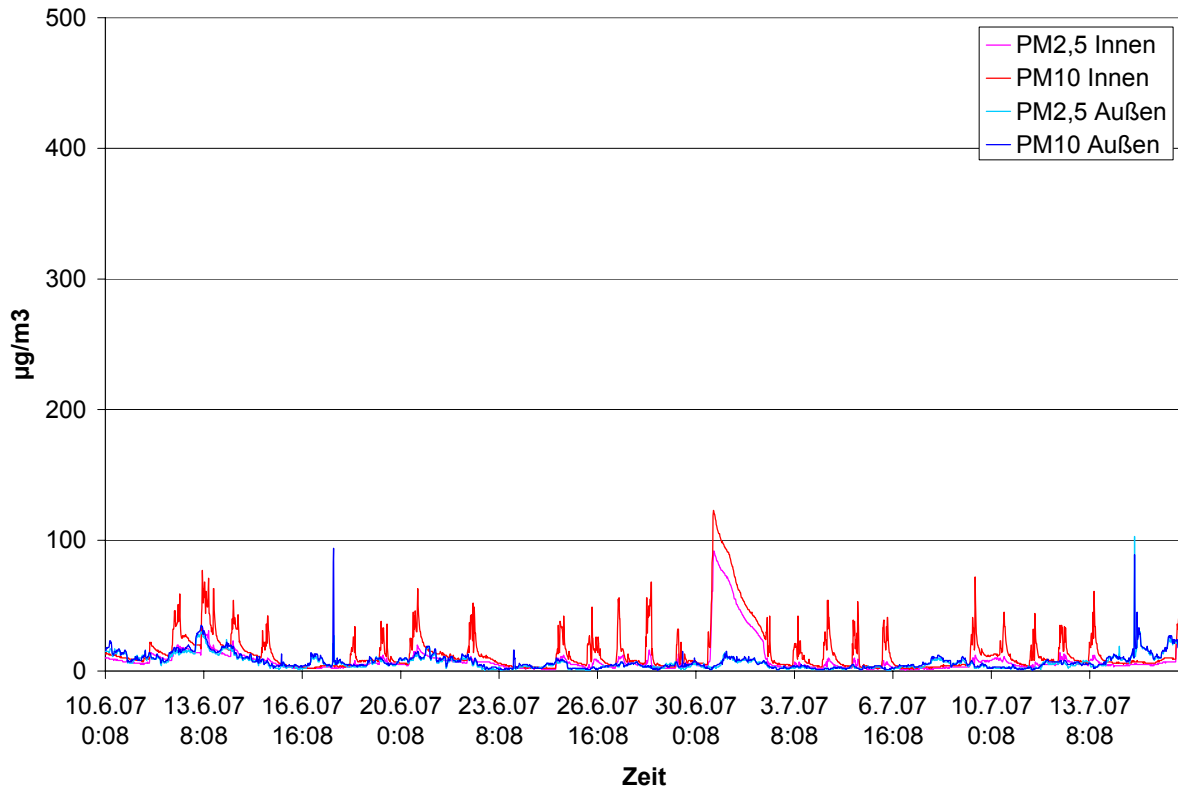


Bild 9: PM_{2,5}- und PM₁₀-Konzentration in der Innenraumluft und der Außenluft einer Schule (4. Klasse) im Juni /Juli

Literatur

1. H. Fromme, S. Dietrich, M. Kiranoglu, D. Twardella, R. Schierl, D. Nowak, D. Heitmann, W. Körner: Frische Luft an bayerischen Schulen. Untersuchungen zur Verbesserung der Luftqualität. Vorläufiger Abschlussbericht. Oberschleißheim, 2006
2. H. Fromme: Partikuläre Belastungssituation in Innenräumen, unter besonderer Berücksichtigung von Wohninnenräumen, Gemeinschaftseinrichtungen und Gaststätten. Gesundheitswesen 68 (2006) 714-723
3. T. Lahrz, M. Pioty, A. Oddoy, H. Fromme: Gesundheitlich bedenkliche Substanzen in öffentlichen Einrichtungen in Berlin. Untersuchungen zur Innenraumluftqualität in Berliner Schulen. Bericht des Instituts für Lebensmittel, Arzneimittel und Tierseuchen, Fachbereich Umwelt- und Gesundheitsschutz. Berlin, 2003
4. T. Lahrz, M. Pioty, P. Pfeiler, I. Honigmann: Gesundheitlich bedenkliche Substanzen in öffentlichen Einrichtungen in Berlin. Abwehr gesundheitlicher Beeinträchtigungen durch Luftschadstoffe in Berliner Schulen. Messprogramm 2003. Bericht des Instituts für Lebensmittel, Arzneimittel und Tierseuchen, Fachbereich Umwelt- und Gesundheitsschutz. Berlin, 2004
5. T. Lahrz, M. Pioty, P. Pfeiler, I. Honigmann: Gesundheitlich bedenkliche Substanzen in öffentlichen Einrichtungen in Berlin. Abwehr gesundheitlicher Beeinträchtigungen durch Luftschadstoffe in Berliner Schulen. Bericht des Instituts für Lebensmittel, Arzneimittel und Tierseuchen, Fachbereich Umwelt- und Gesundheitsschutz. Berlin, 2006
6. T. Gabrio, G. Volland, I. Baumeister, J. Bendak, A. Flicker-Klein, M. Gickeleiter, G. Kersting, V. Maisner, I. Zöllner: Messung von Feinstäuben in Innenräumen. Gefahrstoffe - Reinhaltung der Luft 67 (2007) 96 - 102
7. B. Seifert: Untersuchungen von Hausstaub im Hinblick auf Expositionsabschätzungen. Bundesgesundheitsbl. 41 (1998) 383 - 391)