

## **Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz deckt gravierende Fehlmessungen von Feinstaub mit Geräten eines bestimmten Herstellers auf**

### **Kurzdarstellung eines messtechnischen Problems bei Feinstaubmessungen**

Bei der Luftqualitätsüberwachung werden in ganz Europa – so auch in NRW – für Feinstaubmessungen (PM10 und PM2.5) automatische, kontinuierlich messende Geräte eingesetzt, da nur so die Anforderung der Europäischen Luftqualitätsrichtlinien nach täglicher, aktueller Information der Bevölkerung erfüllt werden kann. Kontinuierliche Feinstaubmessungen entsprechen jedoch nicht dem von der EU festgelegten Referenzverfahren, bei dem der Feinstaub auf Filtern gesammelt und manuell ausgewogen wird. Da automatische Messverfahren in der Regel Minderbefunde gegenüber den Referenzverfahren aufweisen, sind regelmäßige Vergleichsmessungen mit dem Referenzverfahren zur Kalibrierung der automatischen Verfahren erforderlich, um eine Gleichwertigkeit der Ergebnisse in Europa sicherzustellen. Diese wichtige Aufgabe der Qualitätssicherung wird vom LANUV seit vielen Jahren mit hohem Aufwand wahrgenommen.

Die Minderbefunde der automatischen Verfahren werden im Wesentlichen durch den Verlust flüchtiger Staubbestandteile in den Geräten verursacht, auch Wasseranteile im Staub beeinflussen das Messergebnis. Ein von einem amerikanischen Hersteller neu entwickeltes Gerät (TEOM FDMS) versucht mit einer komplexen Messtechnik, diese Fehlereinflüsse zu vermeiden und Messergebnisse zu erzielen, die ohne Korrektur den Ergebnissen des Referenzverfahrens entsprechen.

Nach positiven Tests im Messnetz des LANUV und auch in anderen europäischen Messnetzen wurde der neue Gerätetyp im Jahr 2008 bevorzugt an Verkehrsstationen für die Messung von Feinstaub (PM10) eingesetzt, an denen aufgrund der kleinen Messcontainer kein Platz für Vergleichsmessungen mit dem Referenzverfahren vorhanden ist. Die neue Messtechnik wurde darüber hinaus für die Messung der Feinstaubfraktion PM2.5 herangezogen. An drei Messstationen mit größerem Platzangebot (zwei Stationen für PM10, eine Station für PM2.5) wurden zur Qualitätssicherung Parallelmessungen mit dem Referenzverfahren durchgeführt. Während die Vergleichsmessungen für PM10 unauffällig waren, wurde nach einigen Monaten deutlich, dass das neue PM2.5-Messgerät erheblich zu hohe Messwerte lieferte. Daraufhin wurden mit einem neu entwickelten Prüfverfahren alle Messgeräte des neuen Typs FDMS überprüft. An einigen Geräten wurden erhebliche Verschiebungen des Nullpunktes festgestellt, die zu hohe Feinstaubmesswerte vortäuschen. Diese Fehlmessungen sind von Gerät zu Gerät sehr unterschiedlich und zeitlich nicht konstant, sodass es im Nachhinein unmöglich ist, den Beginn der Gerätestörung exakt zu ermitteln.

Ein internationaler Erfahrungsaustausch auf der Ebene der europäischen Referenzlaboratorien ergab, dass ähnliche Probleme mit diesen Geräten auch in anderen Ländern aufgetreten sind (Großbritannien, Frankreich, Schweden, Schweiz). Nach derzeitigem Erkenntnisstand sind Modifikationen am Trocknersystem der FDMS-Geräte, die der amerikanische Hersteller im Rahmen der Produktion vorgenommen hat, eine wesentliche Ursache der Fehlmessungen.

Es ist dem qualifizierten Qualitätsmanagement des LANUV zu verdanken, dass die beschriebenen Fehler aufgedeckt werden konnten. Das LANUV tut alles, um die Probleme schnellstmöglich zu beheben. Trotz aller Bemühungen war es unvermeidbar, für fünf verkehrsbezogene Messstationen die Daten des Jahres 2008 komplett zu verwerfen. Das Luftqualitätsmessnetz des LANUV musste nochmals in erheblichem Umfang umstrukturiert werden, um die Messaufgaben 2009 wahrnehmen zu können. An den fünf betroffenen Stationen wurde 2009 ein Geräte austausch veranlasst. Nähere Einzelheiten zu den hier kurz skizzierten technischen Problemen sind nachfolgend zusammengestellt.

### **Die Hintergründe im Detail**

Die Europäische Union (EU) hat in ihren Richtlinien zur Luftqualität Referenzverfahren zur Messung von Feinstaub PM<sub>10</sub> und PM<sub>2.5</sub> festgelegt, aktuell in der „Richtlinie 2008/50/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 21. Mai 2008 über Luftqualität und saubere Luft für Europa“ (Anhang VI). In beiden Fällen handelt es sich um sogenannte gravimetrische Verfahren: das heißt, dass der Feinstaub über einen Zeitraum von jeweils 24 Stunden auf Filtern abgeschieden und anschließend gewogen wird. Durch Division der Staubmasse durch das gleichzeitig gemessene Luftvolumen wird die Feinstaubkonzentration in  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  errechnet.

Der Einsatz dieser Referenzverfahren ist technisch und personell äußerst aufwändig. Hinzu kommt, dass die Luftqualitätsrichtlinien der EU für Feinstaub PM<sub>10</sub> eine zeitnahe, tägliche Information der Bevölkerung vorschreiben. Aus diesen Gründen werden in allen Luftqualitätsmessnetzen in Europa auch kontinuierliche Messverfahren für PM<sub>10</sub> (und PM<sub>2.5</sub>) eingesetzt. Im Wesentlichen handelt es sich um zwei Messprinzipien:

- das Beta-Strahlenabsorptionsverfahren, bei dem Staub auf einem Filterband abgeschieden wird. Die Schwächung von Beta-Strahlung beim Durchtritt durch das bestaubte Filter ist ein Maß für die abgeschiedene Staubmasse.
- die oszillierende Mikrowaage, bei der ein Teilstrom der Luft über ein kleines Messfilter geleitet wird. Dieses Filter ist Teil eines schwingenden Systems. Die während der Bestäubung auftretende Änderung der Schwingungsfrequenz ist ein Maß für die Staubmasse.

Die Luftqualitätsrichtlinien der EU lassen den Einsatz derartiger Messverfahren grundsätzlich zu, wenn nachgewiesen werden kann, dass sie Ergebnisse liefern, die gleichwertig zum jeweiligen Referenzverfahren sind. Derartige Nachweisführungen sind auf Basis eines entsprechenden EU-Leitfadens durchzuführen und ebenfalls sehr aufwändig, da sie an mehreren verschiedenen Messorten zu unterschiedlichen Jahreszeiten durchgeführt werden müssen (Äquivalenzprüfung).

Langjährige Erfahrungen und Untersuchungen der oben kurz skizzierten, kontinuierlich arbeitenden Messverfahren zeigen, dass diese in der Regel Minderbefunde von rund 10% bis 30% gegenüber dem Referenzverfahren aufweisen. Aus diesem Grunde ist es notwendig, kontinuierliche PM-Messungen durch Vergleichsmessungen mit dem Referenzverfahren regelmäßig zu kalibrieren. Derartige Vergleichsmessungen führt das LANUV ständig an einer großen Zahl von Messstationen durch.

Warum ist die Messung von Feinstaub so schwierig?

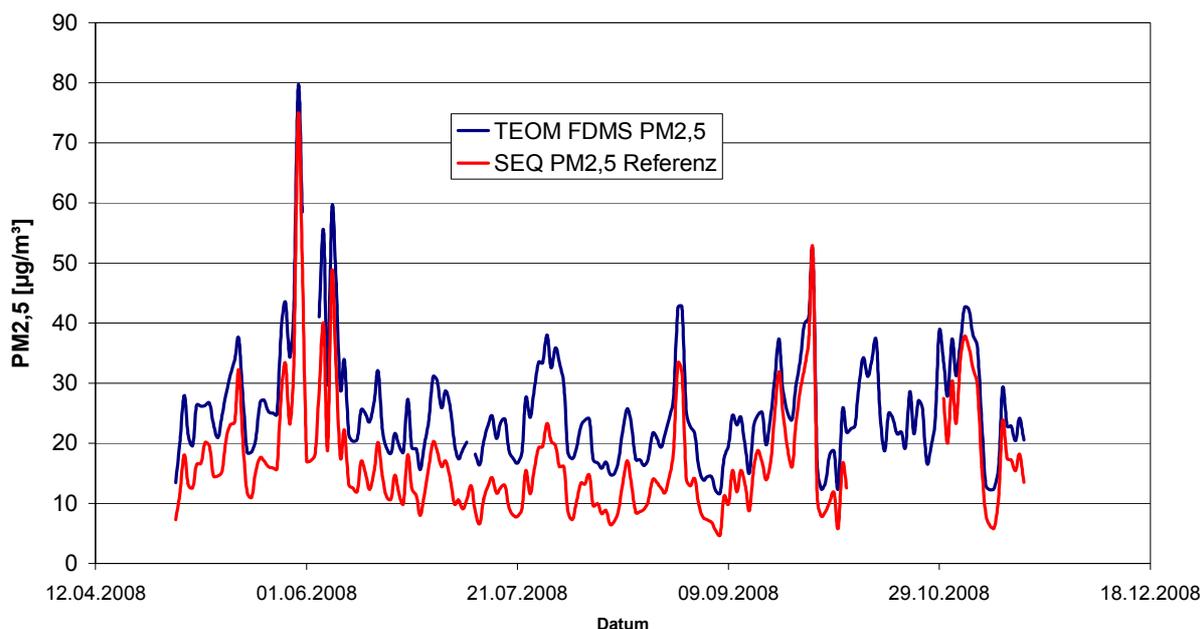
Andere Messkomponenten wie beispielsweise Stickstoffdioxid oder Benzol sind klar definierte chemische Verbindungen, für deren Analytik unter anderem Kalibriergase mit bekannter Konzentration zur Verfügung stehen. Feinstaub dagegen ist ein hoch komplexes Gemisch aus Hunderten von Stoffen und Verbindungen, dessen Zusammensetzung räumlich und zeitlich erheblichen Schwankungen unterliegen kann. Rein messtechnisch ist besonders der Wassergehalt der Stäube problematisch, so dass in der Regel Trocknungsprozesse erforderlich sind. Wird Feinstaub jedoch erwärmt, so besteht die große Gefahr, dass neben Wasseranteilen auch leichtflüchtige Staubbestandteile verdampfen. Da der Gehalt solcher Anteile, wie z. B. Ammoniumnitrat, beträchtlich sein kann, würden durch ein zu starkes Erwärmen die Feinstaubmessungen u. U. erheblich verfälscht.

Aus diesen Gründen wird versucht, die für die Messungen notwendigen Trocknungsvorgänge mit Hilfe spezieller Techniken schonend bei niedrigen Temperaturen durchzuführen. Ein noch weiter gehender Ansatz besteht darin, alternierend zum kontinuierlichen Messprozess den Verlust an flüchtigen Staubbestandteilen quantitativ zu erfassen. Das Basismesssignal dieser Geräte wird dann um die flüchtigen Bestandteile korrigiert. Diese Messtechnik ist unter der Bezeichnung TEOM FDMS bekannt.

Das LANUV hat sich sehr frühzeitig ab dem Jahr 2005 mit dieser neuen Technik auseinandergesetzt und Äquivalenzprüfungen für PM<sub>10</sub> an mehreren Standorten durchgeführt. Auch in anderen Ländern der EU, beispielsweise in Großbritannien und Frankreich, wurden derartige Untersuchungen gemacht. Alle diese Prüfungen haben gezeigt, dass diese Messtechnik in der Lage ist, die in den Luftqualitätsrichtlinien festgelegten sogenannten „Datenqualitätsziele“ der EU ggf. auch ohne Anwendung von Kalibrierfaktoren zu erfüllen.

Durch die oben genannte neue Luftqualitätsrichtlinie 2008/50/EG ergab sich die Notwendigkeit, Ende 2007 das Luftqualitätsmessnetz in NRW um die Messung von PM<sub>2.5</sub> zu erweitern. Aufgrund der positiven Untersuchungsergebnisse des LANUV und anderer EU-Mitgliedsstaaten wurde dabei stark auf die erwähnte TEOM FDMS-Technik zurückgegriffen. Die neue Messtechnik wurde aufgrund der zunächst sehr guten Testergebnisse bevorzugt in Verkehrsstationen eingesetzt, in denen das geringe Platzangebot der kleinen Container Vergleichsmessungen mit dem Referenzverfahren nicht zulässt. Trotzdem wurden von Anfang an aus Gründen der Qualitätssicherung an drei Messstationen Vergleichsmessungen mit dem gravimetrischen Referenzverfahren gemacht (an 1 Messstation für PM<sub>2.5</sub> und an 2 Messstationen für PM<sub>10</sub>). Nach einigen Monaten wurde im Jahr 2008 deutlich, dass das kontinuierliche Messgerät für PM<sub>2.5</sub> unplausible Daten lieferte (zu hohe Konzentrationen im Vergleich zur Referenz), während die beiden Vergleichsmessungen für PM<sub>10</sub> unauffällig waren. Nach Überprüfung aller denkbaren Fehlerquellen wurden die Vergleichsuntersuchungen dann mit einem erheblichen technischen und personellen Aufwand auf weitere Stationen ausgedehnt. Es zeigte sich, dass auch hier unplausible und fehlerhafte Messwerte auftraten. Zu einem großen Anteil werden diese Messfehler durch erhebliche Nullpunktverschiebungen hervorgerufen, die selbst in partikelfreier Luft Feinstaub vortäuschen. Die nachstehende Abbildung zeigt Konzentrationsverläufe für PM<sub>2.5</sub> an der Station Dortmund-Eving (DMD2). Die rote Kurve zeigt die korrekten PM<sub>2.5</sub>-Konzentrationen, die mit dem Referenzmessverfahren ermittelt wurden. Die blaue Kurve des TEOM FDMS verläuft weitgehend parallel, zeigt aber Konzentrationen, die teilweise um mehr als 10 µg/m<sup>3</sup> zu hoch liegen. Es wird auch deutlich, dass die Höhe der Nullpunktverschiebung zeitlich nicht konstant ist.

**Verlauf der PM<sub>2,5</sub>-Konzentration an der Station Dortmund (DMD2)**



Durch umfangreiche Recherchen wurde daraufhin mit Hochdruck versucht, zusammen mit dem in den USA ansässigen Gerätehersteller und der deutschen Vertriebsfirma die

Ursachen der Fehlmessungen zu ermitteln. Darüber hinaus wurde die Problematik auf europäischer Ebene im Kreis der nationalen Referenzlaboratorien erörtert (das LANUV ist nationales Referenzlabor für Luftqualität in Deutschland). Dabei wurde deutlich, dass auch in anderen Ländern wie Großbritannien, Schweden, der Schweiz und Frankreich massive Probleme mit der TEOM FDMS-Technik aufgetreten waren. Die Fehleranalyse konzentrierte sich dabei mehr und mehr auf eine technisch komplexe Trocknungseinrichtung der Messgeräte. Es stellte sich heraus, dass im Rahmen der Modellentwicklung der Gerätetechnik der US-Hersteller die von einer anderen Firma entwickelte Trocknungstechnik durch ein selbst entwickeltes Produkt ersetzt und noch weitere Gerätemodifikationen vorgenommen hatte. Nach derzeitigem Erkenntnisstand stellen diese Geräteveränderungen durch den Hersteller zumindest eine wichtige Ursache der messtechnischen Probleme dar, die bei den im Vorfeld positiv getesteten Geräten noch nicht bestanden. Die Fehlmessungen von Feinstaub (PM10 und PM2.5) sind somit auf fehlerhafte Geräte des Herstellers zurückzuführen. Rechtliche Schritte gegen den Hersteller und die Vertriebsfirma werden derzeit geprüft.

Parallel zu den vorab geschilderten Überprüfungen wurde ein neues Testverfahren für die automatischen Geräte entwickelt und etabliert. Das Aufsetzen eines Nullfilters, durch den das Messgerät mit staubfreier Luft betrieben werden kann, ermöglicht nun Plausibilitätskontrollen aller Messgeräte hinsichtlich der oben erwähnten Verschiebungen des Nullpunktes auch ohne die zeitaufwändigen Parallelmessungen mit dem Referenzverfahren. Anfang 2009 wurden diese Qualitätsprüfungen Zug um Zug auf alle im Messnetz betriebenen neuen TEOM FD/MS-Geräte (PM10 und PM2.5) ausgedehnt. Es stellte sich heraus, dass die zu Fehlmessungen führenden Nullpunktverschiebungen von Gerät zu Gerät sehr unterschiedlich sein können und auch zeitlich nicht konstant sind. An 5 PM10-Messgeräten (von insgesamt 66 im Luftmessnetz eingesetzten PM10-Messgeräten verschiedener Hersteller) in Verkehrsmessstationen, an denen aus Platzgründen keine Vergleichsmessungen mit dem Referenzverfahren möglich waren, wurden besonders hohe Verschiebungen des Nullpunktes festgestellt. Aus diesen Gründen ist es im Nachhinein unmöglich, bei einer festgestellten Nullpunktverschiebung den Beginn der Gerätestörung zu ermitteln.

## **Fazit**

Die oben beschriebenen Probleme und Fehler der Feinstaubmessgeräte vom Typ TEOM FDMS waren schwer zu entdecken. Nur umfangreiche Parallelmessungen mit dem Referenzverfahren und langjährige Erfahrungen haben dies überhaupt ermöglicht. Die Forderung nach fortlaufenden Parallelmessungen mit dem gravimetrischen Referenzverfahren an einigen Stationen im Messnetz ist aufgrund der europaweit aufgetretenen Probleme von der EU-Kommission kürzlich erneut deutlich gemacht worden. Das LANUV NRW ist eines der wenigen Messnetze in ganz Europa, die diese Messungen mit hohem Aufwand bereits seit Jahren realisieren.

Es ist dem qualifizierten Qualitätsmanagement des LANUV zu verdanken, dass die beschriebenen Fehler aufgedeckt werden konnten. Das LANUV tut alles, um die Probleme schnellstmöglich zu beheben und testet unter anderem auch alternative Geräte und Verfahrensvarianten.

## **Konsequenzen**

Der überwiegende Teil der PM10-Messdaten des Jahres 2008 ist von den Fehlmessungen nicht betroffen, da das gravimetrische Referenzverfahren oder andere, ältere Gerätetypen verwendet worden sind, deren Daten mit Kalibrierfaktoren aus Vergleichsmessungen versehen sind (insgesamt 56 Stationen).

Bei den Stationen Münster, Weseler Straße (VMSW), Witten (VWIT), Hürth (VHUE), Halle (VHAL), Bielefeld (VBIS) und Essen-Kray (nur Teilzeitraum, dort auch Gravimetrie) liegt die Nullpunktverschiebung in einem gerade noch akzeptablen Bereich, so dass diese Werte im Datenbestand verbleiben. Es wird jedoch auf den größeren Unsicherheitsbereich der Daten hingewiesen.

Bei den 5 verkehrsbezogenen Messstationen (Recklinghausen, Bochumer Straße (VREB), Köln, Clevischer Ring (VKCL), Essen, Gladbecker Straße (VEAE), Dortmund, Brackeler Straße (VDOM) und Dinslaken, Wilhelm-Lantermann-Straße (VDIN)) sind die Messfehler mit Nullpunktverschiebungen zwischen  $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$  und  $13 \mu\text{g}/\text{m}^3$  so ausgeprägt, dass die Messdaten komplett verworfen werden mussten und aus dem Datenbestand gelöscht worden sind. Eine nachträgliche Korrektur ist messtechnisch nicht zu verantworten, da die starke Verschiebung des Nullpunktes vermutlich im Jahr 2008 nicht konstant war. Eine Veröffentlichung der unkorrigierten Daten scheidet ebenfalls aus, da an diesen 5 Stationen fälschlich erheblich zu hohe Messwerte veröffentlicht würden, die zudem bei der Evaluierung der Auswirkungen der Umweltzonen zu falschen Schlussfolgerungen führten. Ein Geräteaustausch wurde bereits veranlasst.

Nur in einer Kommune (Dinslaken) können die fehlerhaften Messergebnisse Auswirkungen auf die Luftreinhalteplanung haben, da in den anderen Kommunen bereits Luftreinhaltepläne bestehen, die auch aufgrund hoher Stickstoffdioxidbelastungen erforderlich sind. In Dinslaken werden vorsorglich die Arbeiten zur Aufstellung des Luftreinhalteplans fortgesetzt. Zur Beurteilung der vorhandenen Feinstaubbelastungen werden ergänzend zu den mit einem Austauschgerät erfolgenden Feinstaubmessungen im Jahr 2009 Modellrechnungen durchgeführt, die sowohl die lokalen Feinstaub-Konzentrationen im Nahbereich der Wilhelm-Lantermann-Straße als auch den Einfluss industrieller Quellen (z. B. Kraftwerke) auf die Stadt Dinslaken ermitteln.

Bisher ist es weder der Herstellerfirma noch dem deutschen Vertreter der TEOM FDMS-Geräte gelungen, die Fehler und Probleme nachhaltig zu beheben. Das Luft-

qualitätsmessnetz des LANUV wurde daraufhin nochmals in erheblichem Umfang umstrukturiert, um die Messaufgaben 2009 wahrnehmen zu können.