

## ■ Wächter der Luft

Alle EU-Mitgliedsstaaten müssen die Qualität der Luft kontrollieren. In grauen Containern stecken die Geräte, die die Konzentration der Schadstoffe messen.

Winterzeit ist Schwefeldioxid-Zeit. Denn durch die Emissionen, die beim Heizen anfallen, steigt die Konzentration dieser Schwefelverbindung in der Luft. Im Sommer entsteht durch die höhere Sonneneinstrahlung vermehrt Ozon in der Troposphäre. Die Konzentration von Stickoxiden wiederum hängt direkt mit dem täglichen Verkehrsaufkommen zusammen (Abb. 1). Von dieser Veränderung der Schadstoffkonzentration in der Luft bekommt man am ehesten etwas durch den Wetterbericht mit, über Webseiten oder Anzeigetafeln in den Innenstädten.

Zunächst gilt es aber, die Schadstoffkonzentrationen zu messen, und das ist in der EU einheitlich geregelt. In Deutschland teilen sich Bund und Länder die Arbeit: Der Bund verantwortet die Hintergrundmessungen, die möglichst fern von Schadstoffquellen stattfinden, um die Qualität der weiträumig herantransportierten Luftmassen zu ermitteln. Die Länder überwachen die Luftqualität in Ballungsräumen und ländlichen Regionen. Was dabei wo gemessen wird, legen die Landesbehörden aufgrund der Bevölkerungsdichte und der lokalen Verteilung der Schadstoffverursacher fest. Das erklärt, warum die einzelnen Messstationen nicht alle die gleichen Schadstoffe erfassen. Die meisten Stationen analysieren aber einen einheitlichen Grundstock an gas-



In diesem unscheinbaren Container in Stuttgart-Mitte verbergen sich die Ge-

räte, die die Konzentration von gas- und partikelförmigen Schadstoffen messen.

und partikelförmigen Schadstoffen, nämlich Schwefeldioxid (SO<sub>2</sub>), Ozon (O<sub>3</sub>), Stickoxide (NO<sub>x</sub>), Kohlenmonoxid (CO) und Feinstaub.

Jede Station saugt die gasförmigen Schadstoffe an und verteilt definierte Luftmengen über Abzweigungen aus einem Glasrohr mit genormtem Durchmesser auf die einzelnen Geräte. Für den Nachweis gasförmiger Schadstoffe dienen optische Verfahren, die so ausgewählt sind, dass andere Moleküle im Luftstrom die Messsignale möglichst wenig verfälschen. So lässt sich SO<sub>2</sub> mittels Ultraviolettfluoreszenz nachweisen: Eine UV-Quelle regt die SO<sub>2</sub>-Moleküle an, ein Photodetektor erfasst die emittierten Photonen. Da Ozon UV-Strahlung absorbiert, eignet sich diese Schiene für den Nachweis. Auch CO lässt sich in Absorption messen, allerdings im Infraroten.

Beim Nachweis von NO<sub>x</sub> hilft die Chemilumineszenz: Dem NO in der Messkammer wird Ozon zugeführt, sodass es zu Stickstoffdioxid und Sauerstoff reagiert. Das entstehende NO<sub>2</sub> befindet sich im angeregten Zustand und sendet Photonen im Infrarotbereich aus, wenn es in den Grundzustand übergeht. Die Zahl der Photonen ist proportional zur NO-Konzentration.

Aber auch NO<sub>2</sub> ist als Schadstoff in der Luft nicht zu vernachlässigen. Um es in der Probenluft zu messen, wird es zunächst mithilfe eines Katalysators bei hohen Temperaturen in NO verwandelt. Dieses lässt sich wiederum über Chemilumineszenz nachweisen.

Anders als bei gasförmigen Schadstoffen muss die Messstation die Luft für die Feinstaubanalyse separat ansaugen. Denn nur eine gerade Führung des Luftstroms verhindert, dass einzelne Partikel bereits vor der Messung ungewollt im Rohr hängen bleiben. Diesen Effekt macht man sich aber auch zunutze, um den Feinstaub vorab nach Partikelgröße zu trennen: Im Innern der Köpfe zur Probenahme muss die Luft durch ein „Labyrinth“ strömen, bevor sie analysiert wird. Weglängen und Kanalbreiten sind dabei so dimensioniert, dass Teilchen oberhalb einer bestimmten Größe an den Wänden des Labyrinths hängenbleiben.

Laut Verordnung müssen die Länder die Feinstaubfraktionen PM<sub>10</sub> und PM<sub>2,5</sub> kontinuierlich messen. Diese umfassen alle Partikel mit einem Durchmesser von höchstens zehn bzw. 2,5 Mikrometern. Die EU schreibt eine separate Messung für PM<sub>2,5</sub> vor, da diese

Michael Vogel,  
vogel\_m@gmx.de

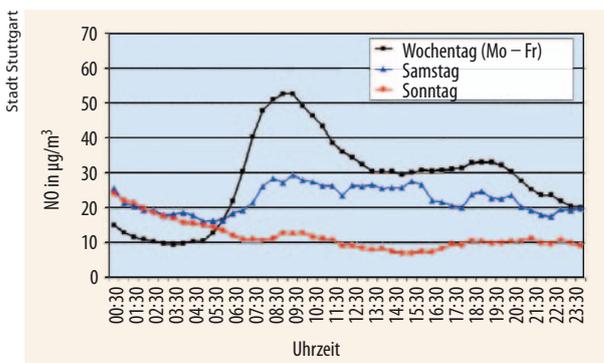
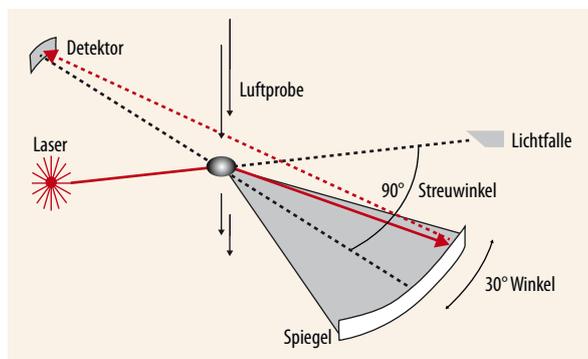


Abb. 1 Im mittleren Tagesgang ist die Konzentration von Stickstoffmonoxid an der Messstation Stuttgart-Mitte besonders hoch im morgendlichen Berufsverkehr.



**Abb. 2** Bei der optischen Messung von Feinstaubpartikeln passieren diese einzeln einen Laserstrahl. Da die Teilchen abhängig von ihrer Größe gestreut werden, lässt sich aus dem Streuwinkel auf die Partikelgröße schließen.

kleinen Partikel bis in die Lungenbläschen gelangen können.

Das Referenzverfahren für die Feinstaubmessung, das überall in den Luftmessnetzen zum Einsatz kommt, ist die Gravimetrie: Filter sammeln die Partikel 24 Stunden lang – die Konzentration lässt sich bei bekanntem Luftvolumen dann manuell aus der gewogenen Masse ermitteln. Allerdings müssen die Luftmessnetze auch mehrmals am Tag aktuelle Messwerte liefern. Hierfür bedienen sich die Bundesländer unterschiedlicher Verfahren, nämlich der  $\beta$ -Absorption, einer oszillierenden Mikrowaage oder der optischen Streuung.

Bei der  $\beta$ -Absorption sammelt ein Filterband den Feinstaub. Unterhalb dieses Filterbandes befindet sich ein  $\beta$ -Strahler. Für gewöhnlich handelt es sich dabei um ein schwach radioaktives  $^{14}\text{C}$ -Präparat. Ein Proportionalzählrohr auf der gegenüberliegenden Seite des Filterbandes misst simultan den Teil der Elektronen, den der Feinstaub nicht absorbiert hat. Attraktiv ist das Verfahren, weil der Feinstaub die Elektronen weitgehend unabhängig von seiner Zusammensetzung und Partikelgrößenverteilung absorbiert.

Ebenfalls etabliert sind oszillierende Mikrowaagen. Ihr Herzstück ist ein Glasrohr mit wenigen Millimetern Durchmesser, das in einer elektromagnetischen Spule steckt. Magnete, die sich außen am Glasrohr befinden, versetzen es in Eigenschwingungen. Am oberen Ende des Glasrohres sitzt ein Filter, den das Luftvolumen durchströmt. Der Feinstaub, der auf dem Filter hängen bleibt, verändert die Eigenschwingungsfrequenz des Gesamtsystems. Daraus lässt sich

bei bekanntem Luftvolumen die Feinstaubkonzentration ermitteln.

Die optische Streuung an Feinstaubpartikeln ist dagegen ein neueres Verfahren: Ein Laserstrahl beleuchtet dabei einen Luftstrom, der so fein ist, dass die Partikel den Strahl einzeln passieren. Der resultierende Streuwinkel hängt von der Partikelgröße ab. Deshalb ist der relevante winkelförmige Detektionsbereich in rund 30 Kanäle unterteilt, deren Anordnung aus einem empirischen Modell des Streuquerschnitts abgeleitet wurde (**Abb. 2**). Detektiert das Gerät ein gestreutes Photon in einem bestimmten Kanal, kann es daraus die Partikelgröße ableiten. Die Ergebnisse sind sehr zuverlässig, auch wenn sie nicht völlig unabhängig von der Zusammensetzung und Morphologie der Staubpartikel sind.

Die Ergebnisse aller kontinuierlichen Feinstaubmessverfahren müssen die Landesämter immer mit der Referenzmethode, dem Wiegen der Staubmasse, abgleichen. Da dies nur im Nachhinein funktioniert, veröffentlichen die Behörden zunächst immer vorläufige Feinstaubwerte.

Die Stärke der Luftmessnetze liegt in der Vergleichbarkeit ihrer Messergebnisse – sowohl mit früheren Ergebnissen als auch mit anderen Stationen in der EU. Notwendig ist dazu ein ausgeklügeltes Referenzsystem. Die Unsicherheiten in den Schadstoffkonzentrationen liegen für das europäische Messnetz dadurch bei stolzen zehn bis 15 Prozent. Allerdings weisen nicht alle Veröffentlichungen, die die Zeitreihen der Luftmessnetze nutzen, auf diesen Umstand hin.

**Michael Vogel**