

Definierte Nanopartikel aus Salz

Nanopartikel, wie sie beispielsweise bei der Verbrennung von Diesel entstehen, sind krebserregend. Abgasvorschriften dienen dazu, gesundheitliche Belastungen zu reduzieren. Da bei modernen Verbrennungsmotoren vorwiegend Nanopartikel generiert werden und diese von den bestehenden zugelassenen Messmitteln nicht gemessen werden können, müssen andere Methoden zum Einsatz kommen. Um die Anforderungen an diese neuen Messmittel zu überprüfen, hat das METAS einen Generator entwickelt, der Modellaerosole aus Salz mit definierten Eigenschaften herstellt.

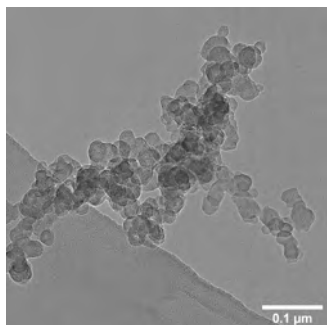
KEVIN AUERSET

Wird in einem Motor Diesel verbrannt, verwandeln sich Kohlenstoffketten in Sekundenbruchteilen zu Kohlendioxid und Wasser. Da die Verbrennung nicht vollständig ist, gelangen Milliarden winziger Russteilchen in die Luft. Dieser Dieseleruss – von blossem Auge höchstens als Russwolke erkennbar – schadet der Gesundheit. Um diese gesundheitliche Belastung zu reduzieren, werden hinter den Verbrennungsmotoren von Fahrzeugen und Baumaschinen neuester Generation Partikelfilter eingebaut.

Empfindlichkeit verbessern

Mit der Entwicklung moderner Verbrennungsmotoren hat sich das Grössenspektrum der ausgestossenen Partikel zu kleineren Grössen hin verschoben. Weil heutige Motoren mit Hochdruckeinspritzung arbeiten, und dadurch einen Grossteil der Partikel in einem Grössenbereich unterhalb 100 nm emittieren, wurde die Anzahl der Partikel im Abgas als neue, zusätzliche Messgrösse für die Typenprüfung von Fahrzeugen eingeführt. Die herkömmlichen Messmethoden für Dieselabgase basieren auf dem Prinzip der Trübungsmessung und sind daher unempfindlich für Partikel, die kleiner als 100 nm sind.

Eine Neuerung stellten die Abgasnormen Euro 5B und Euro 6 für dieselbetriebene Autos sowie Euro VI für Lastwagen dar. Seit 2013 gilt nicht mehr die Masse, sondern die Anzahl Partikel pro Kilometer als Grenzwert: Neue Fahrzeuge dürfen pro Kilometer eine maximale Partikelanzahlkonzentration ausstossen. Der neue, anzahlbasierte Grenzwert ist nur mit einem funktionierenden Dieselpartikelfilter (DPF) zu erfüllen, und stellt somit eine deutliche Verschärfung der betreffenden Regulierungen dar. Untersuchungen haben nun gezeigt, dass



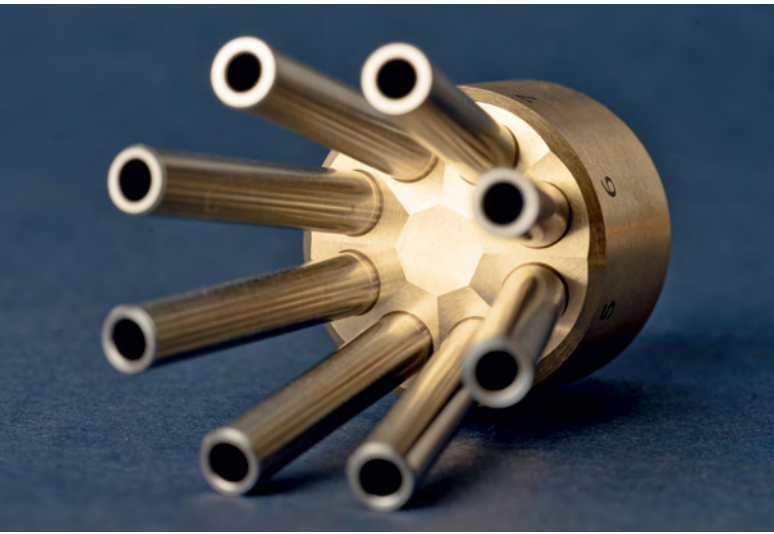
2: In modernen Motoren mit Hochdruckeinspritzung entstehen krebserregende Nanopartikel in einem Grössenbereich unterhalb 100 nm.



1: Funktioniert im Meer wie im Generator: Luft aerolisiert Salz aus einer Lösung. Im Salzgenerator wird mit Druckluft und Salzwasser ein feiner Nebel gebildet, dabei verdunstet das Wasser, das Salz bleibt als Aerosol zurück.

die bisher angewandten Messverfahren nicht empfindlich genug sind, um alle (defekten) Dieselpartikelfilter zu erfassen. Einige europäische Länder wie die Niederlande oder Belgien überprüfen Dieselpartikelfilter in der periodischen technischen Inspektion (PTI) schon heute mit Partikelzählern. In der Schweiz wird dieses präzisere Messverfahren, bei der Abgasnachkontrolle durch die Polizei und die Strassenverkehrsämter ab dem 1. Januar 2023 eingesetzt.

Da es sich dabei um eine amtliche Messung handelt, müssen die eingesetzten Messgerätetypen eine Zulassung zur Eichung vorweisen können. Basis einer solchen Zulassung ist eine Bauartprüfung. Dabei wird geprüft, ob der jeweilige Messgerätetyp den in der VAMV (Verordnung des EJPD über Abgasmessmittel für Verbrennungsmotoren) definierten Anforderungen entspricht. Zudem werden in einigen Ländern die Prüfungen des METAS als Grundlage für nationale Zulassungen verwendet. Das Labor «Partikel und Aerosole» gewährleistet mit seinen hochgenauen Messgeräten und Messverfahren die Rückführung auf international abgestimmte Referenzwerte. Um seinen Auftrag erfüllen zu können, ent-



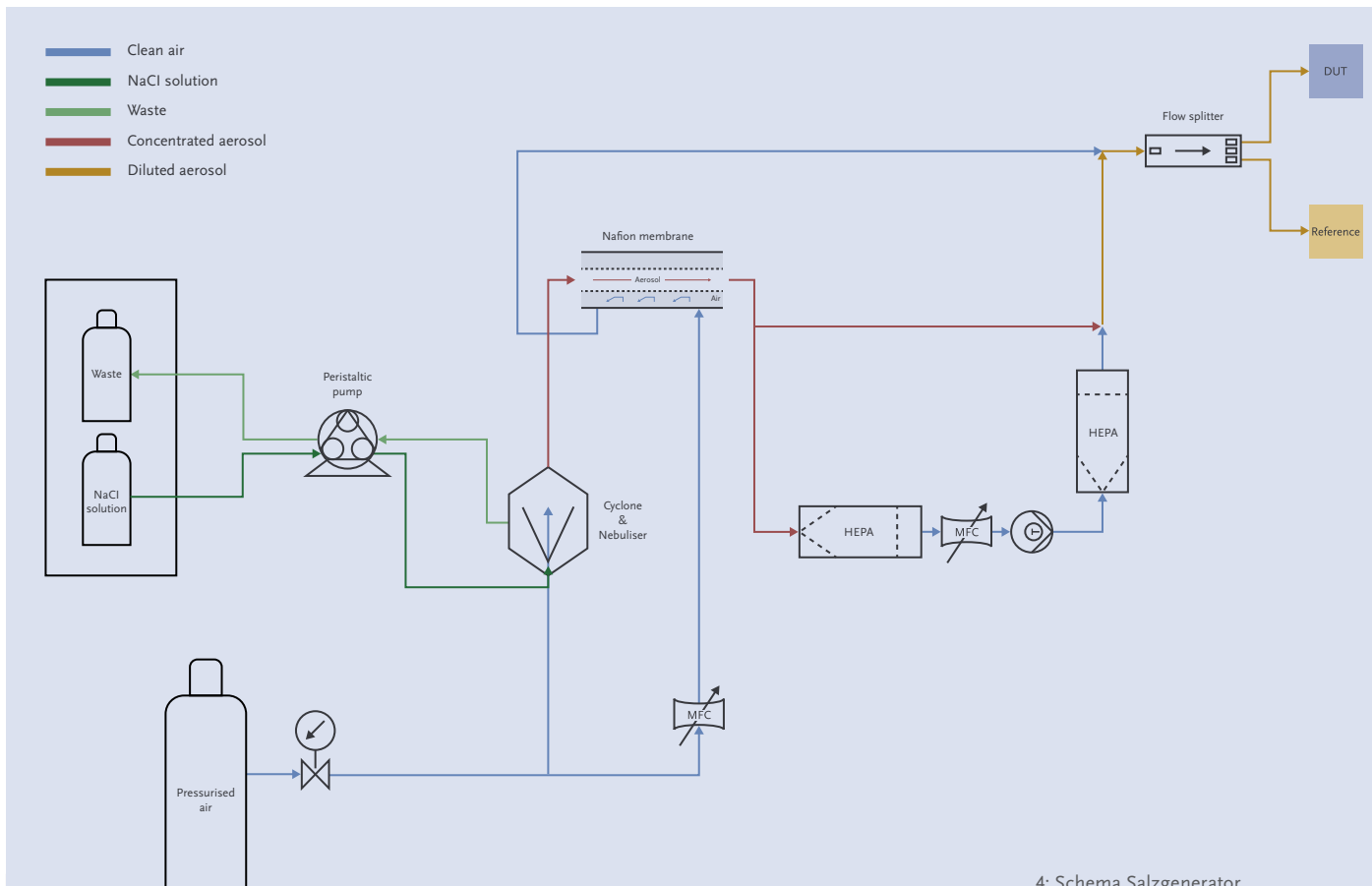
3: Mit dem inhouse entwickelten Splitter DV8 lassen sich sieben Messgeräte gleichzeitig kalibrieren und mit einem Referenzgerät vergleichen.

wickelt es immer wieder Prüfverfahren für neue Messtechnologien und für die Durchführung von Bauartprüfungen. Diese werden nach internationalen Richtlinien (z.B. ISO-Normen) durchgeführt, sofern diese anwendbar sind. Fehlen Messverfahren, müssen Prüfmethoden entwickelt werden, um sicherzugehen, dass die grundlegenden Anforderungen erfüllt

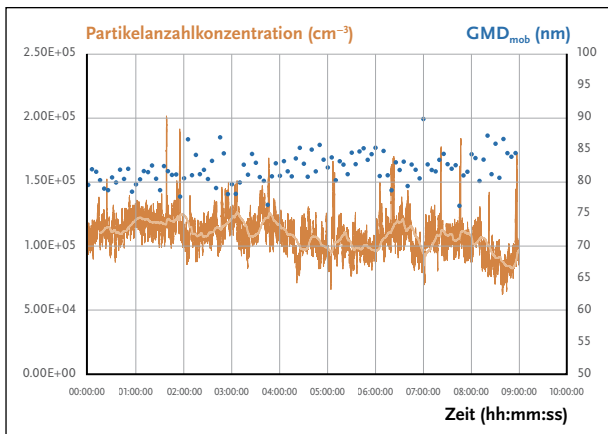
werden. Das heisst, das Gerät muss richtig messen, auch bei mechanischem Schock und Vibrationen, unter elektromagnetischer Strahlung und in einem vorgegebenen Druck- und Temperaturbereich. Da bei diesen Prüfungen grundsätzlich nur der Einfluss der jeweiligen Störung (z.B. kalte Umgebungstemperatur) geprüft wird, spielt das Aerosolmaterial eine untergeordnete Rolle. Bei der Bauartprüfung kann aus diesem Grund auch auf ungiftiges Kochsalzaerosol zurückgegriffen werden.

Luft, Wasser, Salz mit Technik und Know-how

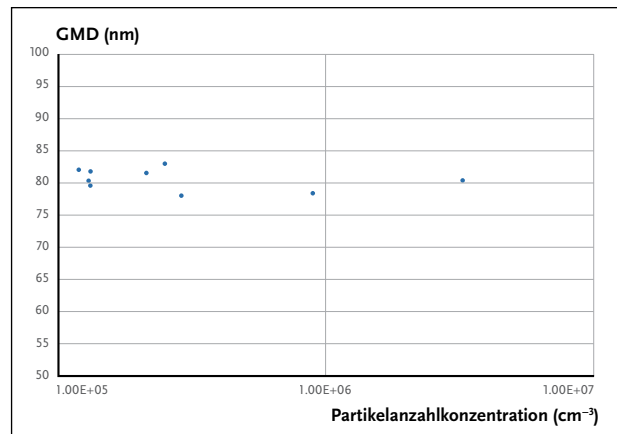
Im Salzaerosolgenerator des METAS zerstäubt Druckluft eine definierte Salzlösung und bildet dadurch einen feinen Nebel. Das Wasser verdunstet, das Salz bleibt in einem Aerosol zurück. Die technische Umsetzung (Abb. 4) ist dennoch anspruchsvoll: Eine definierte Kochsalzlösung wird mit einem Meinhard-Zerstäuber in einen Fliehkraftabscheider (Cyclone) zerstäubt. Dabei werden die Salzkristalle aerosolisiert und grössere Wassertropfen abgeschieden. Anschliessend wird das Aerosol über eine Nafion-Membran geleitet. Das teflonähnliche Material trocknet das Aerosol auf eine relative Feuchtigkeit von <15% rF, bevor es verdünnt wird. Bei dieser Verdünnungsstufe leitet man einen Teil des Aerosols über einen Schwebstofffilter (HEPA), um anschliessend dem Aerosolstrom wieder zugeführt zu werden. Bei der zweiten Verdünnungsstufe wird partikelfreie Luft zugemischt und über einen Aerosol-Splitter (Abb. 3) den Messgeräten zugeführt.



4: Schema Salzgenerator



5: Gute Stabilität über Zeit bezüglich der Anzahlkonzentration (Standardabweichung 14%) und des mittleren geometrischen Mobilitätsdurchmessers GMD_{mob} (Standardabweichung 3%).



6: Die Kombination der zwei Verdünnungsstufen lässt einen grossen Partikelanzahlkonzentrationsbereich zu. So können Partikelanzahlkonzentrationen zwischen $10\,000\text{ cm}^{-3}$ und $4\,000\,000\text{ cm}^{-3}$ generiert werden, ohne dabei die Grössenverteilung signifikant zu ändern.

Kontrolliert werden kann die Partikelgrösse einerseits über die Konzentration der Salzlösung, andererseits über das sogenannte Agglomerationsvolumen. Das Agglomerationsvolumen entspricht dem Volumen zwischen Zerstäuber und Verdünnungsstufe. Während das hochkonzentrierte Aerosol diesen Raum mit definiertem Volumen durchläuft, prallen die einzelnen Partikel aneinander und wachsen. Sobald das Aerosol verdünnt ist, wird dieses Wachstum gestoppt, da zu wenige Partikel ineinanderprallen können.

Die Kombination der zwei Verdünnungsstufen lässt einen grossen Partikelanzahlkonzentrationsbereich zu. So können Partikelanzahlkonzentrationen zwischen $10\,000\text{ cm}^{-3}$ und

$4\,000\,000\text{ cm}^{-3}$ generiert werden (Abb. 6), ohne dabei die Grössenverteilung signifikant zu ändern. Während eines Arbeitstages wird eine gute Stabilität bezüglich der Anzahlkonzentration erreicht (Standardabweichung 14%). Die Änderung der Konzentration erfolgt sehr dynamisch und kann zum einen über die Menge des über den HEPA-Filter abgesogenen Aerosols, und zum anderen über die Menge der beigemischten partikelfreien Luft geregelt werden.

So können mit dieser Methode in den verschiedenen Labors des METAS Messungen gemacht werden, um die Tauglichkeit des Messgerätetyps zu prüfen.

Kontakt:
Kevin Auderset
Technischer Experte Labor Partikel und Aerosole
kevin.auderset@metas.ch
+41 58 387 06 48



Nanoparticules précises à partir de sel

Dans un moteur à combustion diesel, il suffit d'une fraction de seconde pour transformer une chaîne carbonée en dioxyde de carbone et eau. Par ailleurs, les moteurs modernes à injection haute pression libèrent des nanoparticules cancérigènes d'une taille inférieure à 100 nm. Par conséquent, on a ajouté le nombre de particules dans les gaz d'échappement comme mesure à l'homologation des véhicules. Auparavant, les réglementations fixaient une valeur limite pour la masse totale des particules de combustion émises par kilomètre. Dès le 1^{er} janvier 2023, le législateur reformera ce système. METAS utilise depuis quelques années déjà une technologie de mesure du nombre de particules pour l'examen de type des appareils de mesure de particules. D'après la loi suisse, un examen de type sert de base à une autorisation de commercialisation.

Le nouveau générateur de sel facilite la vérification de ces appareils de mesure. Il permet de réaliser des mesures de particules non toxiques dans les laboratoires d'examen de type (chambre climatisée, EMC, vibration, etc.) sans produire des aérosols de suie cancérigènes.

Le générateur de sel produit une fine brume à base d'air comprimé et d'eau salée. L'eau s'évapore et le sel reste sous forme d'aérosols. On peut contrôler la taille des particules par la concentration de la solution saline et par ce qu'on appelle les volumes d'agglomération. Ainsi, le générateur produit une concentration de particules stable allant de $10\,000\text{ cm}^{-3}$ à $3\,000\,000\text{ cm}^{-3}$. Il est prêt pour la mesure.

Nanoparticelle definite fatte di sale

Quando il diesel viene bruciato in un motore, le catene di carbonio si trasformano in anidride carbonica e acqua in una frazione di secondo. Inoltre, i moderni motori con iniezione ad alta pressione producono nanoparticelle cancerogene, rilasciate in una gamma di dimensioni inferiori a 100 nm. Per questo motivo, il numero di particelle nel gas di scarico è stato introdotto come nuovo, ulteriore misurando per le prove del tipo dei veicoli. Le normative precedenti fissavano un valore limite per la massa totale di particelle di combustione emesse per chilometro. Tale sistema sarà modificato dal legislatore a partire dal 1° gennaio 2023. Per l'esame del tipo degli strumenti di misurazione delle particelle il METAS utilizza da diversi anni la tecnologia della misurazione delle particelle basata sul numero. Un esame del tipo costituisce la base per l'ammissione al mercato secondo il diritto svizzero.

Per testare tali strumenti di misurazione con nanoparticelle, il generatore di sale di nuova concezione offre la possibilità di effettuare misurazioni semplici e non tossiche di particelle nei laboratori di prova del tipo (camera climatica, CEM, vibrazioni, ecc.) – senza generare aerosol di fuliggine cancerogena.

Nel generatore di sale, l'aria compressa e l'acqua salata sono utilizzate per formare una nebbia fine; nel processo, l'acqua evapora e il sale rimane come aerosol. La dimensione delle particelle può essere controllata da un lato tramite la concentrazione della soluzione salina e dall'altro tramite il cosiddetto volume di agglomerazione. In questo modo, il generatore consente una concentrazione del numero di particelle stabile tra $10\,000\text{ cm}^{-3}$ e $3\,000\,000\text{ cm}^{-3}$ ed è pronto per il passaggio alle concentrazioni del numero di particelle.

Defined salt nanoparticles

When diesel is burned in an engine, carbon chains turn into carbon dioxide and water in fractions of a second. In addition, carcinogenic nanoparticles are produced in modern engines with high-pressure injection systems and discharged in a size range below 100 nm. Therefore, the number of particles in exhaust fumes was introduced as a new, additional measure for the type testing of vehicles. Previous regulations set a limit for the total mass of combustion particles emitted per kilometre. This system will be amended by the legislator from January 1, 2023. METAS has been using the number-based particle measurement technology for several years for the type examination of the particle measuring devices. A type examination forms the basis for market authorisation according to Swiss law.

In order to test such measuring instruments with nanoparticles, the newly developed salt generator offers the possibility to perform simple and non-toxic particle measurements in the laboratories of the type examination (climatic chamber, EMC, vibration, etc.) – without generating carcinogenic soot aerosol particles.

In the salt generator, a fine mist is formed with compressed air and salt water, the water evaporates and the salt remains as an aerosol. The particle size can be controlled on the one hand by the concentration of the saline solution, and on the other hand by the agglomeration volume. This enables the generator to achieve a stable particle number concentration of between $10\,000\text{ cm}^{-3}$ and $3\,000\,000\text{ cm}^{-3}$ and makes it ready for conversion to the particle number concentrations.