



UNDERSTANDING, ACCELERATED

LÖSUNGEN ZUR MESSUNG VON PARTIKELEMISSIONEN IN MOTORENABGASEN

EIN BRANCHENFÜHRER UND
HERSTELLER VON REFERENZMESSGERÄTEN

Erfahren Sie mehr unter
[tsi.com/abgasmessung/](https://www.tsi.com/abgasmessung/)



UNDERSTANDING, ACCELERATED

TSI Incorporated - Weitere Informationen finden Sie auf unserer Website unter www.tsi.com.

USA	Tel: +1 800 874 2811	Frankreich	Tel: +33 1 41 19 21 99
Indien	Tel: +91 80 67877200	Singapur	Tel: +65 6595 6388
UK	Tel: +44 149 4 459200	Deutschland	Tel: +49 241 523030
China	Tel: +86 10 8219 7688		

P/N 5002643 Rev A (DE)

©2020 TSI Incorporated

Gedruckt in den U.S.A.

EINE NAMHAFTE HISTORIE ALS VORREITER AN DER SPITZE DER HOCHMODERNEN GERÄTETECHNOLOGIE

In den vergangenen 20 Jahren war TSI ein wichtiger Entwickler und Lieferant von Gerätetechnologie für die Messung von Feinstaubpartikeln, die von Kraftfahrzeug- und Schwerlast-Verbrennungsmotoren, mobilen und stationären Maschinen und Geräten, Flugzeug- und Schiffsmotoren emittiert werden. Dies schließt Anwendungen in den folgenden Bereichen ein:

- + Motorenentwicklung und -forschung
- + Messungen der Partikelanzahl bei der Typenzulassung
- + Partikelcharakterisierung von Motoremissionen
- + Reale Feldemissionen

MOTORENENTWICKLUNG UND -FORSCHUNG

Motorenentwickler, Hersteller von Diesel- und Benzinpartikelfiltern (DPF/GPF) und andere Automobilzulieferer sind auf detaillierte Daten zur Partikelgröße und -anzahlkonzentration angewiesen, um Motoren oder Geräte für die Abgasnachbehandlung für emissionsarme Fahrzeuge zu entwerfen und zu optimieren. Gleichzeitig wird mit der Verschärfung der Emissionsnormen für Kraftfahrzeuge und schwere Nutzfahrzeuge auf der Straße der Beitrag zur Verschmutzung durch nicht straßengebundene Quellen wie Flugzeug- und Schiffsmotoren weiter zunehmen. Die Lösungen von TSI ermöglichen es Forschern und Herstellern, auf dem neuesten Stand der Technik zu bleiben und sauberere und kraftstoffeffiziente Motoren zu entwickeln.

PARTIKELANZAHLMESSUNG BEI DER ABGASUNTERSUCHUNG (AUPN)

Seit 2016 arbeitet TSI mit einer Gruppe von Wissenschaftlern und politischen Entscheidungsträgern aus der Schweiz, Deutschland, Belgien und den Niederlanden zusammen, um einen neuen Tester für die kommende Abgasuntersuchung mit Partikelanzahlmessung zu entwickeln. Die Motivation für dieses neue Gerät bestand darin, über ein Werkzeug zu verfügen, mit dem schnell überprüft werden kann, ob Dieselpartikelfilter während des gesamten Lebenszyklus des Fahrzeugs eine angemessene Leistung erbringen, und darüber hinaus Fahrzeuge mit hohem Schadstoffausstoß und defekten Partikelfiltern zu identifizieren.

In der nachstehenden Tabelle finden Sie das geeignete TSI-Gerät auf der Grundlage Ihrer spezifischen Anwendungsanforderungen:

Messen mit:	3095 EEPMS (EEPS/PTT)	3795 NPET	3795 HC-NPET
Anwendung	Forschung und Entwicklung	Nicht-strassengebundene mobile Maschinen und Schiffsdieselmotoren. METAS zugelassen	PN-Messungen vor/nach DPF/GPF PN-Messungen.
Größenauflösung	32 Größenintervalle (16 Kanäle pro Dekade)	N/A	N/A
Partikelgrößenbereich	5,6 nm bis 560 nm	23 nm bis 1 µm	23 nm bis 1 µm
Konzentrationsbereich	>1x10 ⁴ Partikel/cm ³ bei 10:1 Verdünnung bis 1x10 ⁹ Partikel/cm ³ bei 500:1 Verdünnung	1.000 bis 5x10 ⁶ Partikel/cm ³	2.000 bis 1x10 ⁸ Partikel/cm ³
Verhältnis der Verdünnung	10 bis 500 (vom Benutzer einstellbar)	10 (festgelegt)	200 (festgelegt)
Zeitauflösung	10 Hz	1 Hz	1 Hz
Entfernung flüchtiger Partikel	Katalytischer Stripper	Katalytischer Stripper	Katalytischer Stripper

Von TSI erhältliche Systeme zur Bestimmung von Anzahl und Größen von Feststoffpartikeln

EMISSIONEN IN DER PRAXIS. VERLÄSSLICHE MESSUNGEN.

EMISSIONSTESTER FÜR NANOPARTIKEL (3795 NPET)

Dieses robuste, tragbare Gerät dient zur Beurteilung von Emissionswerten unter realistischen Bedingungen für: Baumaschinen, Schiffsmotoren, Busse und andere nichtstraßengebundene Motoren.

- + Freier Messmodus zur Ermöglichung kontinuierlicher Messungen der Partikelanzahlkonzentration
- + Verfügt über einen Testmodus, der dem Prüfprotokoll für mobile Maschinen und Geräte (non-road machinery, NRMM) entspricht, der in der Schweizer Vorschrift 941.242 definiert ist
- + Zugelassen zur Überprüfung der Einhaltung der schweizerischen Vorschrift SR 747.201.3 für Schiffsdieselmotoren, die mit Partikelfiltern ausgerüstet sind
- + Arbeitet sicher bis zu -10°C und bis zu 3.000 m Höhe
- + Aufgrund seines Empfindlichkeitsgrades ermöglicht es den Nachweis erhöhter Anzahlkonzentrationen, die durch kleine Risse oder Lecks in Dieselpartikelfiltern verursacht werden und die mit herkömmlichen Opazimetern nicht festgestellt werden können

NPET FÜR HOHE KONZENTRATIONEN (3795-HC)

Für Anwendungen mit extrem hohen Partikelkonzentrationen, zum Beispiel in Dieselmotoren, die nicht mit DPFs ausgestattet sind, ist der 3795-HC das Gerät der Wahl.

- + Messung von bis zu 100 Millionen Partikeln/cm³
- + Messung der Gesamtkonzentration von Feststoffpartikeln vor und nach Motoren mit Partikelfiltern, Kaltstartemissionen oder Emissionen aus der Biomasseverbrennung, die über die Beschränkungen der geltenden Schweizer Vorschriften hinausgehen
- + Messung der Feststoffpartikelemissionen, damit die Hersteller vorzeitig neue Lösungen entwickeln können, bevor neue Vorschriften in Kraft treten.
- + Messung der Feststoffpartikelemissionen von Kaminöfen (erfüllt die Anforderungen des Ökolabels Blauer Engel)



MESSUNGEN DER PARTIKELANZAHL (PN) BEI DER TYPENGENEHMIGUNG

TSI ist seit langem der Branchenführer bei der Bereitstellung von Kondensationspartikelzählern (Condensation Particle Counters, kurz CPCs) für unzählige Anwendungen. Tatsächlich war es ein TSI-CPC, der während der Entwicklung des von der UN-ECE geförderten Partikelmessprogramms (Particle Measurement Program, kurz PMP) als Standard-Referenzgerät betrachtet wurde, das wesentlich zur Entwicklung der aktuellen europäischen anzahlbasierten Emissionsvorschriften beitrug. Bei der Geräteausstattung für Typengenehmigungsprüfungen wird der Kondensationspartikelzähler für Motorenabgase in der Regel als Teil der kompletten Messinstrumentierung verwendet, die zur Zertifizierung eines Fahrzeugs via Fahrgestell-Prüfstand verwendet wird.



IMPAKTOREN FÜR GRÖSSENAUFGELÖSTE PARTIKELPROBENNAHME

NANOMOUDI-IMPAKTOR 125R

- + Wird zur Identifizierung wichtiger molekularer Marker verwendet, die eine Unterscheidung von Partikeln nach ihrer Quelle ermöglichen, einschließlich der Bereitstellung von Informationen über den Kraftstoff- und Schmiermittelverbrauch, die Motorgröße und das Triebwerk des Motors.
- + Größensegregierte Partikelproben können in 13 Größenfraktionen zwischen 10 nm und 10 µm zur anschließenden physikalischen und chemischen Charakterisierung gesammelt werden.
- + Dieses System wurde im Rahmen des HORIZON 2020-Projekts PEMS4Nano verwendet, das sich auf die Entwicklung tragbarer Geräte konzentriert, um Partikel bis runter auf 10 nm für reale Fahrnanwendungen nachzuweisen.



EIN BRANCHENFÜHRER FÜR KONDENSATIONSPARTIKELZÄHLER (CPC) FÜR EINE VIELZAHL VON ANWENDUNGEN

KONDENSATIONSPARTIKELZÄHLER FÜR MOTOREN-ABGASE 3790A

Diese neueste Generation des 3790A Kondensationspartikelzählers für Motorenabgase (Engine Exhaust CPC, kurz EECPC) erkennt Nanopartikel gemäß den Vorschriften Euro 5/6 und Euro VI und wird häufig mit zwei Verdünnern und einem flüchtigen Partikelentferner kombiniert, um PMP-konforme Emissionsmessungen für feste Partikel durchzuführen.

DIE 10 NM-VERSION 3790A-10

Mit dieser neuen Version des EECPCs 3790A-10, die im Vorfeld der bevorstehenden UNECE Euro 6/VI-Gesetzgebung für Pkw und Lkw verfügbar ist, verfügen Automobilhersteller und unterstützende Zulieferer über die notwendigen Werkzeuge, um ihre neuen Lösungen vorzeitig und vor der Durchsetzung der neuen Vorschriften zu entwickeln.

Die folgende Tabelle vergleicht den 23nm 3790A EECPC und den 10nm 3790A-10 EECPC

EECPC-Modell	3790A	3790A-10
Ziel	PMP-konform für aktuelle Euro 6/VI-Vorschriften	PMP-konform für künftige Vorschriften nach Euro 6/VI-Vorschriften
Effizienz nahe der unteren Ansprechgrenze	50% ± 12% bei 23 nm	65% ± 15% bei 10 nm
Effizienz-Plateau	> 90%	> 90%
Konzentrationsbereich	0 bis 1x10 ⁴ Partikel/cm ³	0 bis 5x10 ⁴ Partikel/cm ³
Konzentrationsgenauigkeit	± 10% bei ≤ 1x10 ⁴ Partikel/cm ³	± 10% bei ≤ 5x10 ⁴ Partikel/cm ³
Ansprechzeit	< 5s (~3s)	< 5s (~3s)
Aerosol-Durchflussrate	1000 cm ³ /min	1000 cm ³ /min



PARTIKELCHARAKTERISIERUNG VON MOTOREMISSIONEN

Die physikalisch-chemische Charakterisierung der von Verbrennungsmotoren ausgestoßenen Partikel ermöglicht es den Forschern, die Struktur, Morphologie und chemische Zusammensetzung der Partikel zu verstehen. Diese Informationen können Motorenherstellern bei der weiteren Reduzierung der Partikelemissionen helfen, Klimatologen bei der Entwicklung von Modellen für die Atmosphärenchemie unterstützen oder Filterhersteller bei der Konstruktion von Atemschutzfiltern unterstützen, um beispielsweise die Anwender von Schwerlast-Geräten zu schützen. Die MSP Corporation, ein TSI-Unternehmen, ist seit langem branchenführend in der Entwicklung und Herstellung von Kaskaden-Impaktoren zur größen aufgelösten Partikelprobennahme, wobei die Anwendungen von Umwelt über pharmazeutische Aerosole bis hin zu Motorpartikelemissionen reichen.

EMISSIONEN IN DER REALEN WELT

Die Beurteilung der Emissionswerte von Baumaschinen, Schiffsmotoren, Bussen und anderen Fahrzeugen unter realistischen Einsatzbedingungen ist in den aktuellen Nachrichten zu einem beliebten Thema geworden. Der Emissionstester für Nanopartikel (3795 NPET) von TSI wurde für diesen Anwendungszweck hergestellt, der dem durch die Schweizer Vorschrift 941.242 definierten Prüfprotokoll für mobile Maschinen und Geräte (Non-road Mobile Machinery, kurz NRMM) entspricht.

Für Anwendungen mit extrem hohen Partikelkonzentrationen, beispielsweise in Dieselmotoren, die nicht mit Partikelfiltern ausgerüstet sind, wurde vor kurzem das NPET für hohe Konzentrationen (3795-HC) entwickelt, das zur Messung der Gesamtkonzentration von Feststoffpartikeln vor und nach Motoren mit Partikelfiltern, der Kaltstartemissionen oder der Emissionen aus der Biomasseverbrennung über die Grenzen der aktuellen Schweizer Verordnung hinaus eingesetzt wird.

In Deutschland können die Feststoffpartikelemissionen von Holzöfen ebenfalls mit dem HC-NPET gemessen werden, um die Anforderungen des deutschen Ökolabels Blauer Engel zu erfüllen.

Die Maßnahmen der letzten Jahre zur Verbesserung der Repräsentativität von Motor- und Fahrzeugprüfprotokollen im Vergleich zu realen Bedingungen und zur Identifizierung von Fahrzeugen mit hohen Emissionen haben zur Nachfrage von Abgasuntersuchung mit Partikelanzahlmessung (AUPN) geführt. Die Umsetzung eines AUPN-Programms für Fahrzeuge in mehreren europäischen Ländern erfordert einen kostengünstigen, robusten, schnellen und einfach zu bedienenden Feststoffpartikelzähler, der in den Tausenden von Emissionsprüfungswerkstätten in diesen Ländern eingesetzt werden kann. Die niederländische Regierung hat vor kurzem mit Wirkung vom 1. Januar 2020 Vorschriften für die Inspektion von in Gebrauch befindlichen Dieselpartikelfiltern mit Hilfe von Partikelanzahlmessgeräten erlassen.

FORTSCHRITTLICHE LÖSUNGEN FÜR PARTIKELANZAHL- MESSUNGEN

3090 PARTIKELGRÖSSEN- SPEKTROMETER FÜR MOTORENABGASE (EEPS™)

- + Liefert genaue, zeitaufgelöste Partikelgrößenverteilungen mit 10 Hz Zeitauflösung und 32 Kanälen mit Größenauflösung von 5,6 nm bis 560 nm
- + Misst die Partikelanzahlgrößenverteilungen in Echtzeit mit hoher Genauigkeit unter transienten Bedingungen
- + Die Messungen des EEPS™ korrelieren sehr gut mit denen des konventionelleren Scanning Mobility Particle Sizer Spektrometers (SMPS™) bei der Messung von Motoremissionen unter stabilen Betriebsbedingungen
- + Viele der großen Automobilunternehmen verwenden bereits das EEPS™ in ihren Testzellen

Anwendungsbeispiel

Als ein Beispiel für seine zahlreichen Anwendungen wurde das 3090 EEPS-Spektrometer verwendet, um den transienten Ausbruch von Partikelemissionen zu verfolgen, der häufig während der DPF-Regeneration auftritt (siehe Abbildung 1). Es kann nicht nur die Gesamtanzahl sondern auch die Größenverteilung der Partikelemissionen gemessen werden, was für die Entwicklung verbesserter Motorsteuerungsstrategien und Nachbehandlungsvorrichtungen von wesentlicher Bedeutung ist.

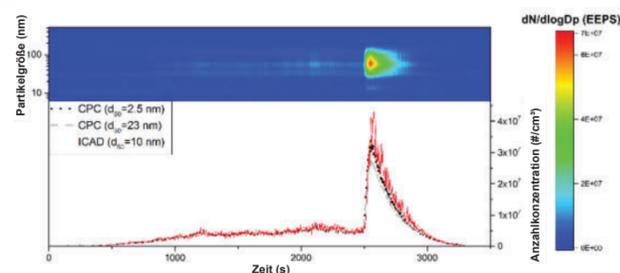


Abbildung 1. Partikelgrößenverteilung und Partikelanzahlkonzentration nach der Regeneration von DPF an einem Diesel-Euro-3-Motor (51. PMP-Sitzung, Brüssel, November 2019, Projekt Sureal23)

3098 POROUS TUBE THERMOVERDÜNNER (PTT)

Bevorstehende Post EURO 6/VI Partikelanzahlvorschriften werden genaue sub-23nm Motorabgaspartikelmessungen verlangen. Für diesen speziellen Zweck hat TSI vor kurzem den Porous Tube Thermoverdünner (PTT) 3098 auf den Markt gebracht; eine schlüsselfertige Probenaufbereitungslösung, die als Ergänzung zum EEPS entwickelt wurde (siehe Abbildung 2).

Der 3098 bietet zwei unabhängig voneinander, vom Benutzer einstellbare Verdünnungsstufen, die auf dem Design des porösen Rohrverdünners basieren (diese Art von Verdünner wurde von den jüngsten europäischen Horizon-2020-Projekten empfohlen). Zwischen den Verdünnungsstufen befindet sich ein katalytischer Stripper, der die Messung nur von Feststoffpartikeln ermöglicht, wie es die aktuellen Vorschriften zur Partikelanzahlmessung erfordern.

- + Das System ist vollständig für Partikelverluste charakterisiert worden.
- + Es kommt mit einer benutzerfreundlichen, vereinheitlichten Softwaresteuerung, die auch über ein AK-Protokoll für die Integration in Prüfstände und Testzellen verfügt.

Zusammen bilden das 3090 EEPS und der 3098 PTT ein komplett schlüsselfertiges System, bekannt als das Modell 3095 Messsystem für Motorenabgase (Engine Exhaust Particle Measurement System, kurz EEPMS). Diese einfach zu bedienende, industrieroberste Lösung ist das ideale Werkzeug für die Messung von Verbrennungsaerosolen vor und/oder nach einem Partikelfilter.



Abbildung 2. 3095 Messsystem für Motorenabgase (3090 EEPS und 3098 Porous Tube Thermoverdünner).