



Silanmodifizierte Polymerklebstoffe

Silanmodifizierte Polymerklebstoffe, oft auch MS-Polymer Klebstoffe genannt, zeigen sehr gute Haftungseigenschaften auf einer Vielzahl von Substraten. Die Klebungen verfügen über eine thermische Dauerbeständigkeit von ca. 80 bis 100 Grad Celsius, eine hohe Elastizität – also eine gute Verformungsbeständigkeit auch bei tiefen Temperaturen – und eine hohe UV- und Witterungsbeständigkeit. Klebstoffe auf Basis von MS-Polymeren

werden unter anderem für Klebungen im Waggon- und Containerbau, im Apparatebau, in der Metall- und Blechverarbeitung, der Solartechnik, bei Fassaden- und Fensterklebungen, der Klima- und Lüftungstechnik sowie in der Raumtechnik und in sonstigen Bauanwendungen eingesetzt. Der Vorteil dieser Klebstoffgruppe ist, dass sie frei von Silikonölen ist und sich deshalb bei der Weiterverarbeitung geklebter Teile keine Probleme mit der Lackierung ergeben.

Aerosoltechnologie vor neuen Herausforderungen

Bericht vom 25. Palas Aerosol Technologie Seminar

H. Lyko*

Bereits zum 25. Mal ohne Unterbrechung veranstaltete die Karlsruher Palas GmbH ihr Aerosol Technologie Seminar. Und wie in jedem Jahr gelang es, neue Themen und wissenschaftliche Fragestellungen zu präsentieren. Denn die Aerosolmesstechnik entwickelt sich weiter, und das ist notwendig angesichts neuer Aufgaben. So wurden diesmal neben der klassischen Filterprüfung verschiedene Beiträge präsentiert, die sich mit der Etablierung, Validierung beziehungsweise Zertifizierung von neuen Messgeräten beziehungsweise der Standardisierung von Messprozeduren befassten. Deutschland spielt gerade im Hinblick auf diese Fragestellungen eine Vorreiterrolle in Europa, beispielsweise in der Qualitätssicherung von Feinstaubmonitoren und den Messverfahren für Bioaerosole und Nanopartikel.

Erfassung und Analyse von Bioaerosolen

Bioaerosole sind luftgetragene Mikroorganismen wie Bakterien oder Pilzsporen. Sie haben in den letzten Jahren eine größere Bedeutung erlangt, u.a. weil durch die Einführung der Biotonne und Zunahme von Anlagen zur Verarbeitung

dieser Rest- und Abfallstoffe die Zahl der möglichen Emittenten zugenommen hat. Eine weitere Quelle von Bioaerosolen sind Tiermastbetriebe. Emissions- und Immissionsmessungen für Mikroorganismen sind insofern komplizierter als die Erfassung anderer Partikel, weil sie für die weitere Analyse vermehrt werden und deshalb lebend gesammelt und bis zum Eintreffen im Labor lebend erhalten werden müssen. Im Laufe der vergangenen

zehn Jahre wurden umfangreiche Arbeiten durchgeführt zur Standardisierung der Messungen von Bioaerosolimmissionen und -emissionen. Dazu referierte Dr. Ljuba Woppowa, die als Mitglied der Kommission Reinhaltung der Luft im VDI maßgeblich beteiligt war an der Ausarbeitung von mittlerweile 12 VDI-Richtlinien zu diesem Themenkomplex (s. VDI 4250 bis 4253, 4255-4257). Diese haben auch schon Eingang gefunden in eine erste

*Dr.-Ing. Hildegard Lyko
Dortmund, Tel. 0231-730696

PALAS® Filterttestsysteme

Zuverlässige und wirtschaftliche Komplettlösungen für Ihre Filter/-medien:



- NEU:** HEPA/ULPA Prüfstand für Filtermedien | DIN EN 1822-3
- KFZ Innenraumfilter | DIN 71460-1 u. 2 / ISO 11155-1 u. 2
- Druckluftfilter bis 10 bar Überdruck | ISO 12500
- Staubsaugerfilter | EN 60312
- LüftungsfILTER | EN 779 / ASHRAE 52.2
- Motorluftfilter | ISO/TS 19713 / ISO 5011
- Ölabscheider beheizt bis 150°C
- Kühlschmierstoffabscheider
- Abreignbare Filtermedien VDI 3926

Mit welas® digital Messtechnik mit digitaler Einzelsignalverarbeitung und Koinzidenzkorrektur

28 Jahre Erfolg durch Qualität – Filter prüfen kann so einfach sein!

particle technology
PALAS®
Expertise in Filter Testing

Weltkarte
Filterttestsysteme

PALAS GmbH
Greschbachstr. 3b
76229 Karlsruhe
Telefon +49 721 96213-0
Fax +49 721 96213-33
mail@palas.de
www.palas.de

PALASCOUNTS

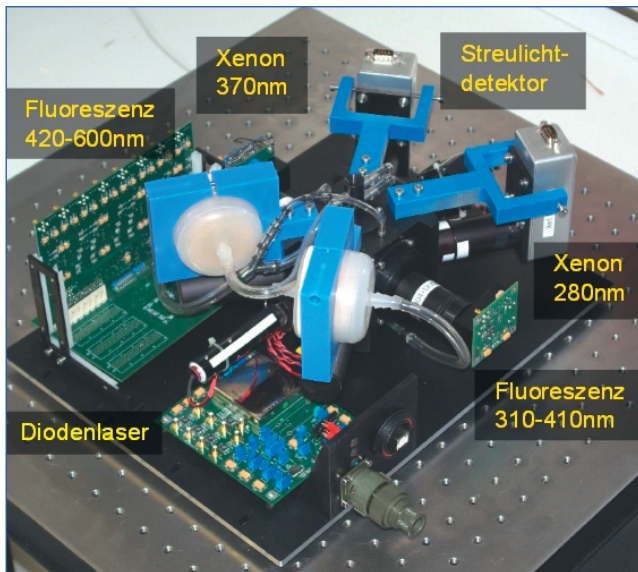


Abb. 1: Waveband Integrated Bioaerosol Sensor (WIBS) (Foto: KIT und DSTL, UK)

Europäische Norm, und weitere Richtlinien sind in Vorbereitung. Im Einzelnen werden die Wirkung mikrobieller Luftverunreinigungen auf den Menschen, die Bedingungen und Probennahmeverfahren bei der Immissionsmessung, bei der Emissionsmessung sowie die Verfahren zum kulturellen quantitativen Nachweis beschrieben. Die spezifischen Eigenschaften der verschiedenen Bioaerosolpartikel erfordern unterschiedliche Sammelmaßnahmen. Schimmelpilze werden bei Immissionsmessungen auf Gelatine-Polycarbonat-Filtern gesammelt. Bakterien können nur überleben, wenn sie sich in einer Flüssigkeit befinden. Hierzu setzt man so genannte Impinger ein, das sind spezielle Gaswaschflaschen, bei denen Luft mit einer Probenahmepumpe durch die Impingerflüssigkeit gepumpt wird.

Dr. Harald Creutzmacher von der Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg berichtete über die praktische Durchführung von Feldmessungen zur Validierung der Probenahme- und Analysemethoden für verschiedene Bioaerosole. So wurden spezielle Gelatine-Filternsammler parallel betrieben mit konventionellen Gesamtstaubmessgeräten. An einem Kompostplatz wurden mit einer Reihe von Impingern Bakterienemissionen gemessen. Umfangreiche vergleichende Emissionsmessungen wurden an drei Hühnermastanlagen vorgenommen. Diese Untersuchungen wurden vom NRW-Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz und der Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin durchgeführt und sind in /1/ veröffentlicht.

Die Messung von Bioaerosolen erfordert die Berücksichtigung der Lebensbedingungen der Mikroorganismen, und genauso müssen diese Bedingungen bei der Kalibrierung von Bioaerosolmessgeräten berücksichtigt werden. Darauf verwies Palas-Geschäftsführer Leander Mölter in seinem Vortrag. Derzeit arbeitet Palas an der Entwicklung eines Kalibriersystems für Bioaerosolmessgeräte, bestehend aus Aerosolgenerator, Prüfluftaufbereitung und Prüfkammer. Zur Herstellung eines biologischen Prüfaerosols, beispielsweise aus Pollen, Pilzen, Sporen, Bakterien oder Viren, lebend oder gefriergetrocknet, entsteht gerade eine neue VDI-Richtlinie. Auch wurde ein neuer Aerosolgenerator, der das Überleben von Mikroorganismen sichern soll, entwickelt. Das Kalibriersystem soll am Austrian Institute for Technology (AIT) in Wien getestet werden.

Wegen der unterschiedlichen Eigenschaften und Haltbarkeiten wird es eine allgemeine Basismesstechnik für alle Bioaerosole nach der Auffassung von Dr. Harald Creutzmacher nicht geben. Dennoch ist es für einige Anwendungen hilfreich, eine

Messtechnik zu etablieren, die ohne Kultivierung und Spezifikation einzelner Organismen auskommt. Ein solches Messverfahren stellte Dr. Martin Schnaiter vom Institut für Meteorologie und Klimaforschung des Karlsruher Instituts für Technologie vor. Mit dem am Centre for Atmospheric Research der Universität Herfordshire (UK) entwickelten Waveband Integrated Bioaerosol Sensor (WIBS) nutzt man die Eigenschaft von bestimmten Molekülen, dass sie durch Anregung mit UV-Licht fluoreszieren. Nahezu in allen Bioaerosolen sind entweder Aminosäuren wie Tyrosin oder Tryptophan, deren Anregungsmaximum bei 260-280 nm liegt, oder NADH oder Stoffe der Flavingruppe enthalten, deren Anregungsmaximum bei 350-370 nm liegt. Um alle diese Stoffe detektieren zu können, werden luftgetragene Partikel im Messvolumen nacheinander durch Xenonlicht mit 280 und 370 nm angeregt. Außerdem wird die Partikelgröße über eine Laserstreulichtdetektion festgestellt. Das Messgerät, das ursprünglich im Auftrag des Britischen Verteidigungsministeriums entwickelt und gebaut wurde, wird am KIT eingesetzt, um biogene Partikel gezielt im atmosphärischen Aerosol detektieren zu können und damit auch später den Einfluss dieser Partikelklasse auf die Eis- bzw. Wolkenbildung zu analysieren. Hier vermutet man spezifische Auswirkungen weil Bioaerosolpartikel wie beispielsweise Pollen eine viel höhere Wasseraufnahmekapazität aufweisen als Ruß oder anorganische Keimbildner. Der WIBS wurde zur Außenluftmessung am KIT über ein ganzes Jahr eingesetzt. So ließen sich Abhängigkeiten von der Jahres- und Tageszeit sowie von der Wetterlage feststellen. Deutliche Modi bei 2 bis 3 µm wurden von Frühjahr bis Herbst gefunden, die Anzahlen korrelieren mit der relativen Feuchte und unterlagen deshalb gerade in Schönwetterperioden einem Tagesgang.

Isokinetische Probenahme nötig?

Die isokinetische Probenahme gilt als wesentliche Voraussetzung für eine Partikelanalyse in Strömungskanälen. Isokinetisch bedeutet, dass die Einströmung in das Probenahmerohr mit gleicher Geschwindigkeit und Richtung erfolgt wie in der ursprünglichen Kanalströmung. Dieses ist nicht in allen Fällen technisch realisierbar, das zeigte Torsten Hinz vom Johann Heinrich von Thünen-Institut anhand der Ablufteinrichtungen von Tiermastanlagen. Er analysierte anhand von Messungen in einem modifizierten Zulaufkanal eines Hennenstalls (optimal wäre die Probenahme am Luftauslass) und an einem Versuchstand, welchen Einfluss das Geschwindigkeitsverhältnis zwischen Abluftrohr und Probenahmesonde und der Winkel der Sonde relativ zur Hauptströmung auf die Detektion der Partikelfractionen PM₁₀ und PM_{2,5} haben. Dabei zeigte sich, dass die Veränderung des Winkels einen geringeren Einfluss auf die gemessene Partikelkonzentration hat als die Geschwindigkeit unterschiede. Auch erwies sich, dass die isokinetische Probenahme für besonders kleine Partikel (PM_{2,5}) von relativ geringer Bedeutung ist, denn je kleiner die Partikel sind, desto geringer wird ihre Trägheit und desto mehr nähern sie sich dem Verhalten von Gasmolekülen an. Wirklich unverzichtbar wird die isokinetische Probenahme für Partikel, die größer sind als PM₁₀.

Qualitätssicherung und Zertifizierung bei der Staubmessung

Die Belastung der Außenluft mit Staub wird in Deutschland durch ein relativ dichtes Netz an Luftmessstationen überwacht. Allein 33 Messstationen fallen in den Zuständigkeitsbereich des Hessischen Landesamtes für Umwelt und Geologie in Wiesbaden. Wilma Travnicek Pagaimo berichtete von den Bestrebungen zur Qualitätssicherung für diese Anlagen. Die Werte für PM₁₀ und PM_{2,5} müssen mit einer Genauigkeit von 25 % angegeben werden, wobei in mindestens 90% des betrachteten Zeitraums eine Datenerfassung stattgefunden haben muss. Man rechnet mit einer

Tab. 1: Richtlinien, die bei der europäischen Eignungs- und Äquivalenzprüfung für automatische Staubmessgeräte zu befolgen sind

	Richtlinie	Titel
Deutsche Mindestanforderungen	VDI 4202 Bl. 1 (2010)	Mindestanforderungen an automatische Immissionsmeseinrichtungen bei der Eignungsprüfung
	VDI 4203 Bl. 3 (2010)	Prüfprozeduren für Messeinrichtungen zur punktförmigen Messung von gas- und partikelförmigen Immissionen
CEN- Anforderungen	DIN EN 12341 (1999)	Luftbeschaffenheit - Ermittlung der PM10-Fraktion von Schwebstaub
	DIN EN 14907, (2005)	Luftbeschaffenheit – Gravimetrisches Standardmessverfahren für die Bestimmung der PM2,5-Massenfraktion des Schwebstaubs
	2010	Leitfaden „Demonstration of equivalence of ambient air monitoring methods“
Zertifizierung des Messgerätes	DIN EN 15267-1 (2009)	Luftbeschaffenheit – Zertifizierung von automatischen Messeinrichtungen, Teil 1
Zertifizierung des Produktionsprozesses und jährliches Überwachungsaudit	DIN EN 15267-2 (2009)	Luftbeschaffenheit – Zertifizierung von automatischen Messeinrichtungen, Teil 2

Reduktion des Genauigkeitsbereichs auf 15%, doch dazu muss die Messtechnik bestimmte Qualitätsmerkmale erfüllen. In den Normen DIN EN 12341 und 14907 sind die zugelassenen Referenzverfahren beschrieben, dennoch ergeben sich einzelne Probleme bei der Einhaltung der Datenqualitätsziele, beispielsweise weil Messbereiche von Geräten nicht optimal sind (für PM_{2,5}). Zur Überprüfung der Datenqualität und Erprobung neuer Messgeräte und -Verfahren wurden innerhalb einer bundesweiten Arbeitsgruppe zwei Messprogramme mit Ringversuchen für je eine der betrachteten Feinstaubklassen aufgelegt. Am selben Standort in Wiesbaden mit für alle Messgeräte gleichen Umweltbedingungen ohne direkte Beeinflussung durch lokale Partikelquellen wurden insgesamt 23 Geräte für PM₁₀ und 28 Geräte für PM_{2,5}, gestellt von den Landesämtern der verschiedenen Bundesländer und vom UBA, parallel betrieben. Dabei wurden sowohl verschiedene Sammlertypen zur gravimetrischen Staubmessung wie verschiedene kontinuierliche Analysatoren eingesetzt. Für die kontinuierlichen Analysatoren wurden teilweise auch unterschiedliche Kalibrierfaktoren verwendet. Erstaunlicherweise lieferte der PM_{2,5}-Ringversuch einen größeren Anteil der Teilnehmer innerhalb der Qualitätsgrenzen. Ein ähnliches vergleichendes Messprogramm wurde anschließend auch europaweit aufgelegt, allerdings nicht mit einem einheitlichen Messort, sondern mit einem Messwagen. Dieser Wagen hielt sich jeweils 14 Tage an einem repräsentativen Standort in einem der 17 beteiligten Länder auf. Zum Vergleich der Datenqualitäten wurden alle Messwerte norma-

lisiert und mit denen eines europäischen Referenzlabors verglichen. Die Ergebnisse der deutschen Vergleichsmessungen sind beim deutschen und hessischen Landesamt einsehbar (2/ und 3/), nähere Informationen zum europäischen Messprogramm sind in 4/ zu finden.

Messgeräte, die für die behördlich angeordnete Staubimmissionsmessung innerhalb Europas eingesetzt werden, müssen zukünftig eignungsgeprüft, d.h. zertifiziert werden. Bei Palas will man jetzt das Feinstaubmessgerät FIDAS® 210 dem umfangreichen Mess- und Nachweisprogramm der europäischen Eignungs- und Äquivalenzprüfung unterwerfen. Dr. Maximilian Weiß beschrieb einerseits die Nachweise, die in Labor- und Feldtests zu führen sind (die Richtlinien dazu s. Tab.1) und andererseits die vielfachen Messreihen, die seit der Markteinführung des Systems an verschiedenen Messorten innerhalb von Deutschland schon durchgeführt wurden. Mit den bisher erhaltenen Ergebnissen wähnt man sich auf der sicheren Seite, dass man die Zertifizierung bestehen sollte. Ist die Prüfung einmal bestanden, muss eine regelmäßige Wiederholung der Mess- mit der Referenzmethode erfolgen. Die zeitlichen Abstände der Wiederholungsprüfungen richten sich nach der Messunsicherheit, die bei der ursprünglichen Prüfung festgestellt worden ist.

Emissionen von Straßenkehrmaschinen

Straßenkehrmaschinen sollen Verkehrsflächen von Ablagerungen befreien, unter anderem, damit durch den Straßenverkehr möglichst wenig Staub aufgewirbelt wird.

Weltneuheit

PRE SSFI LTER AUTO MAT ENGE WEBE

Auf Wunsch
mit Anlagenservice

Tab. 2: Eurovent-Energieklassen für Luftfilter

Filter	E (kWh)	Energieklasse
G4	≤ 600	A
	601 - 700	B
	701 - 800	C
	801 - 900	D
	901 - 1000	E
	1001 - 1100	F
	≥ 1101	G
M5 & M6	≤ 800	A
	801 - 1000	B
	1001 - 1200	C
	1201 - 1400	D
	1401 - 1600	E
F7	≥ 1801	G
	≤ 1100	A
	1101 - 1350	B
	1351 - 1600	C
	1601 - 1850	D
	1851 - 2100	E
	2101 - 2350	F
≥ 2351	G	
F8	≤ 1600	A
	1601 - 2100	B
	2101 - 2600	C
	2601 - 3100	D
	3101 - 3600	E
	3601 - 4100	F
≥ 4101	G	
F9	≤ 2100	A
	2101 - 2550	B
	2551 - 3000	C
	3001 - 3450	D
	3451 - 3900	E
	3901 - 4350	F
≥ 4350	G	

Dabei wirbeln Kehrmaschinen mit ihren rotierenden Bürsten selber Staub auf und auch die Abluft der Staubkammer ist mit Stäuben belastet. Hier sollen Filter und Abscheider Abhilfe schaffen. Die Emissionen von Kehrmaschinen und die Wirksamkeit von Enstaubungssystemen am Luftaustritt der Bunker wurden von der DMT GmbH in Essen experimentell untersucht. Dr. Dirk Renschen schilderte Durchführung und Ergebnisse dieser Studie. Details dazu werden demnächst in dieser Zeitschrift veröffentlicht.

Neuheiten der Nanopartikelmesstechnik

Nach dem Motto: „nimm das Beste von den anderen, verwirkliche noch ein paar gute Ideen und baue ein neues modulares Messsystem“ ist Palas erst relativ spät in den Markt für SMPS eingestiegen. Ein SMPS (Scanning Mobility Particle Sizer) klassifiziert Partikel in einem elektrischen Feld entsprechend ihrer Oberflächenladung, die mit der Partikelgröße korreliert, und zählt die Anzahl der Partikel, die den Klassierer verlassen, mit einem Kondensationskernzähler oder Aerosolelektrometer. Dr. Maximilian Weiß erläuterte die Details des neuen U-SMPS und die Ergebnisse der Validierung. Im U-SMPS (s. Abb. 2) wird der so genannte Vienna DEMC (Differential Electrical Mobility Classifier) eingesetzt, der mit einer positiven Elektrode Partikel entsprechend ihrer negativen Oberflächenladung klassiert. Die Spannung wird während eines Scanvorgangs entlang einer logarithmischen Rampe gesteigert, und es wird eine Auflösung in maximal 256 Klassen erreicht. Durch ein spezielles Dateninversionsverfahren (nach Prof. Wiedensohler, IFT, Leipzig) werden Fehler durch das Auftreten gleichgroßer Partikel mit unterschiedlichen Ladungszahlen ausgeschlossen. Modularität be-

deutet im Zusammenhang mit dem vorgestellten Gerät, dass auch eine Kombination mit einem anderen Zähler als den beiden in Abb. 2 aufgeführten möglich ist, und dass die Abmessungen des DEMC an die Aerosoleigenschaften angepasst werden können, der Klassierer muss nur zylindrisch-radialsymmetrisch sein. Mit dem U-SMPS werden Partikelgrößen von 0,005 bis 1 µm erfasst.

Jürgen Spielvogel vertritt die Palas GmbH in einer internationalen Arbeitsgruppe (ISO TC 24/SC 4/WG 12), die einen ISO-Standard zur Kalibrierung von Kondensationspartikelzählern (CPC) entwirft. Dieser Standard ISO 27891 soll bis November 2013 fertig sein und die zulässigen Methoden der Bestimmung der Zähleffizienz und Messunsicherheit festlegen. Die grundsätzliche Schwierigkeit der Kalibrierung von CPC besteht darin, dass es keine „Referenzkonzentration“ gibt. Es bleibt also der Vergleich mit einem per Konvention als Referenzmessgerät zugelassenen Aerosolelektrometer oder CPC. Die Kalibrierung soll dann durch ein nach ISO/IEC 17025 oder vergleichbare Standards zertifiziertes Prüflabor beziehungsweise ein Nationales Messlabor durchgeführt werden. Die Kalibrierung der Zählgeräte UF-CPC und des Aerosolelektrometers Charme® erfolgten beim Schweizer Bundesamt für Metrologie (METAS). Grundsätzlich wird bei einer Kalibrierung von Nanopartikelmessgeräten ein Aerosolstrom mit einem DEMC klassiert, verdünnt und danach aufgesplittet in zwei oder mehrere Ströme, die parallel dem zu prüfenden Gerät, dem Referenzgerät und weiteren möglichen Vergleichsgeräten zugeführt werden. Neben der Standardisierung von Messgeräten selbst wird auch die Standardisierung der Anwendung der Nanopartikelmesstechnik in der Außenluft voran getrieben.

Mit einer neuen Möglichkeit, die Toxizität von Nanopartikeln „online“ zu messen, befasst man sich am Helmholtz Zentrum München, Neuherberg. Dr. Otmar Schmid wagte einen Blick in die Zukunft, in der Quarzmikrowagen mit Makrophagen belegt sind. Die Veränderung der Makrophagen durch Aufnahme von Nanopartikeln soll dann als Frequenzänderung des Quarzes detektiert werden. Mit dieser Anordnung simuliert man zum ersten Mal die Grenzfläche Makrophage/Luft, wie sie in den Alveolen der Lunge auch vorliegt.

Nanopartikel am Arbeitsplatz

Nanopartikelmesstechnik dient auch der Bestimmung der Exposition an verschiedenen Arbeitsplätzen. Die Aerosolcharakterisierung an Arbeitsplätzen ist in der neuen ISO 28439:2011 geregelt. Praktische Beispiele, in welchen Betrieben Feinstäube und Nanopartikel relevant sein

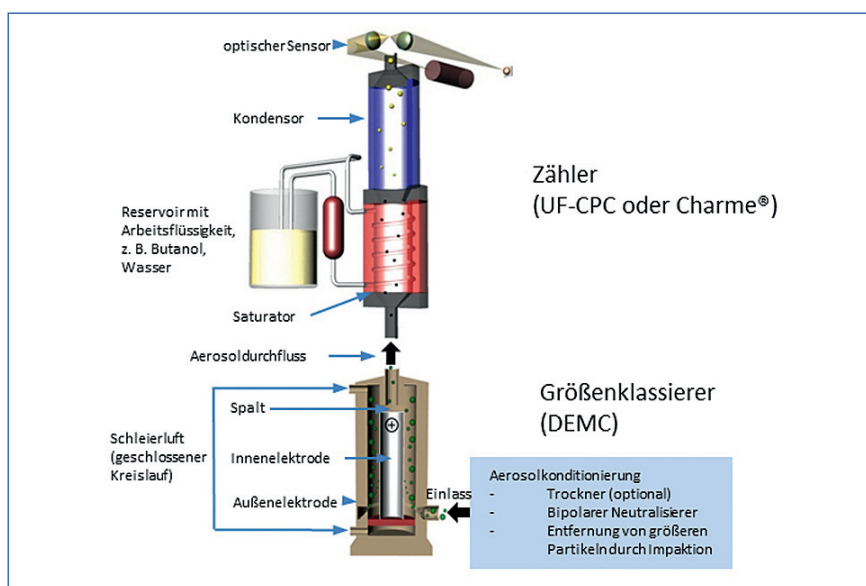


Abb. 2: Funktionsprinzip des Universal Scanning Mobility Particle Sizer (U-SMPS) (Bild: Palas GmbH)



können, schilderte Prof. Eberhardt Schmidt von der Universität Wuppertal. So können in ungünstig belüfteten Friseursalons Haarsprayresiduen unter bestimmten Rahmenbedingungen (Lüftung) in nennenswerten Anzahlkonzentrationen und Partikelgrößen von ca. 200 nm (Maximalwerte der Verteilungen) gemessen werden. In Innenräumen steigt der Feinstaubanteil deutlich, wenn sich viele Menschen in ihnen bewegen. Es konnte auch gezeigt werden, dass Zigarettenrauch deutliche Anstiege der Fraktionen PM_{2,5} und PM₁ hervorruft. Das lässt sich in Gaststätten mit abgeteiltem Raucherbereich abgeschwächt auch im Nichtraucherbereich detektieren. Eine deutliche Belastung mit Partikeln um 100 nm und darunter entsteht auch für Mitarbeiter von Praxen, in denen im Rahmen der traditionellen chinesischen Medizin Räuchermittel verbrannt werden. Die Staubungsneigung von Pulvern spielt unter anderem auch eine Rolle in Apotheken, in denen Tees und andere Heilmittel vor Ort hergestellt und abgefüllt werden. Dieses Thema wird in einem eigenen Forschungsprojekt behandelt (s.u.).

Bürogeräte mit Laserdruckfunktion sind schon seit geraumer Zeit als Emittenten von ultrafeinen Partikeln bekannt. Nachrüstfilter sollen die Emissionen eindämmen, doch ihre Wirksamkeit besonders bei Partikeln unter 25 nm ist sehr unterschiedlich, dies ergab eine Studie des UBA /5/. An der Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung (BAM) in Berlin werden zeitaufgelöste Partikelemissionsmessungen an solchen Bürogeräten durchgeführt, die unter anderem auch Bestandteil der Vergabekriterien für das Umweltzeichen „Blauer Engel“ sind. Dr. Stefan Seeger, BAM, erläuterte die Herkunft der Partikel und das Messverfahren. Die Aerosole bestehen demnach aus Rekondensaten von Alkanen, Alkenen und Siloxanen, die durch Temperaturwirkung während des Druckens entstehen. Die Gase stammen aus dem Papier, der Tonerfarbe oder Strukturbauteilen. Aus den zeitaufgelösten Partikelanzahlkonzentrationen innerhalb eines festgelegten Kammervolumens wird mit Hilfe eines mathematischen Modells ein Wert für die Gesamtpartikelanzahl pro gedruckter Seite errechnet, so dass dem Verbraucher unabhängig von der Drucker-geschwindigkeit ein Maß für den Vergleich von Geräten gegeben ist.

Staubungsneigung von Pulvern

Sylvia Bach vom Fachbereich Sicherheitstechnik und Umweltschutz der Universität Wuppertal berichtete schon im letzten Jahr von einer speziellen Anwendung des Staubmessgerätes DustView von Palas. In dieser wurden extinktionsbasierte



Abb. 3: Druckluftfilterprüfstand für große Prüflinge bis 3000 Nm³/h, Ansicht der Aufbereitungsfilter (Foto: IUTA e.V.)

Kenngößen, die während des freien Falls einer Materialprobe gemessen werden, mit spezifischen Materialeigenschaften von Pulvern korreliert /6/. Besonderes Interesse gilt der Partikelgrößenverteilung und daraus dem Anteil alveolengängiger Feinstpartikel. Für diese Untersuchungen wurde das Staubmessgerät zusätzlich mit einem Aerosolspektrometer gekoppelt, das die Anzahlkonzentrationen in zwei Höhen der Staubkammer bestimmte. Charakteristische Größen der Partikelgrößenverteilungen wie aus den Anzahlkonzentrationen und Größenverteilungen berechnete Staubungszahlen (mg Staub/kg Pulver) oder charakteristische Partikeldurchmesser der Verteilungen am Messort wurden mit den den Extinktionswerten korreliert. Dies geschah für eine größere Anzahl von Teststäuben.

Normung und Prüfung von Luftfiltermedien

Die Neuerungen in den Normen für Luftfilter stellte Thorsten Stoffel, Gea Air Treatment GmbH, vor. In der neu überarbeiteten Norm DIN EN779:2011 ist die Entladung von synthetischen Filtermedien jetzt zwingender Bestandteil zur Bestimmung der Filterklasse, um den Einfluss der elektrostatischen Abscheidung auf die Filterleistung zu eliminieren. Denn diese Wirkung verliert sich durch die allmähliche Entladung von synthetischen Vliesen während des Regelbetriebs und die Filtereffizienz nimmt ab.

Der Europäische Herstellerverband für Luftfiltermedien, Eurovent, hat mittlerweile die Energieklassifizierung fest in sein Zertifizierungsprogramm übernommen. Die Einteilung der Energieklassen für Filterme-

dien der Klassen G4 bis F9 ist in Tabelle 2 aufgezogen. Der Energieverbrauch E wird gemäß

$$E = \frac{Q \cdot \Delta p \cdot t}{\eta}$$

berechnet, wobei für den nominellen Luftvolumenstrom Q der Wert 3400 m³/h, die nominellen Betriebsstunden per anno t mit 6000 h und der Ventilatorwirkungsgrad η mit 50% eingesetzt werden. Die spezifische Staubaufgabemenge bei der Druckverlustmessung beträgt 300 g für die Filterklassen G1 bis G4, 150 g für M5 und M6 sowie 100 g für die Klassen F7 bis F9.

Die Einteilung von HEPA- und ULPA-Filtermedien nach DIN EN 1822:2011 erfolgt entsprechend ihrer Abscheidegrade beziehungsweise Penetrationsgrade beim MPPS (Most Penetrating Particle Size). Um diese Werte bestimmen zu können, muss man in diesem Partikelgrößenbereich mit monodispersen Aerosolen messen oder mit einem polydispersen Prüfaerosol mindestens 6 Größenklassen auflösen. Hier kommen der modulare Filterprüfstand von Palas, MFP, mit dem Aerosolspektrometer welas® digital 1000 für HEPA-Medien beziehungsweise mit dem Zähler U-SMPS für ULPA-Medien zum Einsatz. Martin Schmidt beschrieb die Einzelheiten des Prüfstandes und der Prüfprozeduren. Monodisperse Prüfaerosole werden im ULPA-Prüfaufbau durch Vorschalten eines DEMC vor das Filterelement erzeugt. In beiden Fällen wird das Rohgas verdünnt, das Reingas unverdünnt analysiert. Das Übertragungsverhalten der verschiebbaren Verdünnungskaskaden wurde nachgewiesen. Die Generierung der Prüfaerosole wird mit dem Vernebler UGF 2000 betrieben. Dort wird die Testflüssigkeit mit Druckluft in einer Zweistoffdüse



Abb. 4: Druckluftfilterprüfstand für große Prüflinge bis 3000 Nm³/h, Ansicht der Zwischenverdichter (Foto: IUTA e.V.)

vernebelt, und die gewünschte Partikelgrößenverteilung wird in einem nachgeschalteten Zyklon eingestellt. Mit diesem System ist es möglich, über eine lange Zeit eine konstante Partikelrate zu bewirken, wobei sich die Partikelkonzentration um den Faktor 500 variieren lässt über die Einstellung von Vordruck und Steuerluftzugabe. Es wurde gezeigt, dass sich die Lage der Partikelgrößenverteilung durch Variation der NaCl-Konzentration beziehungsweise Mischung von DEHS mit Isopropanol noch deutlich beeinflussen lässt. Über eine genügend große Anzahl von Partikel in einem bestimmten Größenbereich lassen sich Messunsicherheiten bei der Bestimmung der Fraktionsabscheidegrade vermeiden. Die Messbereiche der beiden Systeme liegen zwischen 120 nm und 40 µm für den HEPA-Prüfaufbau und zwischen 5 nm und 1 µm für den ULPA-Prüfaufbau.

Die Abscheidung von Öltröpfchen in Druckluftfiltern ist im Technikungsmaßstab (bis 50 Nm³/h) schon eingehend

untersucht worden am Institut für Energie- und Umwelttechnik (IUTA) in Duisburg (Details dazu s. /7/). Druckluftfilter gibt es für Luftvolumenströme von 30 bis 3000 Nm³/h. Da die Prozesse der Tropfenabscheidung, Tropfenkoaleszenz, des Transports der Flüssigkeit zum Drainagemedium und das Abfließen in das Sammelreservoir sehr komplex sind, stellten sich Dr. Wolfgang Mölter-Siemens und Mitarbeiter die Frage, inwieweit sich die Filtrationseigenschaften mit der Filtergröße ändern. Die Antwort gibt jetzt ein Filterprüfstand für große Filter bis zu 3000 Nm³/h (Abb. 3). Um den Energieaufwand für den Teststand zu begrenzen, wird er im nahezu geschlossenen Kreislauf mit vier Inline-Zwischenverdichtern betrieben (s. Abb. 4).

Unterschied zwischen Prüfstand und Realbetrieb

Einheitlich festgelegte Prüfprozeduren sollen dem Anwender belastbare Daten zur Beurteilung der Leistungsfähigkeit des



Abb. 5: Rauchgasreinigungsanlage am Institut für Thermodynamik und Kältetechnik des Karlsruher Instituts für Technologie (Foto: KIT)

eingesetzten Filters geben. Dass Ergebnisse vom Normprüfstand nicht immer mit denen im Realbetrieb übereinstimmen, zeigte Dr. Frank Schmidt vom Fachgebiet Nanopartikel Prozesstechnik der Universität Duisburg-Essen anhand von Filtern der Klassen M5, F7 und F8 aus raumlufttechnischen Anlagen (RLT-Filter). In der Prüfnorm werden Bedingungen vorgegeben, die im Realbetrieb nicht immer vorherrschen, wie für die relative Feuchte (in der Norm auf 75% beschränkt). Der Wirkungsgrad bei 0,4 µm wird nach EN 779 mit DEHS nach Beladung des Prüflings mit ASHRAE-Staub bis zu 450 Pa Druckverlust in 4-5 Etappen bestimmt, danach wird ein mittlerer Wirkungsgrad aus allen Wirkungsgraden der Staubaufgabeintervalle berechnet. Hier wurden Filter nach verschiedenen Zeitintervallen aus der realen RLT-Anlage ausgebaut und im EN 779-Prüfstand nach der Norm getestet. Es zeigte sich, dass in keinem Fall ein Wirkungsgrad gemessen werden konnte, der so hoch war wie der mittlere



Wirkungsgrad nach Norm (der liegt für einen F7-Filter zwischen 80 und 90%). Vielmehr näherten sich die Wirkungsgrade der gebrauchten Filter mit zunehmender Betriebszeit der Minimaleffizienz eines mit Isopropanol behandelten Prüflings (35% für einen F7-Filter) an. Zum Vergleich wurden die Wirkungsgrade nach künstlicher Alterung mit Dieselruß sowie für Entladung mit Tensiden gemessen. Diese Behandlungen hatten sogar Wirkungsgrade unterhalb der Minimaleffizienz zur Folge. Die nach der Norm gemessenen mittleren Wirkungsgrade bei Beladung mit ASHRAE-Staub sind verglichen mit realen Anwendungen unrealistisch hoch.

Schwefelsäureaerosole in technischen Prozessen

Leonie Brachert vom Institut für Thermische Thermodynamik und Kältetechnik des KIT konnte im vergangenen Jahr schon von ihren Untersuchungen zur Charakterisierung von Schwefelsäureaerosolen berichten /6/. Die Entstehung dieser Aerosole in Absorptions-, Kühl- oder Mischprozessen wie beispielsweise bei der Rauchgasreinigung kann die Wirksamkeit des Prozesses und die Anlagenlebensdauer (durch Auftreten von Korrosion) nachhaltig beeinflussen. Die Aerosolcharakterisierung wird zum einen betrieben mit Hilfe eines eigens entwickelten Simulationsprogramms (AerCoDe, s. /8/), zum anderen mit Hilfe der Kondensationskernzählung an verschiedenen Messstellen einer Versuchsanlage zur Rauchgasreinigung (s. Abb. 5). In dieser Anlage werden die Verbrennungsabgase eines Erdgasbrenners mit dem Schadgas beladen und das beladene Rauchgas in einer Füllkörperkolonne gequentscht. Dadurch wird die Übersättigung der Gasphase erreicht. Durch die Abkühlung der Gasphase setzt spontan Kondensation ein. Die messtechnische Erfassung des entstehenden Aerosols ist insofern nicht einfach, als dass sich aufgrund der hohen Übersättigung der Gasphase Keime in einer Anzahlkonzentration von über $10^9 / \text{cm}^3$ mit Partikelgrößen ab 20 nm bilden. Die Partikelmessung gelang stabil und wenig abhängig von Messgeräteeinstellung mit dem neuen Kondensationskernzähler UF-CPC von Palas. Auch konnte eine gute Übereinstimmung festgestellt werden zwischen Messung und Simulation, wenn bei der Simulation die Koagulation von Tröpfchen zugelassen wurde.

Emissionen von Kleinf Feuerungsanlagen

Nach der Novellierung der 1.BImSchV gelten auch für Kleinf Feuerungsanlagen (ab 4 kW Nennwärmeleistung) Emissionsgrenzwerte, deren Einhaltung in einer Typenprüfung nachgewiesen werden muss. Derzeit werden Staubemissionen gravimetrisch nach DIN bzw. VDI 2066 Blatt 1 gemessen. Bei Feuerstätten niedriger Leistung ist der Nachweis der Staubgrenzwerte insofern schwierig, als dass die Reynoldszahl im Abgaskanal zu niedrig und damit das Strömungsprofil zu inhomogen ist für eine Strömungsmessung. Außerdem unterliegen die gemessenen Sauerstoffkonzentrationen gewissen Schwankungen, die eine Mittelwertbildung erschweren und das Messverfahren verlängern und damit verteuern. Eine zeitnahe Erfassung von instationären Vorgängen im Ofen ist damit ebenso schlecht möglich wie eine Optimierung der Feuerung hinsichtlich der Staubemissionen. Dies schilderte Torsten Schröder vom Deutschen Biomasseforschungszentrum GmbH in Leipzig. Als Alternative zur gravimetrischen Staubmessung wurden von verschiedenen Teilnehmern eines Arbeitskreises Feinstaubemissionen, tätig im Rahmen eines Begleitvorhabens zum Förderprogramm „Energetische Biomassenutzung“ des Bundesministeriums für Umweltschutz, verschiedene zählende Messgeräte in Vergleichsmessungen eingesetzt. Im Detail beschrieb Schröder Versuche an einem Kesselprüfstand mit Vollstromverdünner, bei denen verschiedene Verdünnungssysteme sowie ein SMPS (Scanning Mobility Particle Sizer) und ein FMPS (Fast Mobility Particle Sizer) zum Einsatz kamen. Als Brennstoffe wurden Holz- und Weizenstrohpellets verwendet. Die gemessenen

Partikelanzahlen im Probevolumen betragen je nach gewählter Kombination etwa $6 \text{ bis } 8 \cdot 10^7$, wobei der SMPS tendenziell höher Partikelanzahlen anzeigte als der FMPS, letzterer aber deutlichere Unterschiede zwischen Holz – und Strohpellets anzeigte (Stroh erzeugte demnach höhere Partikelanzahlen). Es konnte unter anderem gezeigt werden, dass die Partikelzähler zeitnah auf Variationen der Feuerung wie beispielsweise einen Brennstoffwechsel reagieren. Dennoch wurden noch Maßnahmen zur Verbesserung der Interpretierbarkeit der Messergebnisse vorgeschlagen.

Literatur:

/1/ Gärtner, A.; Gessner, A.; Martin, E.; Jäckel, U.: Emissionsmessungen von Mikroorganismen aus Hähnchenmastanlagen; Gefahrstoffe – Reinhaltung der Luft, 71 (2011) Nr. 9, 362 - 365
 /2/ PM10-Vergleichsmessungen der deutschen Bundesländer im Rahmen der STIMES-Arbeitsgruppe, Materialien Band 66, LUA NRW, HLU, UBA, 2005
<http://www.lanuv.nrw.de/veroeffentlichungen/materialien/mat66/mat66star.htm>
 /3/ PM25-Vergleichsmessungen der deutschen Bundesländer im Rahmen der STIMES-Arbeitsgruppe, LANUV-Fachbericht 26, LUA NRW, HLU, UBA, 2010;
<http://www.lanuv.nrw.de/veroeffentlichungen/fachberichte/fabe26/fabe26start.htm>
 /4/ A quality assurance and control program for PM2,5 and PM10 measurements in European Air Quality Monitoring Networks, JRC Scientific and technical reports, 2011;
<http://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/handle/111111111/22257>
 /5/ Fiedler, Jan, Giacomini, M.: Partikelemissionen aus Laserdruckern – lösen Nachströmler das Problem?; Telegramm: umwelt+gesundheit, Information des Umweltbundesamtes Ausgabe 01/2010, 26. März 2010
 /6/ Lyko, H.: Aerosoltechnologie in Industrie und Umweltschutz – Bericht vom 24. Palas Aerosol Technologie Seminar; F&S Filtrieren und Separieren 24(2010) Nr.6, 308-312
 /7/ Mölter-Siemens, W.; Lauber, G.; Kerßenboom, A.; Lindermann, J.; Finger, H.; Haep, S.: Abscheidung feinsten Tropfen mit mehrschichtigen faserförmigen Filtermedien, dargestellt am Beispiel der Druckluftfiltration; F&S Filtrieren und Separieren 25(2011) Nr. 3; 150 – 156
 /8/ Wix, A.; Brachert, L.; Sinsasis, S.; Schaber, K.: A simulation tool for aerosol formation during sulphuric acid absorption in a gas cleaning process, Journal of Aerosol Science, Vol. 41 (2010) Issue12, 1066-1079

Die F&S gratuliert der Heimbach-Gruppe zum 200. Geburtstag.

- Papiermaschinenbespannungen für die Papierindustrie
- Filtermedien rund um die Filtrationstechnologie
- Technische Textilien für Spezialanwendungen

Erfahren Sie mehr über die Spezialisten für textile Hightech-Produkte unter www.heimbach.com