

Die Durchführung von Adsorptions-Filtertests gemäß DIN EN ISO 10121 – Teil 2: Adsorptionsversuche an konfektionierten Raumlufffiltern

U. Sager, R. Ligotski, E. Däuber, F. Schmidt

Zusammenfassung Da die Qualität von Innenraumluff in den vergangenen Jahren im Bewusstsein der Öffentlichkeit zunehmend an Bedeutung gewonnen hat, stieg auch die Nachfrage nach Raumlufffiltern, die gasförmige Schadstoffe durch Adsorption abscheiden. Seit 2013 gibt die Norm DIN EN ISO 10121-2 Prüfmethoden zur standardisierten Validierung dieser Filter vor. Weil bei Inkrafttreten der Norm bei Filterherstellern und Kunden nur wenig Erfahrungswerte zur Abscheidung an adsorptiven Raumlufffiltern vorlagen und es quasi keine Möglichkeiten gab, Filtertests nach Norm durchführen zu lassen, wurde ein Forschungsprojekt zur Evaluierung der Praxistauglichkeit der Norm initiiert. Anhand der Ergebnisse von Prüfungen verschiedener Raumlufffilter mit Toluol, Schwefeldioxid, Ammoniak, Stickstoffdioxid und Ozon nach Norm werden die Herausforderungen bei der Anwendung der Norm erläutert.

The performance of adsorption filter tests according to DIN EN ISO 10121 – Part 2: Adsorption tests on HVAC filters

Abstract As indoor air quality has become increasingly important in the public consciousness in recent years, the demand for HVAC (heating, ventilation, air conditioning) filters that separate gaseous pollutants by adsorption has also increased. Since 2013, DIN EN ISO 10121-2 has specified test methods for the standardized validation of these filters. At the time the standard came into force filter manufacturers and customers had little experience with adsorptive HVAC filters. Furthermore, possibilities of having filter tests carried out in accordance with the standard were neglectable. Thus, a research project was initiated to evaluate the practical suitability of the standard. The results of the project are presented by results of tests in accordance with the standard of different HVAC filters with toluene, sulphur dioxide, ammonia, nitrogen dioxide and ozone.

1 Einleitung

Die Anforderungen an die Qualität von Innenraumluff sind in den vergangenen Jahren stetig angestiegen. Gründe hierfür sind u. a. die zunehmende Aufenthaltsdauer von Menschen in Gebäuden, ein gesteigertes Gesundheitsbewusstsein sowie besondere Anforderungen an die Raumluff von speziellen Produktionsstätten wie Reinraumlaboren. Das hatte zur Folge, dass auch die Nachfrage nach entsprechenden Einrichtungen zur Innenraumluffreinigung anstieg. Das gesteigerte Interesse richtete sich zunächst auf

Partikelfilter zur Abscheidung von partikulären Luftbestandteilen, wie z. B. Pollen, und in den letzten zehn Jahren zunehmend auf Filter mit adsorptiver Funktion zur Abscheidung von Gasen. Gründe hierfür waren z. B. die öffentliche Diskussion von Stickoxidbelastungen in der Außenluft oder die erstarkende Kaufkraft der Bevölkerung im asiatischen Raum.

Gekoppelt an Nachfrage und Entwicklung wurden für Filter der Raumlufftechnik (RLT-Filter) Normen für standardisierte Filtertests geschaffen. Deren Ergebnisse dienen neben der internen Qualitätssicherung bei den Filterherstellern zum Vergleich der Leistungsfähigkeit verschiedener Filter beim Kunden. Auch anhand der Normen ist erkennbar, dass adsorptiv wirkende RLT-Filter erst in jüngerer Zeit an Bedeutung gewinnen. Während für die Prüfung von RLT-Filtern zur Partikelabscheidung seit den 1990er-Jahren die DIN EN 779 [1] bestand, deren Nachfolge DIN EN ISO 16890 [2] übernommen hat, trat DIN EN ISO 10121 zum Test von adsorptiven RLT-Filtern und -Medien erst nach 2010 in Kraft.

Die Norm DIN EN ISO 10121 „Methode zur Leistungsermittlung von Medien und Vorrichtungen zur Reinigung der Gasphase für die allgemeine Lüftung“ besteht aus zwei Teilen. In Teil 2 „Einrichtungen zur Reinigung der Gasphase“ [3] werden die Prüfeinrichtungen und die Prüfverfahren für adsorptive Filter beschrieben. Analog dazu gibt Teil 1 „Medien zur Reinigung der Gasphase“ [4] die Prüfeinrichtungen und Prüfverfahren für die in RLT-Filtern genutzten adsorptiven Medien vor.

Bei Inkrafttreten der DIN EN ISO 10121 lagen bei Filterherstellern und Kunden nur wenige Erfahrungswerte zur Abscheidung an adsorptiven RLT-Filtern vor. Außerdem gab es fast keine Möglichkeiten, Filtertests nach Norm durchführen zu lassen, weil die Realisierung von entsprechenden Prüfständen insbesondere wegen der großen Volumenströme und der notwendigen Sicherheitstechnik sehr aufwendig ist.

Hier setzte ein anwendungsnahes Forschungsprojekt [5] an, bei dem die Praxistauglichkeit der DIN EN ISO 10121 einschließlich der Anforderungen an den Prüfstand, sicherheitstechnische Aspekte sowie die Versuchsdurchführung evaluiert wurde. Durchgeführt wurde das Projekt als Kooperation zwischen der Universität Duisburg-Essen und dem Institut für Energie- und Umwelttechnik e. V. (IUTA). Über die Ergebnisse der Medientests (Teil 1) mit den Prüfgasen n-Butan (C₄H₁₀), Toluol (C₇H₈), Schwefeldioxid (SO₂), Ozon (O₃) und Stickstoffdioxid (NO₂) bei verschiedenen Testgaskonzentrationen wurde bereits berichtet [6]. Im Folgenden werden die Untersuchungen und Ergebnisse für Teil 2 der Norm zu konfektionierten RLT-Filtern verschiedener Bauformen (**Bild 1**) vorgestellt. Dabei geht es zuerst um den Prüfstand zum Test von konfektionierten RLT-Filtern mit Toluol, Ammoniak (NH₃), SO₂, NO₂ und O₃. Die erforderlichen Voraussetzungen für Arbeitssicherheit und

Dr.-Ing. Uta Sager, Dipl.-Ing. Eckard Däuber,
Institut für Energie- und Umwelttechnik e. V. (IUTA), Duisburg.
Roman Ligotski, M.Sc., Prof. Dr.-Ing. Frank Schmidt,
Universität Duisburg-Essen, Fachbereich Ingenieurwissenschaften, Institut für Verbrennung und Gasdynamik – IVG,
Nanopartikel-Prozesstechnik (NPPT), Duisburg.

Versuchsdurchführung werden dargestellt. Anhand von Testergebnissen eines Filters mit der Testsubstanz Toluol wird die Ergebnisdarstellung nach Norm vorgestellt. Anschließend wird die Aussagekraft von Testergebnissen nach Norm zur Beurteilung der Leistungsfähigkeit von kommerziell verfügbaren RLT-Filtern erläutert. Das erfolgt anhand von Versuchsergebnissen zur Adsorptionsleistung von Filtern für die Testsubstanzen Toluol, NH₃, SO₂, NO₂ und O₃.

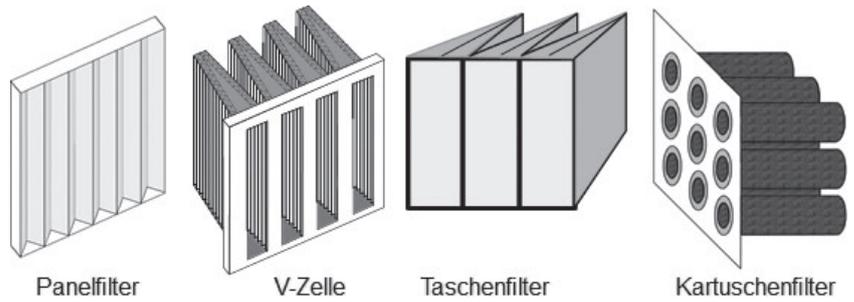


Bild 1. Bauformen konfektionierter RLT-Filter.

2 Adsorptive Raumluftfilter: Experimentelle Umsetzung der DIN EN ISO 10121-2

Nach der DIN EN ISO 10121-2 wird die Adsorptionsleistung von RLT-Filtern, genauso wie die von Filtermedien, mithilfe von Durchbruchversuchen ermittelt. Dabei wird der zu testende Filter in einem Prüfstand mit dem Nennvolumenstrom Q durchströmt. Dieser wird konstant auf die vor dem Test festgelegte Temperatur T und relative Feuchte r . F konditioniert und enthält das Testgas mit konstanter, festgelegter Rohgaskonzentration c_{ein} . Die Reingaskonzentration des Testgases c_{aus} wird in Strömungsrichtung hinter dem Prüfling während der Versuchsdurchführung gemessen. Der Verlauf der auf die Rohgaskonzentration bezogenen Reingaskonzentration über der Versuchszeit wird als Durchbruchskurve bezeichnet. Im Prüfbericht nach Norm wird statt der Durchbruchskurve der Verlauf der Abscheideeffizienz $E = 1 - c_{\text{aus}}/c_{\text{ein}}$ dargestellt. Mithilfe der Messwerte und einer Massenbilanz kann die durch den Filter abgeschiedene Masse des Prüf gases berechnet werden, die in den Prüfbericht als Aufnahmefähigkeit eingeht.

Die Norm empfiehlt, Filtertests möglichst nahe bei den Bedingungen durchzuführen, unter denen die Filter in der realen Anwendung eingesetzt werden. Das ist zum Teil nicht wirtschaftlich umsetzbar, weil die Konditionierung des Testvolumenstromes, häufig 3 400 m³/h, auf extreme Klimabedingungen, z. B. 33 °C und 90 % relative Luftfeuchte, schwierig zu erreichen ist oder bei geringen Testgaskonzentrationen die Testzeiten zu lang werden. Daher beschreibt die Norm als Alternative eine vereinfachte Vergleichsprüfung bei 23 °C, bei 50 % relativer Luftfeuchte und mit den Testsubstanzen Toluol, SO₂ oder NH₃ jeweils mit Testvolumenanteilen von 9 oder 90 ppm. Toluol ist dabei ein Vertreter der Stoffgruppe der flüchtigen organischen Kohlenwasserstoffe (volatile organic components, VOC), SO₂ der sauren und NH₃ der basischen Gase.

Neben der Reinigungskapazität sind der Druckabfall und bei Tests mit Toluol oder anderen physisorbierenden Substanzen die Restbelastung nach Desorption weitere Prüfparameter. Das Rückhaltevermögen nach Desorption wird bestimmt, indem im Anschluss an den Durchbruchversuch die Dosierung der Testsubstanz gestoppt, der Filter weiterhin mit dem konditionierten Testvolumenstrom durchströmt, die Reingaskonzentration gemessen und die wieder freigesetzte, zuvor adsorbierte Masse bestimmt wird. Nach Norm ist die Spülung mit testsubstanzfreier Luft maximal sechs Stunden lang durchzuführen oder bis die reingasseitige Konzentration auf weniger als 5 % der Prüf gaskonzentration abgefallen ist.

2.1 Prüfstand und sicherheitstechnische Aspekte

Die DIN EN ISO 10121-2 lässt für die konstruktive Gestaltung des Prüfstandes zum Test von adsorptiven RLT-Filtern weitestgehenden Freiraum. Es wird lediglich gefordert, dass die Länge des eigentlichen Prüfkanalabschnittes, in dem der jeweils zu testende Filter eingebaut wird, einschließlich An- und Abströmstrecke größer ist als das Innenmaß des Kanals. Weitere Vorgaben sind, dass der Testfilter dicht in dem Kanal montiert wird und an zwei Stellen im Prüfkanalabschnitt (in Strömungsrichtung vor und hinter dem Filter) Temperatur, relative Feuchte, Druck und Testgaskonzentration gemessen werden. Empfohlen wird als Innenmaß des Prüfkanals, in den die zu testenden Filter eingebaut werden, 610 mm x 610 mm. Es wird darauf hingewiesen, dass bei Querschnittsänderungen im Prüfkanalabschnitt sichergestellt werden sollte, dass die Strömung gleichmäßig über den Querschnitt verteilt ist.

Am IUTA wurde ein bestehender Prüfstand für RLT-Partikelfilter nach DIN EN ISO 16890-1 [2] für Tests nach DIN EN ISO 10121-2 erweitert. Der Kanal weist in dem Prüfabschnitt den Innenquerschnitt von ca. 620 mm x 620 mm auf. In Bild 2 ist eine Skizze des relevanten Prüfkanalabschnittes dargestellt, dessen Länge 6 m beträgt und damit ein Vielfaches des Innenmaßes ausmacht. Bild 3 zeigt ein Foto des gesamten Prüfstandes, der ringförmig aufgebaut ist, einschließlich der klimatechnischen Aggregate zur Konditionierung des Testvolumenstroms sowie die Ausdehnung des Prüfstandes, der eine Fläche von ca. 13 m x 4 m einnimmt.

Der Ventilator ist in Strömungsrichtung hinter dem Filterprüfling platziert, sodass im Prüfkanal bis zum Ventilator leichter Unterdruck herrscht. Das Fördervolumen des Ventilators ist im Bereich zwischen 700 und 5 000 m³/h einstellbar. Damit kann der überwiegende Teil adsorptiver RLT-Filter nach Norm mit Nennvolumenstrom getestet werden. V-Zellen und Taschenfilter mit Einbauquerschnitten von ca. 600 mm x 600 mm haben in der Regel einen Nennvolumenstrom von 3 400 m³/h. Panelfilter mit gleichem Einbauquerschnitt haben häufig einen geringeren Nennvolumenstrom von 2 000 m³/h, um zu hohe mittlere Anströmgeschwindigkeiten aufgrund der im Vergleich zu V-Zellen deutlich kleineren verbauten Medienfläche zu vermeiden. Die Nenn-

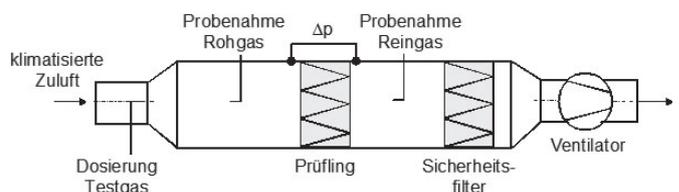


Bild 2. Schematische Darstellung des Prüfkanals nach DIN EN ISO 10121-2 am IUTA.

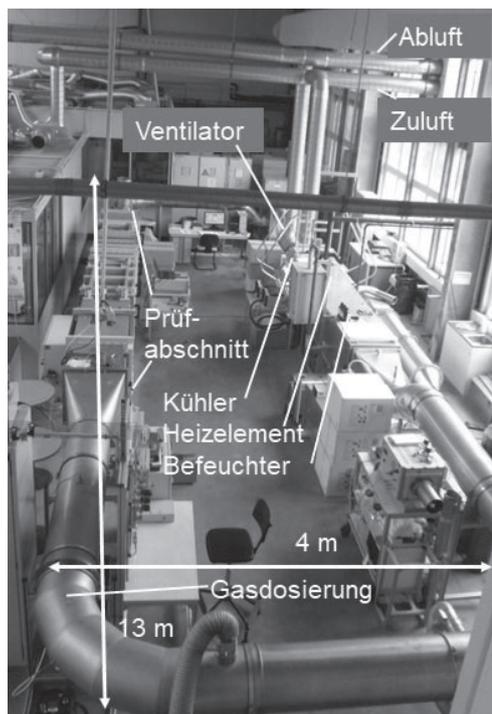


Bild 3. Foto des gesamten Prüfstandes nach DIN EN ISO 10121-2 am IUTA.

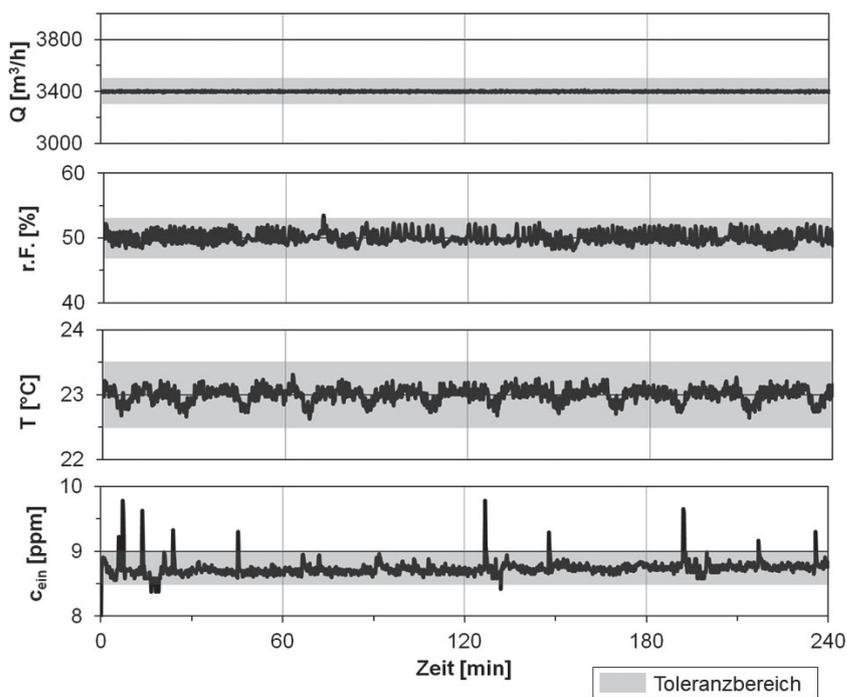


Bild 4. Verlauf von Temperatur T, relativer Feuchte r. F., Volumenstrom Q und Testgasvolumenanteil c_{ein} während eines Filtertests nach Norm und Toleranzbereiche nach Norm.

volumenströme von Kartuschenfiltern sind zum Teil noch geringer. Ein Grund hierfür ist die Absicht, übermäßig hohe Druckverluste durch dicke Granulatschichten zu vermeiden.

Die im Vergleich zu Tests an Filtermedien nach DIN EN ISO 10121-1 zu realisierenden hohen Volumenströme stellen in Verbindung mit der Klimatisierung des Luftstroms und der Dosierung der Testsubstanzen eine Herausforderung dar.

Der für die Filtertests erforderliche Testvolumenstrom wird außerhalb der Halle angesaugt und mittels Kühl- und Heizregister sowie Befeuchter konditioniert. Abhängig vom Volumenstrom und den Umgebungsbedingungen der Außenluft sind Temperaturen von 15 bis 40 °C sowie relative Luftfeuchten von 15 bis 95 % realisierbar.

Die Dosierung der Prüfgase in den RLT-Filterprüfstand erfolgt vor dem Filterprüfling noch in dem Bereich des Prüfkanals mit kreisförmigem Querschnitt (Bild 3). Die Testsubstanzen SO_2 , NH_3 und NO_2 werden als Reingas aus Gasflaschen mithilfe geeigneter Flaschenentnahmeventile und eines Massenflussreglers über größtenteils fest installierte Edelstahlrohrleitungen in den Prüfkanal dosiert. Die NO_2 -Flasche, die entsprechenden Zuleitungen und der NO_2 -Massenflussregler werden mit einer Mantelheizung und Heizbändern elektrisch auf ca. 30 bis 40 °C beheizt, um den erforderlichen Dampfdruck sicherzustellen und Kondensation zu vermeiden. Die Aufstellung und der Anschluss der einzelnen Druckgasflaschen erfolgt jeweils nur für den Zeitraum der Versuchsdurchführung in einem Gasflaschenschrank, der sich unmittelbar neben der Dosierstelle befindet. Der Gasflaschenschrank wird zwangsentlüftet und die Abluft aus der Versuchshalle abgeführt. Alle Gasentnahmearmaturen und Dosierleitungen, die mit den Reingasen in Kontakt stehen, sind so ausgeführt, dass sie nach Benutzung mit Stickstoff gespült werden können. Vor jedem Gasflaschenwechsel erfolgt eine Spülung mit Stickstoff aus einer weiteren Druckgasflasche. Das Spülgas wird

anschließend der Gasflaschenschrankabluft zugeführt. Mit der Dosierung aus Reingasflaschen können beide von der Norm vorgeschlagenen Testgaskonzentrationen von 9 und 90 ppm_V realisiert werden, aus sicherheitstechnischen Gründen wurde jedoch von Prüfungen mit 90 ppm_V abgesehen.

Toluol, das bei Raumtemperatur flüssig vorliegt, wird in einer temperierten Waschflasche vorgelegt und mit Druckluft, die mit einem Massenflussregler zugeführt wird, durchströmt, wobei sich diese mit Toluoldampf sättigt. Das Toluol-Luft-Gemisch wird der Versuchsanlage über eine Schlauchleitung zugeführt. Auch bei Prüfungen mit Toluol wurde weitestgehend auf die Verwendung einer Prüfgaskonzentration von 90 ppm_V verzichtet, weil mit der zur Verfügung stehenden Apparatur 90 ppm_V nur bei Volumenströmen unterhalb von 1 000 m^3/h realisiert werden können.

Ozon wird mit zwei elektrischen Ozongeneratoren (Modell COM-AD, Fa. Anseros Klaus Nonnenmacher, Tübingen), die mit synthetischer Luft oder Sauerstoff betrieben werden, dicht neben der Einspeisestelle in den Prüfkanal erzeugt und über Teflonschläuche zudosiert. Bei Volumenströmen von 3 400 m^3/h kann bei Einsatz der zwei Ozongeneratoren ein Prüfgasvolumenanteil von 0,9 ppm_V erzeugt werden. Die in der Norm für die vereinfachte Vergleichsprüfung vorgeschlagenen höheren Konzentrationen sind mit vertretbarem Aufwand nicht realisierbar.

Die roh- und reingasseitige Konzentrationsbestimmung erfolgt jeweils nach Probenahme vor und hinter dem Filterprüfling je nach Testsubstanz mit den folgenden Messgeräten:

- Toluol: Flammenionisations-Detektoren (FID),
- SO_2 : SO_2 -Analysatoren basierend auf UV-Lumineszenz,
- NH_3 : Protonen-Transfer-Reaktions-Massenspektrometer (PTR-MS),
- NO_2/NO : NO_x -Analysatoren basierend auf Chemilumineszenz,
- Ozon: Ozonmessgeräte basierend auf UV-Absorption.

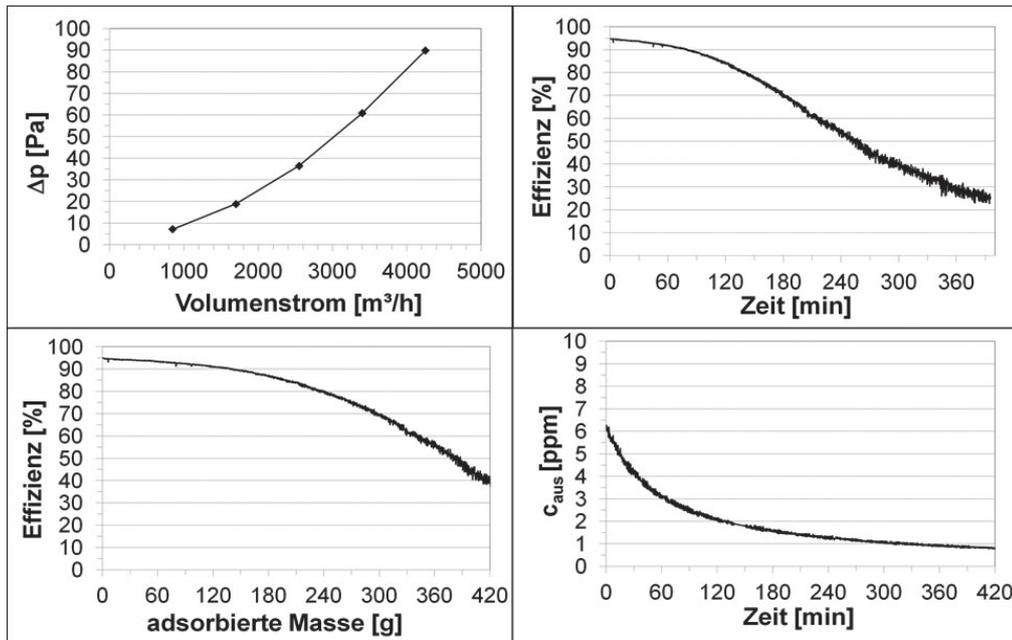


Bild 5. Ergebnisdiagramme einer Filterprüfung mit Toluol ($c_{\text{ein}} = 9 \text{ ppm}_V$, $3\,400 \text{ m}^3/\text{h}$, $23 \text{ }^\circ\text{C}$, 50%).

Der Testvolumenstrom in der Versuchsanlage enthält aufgrund des Durchbruchs hinter dem Filterprüfling im Versuchsverlauf zunehmend Volumenanteile der jeweiligen Testsubstanz. Deren Freisetzung aus dem Prüfstand ist insbesondere aus Arbeitsschutzgründen zu verhindern. Bis zum Ventilator herrscht im Filterprüfstand ein leichter Unterdruck, sodass nicht von einer Freisetzung der Testsubstanzen in die Hallenluft auszugehen ist. Hinter dem Ventilator wird der Abluftstrom durch Abluftleitungen aus verzinktem Stahlblech seitlich aus dem Hallengebäude abgeführt. Um zu verhindern, dass giftige und korrosive Substanzen in die Hallen- und Außenluft gelangen oder das Prüfstandsmaterial angreifen, wurde ein zweites Filterelement mit hoher spezifischer Sorbenskapazität als Sicherheitsfilter eingebaut. Die Beständigkeit und Eignung des im Prüfabschnitt verbauten Materials gegenüber den Testsubstanzen wurde umfangreich, auch im Rahmen einer Masterarbeit, untersucht und bestätigt.

Die Einhaltung der Arbeitsplatzgrenzwerte wird durch eine Gaswarnanlage überwacht. Bei Stromausfall oder bei Erreichen des jeweiligen festgelegten Alarmwertes der Gassensoren wird die entsprechende Dosierung automatisch gestoppt. Die gleichen Sicherheitsabschaltungen erfolgen, wenn der Volumenstrom im Prüfkanal unter einen bestimmten Wert absinkt, um eine Anreicherung der Testsubstanzen im Prüfstand zu verhindern.

2.2 Realisierung der Prüfbedingungen nach Norm

In DIN EN ISO 10121-2 sind Vorgaben hinsichtlich der Konstanz des Testvolumenstroms, der Temperatur, der relativen Feuchte sowie der Testgaskonzentration während einer Filterprüfung enthalten. Als zulässige Abweichungen bei der Prüfung werden folgende Werte bzw. Intervalle angegeben:

- Testvolumenstrom $\pm 3 \%$,
- Testtemperatur $\pm 0,5 \text{ }^\circ\text{C}$,
- angestrebte relative Feuchte $\pm 3 \%$ r. F.,
- Testgasvolumenanteil $\pm 3 \%$.

In Bild 4 sind die Verläufe von Temperatur, relativer Feuchte sowie des Testvolumenstroms während einer vereinfachten Vergleichsprüfung ($25 \text{ }^\circ\text{C}$ und 50% relative Luftfeuchte) mit 9 ppm_V Toluol an einer V-Zelle mit einem Nennvolumenstrom von $3\,400 \text{ m}^3/\text{h}$ dargestellt. Die jeweiligen zulässigen Toleranzbereiche sind grau markiert. Temperatur und Volumenstrom weisen die vorgeschriebene Konstanz auf. Die relative Feuchte überschreitet während des vierstündigen Versuches das Toleranzintervall einmal, die Rohgaskonzentration (Bild 5) hingegen häufiger. Eine Erklärung für den Ausreißer bei der relativen Feuchte ist, dass eine Störung, vermut-

lich aufgrund eines spontanen Abschlämmprozesses im Dampferzeuger, vom Feuchteregler überkompensiert wurde. Bei der überwiegenden Mehrheit der durchgeführten Prüfungen wurden die Toleranzwerte für Temperatur, Feuchte und Volumenstrom, wie am Beispiel gezeigt, mit wenigen und geringfügigen Abweichungen eingehalten. Lediglich bei extremen Witterungsbedingungen mit Temperaturen über $35 \text{ }^\circ\text{C}$ und hohen Luftfeuchten wurden die zulässigen Abweichungen zum Teil deutlich überschritten. Die geforderte Konstanz bei der Dosierung von 9 ppm_V Toluol wurde dagegen nur in Einzelfällen erreicht. Gleiches gilt für die Dosierung von $9 \text{ ppm}_V \text{ SO}_2$, NH_3 und NO_2 bei gleicher Testgaskonzentration und insbesondere für die Bereitstellung einer Testgaskonzentration von $0,9 \text{ ppm}_V \text{ O}_3$. Bei geringeren Testgaskonzentrationen als 90 ppm_V lautet die aus der Evaluierung abgeleitete Empfehlung, die Vorgaben zur Konstanz der Rohgaskonzentration zu lockern.

3 Ergebnisse und Diskussion

Für die Evaluierung der DIN EN ISO 10121-2 wurden ausgewählte Filter verschiedener Bauart mit den fünf Testsubstanzen Toluol, NH_3 , SO_2 , NO_2 und O_3 gemäß Norm geprüft. Die Inhalte eines Prüfberichtes nach Norm werden nachfolgend am Beispiel einer mit Toluol getesteten V-Zelle dargestellt.

In einem weiteren Forschungsprojekt [7] wurde die Prüfmethode nach der Norm auf eine größere Anzahl von kommerziell verfügbaren Filtern verschiedener Bauart angewendet, um mithilfe der Testergebnisse Kennziffern zur Beurteilung der Leistungsfähigkeit von adsorptiven RLT-Filtern abzuleiten. Weil die Ergebnisse den Nutzen von Normprüfungen beim Vergleich von verschiedenen RLT-Filtern verdeutlichen, wird eine Auswahl dieser Ergebnisse vorgestellt. Die Darstellung erfolgt für alle fünf Testsubstanzen getrennt in Form von Durchbruchkurven. Die Ergebnisse geben darüber hinaus einen Eindruck von der Spannbreite der Leistungsfähigkeit von kommerziell verfügbaren RLT-Filtern. Alle Durchbruchkurven wurden bei

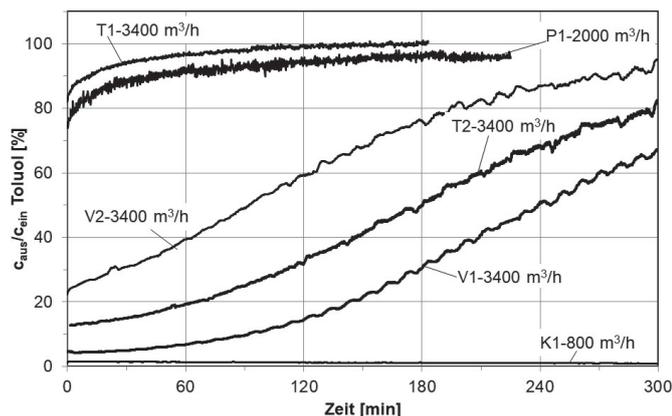


Bild 6. Durchbruchkurven von 9 ppm_v Toluol durch RLT-Filter verschiedener Bauarten (23 °C, 50 % relative Feuchte).

23 °C, 50 % relativer Feuchte und den Nennvolumenströmen der einzelnen Filter ermittelt.

3.1 Ergebnisse nach Norm am Beispiel einer Prüfung mit Toluol

Der Prüfbericht nach Norm besteht aus einem Tabellenblatt mit Angaben zum Filterprüfling und den Prüfbedingungen sowie ausgewählten Ergebniswerten. Zum Filterprüfling werden beispielsweise Bauart, Maße, Nennvolumenstrom und Sorbensmasse aufgeführt. Zu den Prüfbedingungen gehören Testvolumenstrom, Prüfgas und -konzentration, Temperatur sowie relative Feuchte. Als Prüfergebnisse werden die Anfangseffizienz, die bis zu verschiedenen Zeitpunkten bzw. Effizienzen abgedehnten Massen, das Rückhaltevermögen sowie die gemessene Druckdifferenz bei Nennvolumenstrom angegeben.

Weiterhin enthält der Prüfbericht Ergebnisdigramme und Diagramme zur Verifizierungsprüfung. In den Diagrammen zur Verifizierungsprüfung werden die zeitlichen Verläufe von Temperatur, relativer Feuchte, Volumenstrom sowie Roh- und Reingaskonzentration während der Filterprüfung in vergleichbarer Weise wie in Bild 4 dokumentiert. In den Ergebnisdigrammen werden dargestellt:

- die Druckdifferenz-Volumenstromkurve mit Messungen bei 50, 75, 100 und 125 % des Nennvolumenstroms,
- der Verlauf der Abscheideeffizienz über der Versuchszeit,
- der Verlauf der Abscheideeffizienz über der abgedehnten Masse.

Wurde das Rückhaltevermögen bestimmt, ist zusätzlich der Verlauf der Reingaskonzentration nach Beendigung der Dosierung darzustellen.

Bild 5 zeigt die vier Ergebnisdigramme einer Filterprüfung mit 9 ppm_v Toluol an einer V-Zelle mit einem Nennvolumenstrom von 3 400 m³/h bei 23 °C und 50 % relativer Luftfeuchte.

3.2 Ergebnisse von Filterprüfungen mit Toluol

Das Angebot von RLT-Filtern zur Abscheidung von VOC und Gerüchen, für die Toluol als Ersatzsubstanz eingesetzt wird, ist vielfältig. Es reicht von Panel- und Taschenfiltern mit wenig Aktivkohle, die eingesetzt werden, um z. B. Geruchsspitzen abzufangen, über Taschenfilter und V-Zellen bis hin zu Kartuschenfiltern mit erheblichen Aktivkohlemengen beispielsweise zur Reduzierung von hohen VOC-Konzentrationen in Industriehallen. Bild 6 zeigt die Toluol-Durchbruchkurven (Testgaskonzentration 9 ppm_v) von

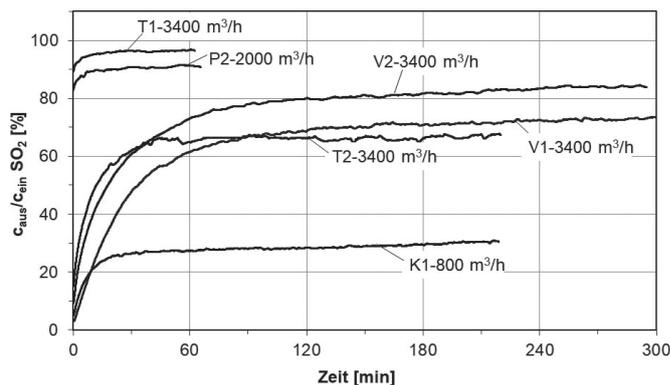


Bild 7. Durchbruchkurven von 9 ppm_v SO₂ durch RLT-Filter verschiedener Bauarten (23 °C, 50 % relative Feuchte).

sechs RLT-Filtern der zuvor aufgeführten Bauformen bis zu einer Versuchszeit von 300 Minuten. Die Filterbezeichnung setzt sich aus einer Abkürzung für die Bauform (Taschenfilter T, Panelfilter P, V-Zelle V, Kartuschenfilter K), einer laufenden Nummer sowie dem Nennvolumenstrom der Filter zusammen. Abhängig von der absoluten Menge des Adsorbens und seiner Adsorptionskapazität sind deutliche Unterschiede beim Abscheideverhalten der verschiedenen Filter erkennbar. Die Werte des Sofortdurchbruchs der Filter, d. h. für den Toluoldurchbruch zu Beginn des Versuches, liegen zwischen annähernd Null und ca. 84 %. Der Sofortdurchbruch wird durch die Verweilzeit der Adsorptivmoleküle in der Adsorbenschicht und die Packungsdichte des Granulats bestimmt. Wenn innerhalb des Filtermediums Bereiche vorliegen, in denen kein Adsorbens vorhanden ist, mit dem die Adsorptivmoleküle während der Verweilzeit in Kontakt treten können, kommt es zu Bypasseffekten und Sofortdurchbruch. Dieser Effekt ist bei den Panelfiltern und dem Taschenfilter T1 stark ausgeprägt, während der Kartuschenfilter K1 mit Adsorbenschichten von mehreren Zentimetern und einem Testvolumenstrom von 800 m³/h einen verschwindend geringen Sofortdurchbruch besitzt.

3.3 Ergebnisse von Filterprüfungen mit Schwefeldioxid

In Bild 7 werden die SO₂-Durchbruchkurven (Rohgaskonzentration 9 ppm_v) von sechs RLT-Filtern verschiedener Bauform bis zu einer Versuchszeit von 300 Minuten gezeigt. Die abgebildeten Durchbruchkurven von SO₂ weisen, anders als die von Toluol durch die Filter T2, V1 und V2 (Bild 6), keinen s-förmigen Verlauf auf. Es kommt zunächst zu einem relativ steilen Anstieg der Durchbruchwerte, die dann ab einem individuell verschiedenen Zeitpunkt und Durchbruchwert bis Versuchsende nahezu konstant auf einer Art Plateau unterhalb von 100 % verharren. Die Erklärung für diese Kurvenverläufe ist wie folgt: SO₂ wird nur zu einem geringen Anteil durch Physisorption abgeschieden. Nachfolgend wird das physikalisch gebundene SO₂ durch chemische Reaktionen insbesondere bei Anwesenheit von Wasserdampf bzw. abgedehntem Wasser umgewandelt und angelagert [8; 9]. Weil das Sorptionspotenzial auf diese Weise immer wieder erneuert wird, erfolgt die Annäherung der Durchbruchkurve an die Sättigungskonzentration sehr langsam. Bei RLT-Filtern und einem Testvolumenanteil von 9 ppm SO₂ wird daher häufig in praktikablen Versuchszeiten kein vollständiger Durchbruch erreicht.

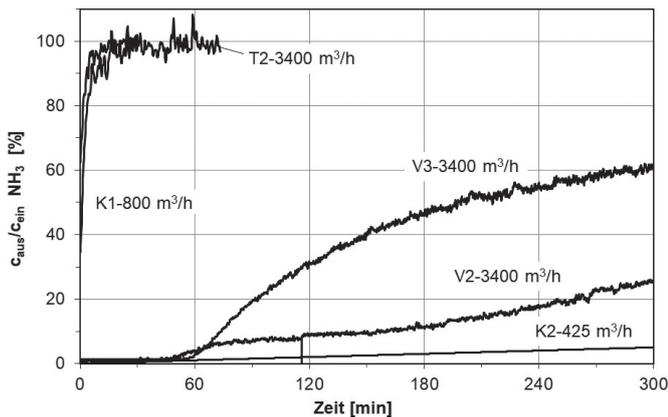


Bild 8. Durchbruchkurven von 9 ppm_v NH₃ durch RLT-Filter verschiedener Bauarten (23 °C, 50 % relative Feuchte).

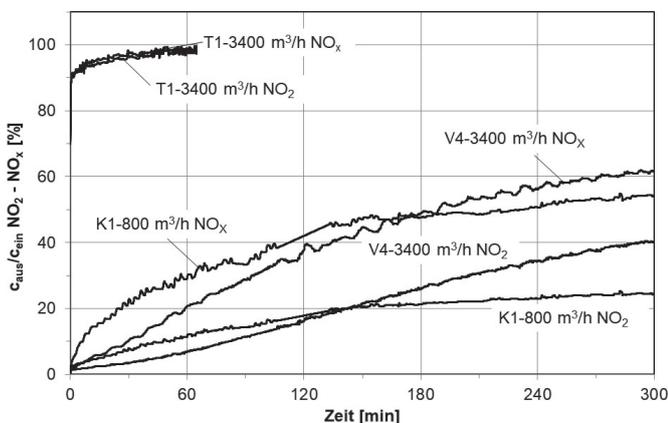


Bild 9. Durchbruchkurven von NO₂ und NO_x durch RLT-Filter verschiedener Bauarten ($c_{\text{ein NO}_2} = 9 \text{ ppm}_v$, $c_{\text{ein NO}} = 0 \text{ ppm}_v$, 23 °C, 50 % relative Feuchte).

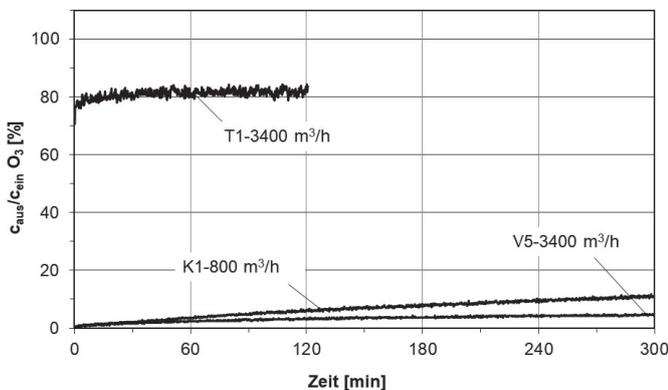


Bild 10. Durchbruchkurven von 0,9 ppm_v Ozon durch RLT-Filter verschiedener Bauarten (23 °C, 50 % relative Feuchte).

3.4 Ergebnisse von Filterprüfungen mit Ammoniak

Dargestellt sind in Bild 8 die Ammoniak-Durchbruchkurven (Rohgaskonzentration 9 ppm_v) von fünf verschiedenen RLT-Filtern der Bauformen V-Zelle, Kartuschen- und Taschenfilter. Das eklatant unterschiedliche Abscheidungsvermögen der Filter geht darauf zurück, dass nicht modifizierte Aktivkohle nur verschwindend geringe Kapazitäten zur Abscheidung von NH₃ besitzt. Die Filter K1 und T2, bei denen schon in der ersten Viertelstunde der 80-%-Durchbruch überschritten wird, sind demgemäß mit nicht modifizierter Aktivkohle ausgestattet. Die übrigen Filter enthalten

imprägnierte Aktivkohle oder Ionentauscher als Sorbens. Die größere NH₃-Abscheidung an diesen Sorbentien erfolgt u. a. aufgrund der Bildung von Ammoniumsalzen und der Lösung in dem in den Poren adsorbierten Wasser [10; 11].

3.5 Ergebnisse von Filterprüfungen mit Stickstoffdioxid

In Bild 9 sind zusätzlich zu den Durchbruchkurven von NO₂ (Rohgaskonzentration 9 ppm_v) durch drei verschiedene Filter die Durchbruchkurven des Summenparameters NO_x = NO₂ + NO dargestellt. Bei Versuchen mit NO₂ an aktivkohlehaltigen Sorbentien ist nämlich zu beachten, dass immer ein Teil des NO₂ durch die Aktivkohle katalytisch zu Stickstoffmonoxid (NO) reduziert wird. Diese Reaktion ist in hohem Maße unerwünscht, weil die Kapazitäten von Aktivkohle für das ebenfalls toxische NO äußerst gering sind. Bei der Auswertung von Versuchsergebnissen und dem Vergleich von Filtern ist daher der Anteil von NO im Reingas zu berücksichtigen. Zur Bewertung der dargestellten Ergebnisse ist weiterhin anzumerken, dass T1 und K1 mit herkömmlicher und V4 mit K₂CO₃-imprägnierter Aktivkohle ausgestattet sind und die Adsorbensmenge im Kartuschenfilter mehr als viermal so groß ist wie die der V-Zelle. Die Abscheidung von NO₂ erfolgt zu einem nicht unerheblichen Anteil durch Chemisorption [12].

3.6 Ergebnisse von Filterprüfungen mit Ozon

Bild 10 zeigt die Durchbruchkurven von Ozon (Rohgaskonzentration 0,9 ppm_v) durch einen Taschenfilter, eine V-Zelle und einen Kartuschenfilter. Während Taschen- und Kartuschenfilter herkömmliche Aktivkohle enthalten, ist die V-Zelle mit KI-imprägnierter Aktivkohle ausgestattet. Das Verhältnis der Sorbensmengen V-Zelle zu Taschenfilter liegt bei Acht, das von Kartuschenfilter zu Taschenfilter bei 34. Der erkennbar niedrigere Ozon-Durchbruch durch die V-Zelle im Vergleich zu dem durch den Kartuschenfilter wird auf den Abbau bzw. die Abscheidung von Ozon durch katalytische Umsetzung und Chemisorptionsvorgänge zurückgeführt [13].

4 Zusammenfassung und Fazit

Im Rahmen eines Forschungsprojektes wurde die Praxistauglichkeit des zweiten Teils der DIN EN ISO 10121 zu Prüfmethode von adsorptiven RLT-Filtern untersucht. Dazu wurden ein entsprechender Prüfstand eingerichtet und Prüfungen nach Norm mit den Testsubstanzen Toluol, Schwefeldioxid, Ammoniak, Stickstoffdioxid und Ozon durchgeführt. Neben der Gewährleistung der Arbeitssicherheit hat sich bei der Durchführung von Normtests die konstante Bereitstellung der Testsubstanzkonzentrationen innerhalb der vorgegebenen Toleranzen als größte Herausforderung erwiesen. Dieser Aspekt sollte bei einer Fortschreibung der Norm genauso wie die Testgaskonzentrationen der vereinfachten Vergleichsprüfung von 90 ppm_v, die nur mit erheblichem Aufwand realisiert werden können, überprüft und angepasst werden. Bis auf diese zwei Kritikpunkte ist das Ergebnis der vorgestellten Studie jedoch, dass in DIN EN ISO 10121-2 sinnvolle und praktikable Vorgaben gemacht werden für die Prüfung adsorptiver RLT-Filter und die Beurteilung ihrer Leistungsfähigkeit.

Danksagung

Die IGF-Vorhaben 18516 N und 19146 N der Forschungsvereinigung Institut für Energie- und Umwelttechnik e. V. (IUTA), Bliersheimer Str. 58-60, 47229 Duisburg wurden über die AiF im Rahmen des Programms zur Förderung der industriellen Gemeinschaftsforschung (IGF) vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi) aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages gefördert.

Literatur

- [1] DIN EN 779:2012-10. Partikel-Luftfilter für die allgemeine Raumlufttechnik – Bestimmung der Filterleistung. Berlin: Beuth 2012.
- [2] DIN EN ISO 16890-1:2017-08. Luftfilter für die allgemeine Raumlufttechnik – Teil 1: Technische Bestimmungen, Anforderungen und Effizienzklassifizierungssystem, basierend auf dem Feinstaubabscheidegrad (ePM). Berlin: Beuth 2017.
- [3] DIN EN ISO 10121-2:2013-08: Methode zur Leistungsermittlung von Medien und Vorrichtungen zur Reinigung der Gasphase für die allgemeine Lüftung – Teil 2: Einrichtungen zur Reinigung der Gasphase (GPACD). Berlin: Beuth 2013.
- [4] DIN EN ISO 10121-1:2015-10: Methode zur Leistungsermittlung von Medien und Vorrichtungen zur Reinigung der Gasphase für die allgemeine Lüftung – Teil 1: Medien zur Reinigung der Gasphase (GPACM). Berlin: Beuth 2015.
- [5] Evaluierung und Optimierung praxisorientierter Prüfprozeduren für adsorptive Filtermedien und Einrichtungen zur Reinigung der Gasphase für die allgemeine Raumluftung. AiF-FV 18516 N, 1.12.2014 bis 30.11.2017. <https://www.iuta.de/vernetzung/igf-forschungsprojekte/aif-nummer/18516/>
- [6] *Ligotski, R.; Sager, U.; Schmidt, F.*: Die Durchführung von Adsorptions-Filtertests gemäß DIN EN ISO 10121 – Teil 1: Adsorptionsversuche an Filtermedien. Gefahrstoffe – Reinhalt. Luft 78 (2018) Nr. 11/12, S. 466-474.
- [7] Energielabeling für Adsorptionsfilter: Erarbeitung von Kenngrößen zur Einstufung von Adsorptionsfiltern hinsichtlich Energieverbrauch und Abscheideleistung. AiF-FV 19146 N, 1.1.2017 bis 31.12.2018. <https://www.iuta.de/vernetzung/igf-forschungsprojekte/aif-nummer/19146/>
- [8] *Zhang, P.; Sager, U.; Schmidt, F.; Wanko, H.; Ulrich, J.*: Untersuchung des Adsorptionsverhaltens von Dünnschichtfiltern am Beispiel der Kfz-Innenraumfilter. Chem. Ing. Tech. 78 (2006) Nr. 12, S. 1837-1844.
- [9] *Rosas, J.; Ruiz-Rosas, R.; Rodríguez-Mirasol, J.; Cordero, T.*: Kinetic study of SO₂ removal over lignin-based activated carbon. Chem. Eng. J. 307 (2017), S. 707-721.
- [10] *Sager, U.; Däuber, E.; Bathen, D.; Asbach, C.; Schmidt, W.; Weidenthaler, C.; Tseng, J. C.; Pommerin, A.*: Sorptive Abscheidung von Ammoniak-Immissionen an Aktivkohle und deren Modifikationen bei Umgebungsbedingungen. Gefahrstoffe – Reinhalt. Luft 76 (2016) Nr. 9, S. 338-343.
- [11] *Petit, C.; Bandosz, T. J.*: Role of surface heterogeneity in the removal of ammonia from air on micro/mesoporous activated carbons modified with molybdenum and tungsten oxides. Microporous Mesoporous Mater. 118 (2009), S. 61-67.
- [12] *Ghouma, I.; Jeguirim, M.; Sager, U.; Limousy, L.; Bennici, S.; Däuber, E.; Asbach, C.; Ligotski, R.; Schmidt, F.; Ouederni, A.*: The potential of activated carbon made of agro-industrial residues in NO_x immissions abatement. Energies 10 (2017), S.1508-1522.
- [13] *Lee, P.; Davidson, J.*: Evaluation of activated carbon filters for removal of ozone at the PPB level. American Industrial Hygiene Association Journal 60 (1999) Nr. 5, S. 589-600.