

Klassifizierung von Adsorptionsfiltern für die Raumluft nach ISO 10121-3 als Grundlage für Auswahlempfehlungen

Uta Sager, Eckhard Däuber, Thomas Engelke, Thorsten Stoffel

In den vergangenen Jahren hat der Einsatz von Adsorptionsfiltern, die auch Schadgase, wie z.B. Stickoxide abscheiden, in raumlufttechnischen Anlagen zugenommen. Das führte zur Herausgabe der ersten beiden Teile der DIN EN ISO 10121 (2013/2015), die Prüfmethode zur Ermittlung der Reinigungskapazität derartiger Filter und Medien für relevante Schadgase beschreiben. Die Ergebnisse der Prüfungen liefern Filter- und Medienherstellern sowie Anwendern zwar eine einheitliche Bewertungsgrundlage, jedoch nicht in jedem Fall eine direkte Vergleichsmöglichkeit. Diese Lücke schließt der dritte Teil der Norm, der ein Klassifizierungssystem vorgibt. Die maßgeblichen Parameter für die Klassifizierung und die damit verbundenen Filterprüfungen werden vorgestellt und anhand eines Beispiels erläutert. Anschließend wird dargestellt, wie die Klassifizierung von Adsorptionsfiltern in Zukunft genutzt werden kann, um Anwendern Kriterien für die Auswahl derartiger Filter an die Hand zu geben.

1 Einleitung

Der Ausbruch von Covid-19 änderte unser Bewusstsein für Lüfthygiene in geschlossenen Räumen. Die Verantwortlichen für öffentliche Gebäude haben zahlreiche Maßnahmen ergriffen, um an diesen Orten die bestmögliche Lüfthygiene herzustellen. Hierbei standen auch die Luftfilter zur Partikelfiltration in vorhandenen Lüftungsanlagen im Fokus.

Zur Sicherstellung der Lüfthygiene bezüglich der Feinstaubbelastung gibt es seit 2017 nach DIN EN 16798-3 [1] klare Vorgaben für die Auswahl und Konfiguration von Partikelfiltern in Lüftungsanlagen von Nichtwohngebäuden. Die Grundlage für die Auswahlkriterien bilden die von der WHO in den Luftgüteleitlinien [2] empfohlenen Richtwerte zur Feinstaubbelastung, die Immissionswerte in der Außenluft am Einsatzort der Filter sowie die Nutzung der von den Lüftungsanlagen versorgten Innenräume. Auch die Empfehlungen zur Auswahl von RLT-Filtern nach Eurovent 4/23 [3] basieren auf dieser Grundlage.

Gesundheitliche Gefahren für Personen in Innenräumen gehen nicht nur von der Feinstaubbelastung aus. Auch gasförmige Schadstoffe wie bestimmte Kohlenwasserstoffe,

Ozon, Stickoxide und Schwefeldioxid belasten die Luftqualität in Innenräumen. Die Notwendigkeit, auch den Schadgaseintrag in der Zuluft zu begrenzen, ist zwar gegeben, aber bisher gibt es keine normativen Vorgaben zur Verwendung dafür geeigneter Filtern in Lüftungsanlagen.

Aber auch ohne normative Vorgaben für deren Einsatz hat in den vergangenen 15 Jahren die Verwendung von Filtern, die Schadgase und Gerüche aus der zugeführten Raumluft durch Adsorption an einem Sorbens abscheiden, in raumlufttechnischen Anlagen (RLT-Anlagen) zugenommen. Primäre Ursache hierfür war die steigende Anzahl von Luftaufbereitungsanlagen für die allgemeine Raumluft, eine Folge der zunehmenden Aufenthaltsdauer von Menschen in Gebäuden [4] sowie des vermehrten Einsatzes von kontrollierter Raumlüftung zur Heizkostenminimierung.

Die steigende Verbreitung von adsorptiven RLT-Filtern führte zur Erstellung der Teile 1 und 2 der DIN EN ISO 10121 [5, 6], in denen standardisierte Methoden zur Prüfung derartiger Filter (Teil 2) sowie der darin verarbeiteten adsorptiven Medien (Teil 1) beschrieben werden. Sowohl für Medien als auch für Filter ist die Reinigungskapazität für relevante Schadgase der maßgebliche Prüfparameter. Weitere Prü-

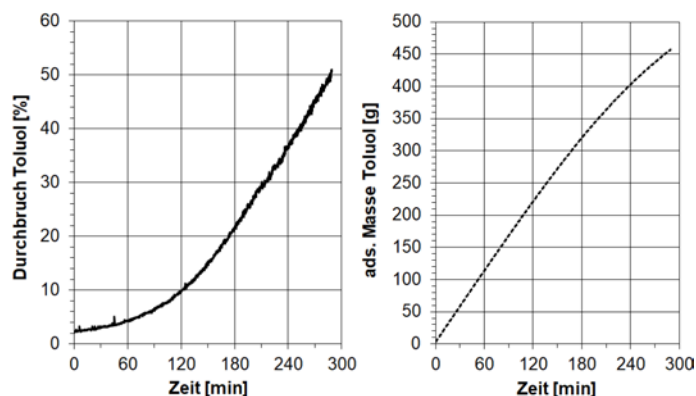


Bild 1: Durchbruchkurve von Toluol an einem RLT-Filter (links) und dazu gehöriger Verlauf der adsorbierten Masse (rechts) (9 ppm_v Toluol, 23 °C, 50 % r. F., 3.400 m³/h)

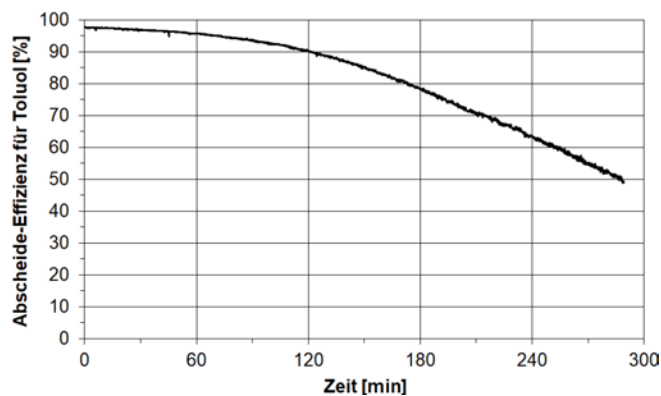


Bild 2: Effizienzverlauf eines RLT-Filters bei der Abscheidung von Toluol (9 ppm_v Toluol, 23 °C, 50 % r. F., 3.400 m³/h)

fungen betreffen die Anfangseffizienz, die Restbelastung nach Desorption und den Druckabfall. Die Testergebnisse liefern Medien- und Filterherstellern sowie Anwendern zwar eine einheitliche Bewertungsgrundlage, jedoch nicht in jedem Fall eine direkte Vergleichsmöglichkeit. Diese Lücke schließt der dritte Teil der Norm, dessen englischsprachige Ausführung ISO 10121-3 [7] im Oktober 2022 veröffentlicht wurde. Er enthält ein Klassifizierungssystem, mit dem in Normen wie der DIN EN 16798-3 [1] konkrete Vorgaben zur Auswahl von adsorptiven RLT-Filtern festgelegt werden können.

In einem aktuellen Forschungsprojekt wird die ISO 10121-3 [7] am Institut für Energie- und Umwelttechnik e. V. (IUTA) evaluiert. Ziel ist es, die praktische Durchführung der Klassifizierung zu erproben und einen Leitfaden mit Hilfestellungen für die Umsetzung dieses Teils der Norm zu entwickeln. Dieser soll sich insbesondere an kleinere und mittlere Unternehmen, sowohl Filter- und Medienhersteller als auch Nutzer, richten.

In diesem Beitrag werden die maßgeblichen Parameter für die Klassifizierung vorgestellt und anhand eines Beispiels für ein Klassifizierungsergebnis erläutert. Zuvor wird die Prüfmethode für adsorptive RLT-Filter nach Teil 2 der Norm, mit der die Filtereigenschaften erfasst werden, kurz erläutert. Anschließend wird dargestellt, wie standardisierte Empfehlungen zur Auswahl von Adsorptionsfiltern auf der Basis der Klassifizierung nach ISO 10121-3 in Zukunft gestaltet werden können.

2 Prüfmethode nach DIN EN ISO 10121, Teil 2

Der maßgebliche Teil der Prüfung eines adsorptiv wirkenden RLT-Filters besteht aus einem Durchbruchstest zur Bestimmung der Aufnahmefähigkeit des Prüflings für ein bestimmtes Prüfgas. Der Filter wird dabei mit einem Luftvolumenstrom \dot{V} von konstanter Temperatur, Luftfeuchte und Konzentration des jeweiligen Prüfgas (c_1) durchströmt. Auf der Abströmseite des Prüflings wird die Konzentration des Prüfgas (c_2), die so genannte Reingaskonzentration, in Abhängigkeit von der Versuchszeit gemessen. Daraus wird eine Durchbruchkurve $c_2(t)/c_1$ erstellt, die den Verlauf der Reingaskonzentration im Verhältnis zur Prüfgascon-

tration in Abhängigkeit von der Prüfdauer t wiedergibt. Die bei dem Durchbruchstest abgeschiedene Masse des Prüfgas wird mit Hilfe einer Massenbilanz aus den Messwerten berechnet.

Bild 1 zeigt in dem Diagramm auf der linken Seite als Beispiel die an einem kommerziell verfügbaren adsorptiven RLT-Filter der Bauform V-Zelle ermittelte Durchbruchkurve von Toluol. Die Kurve zeigt schon zu Beginn der Prüfung einen geringen Durchbruch von Toluol. Dieser ist darauf zurückzuführen, dass die Aktivkohleschichten in Flachfiltermedien, die in Filtern verbaut werden, in der Regel dünn sind und einen entsprechenden hohen Lückengrad aufweisen. Dadurch kann es zu Bypasseffekten kommen, die abhängig von der Filterausführung durchaus auch zu wesentlich höheren Anfangs-Durchbrüchen als in dem Beispiel in **Bild 1** führen können. Auf der rechten Seite des Bildes ist die abgeschiedene Masse an Toluol in Abhängigkeit von der Prüfdauer aufgetragen.

Nach Norm wird das Ergebnis eines solchen Durchbruchversuches jedoch nicht als Durchbruch, sondern als Effizienz $E = 1 - c_2/c_1$ über die Prüfdauer dargestellt. **Bild 2** zeigt den Effizienzverlauf, der sich aus der in **Bild 1** dargestellten Durchbruchkurve ergibt.

In der Norm wird darauf hingewiesen, dass Durchbruchs- und Effizienzkurven aus Prüfungen von verschiedenen Filtern ausschließlich dann miteinander vergleichbar sind, wenn die Versuchsbedingungen einschließlich Nennvolumenstrom des Filters und Größe des Einbauquerschnitts exakt gleich waren. Auf welche Weise es möglich ist, verschiedene Filter dennoch zu vergleichen, wird weiter unten im Abschnitt „Klassifizierung nach ISO 10121-3“ beschrieben.

DIN EN ISO 10121-2 [6] schreibt den Nennvolumenstrom eines Filters als Luftvolumenstrom \dot{V} beim Durchbruchstest vor. Für die weiteren Testbedingungen, Temperatur, relative Luftfeuchte, Prüfsubstanz sowie Prüfgaskonzentration, wird empfohlen, sich an den realen Einsatzgegebenheiten zu orientieren. In der Praxis können diese Bedingungen häufig jedoch nicht realisiert werden. So kann eine Prüfgaskonzentrationen in der Größenordnung realer Schadgaskonzentrationen zu einer Prüfdauer von mehreren

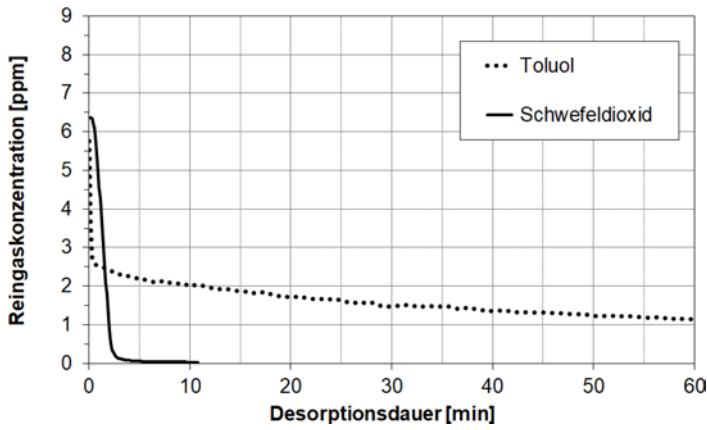


Bild 3: Verlauf der Reingaskonzentrationen von Toluol und SO₂ bei der Desorption durch Spülen mit prüfsubstanzfreier Luft nach Durchbruchtests mit 9 ppm_v Prüfsubstanz, 23 °C, 50 % r. F., 3.400 m³/h

Monaten führen. Deshalb werden in DIN EN ISO 10121-2 [6] auch Bedingungen für eine Vergleichsprüfung von Filtern angegeben, die zu Prüfdauern von weniger als 12 Stunden führen sollen. Hierfür werden Prüfgaskonzentrationen von 9 ppm_v oder 90 ppm_v vorgeschlagen, was ungefähr dem Tausendfachen der realen Konzentrationen entspricht. Als Prüfgase werden Toluol, Schwefeldioxid (SO₂) oder Ammoniak und als weitere Bedingungen 23 °C und 50 % relative Luftfeuchte aufgeführt.

Vor dem beschriebenen Durchbruchtest mit einer wie dargestellt höheren Konzentration des Prüfgases, als es möglichen Belastungen bei der Nutzung entspricht, ist nach DIN EN ISO 10121-2 [6] die Bestimmung des Anfangswirkungsgrades des Filters vorgesehen. Damit soll die Filterwirkung zu Beginn bei einem realen Einsatz des Filters mit deutlich geringeren Schadgaskonzentrationen ermittelt werden. Der Anfangswirkungsgrad wird im Prinzip auch als Durchbruchtest durchgeführt, jedoch mit so geringer Prüfgaskonzentration und nur solange, dass quasi keine Vorbelastung des Filterprüflings stattfindet. Bei der Festlegung der Prüfgaskonzentrationen wurden die Grenzen der für Standardprüfungen im Allgemeinen zur Verfügung stehenden Messtechnik berücksichtigt.

Im Anschluss an den Durchbruchtest zur Ermittlung der Aufnahme-fähigkeit des Prüflings wird in DIN EN ISO 10121-

2 [6] ein Desorptionstest vorgeschlagen. Dabei wird der Prüfling weiter mit dem konditionierten Nennvolumenstrom durchströmt, jedoch ohne Prüfgasdosierung, bei fortgesetzter Messung der Reingaskonzentration der Prüfsubstanz. Auf Basis des zeitlichen Verlaufes des Konzentrationsrückganges wird die während des Desorptionstests freigesetzte Masse der Testsubstanz berechnet. Die Differenz zwischen der während des Durchbruchtests adsorbierten Masse und der desorbierten Masse ist der Wert für das Rückhaltevermögen des Filters.

Der Desorptionstest ist insbesondere bei Prüfungen mit physisorbierenden Testsubstanzen wie Toluol und anderen organischen Kohlenwasserstoffen sinnvoll. Die Adsorption derartiger Gase ist nämlich reversibel, sodass die abgesehene Substanz wieder desorbiert und freigesetzt werden kann. Bei Absenkung der Konzentration des Prüfstoffes in der Gasphase verschiebt sich das Adsorptionsgleichgewicht hin zu geringeren Beladungen, so dass ein Teil des bereits adsorbierten Stoffes wieder in die Gasphase freigesetzt wird, bis die neue, der niedrigeren Konzentration entsprechende Gleichgewichtsbeladung erreicht ist. Die Zeit, bis das in der Norm genannte Abbruchkriterium des Desorptionsversuchs ($c_2 < 5\%$ der ursprünglichen Prüfgaskonzentration) erreicht ist, kann viele Stunden betragen. Anders verhält es sich bei Testsubstanzen, die durch Chemisorption abgeschieden werden. Sie werden meist irreversibel, z. B. durch chemische Reaktionen mit Oberflächengruppen der Aktivkohle abgeschiedenen. Bei auf Durchbruchtests mit chemisorbierenden Substanzen folgenden Desorptionstests wird normalerweise auf der Reingasseite des Filters ein zügiges Abklingen der Reingaskonzentration beobachtet. In **Bild 3** sind die Konzentrationen von Toluol und SO₂ dargestellt, die während des jeweiligen Desorptionstests auf der Reingasseite von zwei Prüflingen eines herkömmlichen Aktivkohlefilters nach Durchbruchtests mit jeweils 9 ppm bis zu Durchbrüchen von 65 % bzw. 70 % gemessen wurden.

Weiterhin beinhaltet die Prüfung von adsorptiven RLT-Filtern nach DIN EN ISO 10121-2 [6] die Ermittlung des Zusammenhangs zwischen Luftdurchsatz und Druckabfall über den Filter bei Durchströmung mit dem Nennvolumenstrom sowie 50 %, 75 % und 125 % dieses Durchsatzes. Das Ergebnis der Prüfung wird in einem Druckabfall-Luftdurchsatz-Diagramm dargestellt.

Tabelle 1: Prüfgaskonzentrationen zur Bestimmung der Anfangsreinigungsleistung und des Leistungsbeanspruchungsgrades nach ISO 10121-3 [7]

Prüfgas	Prüfgaskonzentration zur Bestimmung	
	Anfangsreinigungsleistung	Leistungsbeanspruchungsgrad
Toluol	0,9 ppm _v	9 ppm _v
SO ₂	0,45 ppm _v	9 ppm _v
NO ₂	0,45 ppm _v	9 ppm _v
Ozon	0,15 ppm _v	3 ppm _v

Die Prüfmethode nach DIN EN ISO 10121, Teile 1 und 2 [5,6], wurden in einem weiteren, inzwischen abgeschlossenen, Forschungsprojekt am IUTA evaluiert. Die Ergebnisse hierzu und zu zahlreichen weiteren Fragestellungen in diesem Zusammenhang wurden in [8–11] veröffentlicht.

3 Klassifizierung nach ISO 10121-3

Die vollständige Klassifizierung von adsorptiv wirkenden RLT-Filtern nach ISO 10121-3 [7] erfolgt nach deren Wirkung bezüglich der Abscheidung von Toluol, Schwefeldioxid (SO₂), Stickstoffdioxid (NO₂) und Ozon. Die Prüfungen mit den verschiedenen Gasen erfolgen jeweils separat an einem von vier neuwertigen Prüflingen des gleichen Filtertyps, weil vorausgehende Tests mit anderen Prüfsubstanzen das Prüfergebn beeinflussen können. Die ausgewählten Prüfsubstanzen sind alle gesundheitsschädlich für Menschen. SO₂, NO₂ und Ozon sind typische Schadgase in der Außenluft in städtischer Umgebung und stellen für Zuluftfilter in Lüftungsanlagen relevante Belastungen dar. In den Luftgüteleitlinien [2] der WHO werden alle drei Schadgase zu den klassischen Luftschadstoffen gezählt und entsprechende Richtwerte vorgegeben. Die Prüfsubstanz Toluol repräsentiert die Gruppe der aromatischen Kohlenwasserstoffe.

Die Klassifizierungsparameter sind für alle vier Testsubstanzen:

1. die Anfangsreinigungsleistung E_i ,
2. der Leistungsbeanspruchungsgrad (leicht, mittel, schwer) und
3. die integrierte Reinigungsleistung E_z für den jeweiligen Beanspruchungsgrad.

Die Anfangsreinigungsleistung E_i wird, wie bereits beschrieben, mit einem Durchbruchtest mit geringer Prüfgaskonzentration ermittelt. In ISO 10121-3 [7] werden für alle Prüfgaskonzentrationen Werte unterhalb von einem ppm_v vorgegeben, siehe **Tabelle 1**. Das Ergebnis ist die über die Prüfdauer mit dieser geringen Prüfgaskonzentration ermittelte mittlere Effizienz. Für den Filter, dessen Durchbruch- und Effizienzkurven in den Bildern 1 und 2 dargestellt sind, betrug die Anfangsreinigungsleistung bei der Prüfung mit Toluol $E_i = 97,5\%$. Auch die folgenden Beispiele für die Filterklassifizierung stammen aus der Prüfung dieses Filters.

Der Leistungsbeanspruchungsgrad ist der Parameter, dem die größte Bedeutung bei der Klassifizierung zukommt. Er wird auf der Basis des mit einem Durchbruchtest nach ISO 10121-2 [6] ermittelten Effizienzverlaufes bei den in **Tabelle 1** aufgeführten Prüfgaskonzentrationen bestimmt. Der mit dem Durchbruchtest ermittelte Effizienzverlauf wird für die Klassifizierung nicht, wie in **Bild 2** dargestellt, in Abhängigkeit von der Prüfdauer betrachtet, sondern in Abhängigkeit von der als normierte Dosis Δ_N bezeichneten Prüfgasmenge, mit welcher der nominelle Filtereinbauquerschnitt A_N während der Prüfdauer t durchströmt wird. Diese Dosis kann als Masse pro Quadratmeter Einbauquerschnittsfläche in g/m² oder als Stoffmenge pro Quadratmeter Einbauquerschnittsfläche in mol/m² verwendet werden. Die Stoffmenge ist proportional zur Anzahl der

Moleküle, ein Mol eines Stoffes entspricht einer Anzahl von 6,02214076e²³ Molekülen dieser Substanz.

Die Gleichung zur Berechnung der massenbasierten Dosis unter Verwendung der Prüfgaskonzentration c_i mit der Einheit g/m³ lautet:

$$D_N = (c_i \cdot V \cdot t) / A_N \quad (1)$$

Die Fläche A_N für den nominellen Filtereinbauquerschnitt eines Standard-Full-Size-Filters wird mit 610 mm × 610 mm berechnet. Gleichung 1 verdeutlicht den Bezug der Dosis D_N zur Prüfdauer t .

Die Betrachtung der Effizienz in Abhängigkeit von der Dosis macht es möglich, den Effizienzverlauf von Filtern mit unterschiedlichen Nennvolumenströmen und Einbauquerschnittsflächen vergleichend zu bewerten.

Zur Klassifizierung wird der Wert für die Dosis herangezogen, bei dem die Effizienz des geprüften Filters den Wert von 50 % unterschreitet. Dieser Wert wird verglichen mit in der Norm festgelegten Dosis-Grenzwerten (siehe **Bild 4**), die zu der Eingruppierung in die Filterklassen führen, die in der Norm als Leistungsbeanspruchungsgrade bezeichnet werden. Der letzte überschrittene Dosis-Grenzwert bestimmt die Filterklasse.

In ISO 10121-3 [7] werden die drei verschiedenen Leistungsbeanspruchungsgrade leicht (LD für light duty), mittel (MD für medium duty) und schwer (HD für heavy duty) unterschieden. Der Leistungsbeanspruchungsgrad von Filtern, deren Abscheideeffizienz schon vor Erreichen des Grenzwertes für die Dosis der LD-Klasse 50 % unterschreitet, wird als sehr leicht (vLD für very light duty) bezeichnet. Die in ISO 10121-3 [7] vorgegebenen stoffmengenbasierten Dosis-Grenzwerte sind für alle Prüfsubstanzen gleich, nämlich 1,5 (LD), 6 (MD) und 24 mol/m² (HD). Die Grenzwerte für die jeweils nächste Leistungsklasse sind immer um den Faktor 4 größer als der vorangegangene Wert. Die entsprechenden massenbasierten Grenzwerte werden ebenfalls in der Norm aufgeführt, sie sind jedoch aufgrund der

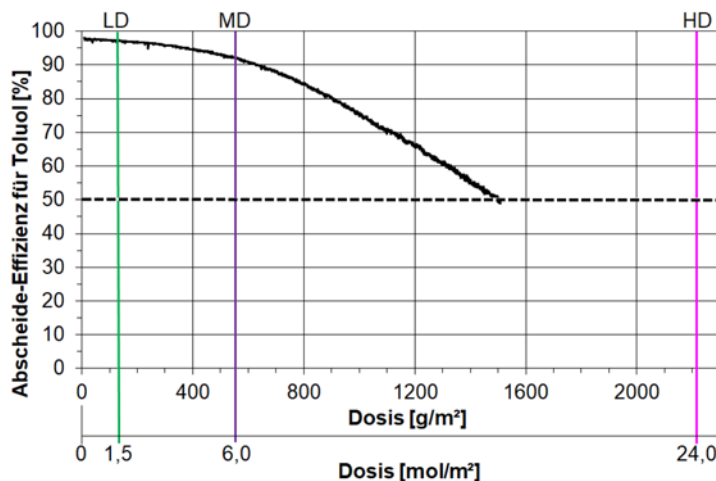


Bild 4: Effizienzverlauf eines RLT-Filters bei der Abscheidung von Toluol in Abhängigkeit von der Dosis (9 ppm_v Toluol, 23 °C, 50 % r. F., 3.400 m³/h)

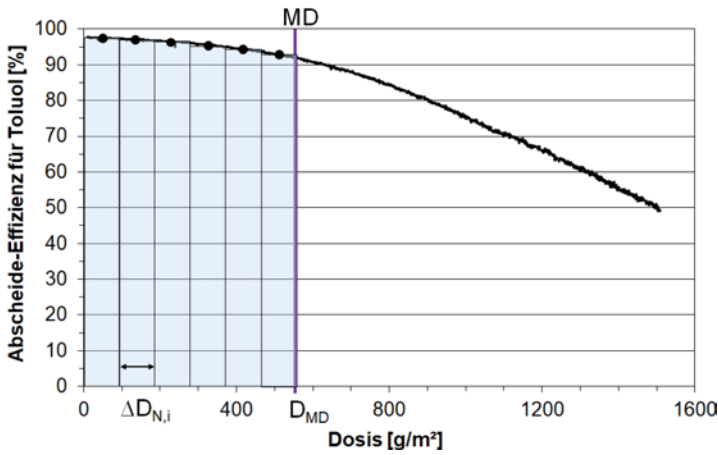


Bild 5: Prinzipschema zur Berechnung der integrierten Reinigungsleistung E_z

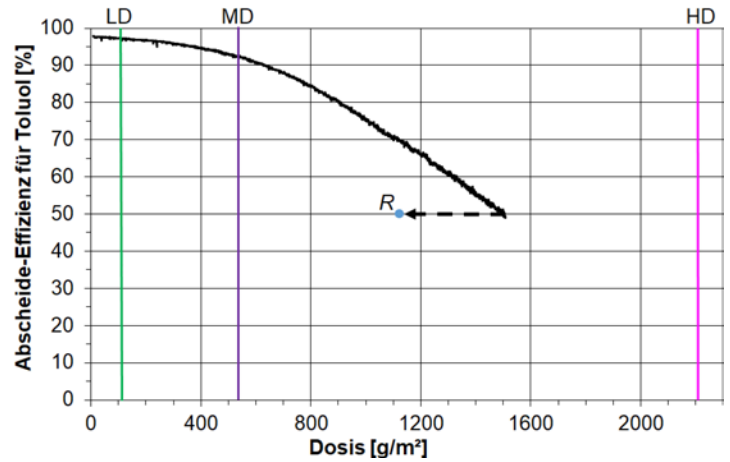


Bild 6: Darstellung des normierten Rückhaltevermögens eines Filters für Toluol im Effizienz-Dosis-Diagramm

unterschiedlichen Molekülmassen für die Prüfsubstanzen verschieden. So entspricht beispielsweise eine Dosis von 6 mol/m² 553 g/m² Toluol, 384 g/m² SO₂, 276 g/m² NO₂ oder 288 g/m² Ozon.

In **Bild 4** wird ein Beispiel gegeben für die Klassifizierung des aus den Bildern 1 und 2 bereits bekannten adsorptiv wirkenden Standard-Full-Size-RLT-Filters mit der Prüfsubstanz Toluol bei einem Nennvolumenstrom von 3.400 m³/h. Dargestellt ist die Effizienzkurve in Abhängigkeit von der massen- und der stoffmengenbasierten Dosis. Die farbigen senkrechten Linien markieren die Dosis-Grenzwerte für die Filterklassen LD, MD und HD. Sie entsprechen einer Prüfdauer t von 0,44 h, 1,77 h und 7,09 h. Die Effizienz von 50 % wird bei einer Dosis von 16,4 mol/m² und ca. 1.500 g/m² (entspricht einer Prüfdauer von 4,83 h) unterschritten. Da diese Werte größer sind als die Dosis-Grenzwerte für eine MD-Einstufung von 6 mol/m² bzw. 553 g/m² Toluol, erfolgt die Klassifizierung des Filters als MD-Filter.

Die integrierte Reinigungsleistung E_z ist ein über die Dosisintervalle ΔD gewichteter Durchschnittswert der Filter-Effizienz E . Berücksichtigt werden nur Effizienzwerte bis zum Dosisgrenzwert $D_{x,D}$ (D_{LD} , D_{MD} oder D_{HD}), der den Leistungsbeanspruchungsgrad festlegt. Das heißt, dass die Durchschnittsbildung nur bis zu der Dosis erfolgt, welche die erreichte Filterklasse markiert. Die Formel zur Berechnung ist

$$E_z = \frac{\sum_{k=1}^{N_{D_0}} \left(\frac{E_{k-1} + E_k}{2} \right) \cdot \Delta D_k}{\sum_{k=1}^{N_{D_0}} \Delta D_k} \quad (2)$$

Mit **Bild 5** soll das prinzipielle Berechnungsschema anhand des Klassifizierungsbeispiels aus **Bild 4** verdeutlicht werden. Die abgebildeten Dosisintervalle sind dabei um mehr als den Faktor 1000 größer als bei der realen Berechnung. Bei Messzeitintervallen von 10 s, einem Volumenstrom von 3.400 m³/h und einer Prüfgaskonzentration von 9 ppm_v beträgt das Dosisintervall knapp 0,07 g/m². Die für dieses Klassifizierungsbeispiel berechnete integrierte Reinigungsleistung E_z beträgt 95,66 %. Im Prüfbericht wird die berechnete integrierte Reinigungsleistung E_z auf das nächste Vielfache von 5 % abgerundet und so im Anschluss an die Filterklasse angegeben. Die korrekte Angabe für dieses Klassifizierungsbeispiel mit der Prüfsubstanz Toluol lautet MD 95.

Neben den drei Haupt-Klassifizierungsparametern sollte in dem nach ISO 10121-3 [7] vorgegebenen Prüfbericht weitere Angaben zu den Testergebnissen enthalten sein. Dazu gehört die Angabe der Zahlenwerte der während der Prüfung bis zu dem Zeitpunkt, bei dem die Filtereffizienz 50 % unterschreitet, auf dem Filter adsorbierten Masse m_{ads} und der beim obligatorischen Desorptionstest desorbierten Masse m_{des} . Die Differenz aus beiden Werten bestimmt das Rückhaltevermögen m_r des Filters:

$$m_r = m_{ads} - m_{des} \quad (3)$$

Tabelle 2: Luftgüterichtwerte nach WHO [2]

Schadstoff	Mittelungszeit	Richtwert
PM _{2,5} (µg/m ³)	Jahr	5
	24 Stunden	15
PM ₁₀ (µg/m ³)	Jahr	15
	24 Stunden	45
O ₃ (µg/m ³)	warme Jahreszeit (6 Monate)	60
	8 Stunden	100
NO ₂ (µg/m ³)	Jahr	10
	24 Stunden	25
SO ₂ (µg/m ³)	24 Stunden	40
CO (mg/m ³)	24 Stunden	4

Tabelle 3: Anforderungen an die Abscheideeffizienz für die verschiedenen Feinstaubklassen von Partikelfiltern in RLT-Anlagen von Nichtwohngebäuden nach DIN EN 16798-3 [1]/ PD CEN/TR 16798-4 [12]

	PM _{2,5} Außenluft	SUP 1 PM _{2,5} < 1,25 µg/m ³	SUP 2 PM _{2,5} < 2,5 µg/m ³	SUP 3 PM _{2,5} < 3,75 µg/m ³	SUP 4 PM _{2,5} < 5 µg/m ³	SUP 5 PM _{2,5} < 7,5 µg/m ³
		ePM ₁	ePM ₁	ePM _{2,5}	ePM ₁₀	ePM ₁₀
ODA 1	≤ 5 µg/m ³	70%	50%	50%	50%	50%
ODA 2	< 7,5 µg/m ³	80%	70%	70%	80%	50%
ODA 3	> 7,5 µg/m ³	90%	80%	80%	90%	80%

Dieses wird bezogen auf den nominellen Filtereinbauquerschnitt A_N als normiertes Rückhaltevermögen R

$$R = m_r / A_N \quad (4)$$

angegeben (Einheit: g/m²). Im Prüfbericht nach Norm wird nicht nur der Zahlenwert aufgeführt, sondern R wird auch durch einen Pfeil im Effizienz-Dosis-Diagramm, wie in **Bild 6** gezeigt, dargestellt. Bei diesem Beispiel lag die adsorbierte Masse von Toluol bei mehr als 450 g, die desorbierte Masse bei weniger als 50 g, sodass sich ein normiertes Rückhaltevermögen von rund 1.100 g/m² ergab.

Nach ISO 10121-3 [7] ist die Ermittlung des Zusammenhangs zwischen Luftdurchsatz und Druckabfall über den Filter nicht vorgeschrieben. In dem Bericht über die Klassifizierungsprüfung sollte jedoch der zu Beginn und am Ende der Filterprüfung gemessene Druckabfall angegeben werden, obwohl der Anstieg des Druckabfalls bei Prüfungen von adsorptiven Filtern mit Schadgasen mit einem konstanten Prüfvolumenstrom in der Regel vernachlässigbar ist. Der Druckabfall stieg bei der Prüfung des Beispielfilters während der knapp fünf Stunden des Durchbruchversuches und des darauffolgenden Desorptionstests um weniger als 1 Pa an.

Es ist zu berücksichtigen, dass das Klassifizierungsergebnis für einen Filtertyp spezifisch für die Abscheidung der jeweiligen einzelnen Prüfsubstanz ist. So gilt die als Beispiel aufgeführte Klassifizierung des Filters mit Toluol daher auch nur für die Toluolabscheidung. Ein Filtertyp wird für die Abscheidung der vier verschiedenen Prüfgase aus ISO 10121-3 [7] in der Regel unterschiedlichen Leistungsklassen mit unterschiedlichen integrierten Reinigungsleistungen zugeordnet werden.

4 Vorschlag für Auswahlempfehlungen von Adsorptionsfiltern in RLT-Anlagen

Die Klassifizierung von Adsorptionsfiltern nach ISO 10121-3 [7] bildet die Grundlage für die Festlegung standardisierter Empfehlungen zur Auswahl dieser Filter für den Einsatz in Lüftungsanlagen verschiedener Gebäudetypen. Eine Möglichkeit, die aktuell in Fachkreisen diskutiert wird, ist es, die Empfehlungen für die Auswahl von adsorptiv wirkenden RLT-Filtern in Analogie zu der Auswahl von RLT-Filtern zur

Partikelabscheidung nach DIN EN 16798-3 [1] oder Eurovent 4/23 [3] zu gestalten. Vor dem Überblick darüber, welche Auswahlempfehlungen für Adsorptionsfilter in der Diskussion stehen, werden daher so kurz wie möglich die Vorgaben der DIN EN 16798-3 [1] und der Eurovent 4/23 [3] erläutert. Die darin vorgegebenen Anforderungen an die Abscheideeffizienz der auszuwählenden Partikelfilter sind abhängig von der Außenluftqualität (ODA für outdoor air) am Einsatzort des Filters und der jeweiligen Nutzung der Innenräume, die mit der gefilterten Luft versorgt werden. Je nach Nutzungsart sind die Anforderungen an die Qualität der Zuluft (SUP für supply air) hinsichtlich ihrer Belastung mit Staub und gasförmigen Verunreinigungen unterschiedlich. Beispielsweise muss die Qualität von Zuluft für Krankenhäuser besser sein als für Bürogebäude. Die Zuluftqualität wird in fünf Klassen (SUP 1 bis 5) unterteilt, die Qualität der Außenluft in drei Kategorien (ODA 1 bis 3). Die Basis für die Klasseneinteilung bilden sowohl für die Außenluft als auch die Zuluft die Richtwerte der WHO [2] für die Feinstaubfraktionen PM_{2,5} und PM₁₀, siehe **Tabelle 2**.

Außenluft der Kategorie ODA 1 erfüllt die Richtwerte der WHO [2] bezüglich Feinstaub, d. h. die Jahresmittelwerte von PM_{2,5} und PM₁₀ liegen bei maximal 5 µg/m³ bzw. 15 µg/m³. Als ODA 2 wird Außenluft eingestuft, wenn die Jahresmittelwerte von PM_{2,5} und PM₁₀ die WHO-Richtwerte um einen Faktor von bis zu 1,5 überschreiten. Außenluft mit höheren Feinstaubkonzentrationen wird der Kategorie ODA 3 zugeordnet. Die fünf Klassen für Zuluft sind ebenfalls mit den WHO-Richtwerten für Feinstaub verknüpft. Die Feinstaubkonzentrationen von Zuluft der Kategorie SUP 1 betragen jeweils maximal den mit dem Faktor 0,25 multiplizierten WHO-Richtwert. Die Faktoren für die weiteren Klassen sind 0,5 für SUP 2, 0,75 für SUP 3, 1 für SUP 4 und 1,5 für SUP 5 [3], siehe **Tabelle 3**.

Tabelle 3 zeigt die Vorgaben zur Auswahl von Partikelfiltern für Lüftungsanlagen in Nichtwohngebäuden nach DIN EN 16798-3 [1], die in dem technischen Bericht PD CEN/TR 16798-4 [12] zur Norm erläutert werden. In **Tabelle 3** wird für verschiedene Anwendungsfälle, festgelegt durch die ODA- und SUP-Klasse, die notwendige Filterklasse und -effizienz des Partikelfilters angegeben. Die Klassifizierung von Partikelfiltern erfolgt gemäß DIN EN ISO 16890-1 [13].

Tabelle 4: Anforderungen an die integrierte NO₂-Reinigungsleistung in Analogie zu Vorgaben für Feinstaubfilter (Vorschlag)

	JMW NO ₂ Außenluft	SUP 1 NO ₂ ≤ 2,5 µg/m ³	SUP 2 NO ₂ ≤ 5 µg/m ³	SUP 3 NO ₂ ≤ 7,5 µg/m ³	SUP 4 NO ₂ ≤ 10 µg/m ³	SUP 5 NO ₂ ≤ 15 µg/m ³
		E _z	E _z	E _z	E _z	E _z
ODA 1	≤ 10 µg/m ³	75 %	50 %	-	-	-
ODA 2	≤ 15 µg/m ³	85 %	70 %	50 %	-	-
ODA 3	> 15 µg/m ³	> 85 %	> 70 %	> 50 %	-	-

Die Anforderungen, die sich für einen Partikelfilter nach **Tabelle 3** ergeben, werden anhand eines Beispiels erläutert. Liegt ein Nichtwohngebäude in einem Gebiet mit einer Außenluftqualität von ODA 2 und macht die Nutzung des belüfteten Raumes eine Zuluftqualität von SUP 3 erforderlich, sollte der in der Lüftungsanlage eingesetzte Partikelfilter als ePM_{2,5} 70% klassifiziert sein.

Die in **Tabelle 3** geforderte Abscheideeffizienz muss nicht zwingend mit einem einzigen Filter erzielt werden, sie kann auch mit mehreren nacheinander angeordneten Filtern realisiert werden.

Bei der Übertragung des Auswahlkonzeptes von Partikelfiltern auf adsorptiv wirkende RLT-Filter ist zunächst zu beachten, dass bei Adsorptionsfiltern die Auswahlempfehlungen spezifisch für verschiedene Prüfgase als Vertreter bestimmter Schadgasgruppen angepasst werden müssen. Für die drei Prüfschadstoffe NO₂, SO₂ und Ozon ist die Ableitung von Auswahlkriterien auf der Basis von WHO-Richtwerten prinzipiell möglich, weil für alle drei Gase Richtwerte der WHO vorliegen, siehe **Tabelle 2**. Am einfachsten ist die Übertragung des Auswahlkonzeptes für die Prüfschadstoff NO₂, weil hierfür in den WHO-Luftgüteleitlinien genau wie für die Feinstaubkonzentrationen ein Richtwert für den Jahresmittelwert angegeben wird. **Tabelle 4** zeigt, wie die Auswahlempfehlungen für Adsorptionsfilter zur NO₂-Abscheidung aussehen könnten, die in Analogie zu denen von Partikelfiltern abgeleitet werden. Die in **Tabelle 4** zu den Außenluft- und Zuluft-Kategorien angegebenen Werte für NO₂-Filter ergeben sich aus der Multiplikation des WHO-Richtwertes für den Jahresmittelwert (JMW) mit den zuvor aufgeführten Faktoren gemäß DIN EN 16798-3 [1] und Eurovent 4/23 [3]. Die integrierten Reinigungsleistungen wurden rechnerisch bestimmt und auf jeweils 5 % aufgerundet. Werte unter 50 % bleiben unberücksichtigt.

Tabelle 4 stellt lediglich einen Vorschlag für Auswahlkriterien dar, für die konkrete Ausgestaltung derartiger Empfehlungen für Adsorptionsfilter sind noch zahlreiche weitere Fragestellungen zu klären. Dazu gehört die Auswahl der Prüfgase, für die Empfehlungen abgegeben werden. Außerdem müssten für jede Prüfschadstoff Bezugswerte ausgewählt und damit Außenluft- und Zuluftkategorien festgelegt werden. Ein weiterer Diskussionspunkt betrifft

die Einbeziehung der Leistungsbeanspruchungsgrade LD, MD und HD in die Auswahlkriterien.

5 Zusammenfassung

In diesem Artikel wurden die für eine Klassifizierung adsorptiv wirkender RLT-Filter nach ISO 10121-3 [7] vorgeschriebenen Prüfparameter vorgestellt und anhand eines Anwendungsbeispiels erläutert. Dabei wurde dargestellt, wie es durch die Klassifizierung von Adsorptionsfiltern nach ISO 10121-3 ermöglicht wird, die Abscheideleistung von Filtern mit unterschiedlichen Einbaugrößen und Nennvolumenströmen für die vier in der Norm vorgegebenen Schadgase zu bewerten und miteinander zu vergleichen. Weiterhin wurde erläutert, wie die Klassifizierung von Adsorptionsfiltern in Zukunft genutzt werden kann, um Auswahlkriterien für derartige Filter festzulegen, diese in die Standardisierung einzubringen und damit Verantwortlichen für Lüftungsanlagen die Filterauswahl zu erleichtern.

Danksagung

Das IGF-Vorhaben 21857 N „Die Prüfung von Adsorptionsfiltern gegenüber polaren VOC und Bewertung des Leistungsvermögens gegenüber Schadgasen nach ISO 10121-3“ der Forschungsvereinigung Umwelttechnik wurde über die AiF im Rahmen des Programms zur Förderung der industriellen Gemeinschaftsforschung (IGF) vom Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages gefördert.

Literatur

- [1] DIN EN 16798-3:2017-11, Energetische Bewertung von Gebäuden - Lüftung von Gebäuden - Teil 3: Lüftung von Nichtwohngebäuden - Leistungsanforderungen an Lüftungs- und Klimaanlageanlagen und Raumkühlsysteme (Module M5-1, M5-4)
- [2] Globale Luftgüteleitlinien der WHO: Feinstaubpartikel (PM_{2,5} und PM₁₀), Ozon, Stickstoffdioxid, Schwefeldioxid und Kohlenmonoxid. Zusammenfassung. Kopenhagen: Weltgesundheitsorganisation Regionalbüro für Europa; 2021. Lizenz: CC BY-NC-SA 3.0 IGO.
- [3] Eurovent 4/23 – 2022. Selection of EN ISO 16890 rated air filter classes for general ventilation applications. 4. Auflage. <https://eurovent.eu/?q=content/eurovent-423-2022-selection-en-iso-16890-rated-air-filter-classes-fourth-edition-english>

- [4] Śmietowska, M., Marć, M., Zabiegała B.: Indoor air quality in public utility environments—a review. *Environ Sci Pollut Res Int.* 2017, 24(12), 11166–11176. DOI: 10.1007/s11356-017-8567-7.
- [5] 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
- [6] 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)
- [7] ISO 10121-3:2022: Test methods for assessing the performance of gas-phase air cleaning media and devices for general ventilation — Part 3: Classification system for GPACDs applied to treatment of outdoor air
- [8] Abschlussbericht IGF-Forschungsvorhaben „Evaluation und Optimierung praxisorientierter Prüfprozeduren für adsorptive Filter für die allgemeine Raumlüftung zur Fortschreibung der DIN EN ISO 10121“ (FV-Nr. 18516, Laufzeit 01.12.2014-30.11.2017). https://www.iuta.de/igf-docs/abschlussbericht_18516_a.pdf
- [9] Sager, U., Ligotski, R., Engelke, T., Däuber, E., Schmidt, F., Asbach, C.: Qualifizierung von Adsorptionsfiltern und -medien für die Raumlüftung gemäß DIN EN ISO 10121. *Gebäudetechnik in Wissenschaft & Praxis.* 2017, 138(6), S. 490-498.
- [10] Ligotski, R., Sager, U., Schmidt, F.: Die Durchführung von Adsorptions-Filtertests gemäß DIN EN ISO 10121 - Teil 1: Adsorptionsversuche an Filtermedien. *Gefahrstoffe - Reinhaltung der Luft.* 2018, 78(11/12), S. 466-474.
- [11] Sager, U., Ligotski, R., Däuber, E., Schmidt, F.: Die Durchführung von Adsorptions-Filtertests gemäß DIN EN ISO 10121-Teil 2: Adsorptionsversuche an konfektionierten Raumluftfiltern. *Gefahrstoffe - Reinhaltung der Luft.* 2019, 79(5), S. 181-187.
- [12] PD CEN/TR 16798-4:2017-07-11: Energieeffizienz von Gebäuden Lüftung von Nichtwohngebäuden. Anforderungen an die Leistung von Lüftungs- und Klimatechniken und Raumkühlensystemen. Technischer Bericht. Interpretation der Anforderungen der EN 16798-3
- [13] DIN EN ISO 16890-1:2017-08: Luftfilter für die allgemeine Raumlüftung – Teil 1: Technische Bestimmungen, Anforderungen und Effizienzklassifizierungssystem, basierend auf dem Feinstaubabscheidegrad (ePM).

Autor:innen:

Dr.-Ing. **Uta Sager**
sager@iuta.de

Dipl.-Ing. **Eckhard Däuber**
daeuber@iuta.de

Dipl.-Ing. **Thomas Engelke**
engelke@iuta.de

Institut für Energie- und Umwelttechnik e. V. (IUTA)
Bliersheimer Str. 58-60
47229 Duisburg
www.iuta.de.

Thorsten Stoffel
DEL BAG GmbH,
Shamrockring 1
44623 Herne
www.delbag.com,
thorsten.stoffel@delbag.com