

Luftqualität in Innenräumen

Auslegung von Filtern in Raumlufotechnischen Anlagen nach DIN EN ISO 16890

Dass Feinstaub in Gebäuden der Gesundheit schaden kann, ist bekannt. Partikelfilter in Raumlufotechnischen Anlagen können die Feinstaubkonzentration reduzieren und nach der neuen DIN EN ISO 16890–1 jetzt zielgerichtet für den Aufstellungsort und die spezifischen Umgebungsbedingungen ausgelegt werden.

Das verbessert die Luftqualität, erhöht die Energieeffizienz, hilft der Gesunderhaltung der Menschen und schafft Planungssicherheit.

TEXT: Maria Swiderek und Christoph Kaup

Feinstaub (engl.: Particle Matter = PM) kann die Gesundheit ernsthaft gefährden und zu Erkrankungen der Atemwege sowie zu Herz-Kreislauf-Erkrankungen führen. Entsprechend dem Partikelgrößenbereich können Partikel den Klassen PM10, PM2,5 und PM1 zugeordnet werden. Die genaue Definition von PM10, PM2,5 und PM1 ist sehr komplex und nicht einfach zu ermitteln. Selbst Behörden wie das Umweltbundesamt (UBA) verwenden in ihren Publikationen daher zunehmend die einfache Bestimmung von PM10 für die Partikelgrößenfraktion bis 10 µm. Da diese Abweichung von der komplexen „offiziellen“ Definition (siehe EN 12341) keine signifikante Auswirkung auf den Partikelabscheidegrad eines Filters hat, wird diese vereinfachte Definition von PM10, PM2,5 und PM1 auch in der Normenreihe ISO 16890 angewendet.

Abscheidegrad	Größenbereich, µm
ePM ₁₀	0,3 ≤ x ≤ 10
ePM _{2,5}	0,3 ≤ x ≤ 2,5
ePM ₁	0,3 ≤ x ≤ 1

Tabelle 1: Durchmesser-Größenbereiche von Partikeln zur Definition des Abscheidegrades (ePM_x).

Unter Feinstaub wird im Kontext der Normenreihe ISO 16890 eine Größenfraktion der in der Umgebungsluft enthaltenen natürlichen Aerosole (flüssige und feste Partikel) verstanden. Die Bezeichnung ePM10 beschreibt den Abscheidegrad eines Luftfilters hinsichtlich Partikeln mit einem Durchmesser zwischen 0,3 µm und 10 µm. Die in **Tabelle 1** beschriebenen Partikelgrößenbereiche werden in der Normenreihe ISO 16890 für

die aufgeführten Abscheidegradwerte verwendet.

Luftfilter für die allgemeine Raumlufotechnik werden häufig in Lüftungs- und Klimaanlage in Gebäuden verwendet. Bei dieser Art der Anwendung beeinflussen Luftfilter maßgeblich die Luftqualität von Innenräumen und somit auch die Gesundheit der Menschen, da sie die Feinstaubkonzentration in der Luft verringern. Um die richtige Auswahl der Luftfilter zu ermöglichen, sind klar definierte und allgemein gültige Prüf- und Klassifizierungsverfahren für Luftfilter entsprechend ihrem Abscheidegrad und vor allem in Bezug auf die Abscheidung von Feinstaub notwendig.

Die alte Norm EN 779 wandte grundverschiedene Prüf- und Klassifizierungsverfahren an, die keine praxisrelevanten Ergebnisse lieferten. Mit der neuen Normenreihe ISO 16890 wird eine ganz neue Herangehensweise an ein Klassifizierungs-

Urbane Umgebungen q_{3u}		
	A	B
$d_{90,u}$	0,3 μm	10 μm
$\sigma_{g,u}$	2,2	3,1
γ_u	0,45	
Ländliche Umgebungen q_{3r}		
	A	B
$d_{90,r}$	0,25 μm	11 μm
$\sigma_{g,r}$	2,2	4
γ_r	0,18	

Tabelle 2: Parameter für die Verteilungsfunktion für urbane und ländliche Umgebungen ¹⁾.

system angewandt, die zu besseren und aussagekräftigen Resultaten führt. Sie beschreibt die Gerätschaften, Materialien, technischen Bestimmungen, Anforderungen, Qualifikationen und Verfahren zur Gewinnung von Laborleistungsdaten und zu einer Abscheidegradklassifizierung auf Grundlage des ermittelten Fraktionsabscheidegrades (ePM).

Nach der Normenreihe ISO 16890 erfolgt im Labor die Bewertung der Luftfilter nach ihrer Fähigkeit, die Aerosolpartikel abzuscheiden, ausgedrückt als Werte für den Abscheidegrad ePM1, ePM2,5 und ePM10. Die Luftfilterelemente können dann nach den in ISO 16890-1 beschriebenen Verfahren klassifiziert werden. Der Abscheidegrad des Filterelements wird nach den in ISO 16890-2 beschriebenen Verfahren als Funktion der Partikelgröße im Bereich von 0,3 μm bis 10 μm des unbeladenen und unkontrollierten Filterelements gemessen.

Nach der anfänglichen Prüfung des Abscheidegrades wird das Luftfilterelement dann nach den in ISO 16890-4 beschriebenen Verfahren konditioniert und der Abscheidegrad an diesem konditionierten (unbeladenen) Filterelement erneut ermittelt. Dieses Verfahren wird angewandt, um Informationen über die Intensität elektrostatischer Abscheidemechanismen zu erhalten, die an dem zu prüfenden Filterelement vorhanden sein können. Der mittlere Abscheidegrad ($E_{A,i}$) des Filters wird durch Berechnung des Mittels zwischen Anfangsabscheidegrad (E_i) und konditioniertem Abscheidegrad (E_{Di}) für jeden Größenbereich bestimmt.

Gruppenbezeichnung	Anforderung			Klassenangabewert
	ePM _{1,min}	ePM _{2,5,min}	ePM ₁₀	
ISO Coarse	-	-	< 50 %	gravimetrischer Anfangsabscheidegrad
ISO ePM10	-	-	≥ 50 %	ePM10
ISO ePM2,5	-	≥ 50 %	-	ePM2,5
ISO ePM1	≥ 50 %	-	-	ePM1

Tabelle 3: Filterklassen ¹⁾

Aus dem mittleren Abscheidegrad werden die ePMx-Abscheidegrade berechnet, indem diese Werte mit der standardisierten und normalisierten Partikelgrößenverteilung der zugehörigen Aerosolfraction in der Umgebung gewichtet werden. Das Staubspeichervermögen und der gravimetrische Anfangsabscheidegrad eines Filterelements werden mit einem Prüfverfahren nach ISO 16890-3 bestimmt ¹⁾.

Definition einer standardisierten Partikelgrößenverteilung der Umgebungsluft

Um Luftfilter nach ihren ePM-Abscheidegraden zu bewerten, wird eine standardisierte Volumenverteilungsfunktion der Partikelgröße verwandt, die international die durchschnittliche Umgebungsluft in urbanen und ländlichen Räumen darstellt. Typischerweise sind die Partikelgrößen in der Umgebungsluft im interessierenden Größenbereich (> 0,3 μm) mit einem groben und einem feinen Modus bimodal verteilt.

Feinfilter, die überwiegend zur Filtrierung der Partikelgrößenfraktionen PM1 und PM2,5 ausgelegt sind, werden mittels einer Größenverteilung bewertet, die einen urbanen Raum darstellt, während Feinfilter, die vorwiegend für eine Fraktion von PM10 ausgelegt sind, mittels einer Größenverteilung bewertet werden, die ländlichen Räumen entspricht.

Die tatsächliche Partikelgrößenverteilung der Umgebungsluft hängt von vielen verschiedenen Faktoren ab. Daher kann die tatsächlich ermittelte Partikelgrößenverteilung in Abhängigkeit vom Standort, der Jahreszeit und den Wetterbedingungen erheblich von den in Teil I der ISO 16890 angegebenen standardisierten Werten abweichen. Die bimodale Vertei-

lung wird durch die Kombination von logarithmischen Normalverteilungen für den groben und den feinen Modus, wie in der folgenden Gleichung angegeben, beschrieben:

$$q_3(d) = \frac{dQ_3(d)}{d \ln d} = y \cdot f(d, \sigma_{gA}, d_{50A}) + (1-y) \cdot f(d, \sigma_{gB}, d_{50B})$$

Die folgende Gleichung stellt die Funktion der logarithmischen Normalverteilung $f(d, \sigma_g, d_{50})$ für einen Modus, grob oder fein, dar, wobei d die variable Partikelgröße ist, für welche die Verteilung ermittelt wird, und die Standardabweichung σ_g und die mittlere Partikelgröße d_{50} die Skalierungsparameter sind. Die bimodale Verteilung wird wie in der oben genannten Gleichung abgeleitet durch die Kombination der logarithmischen Normalverteilungen für den groben (B) und den feinen (A) Modus, gewichtet mit dem Mischungsverhältnis y .

$$f(d, \sigma_g, d_{50}) = \frac{1}{\ln \sigma_g \cdot \sqrt{2\pi}} \cdot \exp \left[- \frac{(\ln d - \ln d_{50})^2}{2 \cdot (\ln \sigma_g)^2} \right]$$

F U ß N O T E

1) Luftfilter für die allgemeine Raumlufttechnik – Teil 1: Technische Bestimmungen, Anforderungen und Effizienzklassifizierungssystem, basierend auf dem Feinstaubabscheidegrad (ePM) (ISO 16890-1:2016); Deutsche Fassung EN ISO 16890-1:2016.

i	d _i in µm	d _{i+1} in µm	in µm	Δln d _i	E _i %	E _{D,i} %	E _{A,i} %
1	0,3	0,5	0,39	0,51	66,0	37,0	51,5
2	0,5	0,7	0,59	0,34	78,0	49,0	63,5
3	0,7	1,0	0,84	0,36	86,3	59,0	72,7
4	1,0	1,3	1,14	0,26	92,0	68,0	80,0
5	1,3	1,6	1,44	0,21	95,0	75,0	85,0
6	1,6	2,2	1,88	0,32	96,9	83,0	90,0
7	2,2	3,0	2,57	0,31	98,4	91,0	94,7
8	3,0	4,0	3,46	0,29	99,7	96,5	98,1
9	4,0	5,5	4,69	0,32	100	98,6	99,3
10	5,5	7,0	6,20	0,24	100	100	100
11	7,0	10,0	8,37	0,36	100	100	100

Tabelle 4: Beispielfilterdaten für die Fraktionsabscheidegrade eines Filters ¹⁾.

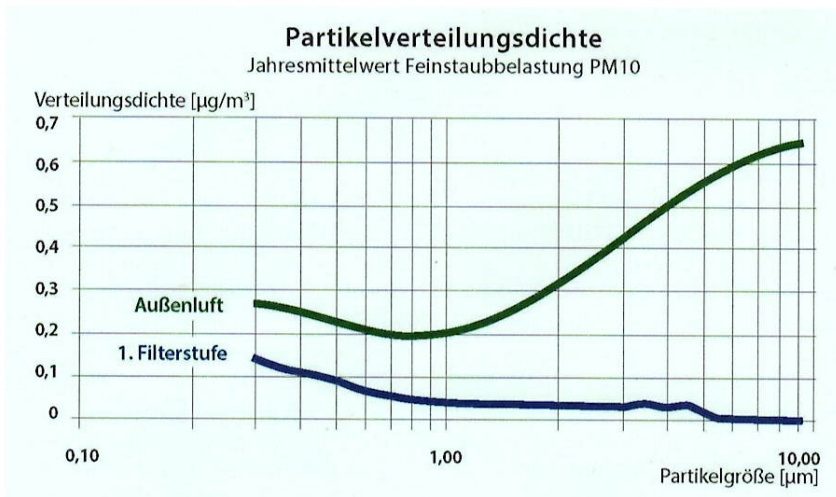


Bild 1: Partikelverteilung der Außenluft und Zuluft nach dem ersten Filter (in ländlicher Umgebung, Bad Hindelang-Oberjoch).

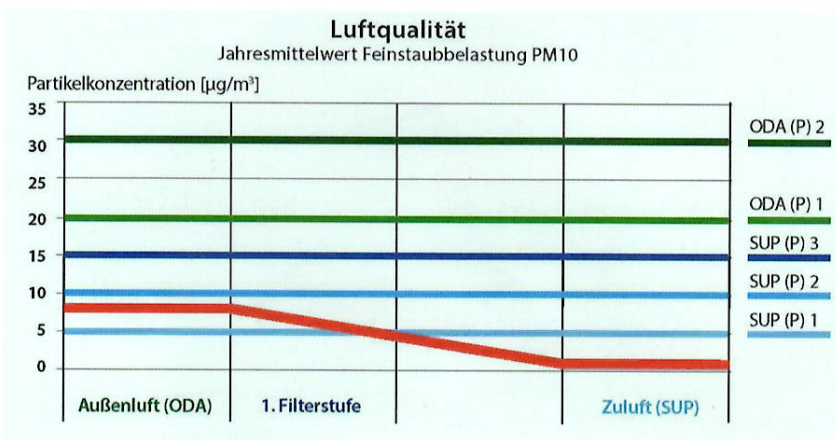


Bild 2: Partikelkonzentration der Luft vor und nach dem ersten Filter (in ländlicher Umgebung, Bad Hindelang-Oberjoch).

Die Parameter sind bezüglich der Werte in **Tabelle 2** definiert und stellen urbane und ländliche Räume dar.

Klassifizierung der Filter

Zur Einordnung eines Filters in eine der vier in **Tabelle 3** angegebenen Gruppen sind der gravimetrische Anfangsabscheidegrad sowie die drei Abscheidegradwerte ePM1, ePM2,5 und ePM10 heranzuziehen. Die Filterklassen werden als Klassenangabewert in Verbindung mit der Bezeichnung der Gruppe angegeben. Bei den ePM-Klassen müssen die Klassenangabewerte auf das nächste Vielfache von fünf Prozent abgerundet werden ¹⁾.

Fraktionsabscheidegrade

Neben der Klassifizierung der Filter sind allerdings auch die tatsächlichen Fraktionsabscheidegrade des Filters bei einzelnen Durchmessern für die Auslegung besonders wichtig. Mit diesen Abscheidegraden kann die Abscheideleistung bei einer bekannten Partikelgrößenverteilung berechnet werden. Es werden beispielsweise alle Abscheidegrade (E_i mit statischer Ladung, E_{D,i} entladen und E_{A,i} als Mittelwert) in Abhängigkeit der Partikelgrößen d_i bis d_{i+1} angegeben ¹⁾.

Daten zur Umgebungsluft

Um die Daten zur Abscheideleistung der Filter, die von den Herstellern nach DIN EN ISO 16890 gemessen wurden, auch effektiv nutzen zu können, ist die Kenntnis der Partikelverteilung am jeweiligen Standort, für den das Filter ausgelegt werden soll, notwendig. Genaue Daten könnten beispielsweise Messungen am konkreten Standort liefern. Da aber durchschnittliche Werte nur über eine Langzeitmessung über mindestens ein Jahr ermittelt werden können, ist dieses Verfahren nicht nur sehr aufwendig, sondern auch langwierig. Für eine überschlä-

F U B N O T E N

- 1) Luftfilter für die allgemeine Raumlüftungstechnik – Teil 1: Technische Bestimmungen, Anforderungen und Effizienzklassifizierungssystem, basierend auf dem Feinstaubabscheidegrad (ePM) (ISO 16890-1:2016); Deutsche Fassung EN ISO 16890-1:2016.
- 2) <https://www.umweltbundesamt.de/daten/luft/luftdaten/jahresbilanzen>
- 3) Jahresbericht 2018/Zentrales Immissionsmessnetz, ZIMEN, Landesamt für Umwelt Rheinland-Pfalz.

gige Auslegung kann beispielsweise auf die veröffentlichten Daten des UBA zurückgegriffen werden.

Das UBA veröffentlicht meist jährlich die Jahresmittelwerte (JMW) der Feinstaubbelastung (PM10) in $\mu\text{g}/\text{m}^3$ für rund 370 Standorte (Messstationen) in Deutschland. Neben dem JMW werden in den Tabellen auch die Stationsumgebung, die Art der Station und die Zahl der Tageswerte über $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ angegeben ²⁾.

Da die JMW für PM10 sämtliche Partikelgrößen von $0,3$ bis $10 \mu\text{m}$ enthalten, kann mittels der standardisierten Partikelverteilung nach DIN EN ISO 16890 für die urbane oder die ländliche Umgebung der Summenwert PM10 in die elf Einzelwerte $0,3$ bis $10 \mu\text{m}$ (Tabelle 4) aufgelöst werden. Diese Verteilung entspricht zwar nicht vollständig der tatsächlichen Partikelgrößenverteilung der Umgebungsluft, aber sie gibt eine gute Näherung an. Die tatsächliche und aktuelle Partikelgrößenverteilung ist dagegen sehr volatil und hängt erheblich von der Jahreszeit und den Wetterbedingungen ab. Maximale Tagesmittelwerte (max. TMW) können um den Faktor 3 bis 5 über den ermittelten JMW liegen (Beispiel Mainz Mombach 2018 mit einem Mittelwert von $18 \mu\text{g}/\text{m}^3$ gegenüber einem maximalen Tagesmittelwert von $77 \mu\text{g}/\text{m}^3$ oder Hunsrück-Leisel mit $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ im Jahresmittel zum maximalen Tagesmittelwert von $48 \mu\text{g}/\text{m}^3$) ³⁾.

Beispielauslegung in ländlicher Umgebung bei geringer Partikelbelastung

Mit den vorliegenden Daten, nämlich der Partikelverteilung der Umgebungsluft (Außenluft) sowie der Abscheidefraktionen der Luftfilter, kann für den jeweiligen Anwendungsfall die Abscheideleistung der Luftfilter ermittelt werden.

Als erste Auslegung wird eine im Vergleich wenig belastete Umgebungsluft betrachtet. Hierzu wurde der bayrische Standort Bad Hindelang (Oberjoch) gewählt (Bild 1). Der Jahresmittelwert (2018) der PM10 Belastung wird durch das UBA mit $9 \mu\text{g}/\text{m}^3$ angegeben. Damit liegt die Luftqualität mit der Partikelbelastung deutlich unter $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$ eindeutig in der Klasse ODA (P) 1. Selbst ohne eine Luftfilterung würde die Zuluftklasse SUP (P) 2 eingehalten werden, die als Grenzwert $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ für PM10 fordert. Um in die beste Zuluftklasse SUP (P) 1

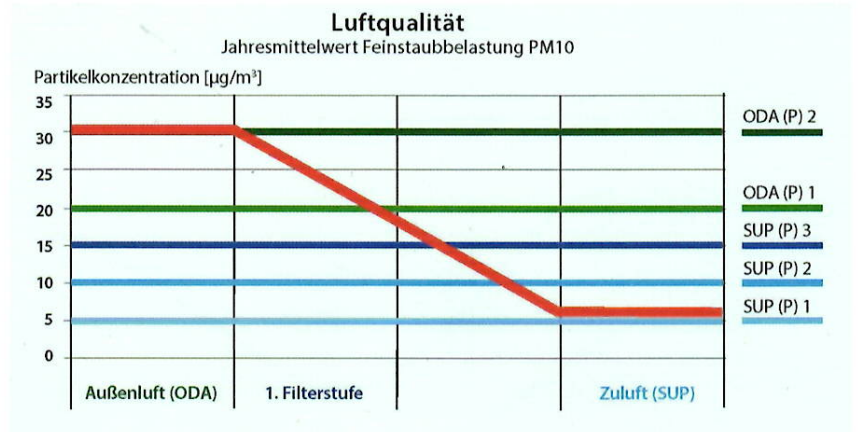


Bild 3: Partikelkonzentration der Luft vor und nach dem Filter (in urbaner Umgebung, Lünen, Frydagstraße).

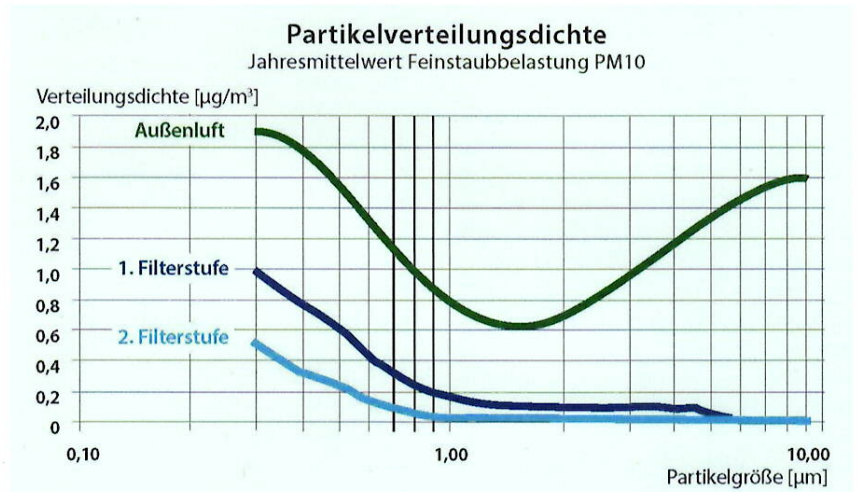


Bild 4: Partikelverteilung der Außenluft und Zuluft nach dem ersten Filter, sowie nach dem zweiten Filter ISO ePM2,5 65 % (in urbaner Umgebung, Lünen, Frydagstraße).

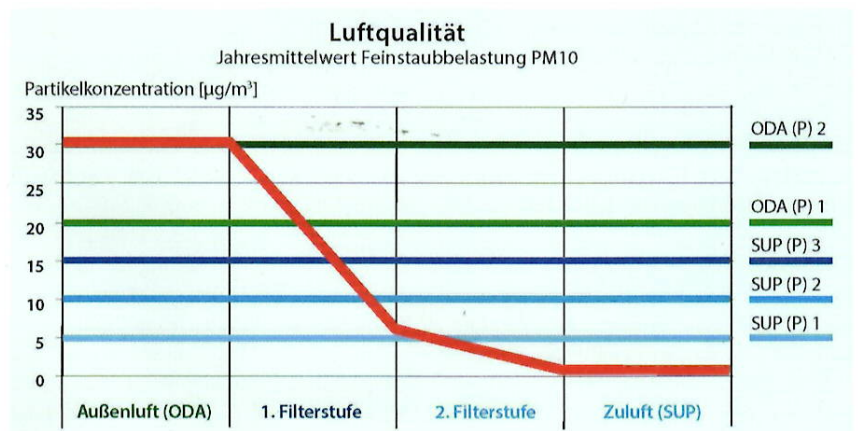


Bild 5: Partikelkonzentration der Luft vor und nach den Filtern (in urbaner Umgebung, Lünen, Frydagstraße).

($< 5 \mu\text{g}/\text{m}^3$) zu gelangen, ist bei einer einstufigen Filterung nach VDI 3803 B. 1 ein Filter der Klasse ISO ePM2,5 65 % (ehemals vergleichbar F7) notwendig. Die

Partikelkonzentration wird von $9 \mu\text{g}/\text{m}^3$ durch die Filterstufe ISO ePM2,5 65 % auf $1,1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ reduziert (Bild 2). Die Staubmenge pro Jahr wird bei einer

Partikelverteilungsdichte

Jahresmittelwert Feinstaubbelastung PM10

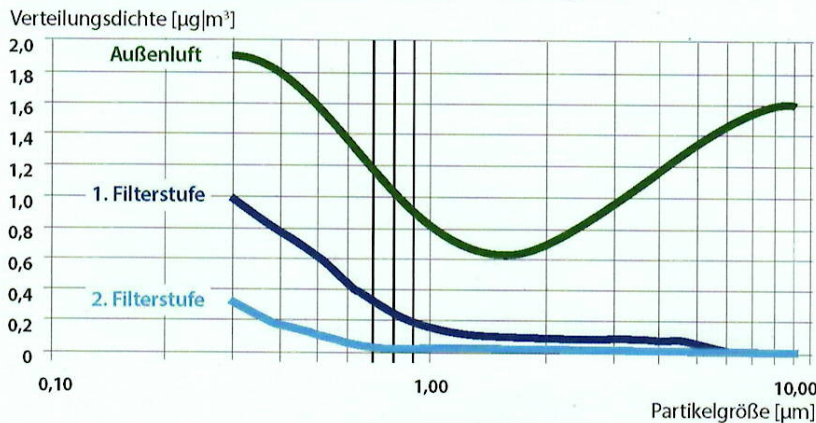


Bild 6: Partikelverteilung der Außenluft und Zuluft nach dem ersten Filter, sowie nach dem zweiten Filter ISO ePM1 80 % (in urbaner Umgebung, Lünen, Frydagstraße).

Nennluftmenge von 3 400 m³/h und einer Laufzeit von 8 760 h/a von 270 g in der Außenluft auf 30 g in der Zuluft gemindert. Eine weitere Filterstufe macht unter diesen Rahmenbedingungen keinen Sinn, da die durchschnittliche Reststaubbelastung von 1,1 µg/m³ bereits sehr gering ist. Mit einer weiteren Filterstufe ISO ePM2,5 65 % würde die Staubb Belastung auf 0,3 µg/m³ reduziert werden, mit einer Filterstufe ISO ePM1 80 % (ehemals vergleichbar F9) sogar auf 0,1 µg/m³. Diese Staubreduktion steht aber in keinem wirtschaftlichen Verhältnis zum deutlich erhöhten Druckabfall der weiteren Filterstufe, der von 145 Pa (mittlerer Druckabfall der ersten Stufe) um mindestens weitere 145 Pa verdoppelt würde.

Beispielauslegung in städtischer Umgebung bei hoher Partikelbelastung

Als zweite Auslegung wird eine im Vergleich hoch belastete Umgebungsluft betrachtet. Hierzu wurde als Standort Lünen, Frydagstraße, in NRW betrachtet. Der Jahresmittelwert der PM10 Belastung wird für das Jahr 2018 vom UBA mit 30 µg/m³ angegeben. Damit liegt die Belastung genau auf dem Grenzwert von 30 µg/m³ und damit noch knapp in der Klasse ODA (P) 2. Mit einer Filterstufe ISO ePM2,5 65 % (ehemals vergleichbar F7), die auch im ersten Beispiel verwen-

det wurde, kann die Partikelbelastung auf 6,1 µg/m³ reduziert und damit entsprechend die Zuluftklasse SUP (P) 2 (< 10 µg/m³) erreicht werden (**Bild 3**). Die Staubmenge pro Jahr wird bei einer Nennluftmenge von 3 400 m³/h und einer Laufzeit von 8 760 h/a von 890 g (Außenluft) auf 180 g (Zuluft) reduziert. Soll die Zuluftklasse SUP (P) 1 erreicht werden, genügt eine einstufige Filterung nicht mehr und es muss eine zweistufige Filterung verwendet werden. **Bild 4** zeigt die Partikelverteilung nach einer zweistufigen Filterung mit zwei ISO ePM2,5 65 % Filtern (ehemals vergleichbar F7), die in Reihe geschaltet sind.

Jetzt wird die noch vorhandene Partikelkonzentration in der zweiten Filterstufe von 6,1 µg/m³ auf 2,2 µg/m³ reduziert (**Bild 5**). Die restliche Staubmenge wird bei einer Nennluftmenge von 3 400 m³/h und einer Laufzeit von 8 760 h/a von 180 g auf 70 g pro Jahr reduziert. Mit dieser Kombination ist die Partikelkonzentration im urbanen Umfeld mit 2,2 µg/m³ im Vergleich zur einstufigen Filterung im ländlichen Raum mit 1,1 µg/m³ noch immer doppelt so hoch. Allerdings wird die Zuluftklasse SUP (P) 1 (< 5 µg/m³) sicher erreicht.

Soll die gleiche Zuluftqualität (Partikelkonzentration) wie im ersten Beispiel (ländlicher Raum) erreicht werden, muss als zweite Filterstufe eine ISO ePM1 80 % (ehemals vergleichbar F9) eingesetzt wer-

den. Mit dieser Kombination wird nun die vergleichbare Partikelkonzentration von 1,1 µg/m³ erreicht (**Bild 6**). Die Staubmenge pro Jahr wird bei einer Nennluftmenge von 3 400 m³/h und einer Laufzeit von 8 760 h/a von 890 g auf 30 g reduziert.

Fazit

Die neue DIN EN ISO 16890 liefert eine gute Basis, um Filter abgestimmt auf die Umgebungsbedingungen auslegen zu können. An den Beispielen wird deutlich, dass die Partikelverteilung und die Partikelkonzentration einen großen Einfluss auf die Auswahl der richtigen Filtermedien haben. Mit der neuen Norm und ihrer Anwendung können jetzt individuell Filterklassen und Fraktionsabscheidegrade für den jeweiligen Anwendungsfall ausgewählt werden. Dies beeinflusst nicht nur die Luftqualität, sondern auch die Energieeffizienz der Anlagen. In den Fällen, in denen eine einstufige Filterung ausreichend ist, kann erheblich an Elektroenergie durch reduzierte Druckverluste eingespart werden. Mit den Daten des UBA können zudem leicht und einfach Ausgangsdaten zur Abschätzung der Partikelbelastung für viele Standorte in Deutschland genutzt werden, ohne aufwendige und langwierige Messungen durchführen zu müssen. ■



Maria Swiderek, M.Sc. B.Eng.

ist Entwicklungsingenieurin der Howatherm Klimatechnik GmbH, Brücken. Bild: SchillerKrenz



Prof. Dr.-Ing. Christoph Kaup

ist Honorarprofessor am Umwelt-Campus Birkenfeld und Geschäftsführender Gesellschafter der Howatherm Klimatechnik GmbH, Brücken. Bild: SchillerKrenz