

# Zur Auswahl von Prüfmethode für Luftfilter landwirtschaftlicher Fahrerinnen

Von Bernd Hardegen und Torsten Hinz,  
Braunschweig-Völkenrode\*)

Mitteilung aus dem Institut für landtechnische Grundlagenforschung der Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft,  
Braunschweig-Völkenrode

Professor Dr.-Ing. Wilhelm Batel zum 60. Geburtstag

DK 614.71:628.511:631.372

Zur Zeit wird von der International Organization for Standardization (ISO) die Einführung einer Richtlinie für die Prüfung von Zuluftfiltern in Fahrerinnen diskutiert. In verschiedenen technischen Bereichen außerhalb der Landwirtschaft bestehen bereits Filter-Prüfrichtlinien. Der Vergleich der bei der Prüfung nach diesen Normen einzuhaltenden Bedingungen mit den in der Landwirtschaft herrschenden Einsatzbedingungen zeigt, daß für die Beurteilung von Kabinenluftfiltern zum Abscheiden von Feststoffteilchen die Richtlinien SAE J726 und DIN 24 185 ausreichende Entscheidungshilfen darstellen, wenn einige ergänzende Angaben gemacht werden. Bei Gassorptionsfiltern kann entsprechend DIN 3 181 verfahren werden.

## Inhalt

1. Einleitung und Aufgabenstellung
2. Grundbegriffe für die Bewertung von Luftfiltern
3. Bestehende Richtlinien zur Prüfung von Luftfiltern
  - 3.1 Richtlinien für Luftfilter in der Klima-, Lüftungs- und Automobiltechnik
  - 3.2 Richtlinien für höherwertige Luftfilter (Schwebstofffilter)
4. Eignung der Prüfverfahren im Hinblick auf die Prüfung von Kabinenluftfiltern
  - 4.1 Einsatzbedingungen von Kabinenluftfiltern
  - 4.2 Eignung der Prüfverfahren
5. Zusammenfassung

## 1. Einleitung und Aufgabenstellung

Kabinen auf selbstfahrenden landwirtschaftlichen Arbeitsmaschinen bieten einen integralen Schutz des Fahrers vor Belästigungen oder Belastungen durch extreme Klimabedingungen, Lärm und luftfremde Stoffe [1, 2]. Die Schutzwirkung einer Kabine gegenüber luftgetragenen Fremdstoffen wird beeinflusst durch die eindringenden Massenströme, die zum einen das Filter noch passieren (Durchgangsmassenstrom) und zum anderen aufgrund von Undichtigkeiten der Kabine ins Innere gelangen (Leckmassenstrom). Der Reinigungseffekt von Filtern läßt sich nicht berechnen und muß somit meßtechnisch bestimmt werden. Zu diesem Zweck sind in einigen technischen Bereichen Prüfrichtlinien geschaffen worden,

die — bei Einhaltung von reproduzierbaren Versuchsbedingungen — eine Aussage über die Eignung der Filter unter den jeweiligen Prüfanforderungen ermöglichen. Diese Anforderungen sollten die in der Praxis auftretenden Bedingungen möglichst umfassend berücksichtigen.

Aufgrund der Vielzahl der Einsatzmöglichkeiten von Filtern (z.B. Atemluftfilterung, Aggregatluftfilterung) und der sehr unterschiedlichen Einsatzbedingungen (Zusammensetzung, Beschaffenheit und Konzentration des Aerosols, Luftvolumenstrom) sind die bestehenden Prüfrichtlinien lediglich auf enge Bereiche wie z.B. den Automobilbau, die Lüftungs- und Klimatechnik oder den Atemschutz zugeschnitten.

Die Prüfung der in landwirtschaftlichen Kabinen eingesetzten Filter fällt nicht in den Geltungsbereich einer dieser Normen. Die ISO ist daher bestrebt, eine Prüfrichtlinie für Luftfilter in landwirtschaftlichen Fahrerinnen zu erstellen [3, 4].

In diesem Beitrag wird untersucht, ob hierzu eine neue Prüfnorm erarbeitet werden muß oder ob eine oder mehrere der bestehenden Richtlinien — evtl. modifiziert — für den Bereich der Landwirtschaft übernommen werden können.

Es wird ein Überblick über die gebräuchlichsten Filter-Richtlinien gegeben, und sie werden hinsichtlich ihrer Anwendbarkeit zur Prüfung von Filtern, die in der Landwirtschaft bei der Belüftung von Fahrerinnen zum Einsatz kommen, beurteilt.

## 2. Grundbegriffe für die Bewertung von Luftfiltern

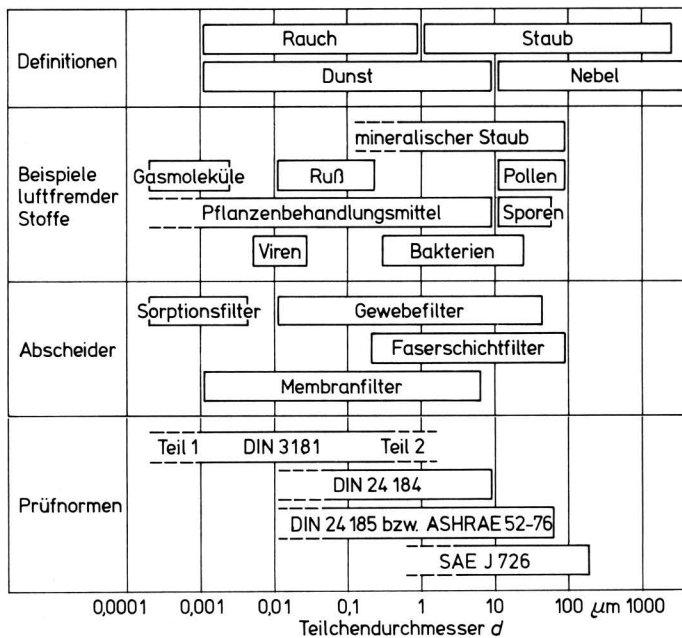
Die hier angesprochenen Abscheideeinrichtungen haben die Aufgabe, Staub — also luftgetragene Fremdstoffe — und beim Ausbringen von Pflanzenbehandlungsmitteln zusätzlich Tropfen, Dämpfe und Gase — mit z.T. toxischen Bestandteilen — aus der Atemluft zu entfernen.

Die potentielle Gefährdung für den Menschen stellt der "atembare Staub" dar, d.h. luftgetragene Teilchen, die abhängig von der Dichte kleiner als etwa 60 µm sind. Teilchen der Größe 20–60 µm werden in Nasen-, Mund- und Rachenraum abgeschieden, während die kleineren Teilchen in die Bronchien gelangen. In die Lungenbläschen oder Alveolen schließlich dringt der "Feinstaub" genannte Anteil mit einer Teilchengröße unter 5 µm ein [5, 6]. Dispersionen von Teilchen mit einem Durchmesser kleiner als 1 µm werden üblicherweise als Schwebstoff bezeichnet. Ihren Wirkungen auf den Menschen entsprechend lassen sich Stäube unterteilen als inert, allergen, fibrogen, toxisch und cancerogen.

In Bild 1 sind die Größenordnungsbereiche auftretender Schadstoffteilchen sowie einige mögliche Abscheideeinrichtungen aufgeführt. Ebenfalls dargestellt sind die Teilchendurchmesserbereiche der Testaerosole, die in den gebräuchlichsten Normen vorgeschrieben sind.

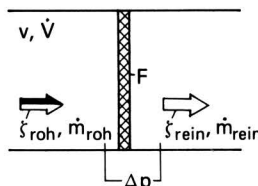
Zur Auslegung von Filtern und zur Bewertung ihrer Güte sind bestimmte technische Angaben erforderlich [7 bis 11], Bild 2.

\*) Dipl.-Ing. B. Hardegen und Dipl.-Ing. T. Hinz sind wissenschaftliche Mitarbeiter im Institut für landtechnische Grundlagenforschung (Leiter: Prof. Dr.-Ing. W. Batel) der Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft, Braunschweig-Völkenrode.



**Bild 1.** Teilchengröße luftfremder Stoffe, Arbeitsbereiche verschiedener Abscheider und Gültigkeitsbereiche von Prüfnormen für Filter.

Anströmgeschwindigkeit	$v = \frac{\dot{V}}{F_{\text{Filter}}}$	
Volumenstrom	$\dot{V}$	[m <sup>3</sup> /h]
Massenstrom	$\dot{m}$	[kg/h]
Staubgehalt	$\zeta = \frac{\dot{m}}{\dot{V}}$	
Druckabfall	$\Delta p_a, \Delta p_e, \Delta p_{e \max}$	[Pa]
Staubspeicherfähigkeit	$S$	[g]
Standzeit	$S_t = \frac{S}{\dot{V} \cdot \zeta \cdot A}$	
Abscheidegrad	$A = \frac{\dot{m}_{\text{roh}} - \dot{m}_{\text{rein}}}{\dot{m}_{\text{roh}}} \cdot 100$ [%]	
Durchlaßgrad	$D = 100 - A$	[%]
Wirkungsgrad	$E = \frac{O_{\text{roh}} - O_{\text{rein}}}{O_{\text{roh}}} \cdot 100$ [%],	$O = \text{Trübungsmaß}$



**Bild 2.** Grundbegriffe für die Bewertung von Luftfiltern.

Die mittlere Anströmgeschwindigkeit  $v$  ergibt sich als der Quotient aus dem Nennvolumenstrom der Luft  $\dot{V}$  und der angeströmten Filterfläche  $F_{\text{Filter}}$ .

Der Staubgehalt  $\zeta$  ergibt sich aus dem auf den Nennvolumenstrom  $\dot{V}$  bezogenen Staub-Massenstrom  $\dot{m}$ .

Bei der Druckdifferenz — die u.a. von der Anströmgeschwindigkeit und dem Filtermaterial abhängig ist — wird unterschieden zwischen der Anfangsdruckdifferenz  $\Delta p_a$ , die bei einem reinen Filter auftritt, und der vom Hersteller empfohlenen Enddruckdifferenz  $\Delta p_e$ . Bei Überschreiten des Wertes  $\Delta p_e$  besteht die Gefahr, die Druckdifferenz  $\Delta p_{e \max}$  zu erreichen, bei der das Filter mecha-

nisch zerstört oder aber bereits abgelagerter Staub aus dem Filtermedium herausgerissen wird.

Die Staubspeicherfähigkeit  $S$  ist die Menge Staub, die das Filter bis zum Erreichen einer begrenzenden Bedingung, z.B. der Enddruckdifferenz, aufnehmen kann. Diese Größe ist in direktem Zusammenhang zu sehen mit der Standzeit  $S_t$ , d.h. der Zeitdauer, in der das Filter ohne zwischenzeitliche Reinigung die angegebene Abscheidequalität einhält, Bild 2.

Die Größen Abscheidegrad  $A$ , Durchlaßgrad  $D$  und Wirkungsgrad  $E$  sind weitere Maße für die Güte von Filtern. Sie setzen die Staubkonzentration der Rein- und Rohluft ins Verhältnis. Abscheidegrad und Durchlaßgrad ergänzen sich zu 100 %. Die in Bild 2 angegebenen Definitionen für den Abscheidegrad  $A$ , den Durchlaßgrad  $D$  und den Wirkungsgrad  $E$  sind gleichzeitig als Meßvorschrift zur Ermittlung dieser Größen zu verstehen. Die Staubmassenströme  $\dot{m}_{\text{roh}}$  und  $\dot{m}_{\text{rein}}$  werden durch die Wägung der während der Versuchsdauer aufgegebenen bzw. vom Filter durchgelassenen Staubmenge bestimmt (gravimetrische Methode).

Bei hohem Abscheidegrad eines Filters wird der Durchlaßmassenstrom  $\dot{m}_{\text{rein}}$  und damit die wägbare Staubmenge sehr klein, so daß die gravimetrische Methode nicht anwendbar ist. Hier wird statt des Abscheidegrades  $A$  der Wirkungsgrad  $E$  durch eine höher auflösende optische Meßmethode (Trübungsmessung) indirekt bestimmt, d.h. es wird ausgenutzt, daß die Intensität von Lichtstrahlen durch staubbeladene Filter geschwächt wird. Die Trübung, als Maß für die Massenströme  $\dot{m}_{\text{roh}}$  und  $\dot{m}_{\text{rein}}$ , wird über Vergleichsfilter bestimmt, für die isokinetisch je ein Teilvolumenstrom vor und hinter dem Prüfling entnommen wird.

Es sind in den verschiedenen Normen gleichbenannte Größen wie z.B. der Abscheidegrad — sowie auch innerhalb einer Norm die beiden Bezeichnungen "Abscheidegrad" und "Wirkungsgrad" — zahlenmäßig nicht miteinander vergleichbar, da unterschiedliche Meßmethoden und z.T. auch unterschiedliche Teststäube vorgeschrieben werden.

### 3. Bestehende Richtlinien zur Prüfung von Luftfiltern

Die für die Güteprüfung von Filtern bestehenden Normen sind jeweils für spezielle Anwendungsgebiete geschaffen worden, in denen die zu erwartenden Einsatzbedingungen für die Filter im allgemeinen bekannt sind. Als Beispiel zu nennen sind die Normen für Filter in der Reinraumtechnik, deren Einsatzbereich bestimmt wird durch große Luftvolumenströme mit geringen Staubkonzentrationen bei relativ gleichbleibenden Teilchengrößenverteilungen.

Von der Verwendung der feststoffabscheidenden Filter in der Praxis her lassen sich die Prüfnormen grob in zwei Kategorien einteilen:

1. Normen für Luftfilter in der Klima- und Lüftungs- sowie der Automobiltechnik [12 bis 17].
2. Normen für höherwertige Luftfilter (Schwebstofffilter) [18 bis 21].

Diese Einteilung, die auch aus den Teilchengrößen der vorgeschriebenen Prüfstäube und den Konzentrationsmeßgeräten abgelesen werden kann, erlaubt zwar Rückschlüsse auf die Güte eines Filters, nicht jedoch auf die Güte einer Prüfvorschrift, die in ihrer Praxisrelevanz unter Berücksichtigung der jeweils herrschenden Bedingungen beurteilt werden muß.

### 3.1 Richtlinien für Luftfilter in der Klima-, Lüftungs- und Automobiltechnik

Die bedeutendsten Normen und Prüfvorschriften der zuerst genannten Kategorie sind in **Tafel 1** aufgeführt.

Der amerikanische ASHRAE-Standard 52-76 der "American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers" [15] ist die Basis für die Normen DIN 24 185 [12, 13] und Eurovent 4/5 [14]. Eurovent ist eine "Vereinigung von Herstellern lufttechnischer und Trocknungsanlagen in Europa", deren Empfehlungen allgemein im europäischen Raum Anwendung finden sollen.

Die Geltungsbereiche der verschiedenen Normen sind meist nur sehr vage beschrieben und – wenn überhaupt angegeben – in **Tafel 1** erwähnt. Wichtige Unterscheidungsmerkmale der Prüfmethoden sind die Teilchengrößenverteilung der zu benutzenden Aerosole sowie die vorgeschriebenen Konzentrationsmeßmethoden.

In der Norm DIN 24 185 wird die Messung der Staubspeicherfähigkeit, der Druckdifferenz und des Abscheidegrades (gravimetrisch) bzw. des Wirkungsgrades (optisch, Trübung, Verfärbung) vorgeschrieben. Für den gravimetrisch zu messenden Abscheidegrad wird ein Staub verwendet, der in Massenanteilen zu 72 % aus einem mineralischen Standard-Filter-Prüfstaub, zu 23 % aus Ruß und zu 5 % aus Baumwoll-Fäden besteht<sup>1)</sup>.

Die Ergebnisse der Filterprüfungen werden durch Angabe der gemessenen Merkmale wie z.B. Staubspeichervermögen und Abscheidegrad sowie Druckdifferenz in Abhängigkeit von der Staubzugabe dargestellt. Diese Vorgehensweise liefert einen guten Bezug zur Praxis, da die genannten Merkmale eines Filters während seiner Nutzungsdauer nicht konstant sind.

Norm	Land	Prüfmedien	Teilchengröße [µm]	Meßverfahren	Geltungsbereich
ASHRAE 52-76 bzw. DIN 24 185 bzw. Eurovent 4/5	USA D	ASHRAE-Prüfstaub 72 % SAE-fine 23 % Molocco-Ruß 5 % Baumwoll-Linters Atmosphärischer Staub	bis 80 0,08 0,001–20	Gravimetrie (Abscheidegrad) Verfärbung (Wirkungsgrad)	Luftvolumenstrom > 850 m <sup>3</sup> /h, Wirkungsgrad ≤ 98 %
SAE J 726 (ISO/DP 5011)	USA	SAE-fine SAE-coarse	bis 80 bis 200	Gravimetrie	Motoren- u. Industrie-Luftfilter (Motorenluftfilter, Luftvolumenstrom < 5000 m <sup>3</sup> /h)
BS 2831	GB	Aluminiumoxid fein Aluminiumoxid grob Methylen-Blau	2–13 10–35 0,2–2	Gravimetrie Verfärbung	Durchlaßgrad ≥ 0,01 %

**Tafel 1.** Prüfnormen für Luftfilter in der Klima- und Lüftungstechnik und im Automobilbau.

Das Ergebnis dieser Prüfmethode nach DIN 24 185 oder Eurovent 4/5 ist die Zuordnung eines Prüffilters in eine Filterklasse von EU 1 bis EU 9. **Tafel 2** gibt einen Vergleich der in der Norm festgelegten Filterklassen mit den bisher gebräuchlichen [22]. Danach entspricht ein Filter der Klasse EU 1 mit einem Abscheidegrad  $A_m < 65$  % einem Grobstaub- oder Vorfilter, die frühere Güteklasse B (Feinstaubfilter) wurde durch die Klassen EU 2 bis EU 4 mit mittleren Abscheidegraden  $A_m \leq 98$  % ersetzt, und die vor Inkrafttreten der DIN 24 185, Teil 2 "Hochwertige Feinstaubfilter" genannten Abscheider werden mit EU 5 bis EU 9 (Wirkungsgrad  $E_m = 40 \dots > 95$  %) bezeichnet. Dabei können Luftfilter mit einem mittleren Wirkungsgrad  $E_m > 95$  % bereits einer Schwebstofffilter-Klasse nach DIN 24 184 entsprechen (Abschn. 3.2).

<sup>1)</sup> Über Bezugsquellen gibt Auskunft: Normenausschuß Heiz- und Raumlufttechnik (NHR) im DIN, Burggrafenstr. 4–10, 1000 Berlin 30.

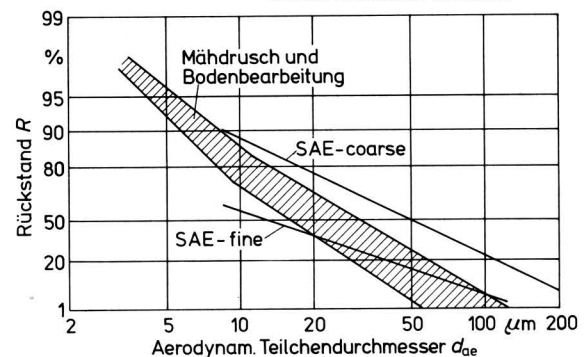
Filterklasse	Mittlerer Abscheidegrad gegenüber synthetischem Staub in %	Mittlerer Wirkungsgrad gegenüber atmosphärischem Staub in %	Bisherige Einteilung nach BIA (StF)	
			Güteklasse	Bezeichnung
EU 1	$A_m < 65$	–	A	Grobstaub- od. Vorfilter
EU 2	$65 \leq A_m < 80$	–	B	Feinstaubfilter
EU 3	$80 \leq A_m < 90$	–		
EU 4	$90 \leq A_m$	–		
EU 5	–	$40 \leq E_m < 60$	C	Hochwertige Feinstaubfilter
EU 6	–	$60 \leq E_m < 80$		
EU 7	–	$80 \leq E_m < 90$		
EU 8	–	$90 \leq E_m < 95$		
EU 9	–	$95 \leq E_m$		

**Tafel 2.** Klasseneinteilung für Luftfilter, Vergleich der bisherigen Einteilung (rechts) mit der neuen Einteilung nach DIN 24 185 T. 2 [13] (links).

Beim Test nach SAE J 726 (SAE = Society of Automotive Engineers) [16] wird das Staubspeichervermögen und der Abscheidegrad ermittelt, wobei der das Prüffilter passierende Staub mit einem sogenannten Absolutfilter aufgefangen und gravimetrisch gemessen wird. Es werden zwei Staubfraktionen unterschieden: SAE-fine und SAE-coarse, **Bild 3**. Der SAE-fine ist identisch mit dem mineralischen Prüfstaub, der nach DIN 24 185 mit einem Massenanteil von 72 % vorgeschrieben ist.

Der British Standard BS 2831 [17] unterscheidet sich von der DIN 24 185 hauptsächlich durch Verwendung anderer Teststäube. Zur Messung des Wirkungsgrades – ebenfalls über eine optische Meßmethode (Verfärbungstest) – wird Methylenblau-Aerosol eingesetzt, und der Abscheidegrad wird gravimetrisch mit Methylenblau-Aerosol und grobem oder feinem Aluminiumoxid-Staub bestimmt. Eine Filterklasseneinteilung wird nicht vorgenommen.

Bei der gravimetrischen Abscheidegrad-Bestimmung im British Standard bleibt es dem Prüfer überlassen, ob er mit dem groben oder feinen Teststaub arbeitet.



**Bild 3.** Teilchengrößenverteilung von Stäuben in der landwirtschaftlichen Produktion (nach *Batel* [1]) und der Prüfstäube nach SAE J 726 [16].

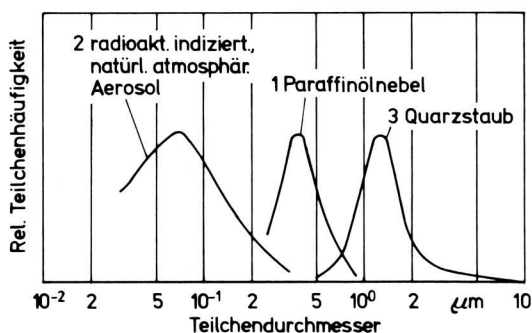
### 3.2 Richtlinien für höherwertige Luftfilter (Schwebstofffilter)

Zur zweiten der zuvor erwähnten Kategorien gehören die Prüfrichtlinien für höherwertige Luft- oder auch Schwebstofffilter, von denen die gebräuchlichsten in **Tafel 3** dargestellt sind. Die in den Normen vorgeschriebenen Meßtechniken und Testaerosole lassen erkennen, — siehe auch **Bild 1** —, daß diese Filter zur hochwirksamen Abscheidung sehr feiner Teilchen — einschließlich Bakterien und Viren — eingesetzt werden.

Norm	Land	Prüfmedium	Teilchengröße [µm]	Meßverfahren	Geltungsbereich		
					1	2	3
DIN 24 184	D	Paraffinölnebel atm. Aerosol, radioaktiv indiziert Quarz	0,3–1 0,02–0,4 0,5–10	Lichtstreuung Aktivitätsmessung Lichtstreuung	Filter zur Abscheidung von Schwebstoffen, radioaktiven Stäuben, Nebel, Bakter., Viren		
US-MIL-STD 282	USA	DOP-Nebel (Diocetylphthalat)	0,3	Lichtstreuung	nicht festgelegt		
BS 3928 Eurovent 4/4	GB A, B, CH, D, DK, F, GB, I, N, NL, S, SF	Kochsalzkristalle	0,02–2	Flammenphotometrie	hochwirksame Luftfilter (außer für Motore und Kompressoren)		

**Tafel 3.** Prüfnormen für Schwebstofffilter.

Die Norm DIN 24 184 [18] behandelt die Typprüfung derartiger Filter. Im Gegensatz zu anderen Tests werden hier keine besonderen Bedingungen an die Prüfanlage gestellt. Sie soll jedoch eine gleichmäßige Verteilung der Teststäube im Rohluftstrom und die Leckdichtigkeit des Filterrahmens gewährleisten. Als Teststäube werden 3 verschiedene Prüfaerosole benutzt, **Bild 4**.



**Bild 4.** Teilchengrößenspektren der Prüfaerosole nach DIN 24 184 [18].

Mit den Prüfaerosolen 1 bzw. 2 (Paraffinölnebel bzw. atmosphärisches Aerosol) werden mit einer streulichtoptischen bzw. radiometrischen Methode Durchlaßgrade ermittelt. Mit dem Prüfaerosol 3, einem Quarzstaub, wird im wesentlichen die mechanische Widerstandsfähigkeit der Filter bestimmt. In Abhängigkeit von den gemittelten Durchlaßgraden gegenüber den einzelnen Prüfaerosolen erfolgt eine Einteilung in die Schwebstofffilterklassen Q, R und S, **Tafel 4**.

Der DOP-, d.h. Diocetylphthalat-Test [21] (**Tafel 3**) wird durchgeführt mit einem sehr schmalen Tröpfchenspektrum um 0,3 µm, ausgehend von den theoretischen Überlegungen von *Langmuir* [23] und *Friedlander* [24], daß in dem Bereich dieses Durchmessers bei vielen Filtern das Minimum der Abscheidung liegt. Das Abscheidevermögen des Prüflings wird optisch durch Streulichtmessung bestimmt.

Im BS 3928 [20] bzw. in Eurovent 4/4 [19] wird die Filtergüte durch Angabe eines Durchlaßgrades beschrieben. Zur Herstellung des Prüfaerosols wird eine wäßrige Kochsalzlösung zerstäubt, und es entsteht ein Nebel, der im Luftstrom getrocknet wird. Die Konzentration der dabei kristallisierten NaCl-Teilchen, die im Größenbereich 0,02–2 µm liegen, wird in Roh- und Reinluft mit einem Flammenspektrometer über die Intensität der gelben Natrium-Flamme nachgewiesen.

Schwebstofffilterklassen	Grenzwerte der gemittelten Durchlaßgrade in % gegenüber Prüfaerosol			
		1	2	3
Q	D <sub>g</sub>	15	30	5
R	D <sub>g</sub>	2	10	1
S	D <sub>g</sub>	0,03	0,03	1*
	D <sub>gmax</sub>	0,08	0,08	1*

\* Dieser Wert wird nur zur Beurteilung der mechanischen Widerstandsfähigkeit herangezogen; er gibt keine Auskunft über die Wirkung.

**Tafel 4.** Klasseneinteilung für Schwebstofffilter nach DIN 24 184 [18].

Als Prüfmethode für Filter, die gasförmige Fremdstoffe aus der Luft abscheiden, ist — neben militärischen Normen — lediglich die DIN 3181 [25] bekannt, die eine einheitliche Aussage über die Funktionsfähigkeit von Filtern für Atemschutzgeräte gewährleisten soll. Geprüft wird das Einhalten einer Mindest-Durchbruchzeit, die einer Standzeit entspricht. Durchbruchkriterium ist das Ansteigen der Gaskonzentration hinter dem Gasfilter auf den dem entsprechenden Gas zugeordneten MAK-Wert bei einem festgelegten Prüfgasstrom.

Die Filter werden je nach Resistenz gegen entsprechende Prüfgase in vier Typen und je nach Gasaufnahmevermögen in drei Klassen unterteilt.

### 4. Eignung der Prüfverfahren im Hinblick auf die Prüfung von Kabinenluftfiltern

Die genannten Prüfverfahren (Abschn. 3.1 u. 3.2) dienen dem Ziel, durch reproduzierbare Meßergebnisse den Vergleich verschiedenartiger Filter zu ermöglichen. Die Prüfbedingungen, z.B. Luftdurchsatz, Teilchengröße und -konzentration, orientieren sich am Einsatzzweck der Filter und stellen eine praxisrelevante repräsentative Belastungssituation dar.

Unter diesem Aspekt wird im folgenden auf die Bedingungen eingegangen, denen Kabinenluftfilter landwirtschaftlicher Fahrzeuge ausgesetzt sind (Abschn. 4.1), und es wird untersucht, in welchem Maße diese Bedingungen durch die Prüfverfahren in den erwähnten, für andere Bereiche der Filtertechnik geschaffenen Richtlinien abgedeckt werden (Abschn. 4.2).

#### 4.1 Einsatzbedingungen von Kabinenluftfiltern

Wesentliche Beurteilungskriterien bei der Prüfung von Filtern sind Luftdurchsatz, -temperatur und -feuchte, die Teilchengrößenverteilung, Konzentration und Zusammensetzung der Fremdstoffe, der Druckverlust und die Standzeit des Filters.

Der Luftdurchsatz ist von der Kabinengröße und der Luftwechselrate abhängig. Von dieser Größe wird über die zulässige Anströmgeschwindigkeit die notwendige Filterfläche bestimmt. Die gewünschten langen Standzeiten der Filter erfordern bei den heute üblichen Luftdurchsätzen von bis zu 600–800 m<sup>3</sup>/h ein großes Staubspeichervermögen, z.B. durch eine mehrstufige Anordnung der Filter, sowie eine hohe zulässige Enddruckdifferenz.

Die Lufttemperaturen, denen Kabinen ausgesetzt sind, stellen keine großen Anforderungen. Bei Feldarbeiten können relative Luftfeuchten von 80 % und mehr auftreten. Daher ist bei der Auswahl von Filter und Prüfmethode dafür zu sorgen, daß die Filter nicht verkleben und somit undurchlässig werden [26]. Es ist weiter darauf zu achten, daß durch die hohe Luftfeuchte aus dem Filter keine toxischen Bestandteile wie z.B. Formaldehyd freigesetzt werden und den Kabineninnenraum belasten.

Mit der zu fordernden Reinheit der Kabinenluft und der Staubkonzentration vor der Ansaugöffnung ist bei Berücksichtigung der Teilchengrößenverteilung (Bild 3) der Abscheide- bzw. Wirkungsgrad festgelegt. Die zulässige Feinstaubkonzentration im Innern der Kabine leitet sich aus der chemischen, biologischen und physikalischen Konsistenz des Staubes ab. Für die Mischstäube aus der landwirtschaftlichen Produktion sind Grenzwerte nach Art der MAK- oder TRK-Werte bisher nicht festgelegt. Insbesondere das Zusammenwirken der im Staub vorhandenen anorganischen und organischen Substanz bedarf und ist Gegenstand weiterer Forschungsarbeiten [1, 27].

Soweit nicht in den Stäuben der landwirtschaftlichen Produktion toxische Stoffe auftreten, wie es z.B. beim Ausbringen von Pflanzenbehandlungs- und Düngemitteln der Fall ist, wird in Anlehnung an die MAK-Werte aus der Industrie nur der Anteil an kristalliner Kieselsäure (Quarz, Tridymit, Christobalit) im Feinstaub als Bewertungsgrundlage gewählt [1].

In **Tafel 5** sind einige Ergebnisse dargestellt, die bei Staubmessungen am ungeschützten Arbeitsplatz während der Bodenbearbeitung und bei Erntearbeiten mit dem Mähdrescher aufgenommen wurden [1]. Es sind angegeben die Gesamtstaubkonzentration, und zwar die maximale Dauerbelastung über einen längeren Zeitraum (Zeile 1) und der 50 %-Wert der Summenhäufigkeit eines Belastungskollektivs (Zeile 2), der Anteil lungengängigen Staubes (Feinstaubanteil Zeile 3), der Anteil kristalliner Kieselsäure (Zeile 5) und die aus der Staubzusammensetzung resultierenden MAK-Werte für Feinstaub und Gesamtstaub (Zeilen 7 u. 8).

Über die Belastungen am landwirtschaftlichen Arbeitsplatz beim Ausbringen von Pflanzenbehandlungsmitteln berichtet *Batel* [28, 29]. Seine Versuche haben gezeigt, daß bei sachgemäßer Anwendung der Mittel die MAK-Werte – soweit sie vorliegen – nicht erreicht werden; die Ergebnisse lassen es jedoch sinnvoll erscheinen, bei starker Exposition, d.h. bei Landwirten sowie Lohnunternehmern mit einem hohen Anteil an Pflanzenschutzarbeiten, eine Filterung der Kabinenluft beim Spritzen und Sprühen vorzusehen.

Da Pflanzenbehandlungsmittel zumeist in wäßriger Lösung ausgebracht werden, ist während der Flugphase eine Abnahme der

Nr.				Bodenbearb.		Mähdreschen		
				Sand	Lehm	Gerste	Roggen	Weizen
1	Dauerbelast.	max.	mg/m <sup>3</sup>	625		80		
2	ξ <sub>D</sub>	mittl. 50 %-Wert	mg/m <sup>3</sup>	40		20		
3	Feinst.anteil A <sub>F</sub>	%		6	7	12	9	9
4	Teilchengr. d <sub>D50</sub>	µm		14	12,5	13	13,5	15
5	Quarzgeh. i. Feinst.	%		25	22	< 1	2	1
6	org. Ant. i. Gesamtst.	%		30	40	88	78	76
7	zul. Feinstaub	mg/m <sup>3</sup>		0,6	0,61	4		
8	zul. Gesamtstaub	mg/m <sup>3</sup>		10	8,7	33		

**Tafel 5.** Staubbelastung bei verschiedenen Arbeiten in der landwirtschaftlichen Produktion (nach *Batel* [1]) und mit der MAK-Liste 1978 errechnete Werte für den zulässigen Staubgehalt.

Tropfengröße und damit eine zunehmende Verfeinerung des Nebels zu verzeichnen. Die häufig toxischen Wirkstoffe können nun in gelöster Form in den Tropfen oder nach dem Verdunsten des Lösungsmittels in fester, flüssiger oder gasförmiger Phase vorliegen. Abscheideeinrichtungen, die diesen Bedingungen Rechnung tragen, befinden sich in Forschung und Industrie in Entwicklung, wobei die Gasreinigung z.B. mit Hilfe von Aktivkohlefiltern diskutiert wird.

#### 4.2 Eignung der Prüfverfahren

Als Prüfmethode für feststoffabscheidende Filter in Kabinen landwirtschaftlicher Arbeitsmaschinen sind die nach DIN 24 185 (Eurovent 4/5) und SAE J726 am besten geeignet und denen der übrigen erwähnten Richtlinien vorzuziehen. Beide Methoden werden neben firmeneigenen Tests bereits in der Praxis angewendet, wobei die DIN/Euroventempfehlung international immer stärkeren Zuspruch findet. Luftfilterprüfungen nach DIN 24 185 führen vom NHR (Normenausschuß Heiz- und Raumlufttechnik, Berlin) bzw. NAM (Normenausschuß Maschinenbau, Frankfurt/Main) anerkannte neutrale Prüfstellen durch.

Die an landwirtschaftlichen Arbeitsmaschinen am ungeschützten Fahrerplatz gemessenen Staubbelastungen [1], die dem Staubanfall vor einem Kabinenfilter in etwa entsprechen, korrelieren mit den Staubbelastungen, die in den beiden Prüfmethoden nach DIN 24 185 (Eurovent 4/5) und SAE J726 vorgesehen sind.

Der in der DIN-Norm für die Konzentration vorgesehene Wert von 70 mg/m<sup>3</sup> kommt den gemessenen Durchschnittswerten bis zu 40 mg/m<sup>3</sup> recht nahe.

Im SAE-Test werden bei einstufiger Anordnung 1 000 mg/m<sup>3</sup> des Feinstaubes SAE-fine vorgeschrieben (mehrstufig 2 000 mg/m<sup>3</sup> SAE-coarse). Hiermit werden die von *Batel* [1] gemessenen Spitzenwerte von über 600 mg/m<sup>3</sup> abgedeckt (Tafel 5).

Die in der landwirtschaftlichen Produktion gemessenen Teilchengrößenverteilungen [1], die hier zum Vergleich exemplarisch herangezogen werden, liegen in ihren Größenspektren zwischen SAE-coarse und SAE-fine (Bild 3); der SAE-fine entspricht dem mineralischen Staub, der in DIN 24 185 mit einem Massenanteil von 72 % vorgeschrieben ist.

Den Einfluß der Teilchengröße auf das Prüfergebnis zeigt **Tafel 6**. Hier sind für ein Grobstaub-, ein Feinstaub- und ein Schwebstofffilter die Abscheidegrade angegeben, die mit drei verschiedenen Prüfstäuben gemessen wurden.

Es werden beispielsweise mit einem Grobstaubfilter – gravimetrisch gemessen – 50–75 % des nach ASHRAE bzw. DIN 24 185 zu verwendenden gemischten Staubes abgeschieden (Teilchengröße bis 80 µm); die optisch gemessenen Abscheidegrade für atmosphärisches Aerosol (0,001 µm bis 20 µm) bzw. DOP (0,3 µm, US-MIL-STD 282) jedoch liegen bei nur 5–15 % bzw. 1–8 %. Hier zeigt sich deutlich, daß die Prüfstäube sich an dem Einsatzzweck der Filter orientieren sollten. Die in **Tafel 3** aufgeführten

Prüfmedium, Meßmethode	ASHRAE-Prüfstaub, Gravimetrie	atmosphärisches Aerosol, Verfärbung	DOP-Nebel, Streulicht
Grobstaubfilter	50–75	5–15	1–8
Feinstaubfilter	92–98	35–65	20–40
Schwebstofffilter	100*	100*	99,97

□ Übliche Testmethode für den jeweiligen Filtertyp

\* Keine genaueren Angaben möglich

**Tafel 6.** Rückhaltervermögen von Luftfiltern in Prozent bei Prüfung mit verschiedenen Prüfaerosolen, nach [30].

Normen für die Schwebstofffilterprüfung erscheinen aufgrund der sehr kleinen Teilchengröße der Aerosole (DOP, atmosphärisch) daher für die Prüfung von Kabinenluftfiltern nicht sinnvoll.

Dem Käufer eines Kabinenluftfilters, das nach DIN 24 185 oder SAE J726 beurteilt wurde, sollten über die in der Richtlinie vorgeschriebenen Werte hinaus Angaben darüber gemacht werden, ob das Filter im Einbauzustand den mechanischen, durch Fahrzeugschwingungen übertragenen Beanspruchungen standhält und wie es sich bei relativen Luftfeuchten oberhalb 65 % bzw. 75 % (Obergrenze in SAE J726 bzw. DIN 24 185) verhält.

Die entstaubungstechnische Wirkung eines filternden Abscheiders wird nicht nur vom Filtermedium, sondern vom gesamten Luftführungssystem beeinflusst. Sind in einer Kabine fertigungsbedingte Undichtigkeiten der Frischluftkanäle nicht auszuschließen, muß die Prüfung auf das Luftführungssystem ausgeweitet werden.

Bei zusätzlich auftretenden gasförmigen Schadstoffanteilen in einer Kabine muß die lediglich Teilchen abscheidende Filtereinrichtung durch ein nachgeschaltetes Gasfilter ergänzt werden, weil sonst u.U. in der Kabine Atemfilter getragen werden müßten. Als Prüfnorm für das Gasfilter kann die DIN 3181 zugrunde gelegt werden, wobei dann allerdings hinsichtlich Gasart und Luftdurchsatz die in der Landwirtschaft herrschenden Bedingungen berücksichtigt werden müssen.

## 5. Zusammenfassung

Es bestehen z.Zt. international Bestrebungen, für Kabinenluftfilter auf landwirtschaftlichen Fahrzeugen eine einheitliche Prüfrichtlinie aufzustellen.

Für Anwendungsgebiete außerhalb der Landwirtschaft sind bereits verschiedene und untereinander meist nur sehr schwer vergleichbare Regelwerke eingeführt, so daß die Überlegung anzustellen war: Ist es erforderlich, der Vielzahl der bestehenden Prüfrichtlinien eine weitere hinzuzufügen, oder gibt es eine oder mehrere Normen, die die speziellen Bedingungen der Landwirtschaft weitgehend abdecken, so daß evtl. nur geringfügige Modifikationen notwendig sind?

Ein Vergleich der in den Normen für die Prüfung gestellten Anforderungen mit den in der Landwirtschaft auftretenden Bedingungen zeigt, daß sich für feste Teilchen die SAE J 726 und die DIN 24 185 (Eurovent 4/5) sowie für gasförmige Schadstoffe die DIN 3181 gut auf Kabinenfilter anwenden lassen, wenn zusätzlich folgende Angaben gemacht werden:

1. Nachweis der mechanischen Festigkeit gegenüber Schwingungen (wird von einigen Firmen bereits durchgeführt),
2. Filterverhalten bei hoher Luftfeuchtigkeit,
3. Leckdichtigkeitstest des Filters und des Luftführungssystems.

## Schrifttum

Bücher sind durch ● gekennzeichnet

- [ 1 ] *Batel, W.*: Staubbelastung und Staubzusammensetzung an Arbeitsplätzen der landwirtschaftlichen Produktion und daraus abzuleitende Belastungsgrenzen und Staubschutzmaßnahmen. Grundl. Landtechnik Bd. 29 (1979) Nr. 2, S. 41/54.
- [ 2 ] *Batel, W.*: Staubbekämpfung beim Mähdrescher. Grundl. Landtechnik Bd. 27 (1977) Nr. 6, S. 173/83.
- [ 3 ] ISO/TC 23/SC 3 (Secr-126) N 226 Ad, August 1979. *Gustafsson, A. u. O. Norén*: Dust problems on operating machines in agriculture and forestry.
- [ 4 ] ISO/TC 23/SC 3 (UK 7) N 229 E July 1979. UK proposal for standard specification for forced air ventilation units fitted to tractor cabs and purpose-built spray cabs.
- [ 5 ] ● *Ulmer, W.T. u. G. Reichel (Hrsg.)*: Pneumokoniosen. Bd. 4, Teil 1 vom "Handbuch der Inneren Medizin" (Herausg. H. Schwiegk). 5. Aufl. Berlin, Heidelberg, New York: Springer 1976.
- [ 6 ] ● *Perera, F.P. u. A.K. Ahmed*: Respirable particles. Impact of airborne fine particulates on health and the environment. Cambridge, Mass.: Ballinger Publ. Co. 1979.
- [ 7 ] *Mürman, H.*: Prüfverfahren für Luftfilter. Wasser, Luft und Betrieb Bd. 19 (1975) Nr. 1, S. 9/14.
- [ 8 ] VDI 3677. Filternde Abscheider. Berlin: Beuth Verlag Juli 1980.
- [ 9 ] *Burk, A.*: Labortechnische Prüfungen von Luftfiltern für Lüftungs- und Klimatechnik. Wasser, Luft und Betrieb Bd. 9 (1965) Nr. 2, S. 102/107.
- [ 10 ] *Ochs, H.-J.*: Leistungsdaten und Leistungsgrenzen von Schwebstofffiltern. Wasser, Luft und Betrieb Bd. 24 (1980) Nr. 10, S. 29/30.
- [ 11 ] *Rabbel, G.*: Luftfiltertechnik heute. Klima-Kälte-Heizung Bd. 8 (1980) Nr. 9, S. 351/62.
- [ 12 ] DIN 24 185: Prüfung von Luftfiltern für die allgemeine Raumlufttechnik, Teil 1, Begriffe, Einheiten, Verfahren. Berlin: Beuth Verlag, Oktober 1980.
- [ 13 ] DIN 24 185: Prüfung von Luftfiltern für die allgemeine Raumlufttechnik, Teil 2, Filterklasseneinteilung, Kennzeichnung, Prüfung. Berlin: Beuth Verlag, Oktober 1980.
- [ 14 ] Eurovent 4/5: Prüfung von Luftfiltern für die Lüftungs- und Klimatechnik. Frankfurt: Maschinenbauverlag 1980.
- [ 15 ] ASHRAE-Standard 52-76: Method of testing air-cleaning devices used in general ventilation for removing particulate matter; New York February 1976.
- [ 16 ] SAE J726: Air cleaner test code; Sept. 1979.
- [ 17 ] BS 2831: Methods of test for air filters used in air conditioning and general ventilation; 1971.
- [ 18 ] DIN 24 184: Typprüfung von Schwebstofffiltern. Berlin: Beuth Verlag, Oktober 1974.
- [ 19 ] Eurovent 4/4: Flammenphotometrische Prüfung von Filtern mit einem Natriumchlorid-Aerosol. Frankfurt: Maschinenbauverlag 1976.
- [ 20 ] BS 3928: Method for sodium flame test for air filters; 1969.
- [ 21 ] US-MIL-STD 282: Filter units, protective clothing, gas-mask components and related products: performance-test methods; 1974.
- [ 22 ] Staubforschungsinstitut des Hauptverbandes der Gewerbl. Berufsgenossenschaften e.V., Bonn: Richtlinien zur Prüfung von Filtern für die Lüftungs- und Klimatechnik. Staub Bd. 21 (1961) Nr. 5, S. 206/11.
- [ 23 ] *Langmuir, I.*: Report 865 des Office of scientific research and development, Washington, DC, 1942.
- [ 24 ] *Friedlander, S.K.*: Theory of aerosol filtration. Ind. Engng. Chem. Bd. 50 (1958) Nr. 8, S. 1161/64.
- [ 25 ] DIN 3181: Atemfilter für Atemschutzgeräte. Berlin: Beuth Verlag, Februar 1973.
- [ 26 ] *Hofmann, W.M.*: Feuchtigkeitsaufnahme von Schwebstofffiltern. Heizung, Lüftung, Haustechnik Bd. 25 (1974) Nr. 3, S. 77/78.
- [ 27 ] *Hinz, T.*: Measurement of dust emission and determination of dust composition. Gesellschaft für Aerosolforschung 7 (1979), Tagungsband der 7. Konferenz Düsseldorf 3.-5. Okt. 1979, S. 108/12.
- [ 28 ] *Batel, W.*: Belastung des Arbeitsplatzes durch Wirkstoffe beim Ausbringen von Pflanzenbehandlungsmitteln. Grundl. Landtechnik Bd. 31 (1981) Nr. 3, S. 94/108.
- [ 29 ] *Batel, W.*: Belastung des Arbeitsplatzes beim Ausbringen von Pflanzenschutzmitteln durch Spritzen und Sprühen. Grundl. Landtechnik Bd. 32 (1982) Nr. 4, S. 113/24.
- [ 30 ] SWKI-Richtlinie Nr. 68-3: Klassifizierung, Testmethoden und Anwendung von Luftfiltern. Schweizerischer Verein von Wärme- und Klima-Ingenieuren (SWKI) Postfach 205, CH-8024 Zürich.