

Staubbelastung und Staubzusammensetzung an Arbeitsplätzen der landwirtschaftlichen Produktion und daraus abzuleitende Belastungsgrenzen und Staubschutzmaßnahmen

Von Wilhelm Batel, Braunschweig-Völkenrode*)

Mitteilung aus den Instituten für landtechnische Grundlagenforschung (Dir.: Prof. Dr.-Ing. W. Batel), für Bodenbiologie (Dir.: Prof. Dr. K. Domsch) und für Kleintierzucht (Dir.: Prof. Dr. R. Wegener) der Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft Braunschweig-Völkenrode

DK 631.5:613.6:628.511

Schadstoffe in der Luft am Arbeitsplatz gelangen im wesentlichen über den Respirationstrakt und die Haut in den Körper. Die dadurch verursachten Wirkungen überspannen den Bereich von der Belästigung über die Beeinträchtigung bis zur Erkrankung. Unter solchen Bedingungen hat der Arbeitgeber nach den bestehenden rechtlichen Bestimmungen dafür zu sorgen, daß die Gesundheit der Beschäftigten nicht gefährdet wird. Sinn-gemäße Auflagen gelten für den Hersteller von Maschinen. Dabei ist von gesicherten Erkenntnissen auszugehen, die man für luftfremde Stoffe u.a. in den MAK-Listen findet. Ziel dieser Arbeit ist abzuschätzen, ob in der Landwirtschaft Gefährdungen durch Staub möglich sind. Zu diesem Zweck ist neben den Belastungskollektiven die Staubzusammensetzung zu ermitteln. Sieht man von Pflanzenbehandlungsmitteln ab, so können nach der derzeitigen MAK-Liste Gefährdungen durch quarzhaltigen Feinstaub und inerten Feinstaub über 8 mg/m^3 auftreten. Solche Bedingungen können nach den Untersuchungen beim Bearbeiten trockener Böden und beim Mäh-dreschen mit größeren Schnittbreiten vorliegen. Dies bedingt Staubschutzmaßnahmen wie z.B. die dichte Fahrer-kabine oder personengetragene Mittel.

Inhalt

1. Einleitung
2. Ziel der Untersuchungen
3. Wirkungen von festen luftfremden Stoffen (Staub) auf den Menschen
 - 3.1 Kontaktbereiche am Körper
 - 3.2 Krankheitswirkungen von Staub
4. Rechtliche Aspekte bei einer Staubbelastung

*) Prof. Dr.-Ing. W. Batel ist Direktor des Instituts für landtechnische Grundlagenforschung der Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft, Braunschweig-Völkenrode.

5. Staubbelastung und Staubzusammensetzung
 - 5.1 Versuchsdurchführung
 - 5.2 Ermitteln der Staubbelastung am Arbeitsplatz
 - 5.3 Bestimmen der Teilchengröße und des Feinstaubanteils
 - 5.4 Analyse der chemischen Zusammensetzung
 - 5.5 Bestimmen der Keimzahlen (mikrobiologische Zusammensetzung)
 - 5.6 Zusammenstellung der Ergebnisse und Abschätzung von anzustrebenden Belastungsgrenzen
6. Staubschutzmaßnahmen in der landwirtschaftlichen Produktion
 - 6.1 Kapselung des Atemluftbereichs durch maschinenintegrierte Einrichtungen
 - 6.2 Kapselung des Atemluftbereichs durch personengetragene Geräte
 - 6.3 Kapselung der Staubquelle
7. Zusammenfassung

1. Einleitung

Unter Staub versteht man ein Kollektiv aus festen Teilchen beliebiger Form und Dichte der Größe zwischen 10^{-3} und $10^3 \mu\text{m}$. Vorliegen können die Teilchen als Haufwerk wie Getreidemehl, Milchpulver und Zement oder in Gas dispergiert, beispielsweise als unerwünschte Beimengungen in der Luft, also als feste luftfremde Stoffe.

Dieser Bericht befaßt sich nur mit der zuletzt genannten Verteilung.

Es ist bekannt, daß Staub in dieser Verteilung nachteilige Wirkungen auf den Menschen ausüben kann. Die Art der Wirkung ergibt sich aus den Kontaktbereichen, der Staubkonzentration und der stofflichen Zusammensetzung. Dabei interessieren insbesondere jene Wirkungen, die das Wohlbefinden und die Leistungsfähigkeit des Menschen beeinträchtigen und die Gesundheit gefährden. Über solche Wirkungen von Staub auf den Menschen am Arbeitsplatz liegen für die industrielle Produktion vergleichsweise umfangreiche und oft auch hinreichend gesicherte Erkenntnisse vor. So ist zu verstehen, daß man für viele Produktionsbereiche Grenzwerte für die zulässige Staubkonzentration festlegen konnte. Für die landwirtschaftliche Produktion liegt ein vergleichbarer Wissensstand noch nicht vor.

2. Ziel der Untersuchungen

Um einen Beitrag über die Staubwirkung auf den Menschen für diese Produktion zu liefern, werden die Staubbelastung und ein Erkrankungsrisiko beinhaltende physikalische, chemische und mikrobiologische Staubeigenschaften für verschiedene Produktionsabläufe ermittelt. Dabei ist zu bedenken, daß der Staub aus mineralischen Teilchen, Mikroorganismen wie Bakterien und Pilze, Teilchen von Pflanzen und Pflanzenbehandlungs- oder Düngemitteln in flüssiger und fester Form bestehen kann.

Mit solchen Daten und den gesicherten arbeitsmedizinischen Erkenntnissen über stoffabhängige Staubwirkungen läßt sich abschätzen, ob Beeinträchtigungen oder Gefährdungen durch Staub für landwirtschaftliche Arbeitsplätze gegeben und ob Staubschutzmaßnahmen anzustreben sind.

3. Wirkungen von festen luftfremden Stoffen (Staub) auf den Menschen

3.1 Kontaktbereiche am Körper

Die Kontaktbereiche der festen, luftfremden Stoffe mit dem Menschen sind die Haut, die Augen und die Luftwege. Zu den oberen Luftwegen gehören die Nasenhöhle, die Mundhöhle und der Rachenraum. Die unteren Luftwege umfassen die Luftröhre, die Bronchien und die Alveolen, **Bild 1**. Die Bronchien sind die Äste der Luftröhre. Sie sind mit einem Flimmerepithel, einer serösen Unterschicht und einer darüber liegenden Schleimschicht ausgekleidet, die über schleimbildende Endzellen und Drüsen gespeist wird. Das Flimmerepithel transportiert den Schleim und damit auch die dort abgeschiedenen luftfremden Stoffe in die Mundhöhle. Dieser Abreinigungsmechanismus ist u.a. deshalb wichtig für die Erhaltung der Gesundheit, weil eine Überlastung oder Störung Risikofaktoren beinhaltet [1].

Den bisher angesprochenen Bronchien nachgeschaltet sind die Bronchioli respiratorii, die übergehen in die Alveolensäcke mit den Lungenbläschen oder Alveolen, **Bild 2**. Hier findet der Stoffaustausch statt, nämlich die O_2 -Aufnahme und die CO_2 -Abgabe. Die Alveolen besitzen kein Flimmerepithel. Die Abwehr der hier abgeschiedenen Teilchen übernehmen Phagozyten. Daneben existiert auch noch eine lymphogene Reinigung [1].

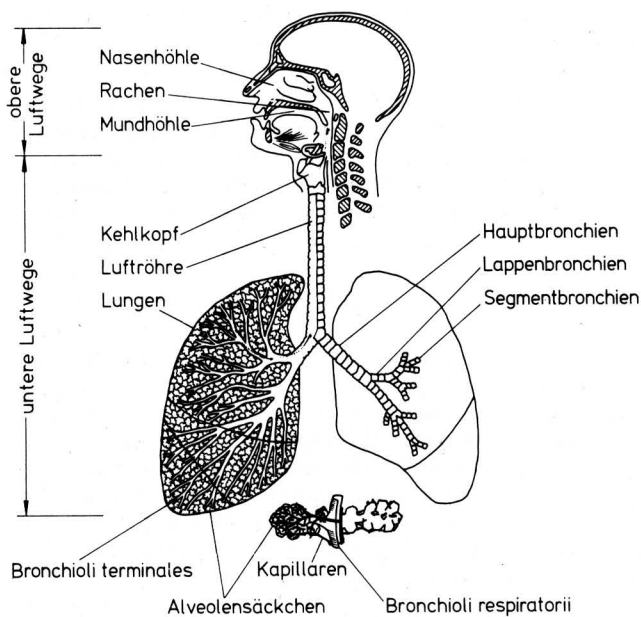


Bild 1. Respirationstrakt des Menschen, schematisch.

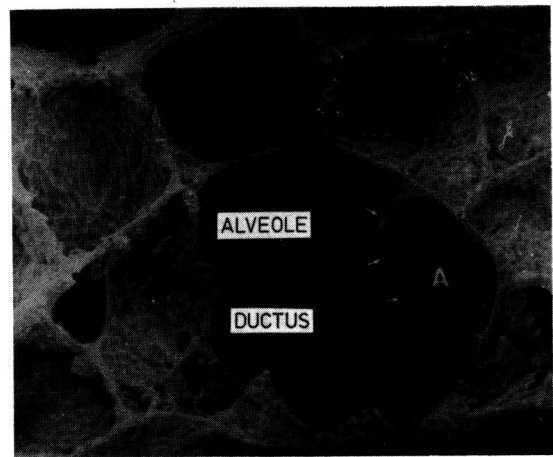


Bild 2. Schnitt durch Alveolen, nach J. B. West [2].

Die Struktur der Luftwege oder des Respirationstraktes ist für die anstehenden Fragen insofern von Bedeutung, als davon die Eindringtiefe der Staubteilchen abhängt, **Bild 3**. Eingeatmet werden Teilchen, die kleiner als etwa $60 \mu m$ sind. Dies ist der atembare Staub. Von diesem atembaren Staub werden die Teilchen größer etwa $20 \mu m$ im Nasen-, Mund- und Rachenraum abgeschieden, während die kleineren Teilchen in die Bronchien gelangen. In die Alveolen schließlich gelangen nur Teilchen unter etwa $5 \mu m$. Diesen Anteil an Staub nennt man alveolengängig oder auch Feinstaub. Der atembare Staub ist identisch mit dem Gesamtstaub, so daß die in **Bild 4** zusammengestellten Benennungen üblich sind. Die gesundheitlichen Auswirkungen von Staub sind also auch teilchengrößenabhängig. Die Aufteilung in Grob- und Feinstaub geschieht meist bei der Probenahme zur Staubgehaltsmessung (s. auch 5.3).

Es ist nun zu fragen, welche Schadstoffe im Staub zu Erkrankungen führen können.

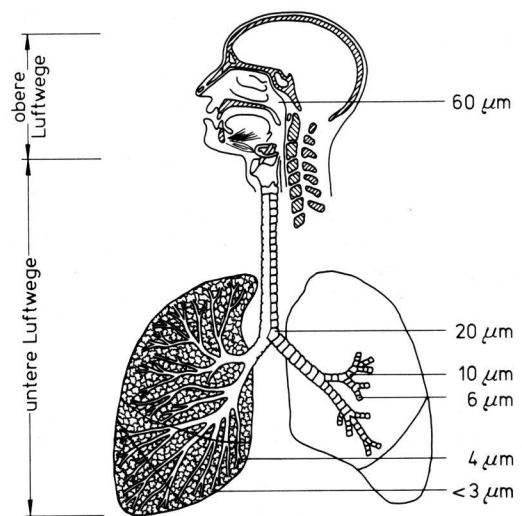


Bild 3. Eindringtiefe von Staubteilchen in den Respirationstrakt.

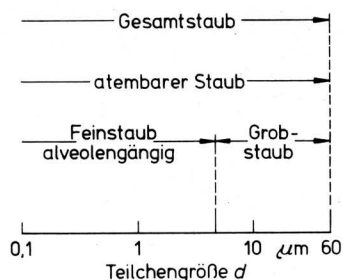


Bild 4. Benennungen für Staub. Die eingezeichneten Grenzen sind nur Richtwerte und abhängig von der Dichte der Teilchen, zum Feinstaub s. Abschnitt 5.3.

3.2 Krankheitswirkungen von Staub [1]

Bezüglich der stofflichen Wirkungen unterscheidet man inerte, allergene, fibrogene, toxische und cancerogene Stäube.

Die inerten Stäube beinhalten kein direktes Erkrankungsrisiko. Sie können aber, soweit sie alveolengängig sind, den Stoffaustausch behindern und damit das Wohlbefinden und die Leistungsfähigkeit des Menschen beeinträchtigen. Des Weiteren belasten sie die Reinigungsmechanismen.

Allergen nennt man Stäube, die nach Sensibilisierung der Haut oder der Atemwege zu allergischen Erscheinungen führen (Antigen-Antikörperreaktion).

Fibrogen sind Stäube, die Staublungenerkrankungen verbunden mit Bindegewebsbildung verursachen können. Die bekannteste Erkrankung dieser Art ist die Quarzstaublunge oder Silikose.

Toxisch nennt man Stäube, die nach Aufnahme in den Körper zu Giftwirkungen für verschiedene Organe führen.

Zu den cancerogenen, also krebserzeugenden Stoffen gehören beispielsweise Arsen, Asbest, Chromate und Nickel.

Tafel 1 gibt einen sehr knappen Überblick über Erkrankungen durch Schadstoffe im Staub, soweit sie für die landwirtschaftliche Produktion relevant sind. Die Silikose oder Quarzstaublunge ist vor allem vom Bergbau her bekannt. Sie wird hervorgerufen durch freies kristallines SiO_2 . Da auch landwirtschaftliche Stäube quarzhaltig sein können, sind entsprechende Erkrankungen nicht auszuschließen.

Die Farmerlunge in leichter Form ist eine Allergie, die in eine Fibrose übergehen kann. Vergleichsweise bekannt ist der Heuschnupfen, verursacht durch verschiedene Pollenarten. Auch Federn, Tierhaare oder Hautteilchen können zu Allergien führen. Zu nennen ist in diesem Zusammenhang die Hühner- oder Taubenzüchterlunge. Eine kürzlich anerkannte Berufskrankheit ist die Byssinose. In der Welt sind einige hunderttausend Beschäftigte in der Baumwollverarbeitung byssinosegefährdet. Ursächlich für die weit verbreiteten Allergien sind organische Komponenten im Staub. Toxisch können bestimmte Pflanzenbehandlungs- und Düngemittel wirken.

Einige vergleichende statistische Ergebnisse über solche Erkrankungen [3] liegen u.a. aus der Sowjetunion vor [4]. Danach treten bei Landarbeitern, die mit Pflanzenstaub in Berührung kommen, Allergien viermal häufiger auf als bei einer Kontrollgruppe. Bei der Invalidität russischer Landarbeiter stehen Krankheiten der Atemwege an zweiter Stelle, bei Kontrollgruppen an vierter Stelle. Mähdrescher- und Schlepperfahrer erkranken häufiger an Bronchitis als andere landwirtschaftliche Arbeiter.

Aus der Bundesrepublik ist bekannt, daß bei den in der Landwirtschaft Beschäftigten etwa 20 % der Krankheiten solche der Atemwege sind, so daß eine zusätzliche Belastung durch Staub zu vermeiden ist.

Schadstoff			Wirkung	
Herkunft	Stoffgruppe	Stoff	Wirkung	Erkrankung
Boden	Minerale	Quarz (freies kristallines SiO_2)	fibrogen	Silikose
lebende Organismen (Pflanze, Tier, Boden)	Pilze Aktinomyzeten Bakterien	thermophile Aktinomyzeten	allergen (fibrogen)	Farmerlunge
		verschiedene Pollen	allergen	Heuschnupfen
	Partikeln von Tieren	Federn, Hautteile	allergen	Hühnerzüchterlunge
		Pflanzenteile	Baumwollpartikeln	toxisch (allergen)
Pflanzenbehandlungsmittel*	verschiedene chemische Mittel	Phosphorsäureester**	toxisch (ätzend)	Vergiftung
		Chlorkohlenwasserstoffe**	toxisch (ätzend)	Vergiftung
		Thomaspophosphat	toxisch (ätzend)	Vergiftung
Düngemittel		Kalkstickstoff	toxisch (ätzend)	Vergiftung

* Herbizide, Fungizide, Bakterizide, Pestizide
** und andere chemische Verbindungen.

Tafel 1. Übersicht über Schadstoffe, die zu Erkrankungen führen können.

4. Rechtliche Aspekte bei einer Staubbelastung

Sind beim arbeitenden Menschen Risikofaktoren für eine Erkrankung durch luftfremde Stoffe gegeben, so sind die Arbeitsschutzbestimmungen zu beachten [5]. Zu nennen sind u.a. das Gesetz für technische Arbeitsmittel (GtA), die Verordnung über gefährliche Arbeitsstoffe (ArbStoffV), die Arbeitsstättenverordnung (ArbStättV), das Arbeitssicherheitsgesetz (ASiG), die Unfallverhütungsvorschriften (UVV), die Reichsversicherungsordnung (RVO), die Gewerbeordnung (GewO) und die Gesetzbücher (BGB: HGB).

Das Gesetz über technische Arbeitsmittel verpflichtet vor allem den Hersteller von Maschinen. Danach müssen die in den Verkehr gebrachten technischen Geräte so beschaffen sein, daß sie bei bestimmungsgemäßer Verwendung keine Gefahr für Leben oder Gesundheit der Benutzer bewirken.

Für den Landwirt ist im Hinblick auf die Staubeinwirkung die Arbeitsstoffverordnung von besonderer Bedeutung. Danach hat der Arbeitgeber grundsätzlich dafür zu sorgen, daß während der Produktion keine Gefährdung seiner Gesundheit oder der von Beschäftigten auftritt, wobei von gesicherten Erkenntnissen auszugehen ist.

Von welchen arbeitsmedizinisch gesicherten Erkenntnissen über die Gefährdung durch Staub müssen nun Landwirte und Hersteller ausgehen? Dazu steht als Kriterium vor allem die Maximale Arbeitsplatzkonzentration oder der MAK-Wert zur Verfügung [6]. "Der MAK-Wert ist die höchstzulässige Konzentration eines Arbeitsstoffes als Gas, Dampf oder Schwebstoff in der Luft am Arbeitsplatz, die nach dem gegenwärtigen Stand der Kenntnis auch bei wiederholter langfristiger, in der Regel täglich 8stündiger Einwirkung, jedoch bei Einhaltung einer durchschnittlichen Wochenarbeitszeit bis zu 45 Stunden, im allgemeinen die Gesundheit der Beschäftigten nicht beeinträchtigt und diese nicht unangemessen belastigt".

In der vorliegenden MAK-Liste sind im wesentlichen reine Stoffe aufgeführt. Die hieraus entnommenen, für die Landwirtschaft in Frage kommenden Werte zeigen **Tafel 2 und 3**. Von den Komponenten im Staub, der vom Boden, von Pflanzen und von Tieren stammt, sind in der MAK-Liste derzeit nur Quarz und inerter Staub aufgeführt, **Tafel 2**. Der MAK-Wert für quarzhaltigen Staub beträgt $0,15 \text{ mg/m}^3$ Quarzfeinstaub, bei niedrigem Quarzgehalt (über 1 Gew.-% Quarz) nicht über $4 \text{ mg Feinstaub pro m}^3$, **Bild 5**. Wesentlich zahlreicher in der MAK-Liste sind die Stoffe, die in der Landwirtschaft als chemische Produktionsmittel beispielsweise zum Pflanzenschutz eingesetzt werden, **Tafel 3**.

Stoff	MAK-Wert für Feinstaub mg/m^3
Inerter Staub	8
Quarz	0,15
Quarzhaltige Stäube (Massenanteil des Quarzes zwischen 1 % und 3,75 %)	4

Tafel 2. MAK-Werte für luftfremde Stoffe, die während der landwirtschaftlichen Produktion aus Naturstoffen (Boden, Pflanze, Tier) anfallen oder entstehen.

Wirkstoff ¹⁾	Wirkstoffgruppe ¹⁾	Beispiel f. Präparat und Hersteller ²⁾	Anwendung		Wirkstoffm. kg/ha	MAK-Wert		Kennz. d. Gefahr ⁵⁾	Empf. Schutz- maßn. ⁶⁾	Bemerkung
			Wirk. ³⁾ Ber.	Eins. ⁴⁾ Geb.		ppm.	mg/m^3			
Äthylen-oxid (Oxiran)		Cartox DEG, HLI, TES	I	V	4-6 g/100 kg		50 90	3 E	2;3;7	Vorrats- schutz
Aldrin	chlorierte Kohlenwasserstoffe	Aglutox-Streumittel Aldrin-Streumittel	I	W			0,25	1 EVH	1;3;4;5	nur Wein- bau
Allyl-alkohol	ungesättigte Alkohole	Shell Unkrauttod A	H	G,Z	ca. 200		2 5	2 EVH	2;3;4;5; 6	Gießmittel
1-Naphthylthioharnstoff (Antu)	Thioharnstoff-Derivate	Alpharattan HEN	R	V			0,3	2 V	1;3	Streupulver
Azinphosmethyl (Demeton-S-methyl-Sulfon)	organ.Phosphorverbindung	Gusathion BAY	I;A	G,O, Z	1,2-2,4		0,2	3 EVH	2;3;4;5	
Carbaryl	Carbamate	KWP 61 PDD, BAS, CME	I	W			5	1 VH	1;3;4;5	Spritz- u. Stäubemittel
Chlorpikrin	Chlor-Nitro-Verbindung		N				0,1 0,7	3 EVH	2;3;4;7	Bodenent- seuchung
Cyanamid	Cyanide	Alzodef SKW		H	8 ml/Pfl.		5			Hopfen
Demeton-S-methyl	organ.Phosphorverbindung	Metasystox (i) BAY	I;A	A,H	0,15-0,3		0,5 5	1 EVH	1;3;4;5	Spritzmittel
Diazinon	organ.Phosphorverbindung	Basudin 40 Spritzpulver CGD	I;A	A	0,24-0,8		1	1 VH	1;3;4;5	Spritzmittel
DDVP (Dichlorvos)	organ.Phosphorverbindung	Nogos 50 EC CGD	I;A	A,H	0,3		0,1 1	1 EVH	2;3;4;5	Spritzmittel
Endrin	chlor. Kohlenwasserstoffe	Mäuse-Kindrin 391 MAR	R	O	0,37		0,1	3 EVH	2;3;4;5; 6	Spritzmittel
Fentinacetat	organ. Zinnverbindung	Brestan 60 HOE	F	G,A, H	0,4-0,6		0,1	2 EV	2;3;4;5	Spritzmittel
Fentinhydroxid	organ. Zinnverbindung		F				0,1	2 EVH	2;3;4;5	
Heptachlor	chlor. Kohlenwasserstoffe	Agronex-Hepta CME	I	A	125-400 g/100 kg		0,5	1 EVH, 6	2;3;4;5; 7	Beizmittel
γ Hexachlorocyclohexan (Lindan)	chlor. Kohlenwasserstoffe	Agronex CME	I;A	A	50-160 g/100 kg		0,5	1 EVH	1;3;4;5	Spritz-, Stäube- u. Beizmittel

Wirkstoff ¹⁾	Wirkstoffgruppe ¹⁾	Beispiel f. Präparat und Hersteller ²⁾	Anwendung		Wirkstoffm. kg/ha	MAK-Wert		Kennz. d. Gefahr ⁵⁾	Empf. Schutzmaßn. ⁶⁾	Bemerkung
			Wirk. Ber. ³⁾	Eins. Geb. ⁴⁾		ppm.	mg/m ³			
Malathion	organ. Phosphorverbindung	Detia Stäubol DEL	I;A	G,O	0,7		15	1 VH	1;3;4;5	Stäubemittel
Methoxychlor	chlor. Kohlenwasserstoffe	Methoxychlor N 200 CGD	I	A	1		15	1 V	1;3;4;5	Spritzmittel
Methylbromid		Detia-Gas-Ex-M, DEL, VOR, Haltox, HLI, TES	I;N	V	16-30 g/m ³		20 80	3 EH, 7	2;3;7	Begasungsmittel
Nicotin	Pyridin-Derivate	Hansa-Nikotin	I;N	Z	20 ml/100 m ³		0,07 0,5	3 EVH	2;3;4;5;6	Spritzmittel
Paraquat	Dipyridinium-Derivate	Gramoxone ICI, SCH	H	A,R,H	0,4-1		0,1	2 EVH	2;3;4;5;6	Spritzmittel
Parathion	organ. Phosphorverbindung	E 605 forte BAY	I;A	G,O,Z,A	0,1-0,3		0,1	3 EVH	2;3;4;5;6	Spritzmittel
Pyrethrum	Naturstoffe	Blitol-Insektenfrei SPI, URA	I	G,O,Z	0,01-0,02		5	1 V, 4; 5	1;3;4;5	Spritzmittel
Quecksilber u. seine org. Verbind.	organ. Quecksilberverbind.	Ceresan-Morkit-Spezial BAY	F	A	3,5-7 g/100 kg		0,01 0,1	3 EVH, 5	2;3;5;6	Beizmittel
Schwefel u. seine Verbind.	elementarer Schwefel	Pirox ASU, PRO	F	Z	1,35		je n. Kombi. 0,025-1000 0,25-6000	1 V, 4	1;3;4;5	Netzschwefel für Spritzmittel
Sulfotep (TEDP)	organ. Phosphorverbindung	Bladafum I BAY	I;A	Z	1-3 Dosen/100 m ³		0,015 0,2	3 EH	2;3;4;7	Räucher- mittel
Thiram (TMTD)	Thiurame	AAthiram ASU	F	A,G	2-4 g/kg		5	1 VH, 4	1;3;4;5	Kombination mit Beizmittel
2,4,5-Trichlorphenoxyessigsäure	chlor. Phenoxy-carbonsäuren	Celatox-DPT CME	H	A	0,4		10	1 VH, 4	1;3;4;5	Spritzmittel

- 1) Chemische Zusammensetzung, Toxizität und Therapie siehe *Klimmer* [8]
- 2) Die Abkürzungen unter den Pflanzenschutzmitteln wie z.B. BAY, CME, HOE usw. sind Kennzeichen für Hersteller bzw. Vertriebsunternehmen nach dem Pflanzenschutzmittelverzeichnis der BBA.
- 3) Wirkungsbereich:
A: Akarizid
F: Fungizid
H: Herbizid
I: Insektizid
N: Nematizid
R: Rodentizid
- 4) Einsatzgebiet:
A: Ackerbau
F: Forst
G: Gemüsebau
H: Hopfenbau
O: Obstbau
R: Wiesen und Weiden
V: Vorratsschutz
W: Weinbau
Z: Zierpflanzenbau
- 5) Kennzeichnung der Gefahr:
1 gesundheitsschädlich
2 Vergiftungsgefahr
3 ernste Vergiftungsgefahr
4 reizt Augen, Haut und Atemwege
5 Gefahr der Sensibilisierung
6 krebserregend
7 Gefahr kumulativer Wirkung
- bei { E Einatmen
V Verschlucken
H Hautkontakt
- 6) Empfohlene Schutzmaßnahmen:
1 Schutzkleidung 1 tragen
2 Schutzkleidung 2 tragen
3 Handschuhe tragen
4 Schutzbrille tragen
5 Aufenthalt im Spritznebel (Staubwolke) vermeiden
6 bei ungünstigem Wetter Atemschutz anlegen
7 Atemschutz anlegen

Tafel 3. MAK-Werte, soweit sie für in der Bundesrepublik Deutschland zugelassene Pflanzenschutzmittel vorliegen [6, 7, 8].

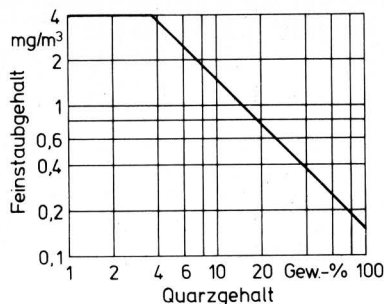


Bild 5. Zulässiger Feinstaubgehalt am Arbeitsplatz in Abhängigkeit vom Quarzgehalt im Feinstaub, nach MAK-Liste.

Zum MAK-Wert ist noch zu erwähnen, daß es sich nicht um einen zulässigen Höchstwert handelt wie beim Lärm, sondern um eine Dauerbelastung mit der Aussage, daß bei ihrer Einhaltung nach dem derzeitigen Stand des Wissens keine Gefährdung des Menschen auftritt.

Aus der Existenz der Liste darf man nicht den Schluß ziehen, daß die darin nicht aufgeführten, als nicht inert bekannten Stoffe ungefährlich sind.

Für die landwirtschaftliche Produktion bleiben hinsichtlich der MAK-Werte Fragen offen: Der auftretende Staub ist abgesehen von Pflanzenbehandlungs- und Düngemitteln stets eine Mischung aus vielen Komponenten. Über die Wirkungen auf den Menschen in solchen Kombinationen liegen noch keine gesicherten Erkenntnisse vor [9]. Des weiteren ist die Expositionsdauer in der Landwirtschaft sehr unterschiedlich, aber in jedem Fall niedriger als bei den angenommenen Bedingungen für den MAK-Wert. Hieraus folgt, daß man sich bei Einhaltung der MAK-Werte auf der sicheren Seite befindet.

Nach diesen Vorbemerkungen ist zu fragen: Wie hoch ist die Staubbelastung, die Expositionsdauer, der Feinstaubanteil (die Alveolengängigkeit) und der Schadstoffgehalt im Staub aus landwirtschaftlicher Produktion?

Dabei muß aus Platzgründen eine Beschränkung erfolgen. So werden diese Fragen für die Arbeitsplätze bei den Produktionsabschnitten Bodenbearbeiten, Mähreschen, Getreidetrocknen, Heuwerben sowie Tierproduktion Schwein, Huhn und Rind behandelt. Über die Belastung an Arbeitsplätzen beim Ausbringen von Pflanzenbehandlungs- und Düngemitteln, also von zugelassenen Stoffen mit bekannter chemischer Zusammensetzung und Wirkung, wird später insbesondere auch im Hinblick auf die Möglichkeiten zur Einhaltung vorgeschriebener Schutzforderungen berichtet.

5. Staubbelastung und Zusammensetzung von Staub bei der landwirtschaftlichen Produktion

5.1 Versuchsdurchführung

Für die anstehenden Untersuchungen sind Staubproben am Arbeitsplatz und dort im Atembereich zu entnehmen. Dazu wird das Staubsammelgerät EM 100 der Fa. Sartorius, Göttingen, mit handelsüblichen und vom Institut entwickelten Probenahmeköpfen benutzt, Bild 6, [10]. Die Gesamtstaubmenge wird mit dem links im Bild dargestellten Kopf und Glasfaserfilter nach der gravimetrischen Methode ermittelt. Die Probenahme für die Untersuchung der physikalischen, chemischen und mikrobiologischen Staubeigenschaften erfolgt nacheinander in 4 Stufen bei gleichen Produktionsbedingungen und mittleren Dauerbelastungen.

- Messen der Grob- und Feinstaubkonzentration und damit der Gesamtstaubkonzentration mit Axialzyklon und Glasfaserfilter, (in Bildmitte).
- Wie Punkt a, jedoch mit Membranfilter. Probe zum Bestimmen des Quarzgehaltes im Feinstaub.

- Messen mit 5fach-Filterkopf, rechts im Bild 6
 Probe 1: Gesamtstaubkonzentration
 Probe 2: Teilchengrößenanalyse
 Probe 3 bis 5: Mikrobiologische Untersuchung.
- Staubprobe auf Membranfilter für die chemische Analyse, links in Bild 6.

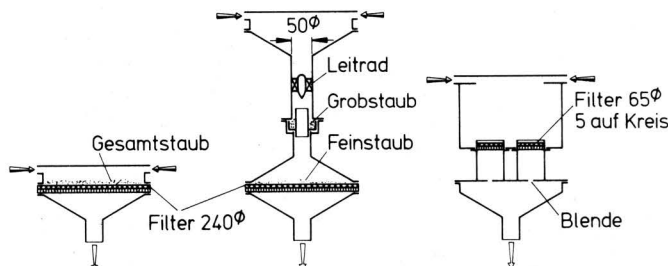


Bild 6. Für die Versuche eingesetzte Probenahmeköpfe.

5.2 Ermitteln der Staubbelastung am Arbeitsplatz

Staubbelastung ist die Staubkonzentration (der Staubgehalt) in der Luft am Arbeitsplatz (mg/m^3). Der gesamte erfaßte Staub (Gesamtstaub) ist atembar. Dies wird durch eine Einströmgeschwindigkeit in den Probenehmer von etwa $1,25 \text{ m/s}$ erreicht. Der momentane Staubgehalt (gemessen über einige Minuten) wird mit ζ , der für eine längere Dauer und ohne Arbeitspause mit ζ_D bezeichnet.

Wegen stark unterschiedlicher Bedingungen in den Betrieben und sehr verschiedener Betriebsmittel schwankt die Staubbelastung für den Arbeitsplatz einer bestimmten Produktion erheblich. Man muß daher von Belastungskollektiven ausgehen. Charakteristische Werte solcher Belastungskollektive, nämlich die 0-, 50-, 75- und 100 %-Werte der Summenhäufigkeit, sind in Bild 7 für das Bodenbearbeiten, das Mähreschen, das Getreidetrocknen und das Heuwerben dargestellt. Ein großer Teil der diesen Kollektiven zugrundeliegenden Meßwerte entstammt schon früher veröffentlichten Arbeiten [11, 12]. Da sich die Bodenbearbeitung aus mehreren Stufen zusammensetzt, wurden die entsprechenden Anteile von Pflügen, Grubbern usw. entsprechend gewichtet.

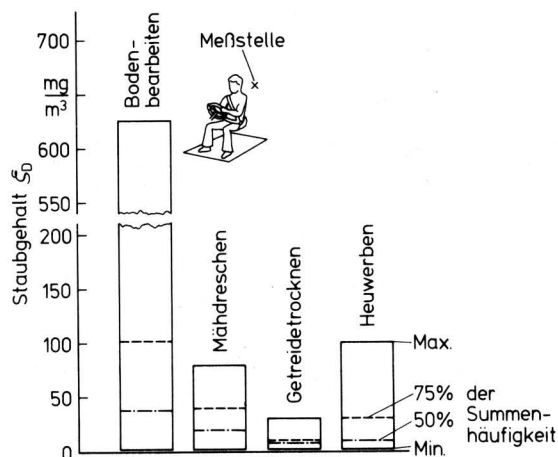


Bild 7. 0-, 50-, 75- und 100 %-Werte der Summenhäufigkeit der Staubbauerbelastung verschiedener Produktionsabschnitte.

Danach liegt der 50 %-Wert der Dauerbelastung beim Bodenbearbeiten bei etwa 40 mg/m^3 Gesamtstaub. Dabei ist der Anteil der Bodenbearbeitung ohne Staubbelastung wegen entsprechender Bodenfeuchtigkeit nicht berücksichtigt, so daß die eingesetzte Expositionsdauer einen Grenzfall erfaßt. Die wirkliche Belastung liegt abhängig von den Bodeneigenschaften und den Wetterbedingungen niedriger. Für das Mähreschen ergibt sich ein 50 %-Wert von etwa 20 mg/m^3 . Diesen Wert erhält man auch auf einem anderen Weg:

Es stehen Werte der Staubbelastung am Arbeitsplatz in Abhängigkeit von sehr vielen Einflußfaktoren zur Verfügung [13]. So zeigt Bild 8 beispielsweise den Zusammenhang zwischen Schnittbreite und Fahrerbelastung für verschiedene Bestandsarten. Geht man von einem mittleren Bestand und von Schnittbreiten von $2,5\text{--}5 \text{ m}$ aus, so ergeben sich maximale Dauerbelastungen ζ_{Dm} von $70\text{--}100 \text{ mg/m}^3$. Die maximale Dauerbelastung (entspricht sinngemäß dem 100 %-Wert) tritt auf bei einer Folge von Fahrten mit Gegen- und Rückenwind. Für die Praxis sind alle Wind- und Fahrtrichtungen gleichwertig. Daraus folgt, daß die mittlere Dauerbelastung bei etwa $20\text{--}40 \%$ der höchstmöglichen Dauerbelastung liegt. So ergibt sich ein 50 %-Wert der Summenhäufigkeitskurve von $15\text{--}40 \text{ mg/m}^3$ abhängig von der Schnittbreite. Die so erhaltenen Werte haben den Vorteil, daß man Kausalitäten im Bereich des Kollektivs erkennen kann.

Beim Getreidetrocknen ergeben sich 7 mg/m^3 und beim Heuwerden 10 mg/m^3 als 50 %-Werte.

Für die Tierproduktion wurden die Belastungskollektive unter Berücksichtigung der Konzentrationsverläufe über den Tag (ohne Nacht), Bild 9, und im Jahresablauf [12] ermittelt, Bild 10.

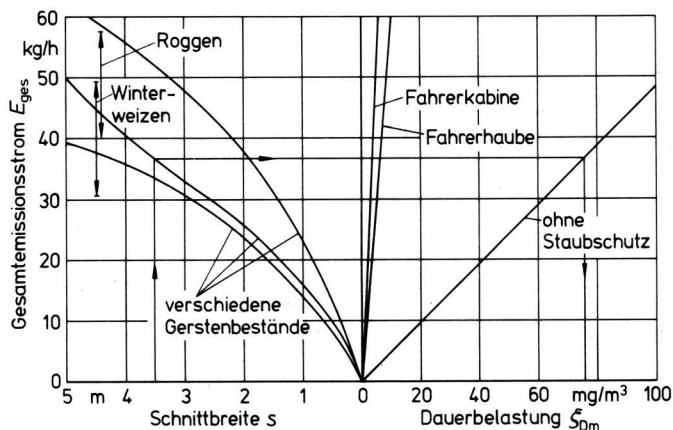


Bild 8. Höchste, mögliche Dauerbelastung ζ_{Dm} beim Mähreschen in Abhängigkeit von der Schnittbreite bei verschiedenen Getreidebeständen, $\alpha = [0^\circ \text{ u. } 180^\circ] \pm 30^\circ$.

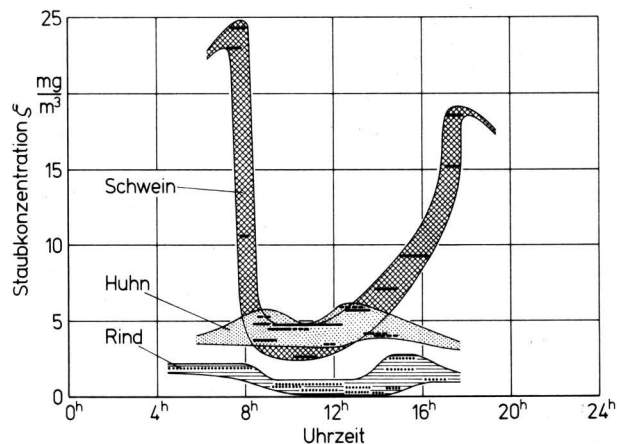


Bild 9. Staubgehalt in Tierställen, Bauarten s. Bild 10, im Verlauf eines Tages.

Für allgemeine Erörterungen darf man die 50 %-Werte als repräsentative Belastungen ansehen. Man muß aber beachten, daß systematische Abweichungen nach oben und unten möglich sind, wie am Beispiel des Mähreschens gezeigt wurde.

Die Zusammenstellung der 100 %- und 50 %-Werte der Belastungskollektive zeigen Zeile 1 und 2 in Tafel 4.

Zahlenmäßig vergleichbare Belastungen in der industriellen Produktion werden dort als mittelstark bis stark bezeichnet. Es besteht aber ein wesentlicher Unterschied. Der Anteil der Arbeitstage mit entsprechender Staubbelastung ist in der Landwirtschaft wesentlich niedriger.

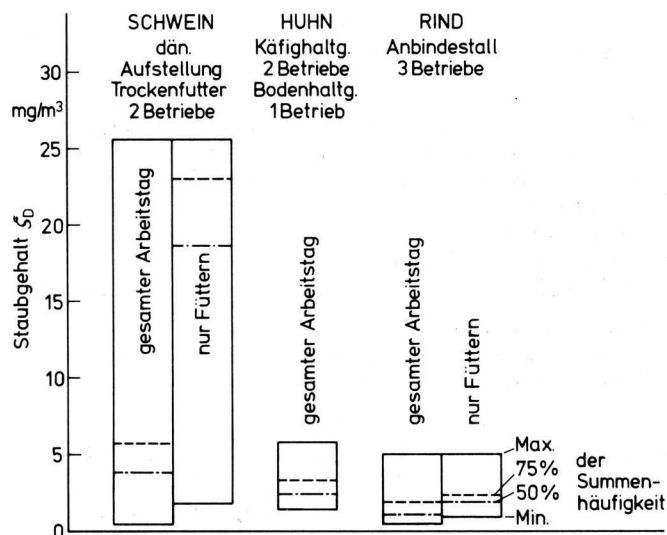


Bild 10. 0-, 50-, 75- und 100 %-Werte der Summenhäufigkeit der Staubdauerbelastung an Arbeitsplätzen der Tierproduktion.

5.3 Bestimmen der Teilchengröße und des Feinstaubanteils

Da der Staub aus Teilchen unterschiedlicher Dichte $1 < \rho < 3 \text{ g/cm}^3$ besteht und die Größe meist unter $60 \mu\text{m}$ liegt, stehen nur wenige Methoden zur Teilchengrößenanalyse zur Verfügung. Geeignet sind nämlich nur die Zählverfahren, bei denen jedes einzelne Teilchen erfaßt und ausgemessen wird. Dies ist möglich mit mikroskopischen Mitteln (mittelbare Zählverfahren) und Teilchenzählern (unmittelbare Zählverfahren). Verwendet wird der Coulter-Teilchenzähler. Dazu wird das Membranfilter mit der Staubprobe in Methanol gelöst und die Suspension untersucht. Einige Kurven der Teilchengrößenverteilung zeigen Bild 11 und 12. Die Verteilungen sind vergleichsweise breit, weil an den Arbeitsplätzen oft auch stärkere Luftströmungen auftreten.

Die häufigsten Teilchengrößen liegen zwischen 5 und $12 \mu\text{m}$ und die d_{p50} -Werte zwischen 10 und $15 \mu\text{m}$. (Der d_{p50} -Wert teilt die Fläche unter der Häufigkeitskurve in zwei flächengleiche Teile).

Beim Mähreschen ist der Staub bei Gegenwind feiner als bei Rückenwind und an allen Arbeitsplätzen umso gröber, je stärker der Wind ist. Ferner werden fast keine Teilchen $d > 60 \mu\text{m}$ beobachtet, so daß, wie schon erwähnt, Gesamtstaub und atembare Staub identisch sind. (Für Fahrerkabinen s. Abschn. 6).

Der besonders interessierende Anteil alveolengängigen Staubs läßt sich aus der Teilchengrößenverteilung errechnen. Nach der Johannsburger Konvention sind

- 1,5 μm -Teilchen zu 95 %
- 3,5 μm -Teilchen zu 75 %
- 5 μm -Teilchen zu 50 % und
- 7,1 μm -Teilchen zu 0 %

dem Feinstaub zuzuordnen, wenn die Dichte 1 g/cm^3 beträgt.

Nr.				Pflanzenproduktion						Tierproduktion 12 Std. pro Tag			in geschlossener Fahrerkabine				
				Bodenbearb.		Mähreschen			Getreidetr.	Heu-	Schwein	Huhn	Rind	Bodenbearb.		Mähreschen	
	Dauer-	max.	mg/m ³	Sand	Lehm	Gerste	Roggen	Weizen	(Durchlauf)	werben				Sand	Lehm	Gerste	Weizen
1	belast.			625		80			30	100	25,5	5,7	5	1,5-4		1,5-4	
2	ζ _D	mittl. 50%-Wert	mg/m ³	40		20			7	10	3,8	2,4	1	<0,5		<0,5	
3		Feinst.anteil A _F	%	6	7	12	9	9	12	6	12	9	12	6-30	7-30	9-30	
4		Teilchengr. d _{D50}	μm	14	12,5	13	13,5	15	14	15	11,5	11	14	8	6	8	10
5		Quarzgeh.i.Feinst.	%	25	22	<1	2	1	<1	<1	1	2	3,5	15	16	<1	<1
6*		organ. Anteil	%	30	40	88	78	76	85	80	86	90	83	38	57	80	87
7*	Keim- gehalt	Pilze	10 ³ m ³	220	900	5800	5800	2800	600	660	1	1	100	170	100	110	110
8*		Bakterien		13	26	33000	180	29000	400	37000	870	530	500	12	20	20	10
9*		Bakterien		3700	12200	180000	12500	40000	7200	—	4000	1400	2000	2100	1500	7200	3600
10		zul. Feinstaub	mg/m ³	0,6	0,61	4			8	8	4	4	4	0,93		8	
11		zul. Gesamtstaub	mg/m ³	10	8,7	33			66	133	33	44	33	3		26	

*) Nr. 6 bis 9: ermittelt aus Gesamtstaub
 Nr. 8: mesophile Bakterien, selektiver Nährboden, Schafsbhutagar bei 37 °C bebrütet
 Nr. 9: universeller Nährboden, bei 20 °C bebrütet

Tafel 4. Staubbelastung, Staubeigenschaften und nach MAK-Liste (1978) errechnete Werte für zulässigen Fein- und Gesamtstaubgehalt, Volumen bezogen auf 20 °C, 1013 mbar.

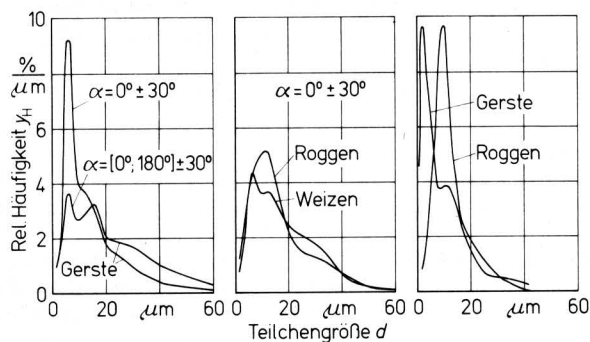


Bild 11. Häufigkeitskurven (Massenanteil) der Teilchengrößen von Staub im Atembereich beim Mähreschen, Bildteil rechts mit Fahrerkabine.

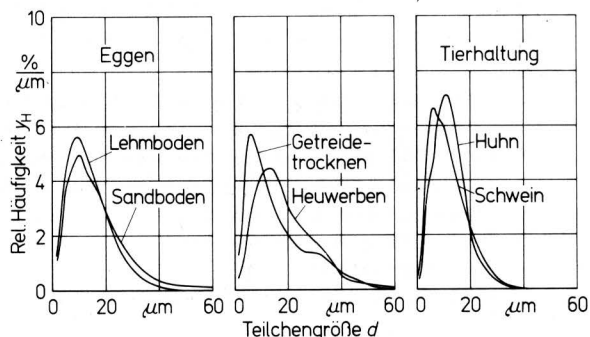


Bild 12. Einige Häufigkeitskurven (Massenanteil) der Teilchengrößen für Staub aus dem Atembereich bei verschiedenen Produktionsabschnitten.

Mit dieser Trennungsgradkurve $\eta_F(d)$ und der Durchgangssummenverteilung der Teilchengrößen $y_H = dD/dd$ ergibt sich für den Feinstaubanteil

$$A_F = \frac{1}{100} \int_{d_{\min}}^{d_{\max}} \eta_F(d) \frac{dD}{dd} dd.$$

Da die durchgeführte Teilchengrößenanalyse im feinen Bereich die geringste Genauigkeit besitzt, ist eine weitere, nach einem anderen Prinzip arbeitende Messung angebracht.

Wird dem Filter bei der Probenahme ein Abscheider mit einer Kennlinie entsprechend der Johannesburger Konvention vorgeschaltet, Bild 6, Mitte, dann läßt sich die Feinstaubmenge direkt durch Wiegen bestimmen. Dieses schon früher beschriebene Gerät [10] arbeitet mit einem Luftdurchsatz von 50 m³/h. Ein Vergleich beider Messungen zeigt teils gute Übereinstimmung, teils auch Unterschiede über 30 %.

Die aus der Teilchengrößenverteilung errechneten Feinstaubanteile liegen im Mittel niedriger als die aus der Messung mit dem Vorabscheider.

Die entstehenden Fehler ergeben sich bei der Berechnung aus der Genauigkeit bei der Bestimmung der Dichte und der Teilchengrößenverteilung. Bei Verwendung eines Vorabscheiders ist daran zu denken, daß die Trennungsgradkurve abhängig ist von der Staubkonzentration und der Luftfeuchte.

Die mit dem Vorabscheider ermittelten Ergebnisse, die in Tafel 4 dritte Zeile dargestellt sind, zeigen, daß der alveolengängige Anteil bei Arbeiten ohne Staubschutz im Bereich $5 < A_F < 15$ % liegt. Die Werte liegen vergleichsweise niedrig. So wird in Stadtbereichen bei einem Gesamtstaubgehalt zwischen 0,02 und 0,4 mg/m³ ein Feinstaubanteil von 20–50 % und in der Industrie mit den dort auftretenden Staubbelastungen ein solcher von 10–30 % beobachtet.

Man kann allgemein davon ausgehen, daß bei vergleichbaren Bedingungen der Feinstaubanteil umso höher liegt, je geringer die Luftbewegungen und der Staubgehalt am Arbeitsplatz sind. Für alle Wirkungen entscheidend ist die Feinstaubmenge, die sich aus dem Gesamtstaubgehalt und dem Feinstaubanteil errechnet.

5.4 Analyse der chemischen Zusammensetzung

Die wahrscheinliche Zusammensetzung des Staubs läßt sich abschätzen, da die Staubherkunft bekannt ist. Von der MAK-Liste und den in Rede stehenden Arbeitsplätzen ausgehend, interessiert vor allem eine Aussage über den Quarzgehalt im Feinstaub. Zu diesem Zweck werden mit dem Staubsammelgerät EM 100 und vorgeschaltetem Axialzyklon Feinstaubproben auf Membranfilter abgetrennt. Da das Staubforschungsinstitut der gewerblichen Berufsgenossenschaften in Bonn über entsprechende Untersuchungseinrichtungen und -routinen verfügt, werden die Proben nach dort zur Quarzanalyse gegeben.

Die Ergebnisse sind in Tafel 4 Zeile 5 angegeben. Wie zu erwarten, können bei der Bodenbearbeitung Quarzgehalte um 25 % im Feinstaub auftreten. Der Mährescherstaub, der teilweise auch vom Boden durch Niederschlag an die Pflanzen gelangt, kann bis 2 % Quarz enthalten. Bei der Tierproduktion werden Werte bis 3,5 % beobachtet.

Ohne vorgeschaltetes Axialzyklon erhält man auf Membranfiltern Gesamtstaubproben, die für verschiedene chemische Analysen zu nutzen sind. Gesundheitsschädliche anorganische Verbindungen in bedenklichen Mengen wurden nicht ermittelt. Durch einfache Veraschung im Tiegel läßt sich eine grobe Differenzierung in organische und anorganische Anteile vornehmen, Tafel 4 Zeile 6.

5.5 Bestimmen der Keimzahlen

Wegen der vielfältigen Wirkungen organischer Komponenten im Staub interessieren Anzahl der Bakterien und Pilze und ihre Zugehörigkeit [14, 15]. Dazu wurden mehrere Proben gleichzeitig auf Membranfiltern abgetrennt, rechts im Bild 6.

5.5.1 Zählung der Pilzkeime¹⁾

Zur Bestimmung der Pilzkeimzahlen wurden die Filter mit den Proben in 100 ml steriler 0,18 %iger $\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7$ -Lösung für 1 min mit Hilfe eines Ultra Turrax homogenisiert. Das Homogenisat wurde mit dest. Wasser auf einen auswertbaren Keimgehalt verdünnt; von der Endstufe wurde 1 ml Suspension zu 9 ml Malzagar (Agar 20 g/l, Maltzin 10 g/l, Aureomycin 0,01 g/l, pH 5,6) zugegeben, auf einem Vortex-Schüttler gründlich vermischt und in sterile Petrischalen ausgegossen. Je Verdünnungsstufe und Bebrütungstemperatur wurden 5 Schalen angesetzt. Die Inkubation erfolgte bei 22 °C und 40 °C; Auswertung nach 3 und 7 Tagen; die Gattungsbestimmung wurde nach Beginn der Sporulation vorgenommen.

5.5.2 Zählung der Bakterienkeime¹⁾

Zur Ermittlung der Bakterienkeimzahlen wurden die Filter in gleicher Weise verarbeitet; von mehreren Verdünnungsstufen wurden in 5–6facher Wiederholung je 0,1 ml auf vorgetrocknetem Nähragar in sterilen Petrischalen ausgespatelt und 7 Tage bei 20–22 °C im Dunkeln inkubiert. Die gewachsenen Kolonien wurden unter dem Binokular ausgezählt und dabei der Anteil der Actinomyzeten ermittelt. Repräsentative Stichproben von Kolonien wurden auf Objektträgern ausgestrichen und nach Gram-Färbung und mikroskopischer Morphologie, soweit möglich, Gattungen zugeordnet. Der Nährboden hatte folgende Zusammensetzung (in g/l): 1,0 Nutrient broth (Difco), 1,0 Hefeextrakt (Oxoid), 0,05 Actidion (in 0,1 mol. Phosphatpuffer von pH = 5,5 getrennt autoklaviert und danach eingemischt), pH auf 7,0 eingestellt.

¹⁾ Die Messungen wurden durchgeführt vom Institut für Bodenbiologie der FAL (Dir.: Prof. Dr. K. Domsch).

5.5.3 Bestimmung mesophiler Bakterien²⁾

Die Staubfilter wurden mit sterilem dest. Wasser ausgewaschen. Nach Herstellung einer Verdünnungsreihe wurden von jeder Verdünnungsstufe 0,1 ml Flüssigkeit auf Normalagar (Merck 7881) und Blutagar (Oxid CM 271 mit 7 % Schafblutzusatz) ausgespatelt.

Die Zählung der gewachsenen Kolonien erfolgte nach 48stündiger Inkubation bei 37 °C unter aeroben Bedingungen. Zur Differenzierung der Keimarten wurden die in der Bakteriologie üblichen Methoden herangezogen.

Die so ermittelten Keimzahlen beziehen sich auf aerobe mesophile Bakterien.

5.5.4 Ergebnisse³⁾

Die Übertragung der Membranfilterproben auf Nährböden kann je nach Vorgehensweise aufgrund der Absterberate der Keime zu geringeren Keimzahlergebnissen führen, als sie sich bei den direkteren Meßverfahren unter Verwendung von Impaktoren mit Nährböden einstellen. Somit sind die hier angegebenen Keimzahlen (Keime/m³ Luft; im folgenden kurz mit der Einheit m⁻³ bezeichnet) als untere Grenzwerte anzusehen.

Die Ergebnisse der Keimuntersuchungen sind für verschiedene Produktionsbereiche und -stufen hinsichtlich der Anzahl in Tafel 4 Zeile 7 bis 9 zusammengefaßt. Die prozentualen Anteile wichtiger Gattungen zeigen die Bilder 13 bis 16.

Geht man von einer Gesamtkeimzahl von 10³ bis 10⁴ m⁻³ in "normaler" Luft [16] aus, so zeigt sich an allen Arbeitsplätzen eine Zunahme. Diese ist besonders hoch beim Mähreschen. Hier wurden Keimzahlen gefunden, die sich gegenüber "normaler" Luft um den Faktor 10³ bis 10⁵ unterscheiden. Dabei zeigte sich, daß die Keimimmission im Atembereich des Fahrers bei der Ernte von Gerste die höchsten Werte liefert. Während die Zahl der Pilzkeime (Zeile 7) zwischen den einzelnen Getreidearten von 2,8 · 10⁶ m⁻³ beim Weizen bis 5,8 · 10⁶ m⁻³ bei der Gerste nur wenig schwankt, ist hinsichtlich der Bakterien (Zeile 9) ein deutlicher Unterschied festzustellen:

Gerste	1,8 · 10 ⁸ m ⁻³
Weizen	4,0 · 10 ⁷ m ⁻³
Roggen	1,25 · 10 ⁷ m ⁻³

Dieser Unterschied macht sich bei den mesophilen Bakterien (Zeile 8) noch stärker bemerkbar. Mit 3,3 · 10⁷ m⁻³ liegen die bei der Ernte von Gerste gefundenen Werte um 10² höher als bei Roggen.

In der pflanzlichen Produktion weisen die Untersuchungen beim Mähreschen, beim Bodenbearbeiten und beim Trocknen als vorherrschende Pilzgattung die der Cladosporien aus, Bild 13 und [17]. *Cladosporium* ist ein Vertreter der *Deuteromycetes* (Fungi imperfecti), die saprophytisch im Boden und auf Pflanzen leben. Die Allergenspezifität innerhalb einer Spezies ist sehr unterschiedlich. *Cladosporium*-Sensibilisierungen werden am häufigsten beobachtet. Zur genaueren Zuordnung ist aber eine weitere Differenzierung nach *Cladosporium*-Arten vonnöten.

Auffallend ist, wie aus Bild 14 hervorgeht, daß bei der Ernte von Gerste Streptokokken, bei der Ernte von Weizen Staphylokokken als dominierend nachgewiesen wurden, während bei der Bodenbearbeitung und der Getreidetrocknung *Bacillus*-Arten überwiegen.

²⁾ Messungen von der Abteilung Hygiene und Krankheiten (Dr. Matthes) des Instituts für Kleintierzucht der FAL (Dir.: Prof. Dr. R. Wegener).

³⁾ Verfasser dieses Abschnitts ist Dipl.-Ing. K.-H. Krause, Institut für landtechnische Grundlagenforschung der FAL.

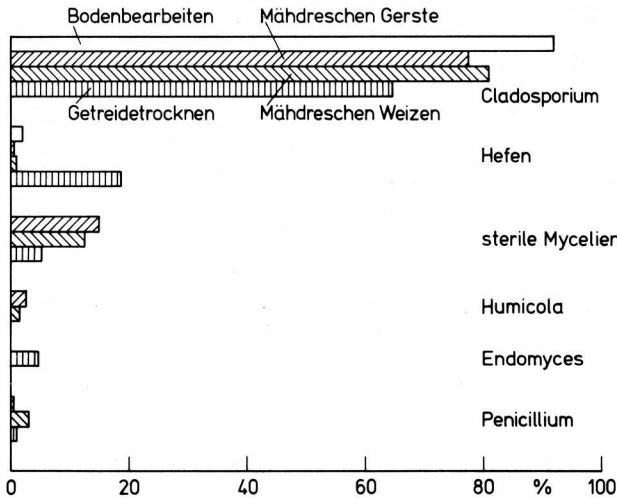


Bild 13. Die wichtigsten Pilzkeime im Gesamtstaub beim Bodenbearbeiten, Mähreschen und Getreidetrocknen.

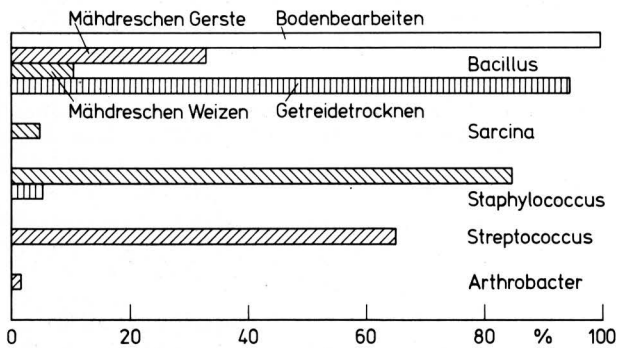


Bild 14. Die wichtigsten Bakterienkeime im Gesamtstaub beim Bodenbearbeiten, Mähreschen und Getreidetrocknen.

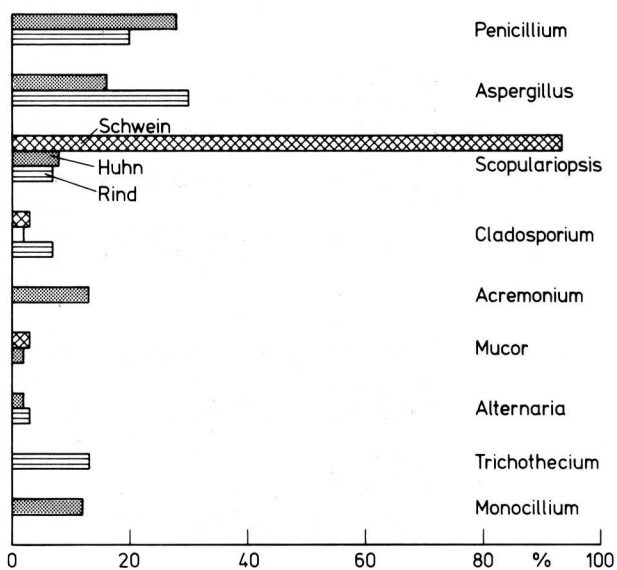


Bild 15. Pilzkeime im Gesamtstaub aus der Tierproduktion nach dem Anteil ihres Auftretens.

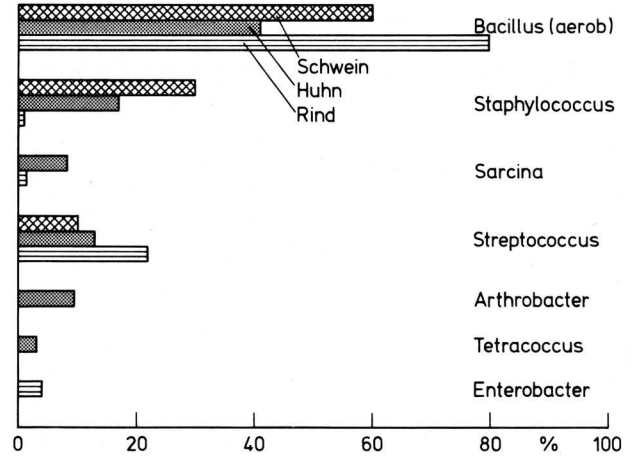


Bild 16. Bakterienkeime im Gesamtstaub aus der Tierproduktion.

In den Tierhaltungen, Bild 15, wurden im wesentlichen Sporen von den Pilzen nachgewiesen, die in der Atmosphäre auch auftreten: *Penicillium*, *Aspergillus*, *Cladosporium*, *Alternaria* und *Mucor*, wobei die ersten vier genannten Gattungen gemeinhin als hauptverantwortlich für Asthma- oder Rhinitiserscheinungen gelten. Im Gegensatz zu den Messungen bei der pflanzlichen Produktion überwiegt in der Tierhaltung nicht die Gattung *Cladosporium*, sondern *Penicillium*, *Aspergillus* und *Scopulariopsis* sind vorrangig vertreten.

Die Aspergillen sind als Erreger von Aspergillosen des Respirationstraktes bei Mensch und Tier von medizinischem Interesse. In der Geflügelhaltung können Aspergillosen wirtschaftlich bedeutsam werden.

Bemerkenswert ist das weite Pilzspektrum im Hühnerstall im Gegensatz zur geringen Gattungsvielfalt im Schweinestall. Diese Aussage trifft auch für die Ergebnisse der bakteriologischen Untersuchungen zu, wie aus Bild 16 ersichtlich ist. Die "stallspezifischen" Keime, Streptokokken und Staphylokokken, lassen sich in jeder der Tierhaltungen nachweisen. Zudem sind im Hühnerstall Keime gefunden worden, die als pathogen gelten: *Staphylococcus aureus* [18].

Zusammenfassend kann festgestellt werden: Nach den vorliegenden Untersuchungen ist die Keimbelastung in der tierischen Produktion nicht so ausgeprägt wie in der pflanzlichen. Die Luftkeimflora weist in der pflanzlichen Produktion im Hinblick auf Bakterien im Mittel Keimzahlen von 10^7 m^{-3} , in der Tierhaltung von 10^6 m^{-3} aus; bezüglich der Pilzkeime betragen die Keimzahlen 10^5 bzw. 10^2 m^{-3} . Überwiegt in der pflanzlichen Produktion bei den Pilzkeimen die Gattung *Cladosporium*, so dominieren in den Tierhaltungen die Gattungen *Penicillium* und *Aspergillus*.

In der pflanzlichen Produktion bringt die Abkapselung des Fahrerplatzes auch eine Reduzierung des Luftkeimgehaltes für den Fahrer mit sich. Beträgt die Keimzahlverminderung beim Weizenmähdrusch 91 %, so beläuft sie sich bei der Sommergerste auf ca. 96 %. Die Keimzahlen in der Kabine liegen aber insgesamt noch in der Größenordnung von 10^6 bis 10^7 m^{-3} .

5.6 Zusammenstellung der Ergebnisse und Abschätzung von anzustrebenden Belastungsgrenzen

Mit den Staubbelastungskollektiven liegen Kriterien zur Bewertung der mit der Staubbelastung verbundenen Wirkungen an Arbeitsplätzen vor. Als besonders aufschlußreich ist der 50 %-Wert der Kollektive anzusehen. Für Belastungen in der Größenordnung dieses Wertes wurden die vorbesprochenen physikalischen, chemischen und mikrobiologischen Messungen durchgeführt. Eine Zusammenstellung der zu Mittelwerten zusammengefaßten Ergebnisse zeigt Tafel 4. Sie sind als Richtwerte aufzufassen, von denen wegen der in der Produktion auftretenden komplexen Einflußgrößen systematische Abweichungen möglich sind.

Welche Folgerungen sind aus den Ergebnissen zu ziehen? Ausgehend von den derzeit bekannten in Tafel 2 genannten MAK-Werten für Quarz und inerten Staub sind zulässige Fein- und Gesamtstaubkonzentrationen errechnet worden, Tafel 4 Zeile 10 und 11.

Geht man von einem Quarzgehalt von 25 % bei der Bodenbearbeitung aus, so beträgt der zulässige Feinstaubgehalt $0,6 \text{ mg/m}^3$. Mit einem Feinstaubanteil von 6 % errechnet sich dann ein zulässiger Gesamtstaubgehalt im Atembereich von 10 mg/m^3 . Beim Mäh-dreschen ist wegen des Quarzgehaltes von einem zulässigen Feinstaubgehalt von 4 mg/m^3 auszugehen, so daß sich ein zulässiger Gesamtstaubgehalt von 33 mg/m^3 ergibt. Für das Getreidetrocknen und Heuwerben gilt ein zulässiger Feinstaubgehalt von 8 mg/m^3 und bei Arbeiten der Tierproduktion ein solcher von 4 mg/m^3 .

Vergleicht man nun die auf diesem Wege errechneten zulässigen Gesamtstaubgehalte mit den Belastungskollektiven, so ergibt sich für die untersuchten Produktionsabschnitte und aus den derzeit gesicherten Erkenntnissen die Notwendigkeit einer Staubbekämpfung bei der Bodenbearbeitung mit Staubbewicklung und beim Mäh-dreschen mit größeren Schnittbreiten.

Überraschend ist, daß in der Landwirtschaft Silikoseerkrankungen bisher nicht bekannt geworden sind. Hierfür mag es unterschiedliche Erklärungen geben: Entweder sind die Begleitstoffe im Staub derart, daß durch die Kombinationswirkung das Risiko für Quarzstauberkrankungen gesenkt wird oder durch die lange Inkubationszeit sind Silikoseerkrankungen erst in einigen Jahren zu erwarten oder die Expositions-dauer in der Landwirtschaft liegt durch die stark wechselnden Arbeiten für den jeweiligen Beschäftigten so niedrig, daß die kritische Grenze nicht erreicht wird. Eine Antwort auf diese Fragen kann die Arbeitsmedizin geben. Dort wird daran gearbeitet.

Geht man von einer Keimzahl von etwa 10^3 m^{-3} in normaler Luft aus, so zeigt sich, daß durch die organischen Komponenten im Staub Haut- und Inhalationsallergene sowie Pilze und Bakterien für organische Koniosen vorhanden sind. Aus diesen Angaben lassen sich derzeit aber nur weitere Forschungsaufgaben ableiten, aber noch keine über allgemeine Forderungen hinausgehenden Hinweise auf Schutzmaßnahmen.

Die Notwendigkeit einer ausgewogenen Staubbekämpfung erhält durch den vorliegenden Beitrag eine weitere Begründung. In diesem Bestreben sollte man sich nicht nur an zugelassenen Grenzwerten orientieren, sondern den technischen Fortschritt unter Beachtung ökonomischer Rahmenbedingungen zum Wohle der in der Produktion Tätigen einsetzen.

Solchen Lösungen dient der folgende Abschnitt, wobei eine Bewertung der Staubbekämpfung in Verbindung mit MAK-Werten erfolgt.

6. Staubschutzmaßnahmen in der landwirtschaftlichen Produktion

Zur Staubbekämpfung gibt es, abgesehen von betriebstechnischen Maßnahmen, wie das Bild 17 veranschaulichen möge, zwei grundsätzliche Möglichkeiten, nämlich die Kapselung eines unterschiedlich großen Atemluftbereichs mit Reinigung der Zuluft und die Kapselung der Staubquelle mit Reinigung der Abluft. Die links gezeigte Methode ist besonders geeignet für mobile Arbeitsplätze, die rechts dargestellte für ortsfeste Anlagen. Bei der Kapselung eines Atemluftbereichs läßt sich unterscheiden zwischen bau- oder maschinenintegrierten und personenge-tragenen Einrichtungen. Zur ersten Gruppe gehören der ortsfeste Reinarraum, die Fahrerkabine (Fahrerhaus) und die Fahrerhaube, zur zweiten Gruppe die Atemschutzgeräte.

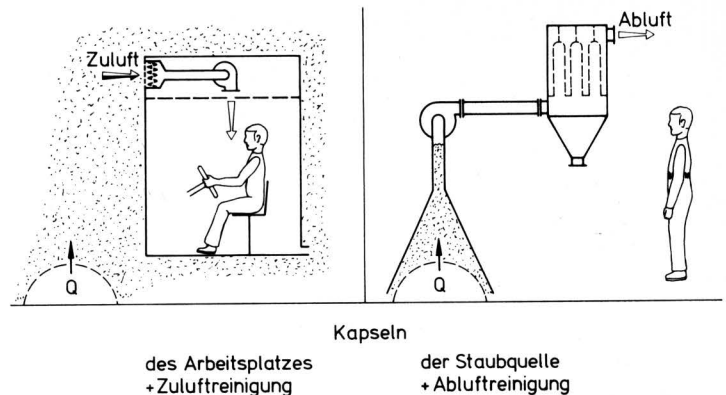


Bild 17. Grundsätzliche Möglichkeiten des Staubschutzes.

Q Staubquelle

6.1 Kapselung des Atemluftbereichs durch maschinenintegrierte Einrichtungen

Das Bild 18 zeigt die Staubschutzwirkung von richtig ausgelegten Fahrerkabinen. Diese Messungen aus Schweden [19] zeigen, daß atembare Staubgehalte unter 1 mg/m^3 unter praktischen Bedingungen einzuhalten sind. Teilweise vergleichbare Werte hat man auch in Kanada [20] ermittelt. Auch die eigenen Messungen liegen in diesem Bereich. Die Zusammensetzung der Stäube in Kabinen zeigt Tafel 4.

Die Staubschutzwirkung von Kabinen wird im wesentlichen von zwei Konstruktionsmerkmalen bestimmt, nämlich von der Abscheidegüte des eingesetzten Filtrationsentstaubers für die Zuluft und der Dichtheit der Kabinen, da Lecköffnungen den Eintritt von Staub in die Kabinen ermöglichen.

Der zuletzt genannte Staubstrom läßt sich am besten durch genügend kleine Leckflächen in Verbindung mit Überdruck in der Kabine begrenzen oder verhindern. Man kann nach Bild 19 davon ausgehen, daß bei einem Überdruck von etwa 20–40 Pa eine hinreichende Dichtheit erreicht wird. Wir haben festgestellt, daß viele Schlepper mit Modulkabine Werte über 40 Pa erreichen. Es gibt aber auch noch solche, die bei 10 Pa liegen.

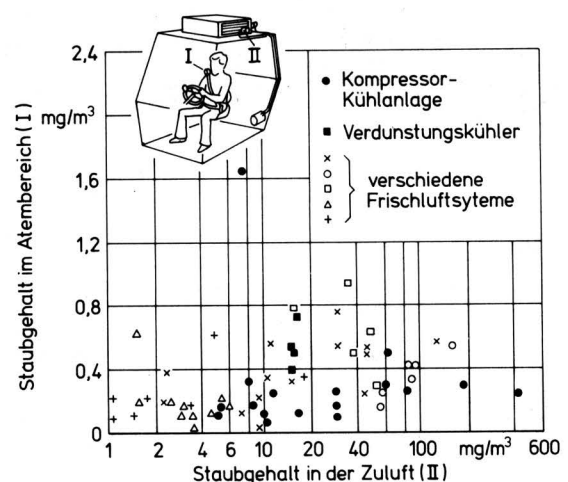


Bild 18. Staubgehalt im Atembereich geschlossener Fahrerkabinen mit Zuluft über Gebläse; Schlepper im praktischen Einsatz nach Gustafsson, Eriksson und Norén [19].

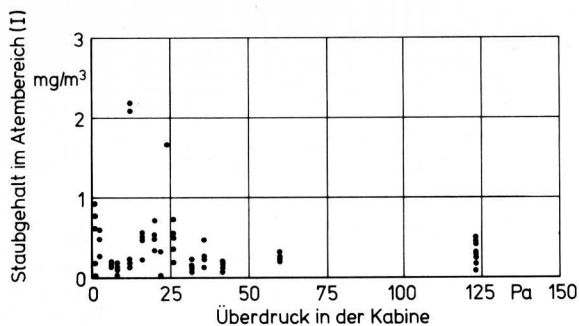


Bild 19. Staubgehalt im Atembereich bei verschiedenem Überdruck in der Kabine, weitere Bedingungen wie bei Bild 18.

Voraussetzung für eine Staubschutzwirkung ist, daß die Kabinen stets geschlossen sind. Hieraus folgt, daß Fahrerkabinen, die einen Staubschutz realisieren sollen, wärmetechnisch so auszurüsten sind, daß die klimatische Behaglichkeit unabhängig von äußeren Bedingungen stets gegeben ist. Dies erfordert u.a. eine Kühlanlage und daneben Maßnahmen zur Abschirmung der Sonneneinstrahlung und der Wärmeströme von Motor und Getriebe [21].

Für die eingesetzten Filter in der Zuluft ist ein Abscheidegrad von 95 % für den Feinstaub vorzusehen.

Da Leckstaubstrom und Staubstrom durch das Filter je nach Kabinenausführung unterschiedlich begrenzt werden, schwankt der Feinstaubanteil im atembaren Staub abhängig von der Bauart. Bei der Beurteilung der Staubschutzwirkung ist daher nicht nur die Absenkung des Gehaltes an Gesamtstaub, sondern auch des Gehaltes an Feinstaub zu beachten.

Auch Fahrerhauben entsprechender Gestaltung [13] ermöglichen einen ausreichenden Staubschutz. Jedoch ist diese Einrichtung aus klimatischen Gründen nur für Mähdrescher in der Getreideerntee geeignet.

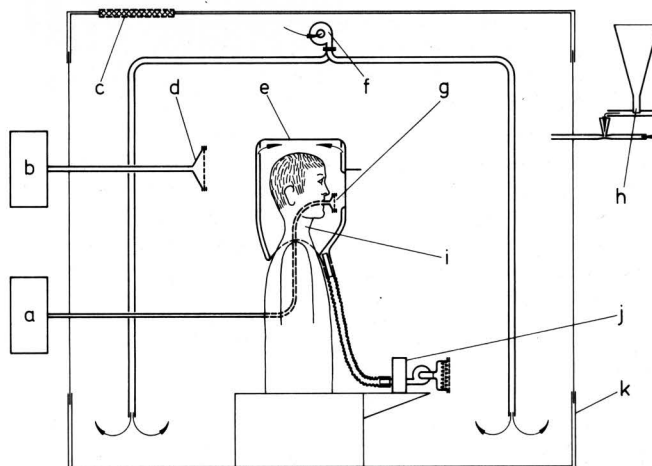


Bild 21. Versuchseinrichtung zum Messen der Staubschutzwirkung von personengetragene Geräten.

- a Pumpe und Luftmengenanzeige, Durchsatz um $3 \text{ m}^3/\text{h}$
- b wie a
- c Filter für Abluft
- d Probenahmekopf mit Glasfaserfilter, zur gravimetrischen Staubgehaltsmessung in der Umgebungsluft, wirksamer Filterdurchmesser 130 mm
- e Schultergetragene Haube
- f Gebläse mit Rohrleitungen für Umluft in der Staubkammer
- g Probenahmekopf zur gravimetrischen Staubgehaltsmessung in der Atemluft, wirksamer Filterdurchmesser 45 mm
- h Staubaufgabe mit Vibrationsrinne und Zufuhr über Venturidüse und mit Preßluft
- i Modell 1:1
- j Luftbehandlungsgerät mit 3 Atemschutzfiltern Schutzstufe 2b, Gebläse mit einstellbarem Durchsatz, normal $10 \text{ m}^3/\text{h}$ und Luftkühler
- k Staubkammer, Volumen etwa $3,5 \text{ m}^3$.

Gerätebenennung	Atemschutzmaske	Atemschutzhelm	Atemschutzhaube	Atemschutzhaube
Schema				
Beispiel				
anerkannte Schutzstufe	2a - 2c	2a (2b)	-	-
Durchlaßgrad f. landwirtschaftl. Staub [%]		< 0,4	< 0,4	< 0,4
Vorteile	keine Beschränkung des Bewegungsraumes		Lufttemperatur und -menge einstellbar	
	geringer Aufwand	kein zusätzlicher Atemwiderstand		
				freier Kopf
vom Kopf zu tragende Masse [g]	700	900	400	-
Preis [DM]	120	600	500 ¹⁾	450 ²⁾

1) bei Luftentnahme aus Preßluftsystem
2) ohne Klimatisierung der Luft und Luftmengenregelung

Bild 20. Schemata und einige Kenndaten von Atemschutzgeräten.

6.2 Kapselung des Atemluftbereichs durch personengetragene Geräte

Sind Fahrerkabinen z.B. aus Kostengründen nicht vertretbar, dann ist an personengetragene Atemschutzgeräte zu denken. Das Bild 20 zeigt vier grundsätzliche Modelle, nämlich die Atemschutzmaske, den Atemschutzhelm, eine kopf- und eine schultergetragene Atemschutzhaube (-helm). Die Wirkungsweise entspricht dem Prinzip nach Bild 17 linker Bildteil und damit der Fahrerkabine. Die Kapsel überdeckt aber nur einen sehr kleinen Atemluftbereich, nämlich nur das Mund- und Nasengebiet oder Kopf und Hals. Dies bedingt eine Abdichtung zum Kopf oder Körper.

Bei den Atemschutzmasken wird die Atemluft von der Lunge durch ein Filter gesaugt. Diese Arbeit übernimmt beim Atemschutzhelm, z.B. Bauart Racal Amplivox (Vertrieb: Firma Helm-Voss, Braunschweig), ein Gebläse, das die Zuluft über ein Filter dem Atembereich zuführt.

Die kopfgetragenen Hauben, z.B. Bauart Sundström, Stockholm, und Bauart 3M, Neuß, sind dadurch gekennzeichnet, daß gereinigte Luft über einen Schlauch in den gekapselten Atembereich gelangt. Die Abdichtung zum

Körper erfolgt über lose anliegende Folien oder textile Stoffe und durch geringen Überdruck. Die handelsüblichen Hauben dieser Bauart werden vor allem beim Farbspritzen eingesetzt, wobei man die Luft dem Preßluftsystem entnimmt.

Bei den schultergetragenen Hauben oder Helmen mit Luftschlauch, z.B. Bauart GLB (Vertrieb: Firma Schmid, Kressbronn), erfolgt die Abdichtung über weiche Materialien im Schulterbereich und durch Überdruck. Bei den Geräten mit Luftzufuhr über einen Schlauch ist eine externe Luftreinigungsanlage vorhanden, die vom Körper getragen oder auch ortsfest aufgestellt werden kann. Diese Anlage besteht mindestens aus Gebläse und Filter.

Zur Kennzeichnung von Atemschutzgeräten gibt es 3 Schutzstufen:

- Stufe 1: Schutz gegen Gase
- Stufe 2: Schutz gegen Schwebstoffe
- Stufe 3: Schutz gegen Gas-Schwebstoff-Gemische.

Für die angesprochenen Produktionsbereiche ist die Schutzstufe 2 von Bedeutung. Sie ist unterteilt in die Gruppen:

- 2a: für inerte Stäube
- 2b: für gesundheitsschädliche Stäube und
- 2c: für giftige Stäube.

Die Angabe von Schutzstufen ist nur zulässig, wenn entsprechende Prüfvorschriften erfüllt sind. So wird bei der Schutzstufe 2b neben anderen Bedingungen ein maximaler Durchlaßgrad für einen Prüfstaub aus Quarz nach DIN 24 184 von höchstens 1 % zugelassen, bei der Schutzstufe 2c von nur 0,1 %.

Da noch nicht für alle angesprochenen Atemschutzgeräte Schutzstufen bekannt sind und die landwirtschaftlichen Stäube gröber sind als die Prüfstäube, wurden die vier genannten Modelle unter praxisnahen Bedingungen in einer Staubkammer untersucht, **Bild 21**.

Die Meßergebnisse für den Atemschutzhelm, die kopf- und schultergetragene Haube zeigt **Bild 22**. Danach liegt der Staubgehalt im Atembereich meist unter $0,4 \text{ mg/m}^3$, d.h. die Staubschutzwirkung ist noch besser als die geschlossener Fahrerkabinen. Ein signifikanter Unterschied zwischen dem Atemschutzhelm und den Atemschutzhauben ist unter den Versuchsbedingungen nicht zu erkennen.

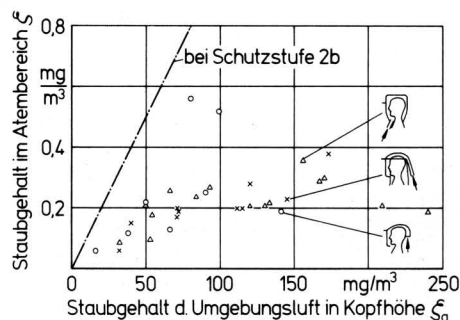


Bild 22. Staubgehalt im Atembereich bei Atemschutzgeräten mit Zuluftgebläse in Abhängigkeit vom Staubgehalt der Umgebungsluft, Versuchsstaub: Staub vom Mähreschen mit $d_{D50} = 10 \mu\text{m}$, häufigste Teilchengröße = $5 \mu\text{m}$ (Massenverteilung).

Die Staubschutzwirkung von Atemschutzgeräten ergibt sich wie bei der Fahrerkabine aus dem Abscheidegrad des Filters und der Dichtheit der Kapsel. Daher ist bei den Geräten mit Zuluftgebläse eine bestimmte Mindestluftmenge erforderlich, da die "Abdichtung" teilweise auch durch Überdruck erfolgt. Sinkt die Zuluftmenge beispielsweise bei der kopfgetragenen Atemschutzhaube unter etwa $6 \text{ m}^3/\text{h}$, dann steigt der Staubgehalt im Atembereich stark an, **Bild 23**.

Allgemein darf man feststellen, daß die Staubschutzwirkung von Atemschutzgeräten der Stufe 2b oder entsprechender Güte für die behandelten Arbeitsplätze in der Landwirtschaft voll ausreicht.

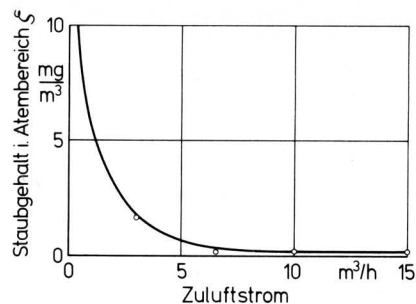


Bild 23. Staubgehalt im Atembereich in Abhängigkeit von der Zuluftmenge einer kopfgetragenen Atemschutzhaube. Staubgehalt ζ_a etwa 80 mg/m^3 , Teilchengröße des Staubes wie bei Bild 22.

Für den Einsatz verbleibt somit als weiteres und letztlich mitentscheidendes Kriterium der Grad der Behinderung, der sich aus der Funktion der Geräte und den jeweiligen Arbeitsbedingungen ableitet.

Die Atemschutzmaske wird wegen des erhöhten Widerstandes beim Einatmen nur für kurzzeitigen Einsatz empfohlen. Dieser Nachteil entfällt bei den Atemschutzgeräten mit Zuluftgebläse, allerdings auf Kosten größerer zu tragender Massen oder einer Begrenzung des Bewegungsraumes. Auch die Art der Dichtelemente ist zu bewerten. Für die Landwirtschaft ergibt sich neben diesen Vor- und Nachteilen als entscheidendes Kriterium noch das Mikroklima unter den Atemschutzgeräten.

Der Atemschutzhelm ist über eine längere Arbeitsdauer nur einsetzbar, wenn das Klima der Umgebung im Behaglichkeitsbereich liegt.

Die Sonneneinstrahlung und die damit verbundene Aufheizung ist besonders bei den kopf- und schultergetragenen Hauben zu beachten. Diese haben aber den Vorteil, daß in Verbindung mit der externen Luftreinigung eine Kühlung und Regelung der Zuluftmenge möglich ist. Eine Eignung für den Einsatz im Sommer setzt eine Abschirmung der Sonneneinstrahlung und Kühlen der Zuluft, beispielsweise mit Peltierelementen, voraus.

Von den derzeit im Handel erhältlichen Atemschutzgeräten mit Zuluftgebläse sind der Atemschutzhelm (Fa. Voss, Braunschweig) und der schultergetragene "Helmet Protector" (Fa. Schmid, Kressbronn) einsetzbar, soweit entsprechende klimatische Bedingungen am Arbeitsplatz vorliegen.

Grundsätzlich darf man davon ausgehen, daß die personengetragenen Atemschutzgeräte noch bedeutende Entwicklungsmöglichkeiten vor allem im Hinblick auf eine geringere Behinderung bieten. Sie empfehlen sich für Arbeiten mit hoher Staubbelastung und kurzer Expositionsdauer.

6.3 Kapselung der Staubquelle

Das Schema der Kapselung einer Staubquelle zeigt Bild 17, rechter Bildteil. Die Emission ergibt sich aus der Güte der Erfassung an der Quelle und der der Abscheidung.

Die Erfassung ist umso aufwendiger, je größer die räumliche Ausdehnung der Quelle ist. Hier liegt daher das entscheidende Kriterium für die Anwendbarkeit des Systems. Bei fahrenden Arbeitsmaschinen ist neben der Größe der Erfassungselemente noch die des Entstaubers ein Grund für mangelnde Eignung.

Absauganlagen sind daher im wesentlichen nur für ortsfeste Anlagen geeignet und dann nur bei punktförmigen Quellen. Sie sind die Standardlösung bei für die Staubströme geschlossenen Anlagen. Dann läßt sich der Staubschutz stets so weit treiben, wie es notwendig ist.

7. Zusammenfassung

1. Staub als Risikofaktor für die Gesundheit wird meist unterschätzt, so daß der Staubbekämpfung mehr Beachtung zu schenken ist.
2. Für den Bereich der untersuchten Arbeitsplätze erscheint ein Staubschutz während der Bodenbearbeitung und beim Mähdreschen sowie unter vergleichbaren Bedingungen wie bei der Kartoffelernte geboten.
3. Für die Staubbekämpfung an mobilen Arbeitsplätzen eignen sich die Fahrerkabine und personengetragene Atemschutzgeräte. — Diese Staubschutzmaßnahmen sind aber nur dann vertretbar, wenn gleichzeitig die Bedingungen der klimatischen Behaglichkeit erfüllt sind.

Verwendete Formelzeichen

A_F	%	Feinstaubanteil im atembaren Staub
D	%	Durchgangssumme (Massenanteil)
d	μm	Teilchengröße
d_{D50}	μm	Teilchengröße, die der Durchgangssumme $D = 50\%$ zugeordnet ist
E_{ges}	kg/h	Gesamtemissionsstrom des Staubes beim Mähdreschen
s	m	Schnittbreite beim Mähdreschen
y_H	$\%/\mu\text{m}$	relative Häufigkeit der Teilchen (Massenanteil)
α	o	Windeinfallswinkel
ζ	mg/m^3	Staubgehalt (atembarer Staub)
ζ_a	mg/m^3	Staubgehalt außerhalb einer Staubschutzkapsel oder in der Zuluft vor Eintritt in das Filter
ζ_D	mg/m^3	Staubbelastung eines Arbeitsplatzes: Staubgehalt über eine längere Zeitdauer (Dauerbelastung ohne Arbeitspause, Atembereich)
ζ_{Dm}	mg/m^3	höchste, mögliche Dauerbelastung
η_F		Stufenentstaubungsgrad eines Abscheiders

Schrifttum

Bücher sind durch ● gekennzeichnet

- [1] ● *Ulmer, W.T. u. G. Reichel* (Herausg.): Pneumokoniosen. Bd. 4, Teil 1 vom "Handbuch der Inneren Medizin" (Herausg. *H. Schwiegl*). 5. Aufl. Berlin, Heidelberg, New York: Springer 1976.
- [2] ● *West, J.B.*: Bioengineering aspects of the lung. New York, Basel: Marcel Dekker Inc. 1978.
- [3] *Juck, A. u. L. Ulrich*: Der Staub in der Landwirtschaft und das Staubrisiko für die Gesundheit. Int. Archiv für Gewerbepathologie und Gewerbehygiene Bd. 23 (1967) S. 202/208.
- [4] *Malen'kij, V.P.*: Hygienische Charakteristik des Faktors Staub im Landbau und sein Einfluß auf die Atmungsorgane. Sanitoriya (1975) Nr. 8, S. 66/70.
- [5] ● *Krause, H., R. Pillat u. E. Zander*: Arbeitssicherheit. Handbuch für Unternehmensleitung, Betriebsrat und Führungskräfte. Bd. I. u. II. Freiburg/Br.: Rudolf Haufe Verlag (wird laufend ergänzt)
- [6] Deutsche Forschungsgemeinschaft (Herausg.): Maximale Arbeitsplatzkonzentration. Mitteilungen der Kommission zur Prüfung gesundheitsschädlicher Arbeitsstoffe.
- [7] ● *Biologische Bundesanstalt für Land- und Forstwirtschaft* (Herausg.): Pflanzenschutzmittel-Verzeichnis 1978 (Bezugsquelle: ACO Druck Kalenwall 1, Braunschweig) und Anhang zum Merkblatt 18/1 der BBA.
- [8] ● *Klimmer, O.R.*: Pflanzenschutz- und Schädlingsbekämpfungsmittel — Abriß einer Toxikologie und Therapie von Vergiftungen. Hattingen: Hundt-Verlag 1971.
- [9] *Einbrodt, H.J.*: Zur Kombinationswirkung von Feinstaub an der Lunge. Staub-Reinhalt. Luft Bd. 36 (1976) Nr. 3, S. 122/26.
- [10] *Batel, W.*: Methoden und Geräte zum Bestimmen des Staubgehaltes. Grundl. Landtechnik Bd. 26 (1976) Nr. 5, S. 178/87.
- [11] *Batel, W.*: Messungen zur Staub-, Lärm- und Geruchsbelastung an Arbeitsplätzen in der landwirtschaftlichen Produktion und Wege zur Entlastung. Grundl. Landtechnik Bd. 25 (1975) Nr. 5, S. 135/57.
- [12] *Batel, W.*: Geruchsstoff-, Staub- und Lärmbelastung in Anlagen der Tierproduktion, gemessen im Verlauf eines Jahres. Grundl. Landtechnik Bd. 27 (1977) Nr. 3, S. 83/87.
- [13] *Batel, W.*: Staubbekämpfung beim Mähdreschen. Grundl. Landtechnik Bd. 27 (1977) Nr. 6, S. 173/83.
- [14] *Gärtner, E.*: Quantitative und qualitative Untersuchungen zum Luftkeimgehalt in Schweine- und Geflügelställen — Ein Beitrag zur Aerobiologie in landwirtschaftlichen Nutztierstallungen. Diss. Univ. Hohenheim (LH) 1975.
- [15] ● *Stern, A.*: Air pollution. Vol. II: The effects of air pollution. Part B: Effects on biological systems. New York: Academic Press 1976.
- [16] *Ulmer, W.*: Die Wirkung der Luftverunreinigung auf die menschliche Gesundheit. Staub Bd. 23 (1963) Nr. 3, S. 141/47.
- [17] *Stix, E. u. M.-L. Ferretti*: Pollen- und Sporengehalt der Luft 1967–1970. DFG-Kommission zur Erforschung der Luftverunreinigung, Mitteilung XI. Boppard: Harald Boldt Verlag 1974.
- [18] *Sarikas, G. u. S. Matthes*: Untersuchungen zur Ausbreitung von Mikroorganismen aus den Abluftschächten von Geflügelställen und die hieraus sich ergebenden Gefahren für die Umwelt. Collected Reports of the Second Congress of International Society for Animal Hygiene, Zagreb, Yugoslavia 29.9–2.10.1976, S. 535/39.
- [19] *Gustafsson, A., H.A. Eriksson u. O. Norén*: Dammbelastning vid jordbruks-, skogs- och entreprenadmaskiner (Staubbelastungen bei Arbeiten mit Land-, Forst- und Kommunalmaschinen). Jordbrukstekniska institutet Uppsala Schweden, Spezialmeddelande S.26, 1978.
- [20] *Atiemo, M.A., K. Yoshida u. G.C. Zoerb*: Dust measurements in tractor and combine cabs. ASAE Paper No. 78–3019.
- [21] *Batel, W.*: Leistungsstarke Schlepper für die Bodenbearbeitung im Hinblick auf einen humanen Arbeitsplatz. Berichte über Landwirtschaft Bd. 56 (1978) H. 2, S. 559/83.