

Aus der Silikose-Forschungsabteilung des Steinkohlenbergwerks „Rheinpreußen“,
Homburg (Niederrhein).

Die Filterfähigkeit der Tiernase im Staubinhalationsversuch.

Von

GÜNTHER WORTH und ERICH SCHILLER.

Mit 1 Textabbildung.

(Eingegangen am 10. März 1951.)

1. Einleitung und Fragestellung.

Die Erfahrungen, die bei Tierversuchen mit Infektionskrankheiten in reichem Maße vorliegen, haben die Wichtigkeit einer genauen Standardisierung in bezug auf Tierart und Versuchsbedingungen erwiesen. Bei Tierexperimenten über Staubinhalationskrankheiten fehlt es bisher noch völlig an einer entsprechenden Festlegung der Versuchsbedingungen, obgleich man gerade hier mit einer Fülle von Variablen rechnen muß:

1. Beschaffenheit des eingeatmeten Staubes
 - a) Teilchenzahl pro Kubikzentimeter (meßbar mit dem Thermalpräzipitator oder dem Konimeter)
 - b) Größenklassenverteilung der Teilchen (meßbar mit dem Thermalpräzipitator oder dem Konimeter)
 - c) Gesamtmasse der Teilchen in der Volumeneinheit (meßbar mit dem Gravimeter oder dem Tyndallometer)
 - d) Chemische Zusammensetzung des Staubes
 - e) Mineralogische Natur der Staubteilchen
2. Qualitative und quantitative Abfilterung durch die Nase und die übrigen zuführenden Atemwege
3. Reaktionslage des Organismus und Sekundärinfektionen, speziell Tuberkulose.

Von diesen drei Punktgruppen ist die erste vom technischen Silikoseforscher, die letzte allein vom Mediziner zu klären, während die qualitative und quantitative Abfilterung des eingeatmeten Staubes gemeinschaftlich von Mediziner und Techniker geklärt werden muß. Gerade deshalb finden wir in der Literatur kaum Angaben über diese Frage, was um so unverständlicher ist, als jahrzehntelang tierexperimentell über Silikose gearbeitet worden ist. Streitigkeiten über die Eignung von Meer-schweinchen oder Kaninchen, wie sie 1935 zwischen SELTER und WEILAND einerseits und JÖTTEN andererseits aufgetreten sind, beziehen sich lediglich auf die gleichzeitig erzeugte Tuberkulose.

2. Literaturübersicht.

Die ältesten Arbeiten über das Staubbindungsvermögen der Nase stammen von ASCHENBRANDT (1886), KAYSER (1887) und BLOCH (1888). Nach dem Stand unseres heutigen Wissens und der heutigen Technik sind die von diesen ersten Untersuchern angewandten Methoden noch zu primitiv, und die aus ihren Ergebnissen gezogenen Schlußfolgerungen viel zu weitgehend, als daß sie einen anderen als historischen Wert besitzen.

K. B. LEHMANN, SAITO und GFRÖRER (1912), sowie SAITO (1912) beschäftigten sich mit der quantitativen Absorption von Staub aus der Luft beim Menschen bzw. beim Kaninchen und beim Hund. SAITO (1912) gab seinen Versuchstieren Bleiweiß enthaltenden Staub zu atmen und berechnete die theoretischen Bleiweißmengen, die aus einem quantitativ bekannten Staubbemisch bei einem Minutenvolumen von 0,3 bis 0,65 l beim Kaninchen und 0,7 l beim Hund nach einer festgelegten Versuchszeit sich in der Lunge befinden müßten. Nach dem Versuch wurden die Tiere getötet und das Blei nach Veraschung der einzelnen Organe mit Schwefelsäure als Sulfat gewogen. Es ergab sich, daß große Staubmengen (88% beim Kaninchen, zwei Drittel beim Hund) bei natürlicher Atmung in die Verdauungswege gehen und nur 12% bzw. ein Drittel in die Lunge gelangen. In der Nase des Kaninchens fand SAITO nur Spuren von Staub (vgl. dazu W. SCHMIDT 1948). Bei Atmung durch eine Trachealkanüle wird der eingeatmete Staub sehr vollständig absorbiert. „Läßt man die Tiere durch die Nase atmen, so vermindert die Nase (durch Niesen) die Staubaufnahme zum Teil in ganz außerordentlichem Maße“ (l. c. S. 151). GÜNTHER LEHMANN (1933, 1934, 1935, 1937, 1938) hat auf Grund quantitativer Messungen am Menschen behauptet, daß das Staubbindungsvermögen der Nase für die Verhütung einer Silikose von größter Bedeutung sei. Am Hund fand G. LEHMANN (1937, 1938) je nach der Rasse eine verschiedene Staubbindung der Nase, so beim deutschen Schäferhund 50—70%, bei Kurznasen jedoch nur wenig über 30%.

BERGERHOFF (1937) konnte an 52 Schleifern die Befunde von G. LEHMANN einwandfrei bestätigen. Bei 35 Sandstrahlern hingegen fand BERGERHOFF (1937) keine Übereinstimmung von Staubbindung der Nase und Grad der Lungenveränderung in Bezug auf das Arbeitsalter, was er mit der ungleichmäßigen, aber doch viel intensiveren Staubentwicklung erklärt. REICHMANN (1939) hat als erster auf Grund eigener Befunde gegen die Ansicht von G. LEHMANN Stellung genommen. LEHMANN (1939) bemerkte dazu, daß REICHMANN'S Ausgangsmaterial viele schwere Silikotiker mit einem schlechten Staubbindungsvermögen ihrer Nasen aufweise und gerade in den Gruppen eines hohen Staubbindungsvermögens bei hohem Untertagealter so wenig Fälle enthielte, daß die Ermittlung eines einwandfreien Durchschnittswertes unmöglich sei. Immerhin will REICHMANN (1939) nicht behaupten, „daß die Beschaffenheit der Nase für die Entstehung der Silicose völlig gleichgültig ist. Auch sie wird ihre Bedeutung haben, wenn allerdings auch nicht in solchem Umfange, wie LEHMANN glaubt“ (l. c. S. 57).

BUCKUP (1939) hat das Staubbindungsvermögen der Nase von 55 Elbsandsteinarbeitern mit dem Apparat von G. LEHMANN bestimmt. Beim Vergleich mit dem Silikosegrad des einzelnen Arbeiters ergaben sich keinerlei Anhaltspunkte für die Brauchbarkeit der Methode zur Aussonderung von Silikosegefährdeten, was BUCKUP mit den Arbeitsbedingungen erklärt. Die schwere Arbeit mache alle zu Mundatmern, auch bei völlig erhaltener Nasenatmung. Sprechen und Rauchen täten ihr Übriges.

EHRHARDT (1941) schließt aus seinen Messungen an 238 Asbestarbeitern, „daß dem Staubbindungsvermögen der Nase für die Entstehung der Staublungenerkrankung — hier der Asbestose — nicht eine so wesentliche Bedeutung zukommt, wie LEHMANN ihm zumißt“ (l. c. S. 325).

DAVIES (1946) untersuchte die Filterfähigkeit der Kaninchennase, indem er fein zerstäubtes Apiezon-Öl B atmen ließ und den Luftstrom durch eine Trachealkanüle absog. Teilchen bis zu einem Durchmesser von 7μ hinunter wurden in der Nase vollständig abgefiltert, während etwa die Hälfte der Teilchen von 3μ Durchmesser und praktisch alle Teilchen unter $1,5 \mu$ Durchmesser passierten. Eine Abhängigkeit

von der Strömungsgeschwindigkeit ergab sich insofern, als mit erhöhter Wirbelbildung bei hohen Geschwindigkeiten des Luftstromes auch ein höherer Prozentsatz an Masse als auch an Teilchenzahl ausgefiltert wird. (Diese Versuche lassen sich aber nur bedingt mit unseren vergleichen, da zwischen sphärischen Teilchen und solchen mit unregelmäßiger Oberfläche, ebenso wie zwischen solchen mit beträchtlichem Dampfdruck und solchen ohne Verdampfbarkeit erhebliche Unterschiede hinsichtlich ihres Verhaltens in einem Luftstrom bestehen dürften.)

BOYLAND, GADDUM und McDONALD (1947) geben an, daß selbst Teilchen von $1\ \mu$ Durchmesser in einer gewissen Menge in der Nase zurückgehalten werden. Daher mißt auch WATSON (1948) der Nasenatmung eine gewisse Bedeutung bei der Verhütung von Staublungenerkrankungen bei.

3. Methodik.

Unsere Versuchsanordnung¹, deren Einzelheiten aus Abb. 1 ersichtlich sind, unterscheidet sich von der LEHMANNschen durch folgende wesentliche Punkte:

1. Das Staubgemisch wurde kontinuierlich durch eine Trachealkanüle abgesogen (Tracheotomie und Versuch in Evipannarkose).
2. Es wurden neben den konimetrischen Messungen gleichzeitig tyndallogometrische vorgenommen.

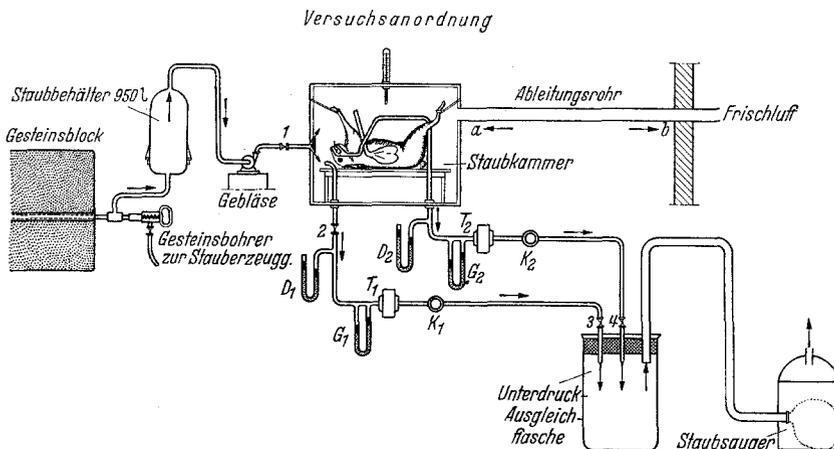


Abb. 1. D_1 , D_2 Druckmesser gegen Außendruck in mm WS (statischer Druck). G_1 , G_2 Geschwindigkeits-Druckmesser (mm WS). Eichung mit Rotamesser in ml/sec bzw. l/min. K_1 , K_2 Konimeter zur Staubbestimmung (Teilchenzahl). T_1 , T_2 Tyndallometer zur Messung der Staubmenge in mg/m^3 . a , b Anzeige der Luftbewegung je nach Stellung von 1 Absperrhahn (Küicken, 2, 3, 4 Quetschhähne, durch Schraube einstellbar (aus Worth u. Schiller 1950).

3. Es wurden nicht nur 4, sondern durchschnittlich 13 Messungen durchgeführt.
4. Alle 4 Meßinstrumente (2 Konimeter, 2 Tyndallometer) wurden genau gleichzeitig bedient.
5. Auf Waschflaschen wurde verzichtet.

¹ Für die Entwicklung und Bedienung der Apparatur danken wir den Herren Dr.-Ing. M. LANDWEHR und Dipl.-Ing. F. ZRENNER vom Silikoseforschungsinstitut der Bergbauberufsgenossenschaft in Bochum.

4. Kritik der Meßverfahren.

Jede Versuchsanordnung, bei der es Staub zu messen gilt, krankt daran, daß wir noch nicht über ein wirklich brauchbares Staubmeßgerät verfügen. Die bislang gebräuchlichen Staubmesser beruhen auf drei verschiedenen Grundprinzipien:

1. Wägung der Gesamtmasse des aus einem bestimmten (großen) Luftvolumen ausgefilterten Staubes.

Diese Methode ist für unsere Versuche nicht geeignet, weil

a) um 1 m³ Luft unter physiologischen Bedingungen (3,1 l/min bzw. 8,8 l/min) durch die Kaninchen- bzw. Hundenase zu saugen, eine Versuchsdauer von 5 Std 23 min bzw. 1 Std 54 min erforderlich wäre, was auf große Schwierigkeiten stößt;

b) sich die Druckverhältnisse und damit die durchgesogenen Luftmengen mit dem Zusetzen der Filterporen ändern.

2. Auszählung der Teilchen eines aus einem bestimmten (kleinen) Luftvolumen

a) durch Aufschleudern gegen eine präparierte Glasplatte (Konimeter)

b) thermisch (Thermalpräcipitator),

c) elektrostatisch (20000 Volt Wechselstrom)

niedergeschlagenen Aerosols.

Diese Methoden sind für unsere Versuche geeignet, weil nur kleine Luftvolumina erforderlich sind. Wenn auch zugegeben werden muß, daß der Thermalpräcipitator dem Konimeter vorzuziehen ist, so mußten wir uns doch auf Konimetermessungen beschränken, weil zur Zeit der Durchführung unserer Versuche noch keine Thermalpräcipitatoren in Deutschland zur Verfügung standen. Heute arbeiten wir zur Bestimmung der Teilchenzahl ausschließlich mit dem Thermalpräcipitator.

3. Messung des Streulichtes des zu untersuchenden Schwebstaubes mit dem Tyndallometer, das durch Vergleich mit einer staubspezifischen Eichkurve Momentanwerte in mg/m³ ergibt.

Die Auswertung der tyndallometrischen Ablesungen muß allerdings mit Vorbehalt erfolgen. Bei einer Änderung der Korngrößenverteilung, womit bei unseren Versuchen zu rechnen war (vgl. G. LEHMANN 1938, S. 16; DAVIES 1946), ist die Proportionalität zwischen der Intensität des Streulichtes und dem Staubgehalt (mg/m³) in Frage gestellt, da die Intensität des Streulichtes um so mehr von der Teilchengröße abhängt, je kleiner die Teilchen sind.

Um aber einen Anhalt für die Fehlerbreite der tyndallometrischen Staubmessungen zu erlangen, haben wir bei einer späteren Untersuchung über die Staubretention in den Atemwegen des Menschen Vergleiche angestellt zwischen dem Tyndallometerwert des eingeatmeten Staubes und der dazugehörigen Teilchenzahl, gemessen mit dem Thermalpräcipitator. Diese Vergleichsmessungen zeigten, daß trotz obiger Bedenken die Tyn-

dallometermessungen im Rahmen der überhaupt zu erwartenden Genauigkeit uns hinreichende Anhaltswerte liefern.

5. Besprechung der Befunde.

Tabelle 1 gibt das Protokoll eines Kaninchenversuchs, bei dem 15 Messungen in einer Zeit von 6 min durchgeführt worden sind. Die Stäbe 3

Tabelle 1. Versuch 1, Kaninchen 1, Messungen 1—14, kontinuierlich durchgesaugte Luftmenge 3,2 l/min.

Messung Nr.	Uhrzeit	Staubkonzentration		Filterfähigkeit %	Abweichung vom Mittelwert M	
		vor der Nase mg/m ³	hinter der Nase mg/m ³		x-M	(x-M) ²
1	2	3	4	5	6	7
1	10 ²⁵	74,6	12,5	83,2	+ 1,6	2,56
2		71,0	13,7	80,7	- 0,9	0,81
3		65,9	11,6	82,4	+ 0,8	0,64
4	10 ²⁶	58,8	10,5	82,1	+ 0,5	0,25
5		58,8	10,2	82,7	+ 1,1	1,21
6	10 ²⁷	55,0	9,3	83,1	+ 1,5	2,25
7		49,0	8,5	82,7	+ 1,1	1,21
8	10 ²⁸	46,5	8,5	81,7	+ 0,1	0,01
9		42,7	7,6	82,2	+ 0,6	0,36
10		41,0	7,6	81,5	- 0,1	0,01
11	10 ²⁹	37,1	7,2	80,6	- 1,0	1,00
12		34,9	6,8	80,5	- 1,1	1,21
13	10 ³⁰	34,5	6,6	80,9	- 0,7	0,49
14		32,4	6,5	79,9	- 1,7	2,89
15	10 ³¹	32,0	6,4	80,0	- 1,6	2,56
Durchschnitt 1—15	6 Minuten	48,9	8,9	81,6	$\sigma = \pm 1,1$	

und 4 geben die Tyndallometermessungen vor und nach der Nasenpassage an, Stab 5 die abgefilterte Staubmasse in Prozenten. Die Einzelmessungen streuen hier zwischen 79,9 und 83,2%, die mittlere quadratische Abweichung beträgt $\pm 1,1\%$.

In den Tabellen 2 und 3 sind die Durchschnittsergebnisse entsprechender, an Kaninchen und Hunden vorgenommener Versuchsreihen zusammengestellt.

Tabelle 2. Versuchsergebnisse an Kaninchen.

Versuch Nr.	Kaninchen Nr.	Versuchsdauer Min.	Anzahl der Messungen	Kontinuierlich durchgesaugte Luftmenge Liter/min	Durchschnittliche Staubkonzentration		Filterfähigkeit in %
					vor der Nase mg/m ³	hinter der Nase mg/m ³	
1	1	6	15	3,2	48,9	8,9	81,6 \pm 1,1
2	1	15	16	3,2	78,0	9,3	86,5 \pm 3,6
3	2	10	11	1,8	71,2	5,4	92,0 \pm 1,4
4	3	15	16	1,8	54,5	6,5	87,5 \pm 2,0
5	4	11	12	5,7	45,2	10,6	77,1 \pm 1,7
Durchschnitt		11	70	3,1	59,7	8,2	84,9 \pm 5,3

Die Angaben in der Literatur, daß die Kaninchnase 88% des eingeatmeten Staubes zurückhalte (SAITO 1912) und die Nase der unter-

suchten Hunderassen wenig über 30% ausfiltere (G. LEHMANN 1938) werden durch unsere Befunde bestätigt.

Tabelle 3. Versuchsergebnisse an Hunden.

Ver- such Nr.	Hund Nr.	Versuchs- dauer min	Anzahl der Messungen	Kontinuier- lich durchge- saugte Luft- menge Liter/min	Durchschnittliche Staubkonzentration		Filter- fähigkeit in %
					vor der Nase mg/m ³	hinter der Nase mg/m ³	
1	1	13	14	7,3	92,1	58,4	34,1 ± 11,4
2	2	11	12	10,0	148,5	98,6	33,5 ± 7,0
3	2	13	14	10,0	117,8	81,0	29,7 ± 6,7
4	3	9	10	10,4	140,0	92,9	30,8 ± 8,2
5	3	4	5	10,1	121,4	78,5	35,0 ± 4,8
6	4	7	8	4,4	129,7	70,0	45,4 ± 6,0
Durchschnitt		9,5	63	8,8	123,2	79,6	34,0 ± 9,1

Es ist damit erwiesen, daß Hunde der untersuchten Rassen (Kurz-
nasen) ein wesentlich geringeres Staubbindungsvermögen der Nase für
Korngrößenklassen unter 2 μ Teilchendurchmesser besitzen als Kaninchen.

6. Zusammenfassung.

Messungen des Staubbindungsvermögens der Tiernase, die sich neben
Konimeterproben vor allem auf Tyndallometerwerte stützen, haben er-
geben, daß Kaninchen 84,9 ± 5,3% und Hunde 34,0 ± 9,1% des eingeat-
meten Feinstaubes unter 2 μ Teilchengröße in ihrer Nase zurückhalten.
Soweit die Nase bei der Erzeugung einer Staublungenerkrankung im
Tierversuch eine Rolle spielt, erscheint somit der Hund wesentlich geeig-
neter als das Kaninchen.

Literatur.

ASCHENBRANDT, TH.: Die Bedeutung der Nase für die Atmung. Würzburg
1886. — BERGERHOFF, W.: Arch. Gewerbepath. **7**, 156 (1937). — BLOCH, E.: Z.
Ohrenh. **18**, 215 (1888). — BOYLAND, E., J. H. GADDUM and F. F. McDONALD:
J. Hyg. (Brit.) **45**, 290 (1947). — BUCKUP, HEINZ: Arb.med. **11**, 79 S. Leipzig:
J. A. Barth 1939. — DAVIES, C. N.: Proc. Soc. Med., Lond. **133**, 282 (1946). —
EHRHARDT, W.: Arch. Gewerbepath. **10**, 309 (1941). — JÖTTEN, K. W.: Zbl.
Gewerbehyg. usw. **22**, 184 (1935). — KAYSER, R.: Pflügers Arch. **41**, 127 (1887). —
LEHMANN, G.: Münch. med. Wschr. **80**, 1166 (1933); J.kurse ärztl. Fortb. **24**, H. 9,
37 (1933); Arb. physiol. **7**, 167 (1934); Arb.physiol. **8**, 218 (1935); J.industr. Hyg.
(Am.) **17**, 37 (1935); Arb.physiol. **9**, 206, 293, 569, 572 (1937); Die Filterung der
Atemluft und deren Bedeutung für Staubkrankheiten. 105 S. Berlin: Julius Springer
1938; Arch. Gewerbepath. **9**, 58—62 (1939). — LEHMANN, K. B., Y. SAITO, u.
W. GFRÖRER: Arch. Hyg. (D.) **75**, 152 (1912). — REICHMANN, V.: Arch. Gewerbepath.
9, 43, 63 (1939). — SAITO, Y.: Arch. Hyg. (D.) **75**, 134 (1912). — SCHEIDLER, J.:
Arch. Ohr- usw. Hk. **146**, 133 (1939). — SCHILLER, E. u. G. WORTH: Naturw. **37**,
455 (1950). — SCHMIDT, W.: Arch. Ohr- usw. Hk. **155**, 303 (1948). — SELTER, H.,
u. P. WEILAND: Zbl. Gewerbehyg. usw. **22**, 12, 61, 185 (1935). — WATSON, H. H.:
Proc. South Wales Inst. of Engineers **64**, 67 (1948). — WORTH, G., u. E. SCHILLER:
Naturw. **37**, 401 (1950).