

Chenchen Sun

Bestimmung von Arbeitsplatzschutzfaktoren bei der Verwendung von Atemschutz



**BERGISCHE
UNIVERSITÄT
WUPPERTAL**

Bestimmung von Arbeitsplatzschutzfaktoren bei der Verwendung von Atemschutz

**Dissertation
zur Erlangung eines Doktorgrades**

in der
Fakultät für Maschinenbau und Sicherheitstechnik
der
Bergischen Universität Wuppertal

vorgelegt von
Chenchen Sun
aus Hebei, China

Wuppertal 2019

Chenchen Sun

**Bestimmung von Arbeitsplatzschutzfaktoren
bei der Verwendung von Atemschutz**

Shaker Verlag
Düren 2020

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.d-nb.de> abrufbar.

Zugl.: Wuppertal, Univ., Diss., 2019

Copyright Shaker Verlag 2020

Alle Rechte, auch das des auszugsweisen Nachdruckes, der auszugsweisen oder vollständigen Wiedergabe, der Speicherung in Datenverarbeitungsanlagen und der Übersetzung, vorbehalten.

Printed in Germany.

ISBN 978-3-8440-7179-5

Shaker Verlag GmbH • Am Langen Graben 15a • 52353 Düren
Telefon: 02421 / 99 0 11 - 0 • Telefax: 02421 / 99 0 11 - 9
Internet: www.shaker.de • E-Mail: info@shaker.de

Danksagung

Diese Arbeit wurde von der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung (DGUV) durch ein Stipendium gefördert.

Ohne die Unterstützung und Hilfe zahlreicher Personen wäre die Erstellung dieser Arbeit nicht möglich gewesen. Aus diesem Grund möchte ich an dieser Stelle meinen ganz herzlichen Dank gegenüber den nachstehenden Personen ausdrücken:

Ich möchte mich ausdrücklich bei Herrn PD. Dr.-Ing. habil. Andreas Wittmann für seine wissenschaftliche Betreuung, die fachliche Auseinandersetzung und besonders für die freundliche Ermunterung und Unterstützung über den Gesamtzeitraum meiner Promotion hinweg bedanken.

Ich möchte mich ganz herzlich bei Herrn Prof. Dr.-Ing. Eickmann für seine Unterstützung und Hilfe bedanken. Ohne seine Hilfsbereitschaft hätte ich die Promotion nicht anfangen und durchführen können.

Ebenfalls möchte ich mich ganz besonders bei Herrn Dr.-Ing. Zhang, Fakultät für Maschinenbau und Sicherheitstechnik an der Bergischen Universität Wuppertal, für seine fachliche Diskussionsbeiträge und Ratschläge bedanken.

Ganz besonders danken möchte ich Herrn Christoph Thelen, dem Leiter des Referats 3.3 „Persönliche Schutzausrüstung gegen chemische und biologische Einwirkungen“ im Institut für Arbeitsschutz der DGUV (IFA). Er stellte mir zahlreiche wertvolle Ressourcen zur Verfügung und hat durch sein umfangreiches Fachwissen dazu beigetragen, meine Arbeit erfolgreich durchzuführen. In diesem Zusammenhang möchte ich auch Herrn Christian Schumacher im Referat Schutzmaßnahmen am IFA für seine zahlreichen wertvollen Anregungen und Fachkenntnisse sowie die freundliche Hilfe bei meiner Arbeit danken. Darüber hinaus danke ich allen Mitarbeitern des Referats 3.3 am IFA für ihre fachliche und praktische Hilfe. Besonders geht mein Dank an Maria Schwan, Jörn Hitz und Benedikt Brenner.

Ebenfalls möchte ich mich bei Frau Dr. Kristina Selbach und Frau Dr. Iris Sancho Sanz vom IFA für ihre wissenschaftliche Beratung und die Unterstützung bei der Erstellung der Arbeit bedanken. Weiterer Dank gilt Herrn Carsten Möhlmann, Herrn Ingo Hermanns, Herrn Johannes Pelzer, Herrn Dr. Jörg Rissler und Frau Cornelia Wippich, ebenfalls vom IFA. Sie haben mir verschiedene fachliche Sichtweisen und Methoden für meine praktische Tätigkeit beigebracht und mich stets unterstützt.

Ich möchte mich besonders herzlich bei meinen Eltern für ihre ständige Unterstützung, Begleitung und Ermunterung während der gesamten Zeit in Deutschland bedanken, ohne ihre Unterstützung wäre das Studium in Deutschland nicht durchführbar gewesen. Zusätzlich gilt ein ganz herzlicher Dank meinem Freund Jiahui Li, der mich emotional unterstützt und mich durch die schwierige Phase stets begleitet hat. Nicht zuletzt gilt mein Dank auch meiner lieben Freundin Zheng Li für ihre langfristige Unterstützung.

Kurzfassung

Die partikelfiltrierende Halbmaske ist eine häufig eingesetzte persönliche Schutzausrüstung zum Atemschutz, die für Beschäftigte Schutz gegen erhöhte Staubbelastung bietet. Das Schutzniveau der partikelfiltrierenden Halbmaske kann unter Laborbedingungen mit Hilfe eines Flammenphotometers geprüft werden. Diese Prüfung erfolgt bei der Zulassung einer Atemschutzmaske und bestimmt den sogenannten *nominellen Schutzfaktor* (Nominal Protection Factor, NPF). Als weiterer Kennwert neben dem NPF wird üblicherweise der *zugewiesene Schutzfaktor* (Assigned Protection Factor, APF) zur Darstellung des Schutzniveaus am Arbeitsplatz verwendet. Er wird ebenfalls für verschiedene Schutzklassen der Halbmasken in entsprechenden Normen festgelegt. Die Bestimmung des APF erfolgt auf Basis des *Arbeitsplatzschutzfaktors* (Workplace Protection Factor, WPF), der unmittelbar am Arbeitsplatz und am Maskenträger gemessen werden muss.

Aufgrund nicht vorhandener geeigneter Standardverfahren zur Bestimmung des WPF werden innerhalb der Europäischen Union unterschiedliche APF für Halbmasken der gleichen Schutzklasse angegeben, was in der Praxis zu Schwierigkeiten im Hinblick auf die richtige Auswahl einer Atemschutzmaske führen kann. Um präzisere Erkenntnisse und Daten über den WPF einer Atemschutzmaske zu erhalten, sind Arbeitsplatzmessungen in realen Arbeitssituationen durchzuführen.

Für diese Messungen wurde das tragbare Messgerät PortaCount[®] als ein mögliches Messgerät zur Bestimmung des WPF ausgewählt. Die Tauglichkeit des Messgerätes PortaCount[®] wurde durch den Vergleich der nach innen gerichteten Leckage der Maske mit dem Flammenphotometer überprüft. Die Partikelgrößenverteilung wurde dabei als ein möglicher Einflussfaktor auf die Messpräzision angesehen und daher gleichzeitig protokolliert.

Ein Ergebnis der Messung war, dass die in situ gemessenen Werte für die Leckage bei Nutzung des Gerätes PortaCount[®] ca. doppelt so hoch sind wie die mittels Flammenphotometer gemessenen. Das Ergebnis einer durchgeführten Regressionsanalyse deutet darauf hin, dass ein linearer und damit durch Berücksichtigung dieses Zusammenhangs eliminierbarer Zusammenhang zwischen den Messergebnissen des Flammenphotometers und des Messgerätes PortaCount[®] besteht ($R^2=0,9704$). Deshalb wurde begründet entschieden, dass das tragbare Messgerät PortaCount[®] weiter für die Arbeitsplatzmessung und damit zur Bestimmung des WPF eingesetzt werden kann.

Der WPF entspricht nominell dem Verhältnis der Partikelkonzentration außerhalb der Maske zur Partikelkonzentration (im Atemanschluss) hinter der Maske. In dieser Arbeit wurden die Partikelkonzentrationen vor der Maske und hinter der Maske gleichzeitig von zwei Messgeräten des Fabrikates PortaCount[®] gemessen. Mit Hilfe eines Tragsystems können die Messgeräte von den Testpersonen auf dem Rücken getragen werden. Die Daten vom Messgerät PortaCount[®] wurden über die Bluetooth-Schnittstelle durch eine geeignete Software sekundlich aufgenommen. Jede Arbeitsplatzmessung zur Bestimmung des WPF dauerte dabei 15 min, bei jeder Kombination von Testperson und Tätigkeit wurde dreimal gemessen. Vor der WPF-Messung wurden eine Dichtsitzprüfung und eine anthropometrische Messung der Abmaße des Gesichtes der Testperson (Gesichtsmaße) durchgeführt.

Für diese Arbeit wurden insgesamt 33 Arbeitsplatzmessungen, verteilt auf sieben Testpersonen bei vier unterschiedlichen Tätigkeiten, durchgeführt. Davon fanden 17 Messungen mit einer

FFP2-Maske und 18 Messungen mit einer FFP3-Maske statt.

Der Mittelwert für den WPF war 174 für die FFP2-Maske. Für die aufgrund der normativen Einstufung eigentlich besser schützende FFP3-Maske lag er jedoch nur bei 65. Basierend auf den im Rahmen dieser Arbeit ermittelten WPF-Daten konnte jeweils auch der APF errechnet werden. Rechnerisch ergaben sich für die verwendeten Masken ein APF von 37 für die FFP2-Maske und von 12 für die FFP3-Maske.

In der Praxis schützte die FFP2-Maske also besser vor Staub als die FFP3-Maske. Legt man die Normprüfung nach EN 529 zu Grunde, wäre zu erwarten gewesen, dass die FFP3-Maske einen deutlich besseren Schutz als die FFP2-Maske bietet: Mit einem NPF von 50 sollte sie der FFP2-Maske mit ihrem NPF von 12 deutlich überlegen sein. Die Ergebnisse der vorliegenden Arbeit lassen den Schluss zu, dass die bisherigen Prüfverfahren und die daraus resultierenden Einstufungen nicht geeignet sind, den Schutz der Mitarbeiter in der Praxis hinreichend sicherzustellen.

Diese Arbeit beschränkt sich allerdings auf die Analyse überschaubarer Datenmengen, außerdem wurden nur bestimmte Arten und Klassen von Masken untersucht. Klar ist also, dass die Ergebnisse nicht für alle auf dem Markt verfügbaren Masken repräsentativ sein können. Die starke Abweichung des vorhergesagten Schutzes zum tatsächlichen Schutz der Masken ist jedoch alarmierend.

Die im Rahmen dieser Arbeit entwickelte Messmethode zur Bestimmung des WPF liefert eine praktikable Messmethode um das tatsächliche Schutzniveau einer partikelfiltrierenden Halbmaske am Arbeitsplatz zu bestimmen und ermöglicht auch die Ermittlung möglicher Einflussfaktoren auf den WPF, da mit dieser Methode praktikabel in situ gemessen werden kann.

Abstract

Particle filtering half mask (or Face Filtering Piece) is a common used personal protective equipment for respiratory protection and it protects increased dust exposure for workers. The protection level of particle filtering half mask can be tested under laboratory conditions through a flame photometer. This test is performed for approval of respirator and determines the so-called *nominal protection factor* (NPF). Besides the NPF, *assigned protection factor* (APF) is generally used to represent the protection level at the workplace, and it is also defined in corresponding standards. The establishment of APF is based on the *workplace protection factor* (WPF), which must be measured directly on mask carriers at the workplace.

Due to non-existing appropriate standard methods for determination of WPF, the APF for the same protection level of half mask varies between European countries, which creates difficulties in practice concerning the correct selection of respirator. It is necessary to conduct workplace studies, in order to gain precise knowledge and data about WPF.

Portable measuring instrument PortaCount[®] was chosen as a possible measuring instrument for determining of WPF. The suitability of PortaCount[®] was verified by comparing inward leakages of masks with the flame photometer. The particle size distribution was seen as a possible influencing factor on the measuring precision and thereby was recorded at the same time.

One of the results was that the measured leakage values by using PortaCount[®] are approximately twice as high as it determined by using the flame photometer. The result of a conducted regression analysis indicates that a linear relationship exists between the PortaCount[®] and the flame photometer ($R^2=0.9704$) by taking account of the eliminable connection. Therefore, it was decided to use PortaCount[®] for workplace measurements.

The WPF is equal to the ratio between the particle concentration outside the mask and inside the mask. In this work, the particle concentrations outside and inside the mask were measured simultaneously by two PortaCount[®]. With a carrying system, the measuring instruments can be carried on the back by subject. The data from PortaCount[®] was recorded every second via Bluetooth interface through a software. Every workplace measurement took 15 min; every combination of subject and occupational activity was tested for three times. A fit test and an anthropometric measurement for determining facial dimensions of subjects (facial dimensions) were conducted prior to a WPF measurement.

Within this work, 33 WPF measurements were conducted and allocated to seven subjects with four different types of occupational actives, which include 17 measurements with FFP2 Mask and 18 measurements with FFP3 mask.

The arithmetic mean of WPF values for FFP2 mask was 174; however, for FFP3 mask was only 65, which because of its normative classification should provide better protection. APF value was calculated based on the obtained WPF data in this study. Mathematically, the APF for FFP2 mask used in this study was 37 and for FFP3 mask was 12.

In practice, FFP2 mask provided more protection against dust than FFP3 mask. Based on the standard testing of EN 529, the NPF of FFP3 mask is 50, whereas for FFP2 mask the NPF is only 12, it might be expected that FFP3 mask offer considerably better protection than FFP2 mask. Results of the present study suggest that the present test procedure may not be capable of ensuring sufficient protection for employees at the workplace.

This work is limited to analysis of small data volumes; also, only masks with the specific type

and protection level were tested in this work. It is therefore clear that the results obtained here may not be representative for all masks on the market. However, the significant difference between predicted protection and real protection is still alarming.

The developed measuring method for determining of WPF within the scope of this work delivered a practical method to obtain the real protection level of particle filtering half mask at the workplace and enables the determination of possible influencing factor to WPF, which can be measured at the workplace with this method.

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
1.1	Hintergrund	1
1.2	Problemstellung und Zielsetzung	2
1.3	Methodisches Vorgehen	3
2	Nominelle Leckageprüfung	5
2.1	Leckageprüfung mit Flammenphotometer	5
2.2	Prinzip des Flammenphotometers	8
2.3	Eigenschaften des Flammenphotometers	9
3	Auswahl der Messmethode	10
3.1	Dichtsitzprüfung mit PortaCount [®]	11
3.2	Prinzip des Messgerätes PortaCount [®]	13
3.3	Eigenschaften des Messgerätes PortaCount [®]	14
4	Überprüfung der Messmethode	15
4.1	Anforderungen an den Versuchsaufbau	15
4.2	Material und Methoden	17
4.2.1	Messgerät für die Partikelgrößenverteilung	18
4.2.2	NaCl-Lösung	18
4.2.3	Masken	19
4.2.4	Versuchsaufbau	20
4.2.5	Durchführung	24
4.2.6	Datenerhebung	26
4.2.7	Datenanalysen	27
4.2.7.1	Daten der Leckagemessungen	27
4.2.7.2	Daten aus den Messungen der Partikelgrößenverteilung	33
5	Ergebnisse und Diskussion der Überprüfung der Methode	35
5.1	Ergebnisse der Leckageprüfung	35
5.2	Ergebnisse der Partikelgrößenverteilung	42
5.3	Diskussion der Leckageprüfung	44
5.4	Diskussion der Partikelgrößenverteilung	52
5.5	Zusammenfassung	53
6	Gestaltung der Messmethode zur Bestimmung des WPF	54
6.1	Anforderungen an die Arbeitsplatzmessung	54
6.1.1	Anforderungen an die Messmethode des WPF	54
6.1.2	Anforderungen an den Probanden und die Tätigkeiten	55

6.2	Material für die Arbeitsplatzmessung	55
6.2.1	Messgerät zur Bestimmung des WPF	55
6.2.2	Tragesystem und Bluetooth-Verbindung	55
6.2.3	Messgeräte für die Partikelgrößenverteilung	56
6.2.4	Messgerät für Parameter der Arbeitsumgebung	57
6.2.5	Masken für die Arbeitsplatzmessungen	58
6.3	Messverfahren des WPF	58
6.3.1	Anthropometrische Messung	58
6.3.2	Dichtsitzprüfung	61
6.3.3	Bestimmung des WPF	63
6.4	Messverfahren für Parameter der Arbeitsumgebung	65
6.4.1	Videoüberwachung	67
6.5	Protokoll	68
7	Arbeitsplatzmessung	69
7.1	Untersuchte Tätigkeiten und Testpersonen	69
7.2	Durchführung	70
7.2.1	Durchführungsverfahren der Ausbildungsstätte	70
7.2.2	Durchführungsverfahren in der Papierfabrik	73
8	Ergebnisse der Arbeitsplatzmessung	75
8.1	Zusammenfassung der Grundinformationen aus dem Protokoll	75
8.2	Ergebnisse der Gesichtsmessung	76
8.3	Ergebnisse der Dichtsitzprüfung	78
8.4	Ergebnisse des WPF	80
8.5	Ergebnisse der Arbeitsumgebung	82
9	Diskussion der Arbeitsplatzmessung	87
9.1	Diskussion über mögliche Einflüsse auf den WPF	87
9.1.1	Tätigkeit E-Hand-Schweißen	88
9.1.2	Tätigkeit Drehen	91
9.1.3	Tätigkeit MAG-Schweißen	93
9.1.4	Tätigkeit Papiersortierung	94
9.2	Vergleich zwischen WPF und Fit-Faktor	97
9.3	Vergleich von WPF, NPF und APF	100
9.4	Beschränkungen	104
10	Fazit und Ausblick	105
	Anhang	109
	Literaturverzeichnis	133
	Abbildungsverzeichnis	142
	Tabellenverzeichnis	145