



Dr. Lisa Gamrad-Streubel, Lisa-Marie Theis, Katrin Rühle,
Dr. Katharina Rudolph, Thomas Birk
Dr. Dirk Pallapies, Dr. Swaantje Casjens, Dr. Dirk Taeger,
Anja Molkenthin, Savo Neumann, Prof. Dr. Jürgen Büniger

Epidemiologische Studie zu gesundheitlichen Effekten bei untertage Beschäftigten mit Exposition gegenüber Dieselmotorabgasen und Sprenggasen

Abschlussbericht

Herausgeber: Jürgen Krahl, Axel Munack, Peter Eilts, Jürgen Büniger



Epidemiologische Studie zu gesundheitlichen Effekten bei unter- tage Beschäftigten mit Exposition gegenüber Dieselmotorabgasen und Sprenggasen





Dr. Lisa Gamrad-Streubel, Lisa-Marie Theis, Katrin Rühle, Dr. Katharina Rudolph, Thomas Birk

Ramboll Deutschland GmbH, Essen

Dr. Dirk Pallapies, Dr. Swaantje Casjens, Dr. Dirk Taeger, Anja Molkenthin, Savo Neumann, Prof. Dr. Jürgen Bünker

Institut für Prävention und Arbeitsmedizin der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung, Institut der Ruhr-Universität Bochum (IPA), Bochum

EPIDEMIOLOGISCHE STUDIE ZU GESUNDHEITLICHEN EFFEKTEN BEI UNTERTAGE BESCHÄFTIGTEN MIT EXPOSITION GEGENÜBER DIESELMOTORABGASEN UND SPRENGGASEN

ABSCHLUSSBERICHT



Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek

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

1. Aufl. - Göttingen: Cuvillier, 2023

© CUVILLIER VERLAG, Göttingen 2023

Nonnenstieg 8, 37075 Göttingen

Telefon: 0551-54724-0

Telefax: 0551-54724-21

www.cuvillier.de

Alle Rechte vorbehalten. Ohne ausdrückliche Genehmigung des Verlages ist es nicht gestattet, das Buch oder Teile daraus auf fotomechanischem Weg (Fotokopie, Mikrokopie) zu vervielfältigen.

1. Auflage, 2023

Gedruckt auf umweltfreundlichem, säurefreiem Papier aus nachhaltiger Forstwirtschaft.

ISBN 978-3-7369-7721-1

eISBN 978-3-7369-6721-2



DANKSAGUNG

An dieser Stelle möchten sich die Autoren bei allen Beteiligten dieser Gesundheitsstudie bedanken, die an der erfolgreichen Planung und Umsetzung beteiligt waren.

Wir bedanken uns bei den Mitarbeitern des IGF (Institut für Gefahrstoff-Forschung der BG RCI), die während der Studie für die Messtechnik verantwortlich waren und die personenbezogenen Expositionsmessungen durchgeführt und begleitet haben. Wir danken insbesondere Herrn Jörg Giesen und Herrn Volker Neumann für die gute Zusammenarbeit.

Wir bedanken uns außerdem für die gute Zusammenarbeit und Unterstützung bei den Projektbeteiligten von K+S. Die erfolgreiche Durchführung dieser Studie wäre ohne die stets gute Kommunikation und Unterstützung innerhalb von K+S nicht möglich gewesen. Ein besonderer Dank geht an Herrn Gerd Kübler, Dr. Rüdiger Triebel und Herrn Mathias Knappe der K+S AG, die die Gesamtkoordination des Projekts übernommen haben. Weiterhin danken wir den Beteiligten der beiden Produktionsstandorte der K+S KALI GmbH, insbesondere Herrn Hans-Peter Gerhardt und Herrn Jakob Herrmann vom Werk Zielitz sowie Herrn Herko Zwätz, Herrn Matthias König und Herrn Thorsten Licht vom Werk Werra. Insbesondere hervorzuheben sind hierbei auch all die Personen, die im Hintergrund an der Umsetzung der Studie beteiligt waren.

Den Mitgliedern der studiensteuernden Projektleitung danken wir für die konstruktiven Diskussionen innerhalb der regelmäßigen Sitzungen sowie insbesondere Dr. Harald Wellhäußer für die gute und unkomplizierte Moderation dieser Gruppe.

Wir bedanken uns außerdem bei den Mitgliedern des wissenschaftlichen Begleitkreises, die für die Erstellung des Auswertekonzepts verantwortlich waren und uns bei Fragen zu Daten, Analysen und Interpretationsansätzen zur Seite standen. Ein besonderer Dank geht hierbei an Dr. Dirk Pallapies, der die Leitung des wissenschaftlichen Begleitkreises übernahm und stets für Fragen und Diskussionen zur Verfügung stand.

Darüber hinaus bedanken wir uns auch bei unseren Kollegen von Ramboll Management Consulting in Dänemark, die unter der Leitung von Magnus Schøning Skriver für die Erstellung und Pflege der Datenbank verantwortlich waren, unseren Kollegen der Ramboll US Corporation, Dr. Annette Bachand und Lori Crawford, die die Analyse der Daten vorgenommen haben. Weiterhin danken wir auch Julian Kopka, Kerstin Stoffels und Nico Grebner



von Ramboll Deutschland GmbH, die die Treuhänderschaft übernommen haben und diese sorgsam und gewissenhaft ausgeübt haben.

Dem Auftragslabor Bioscientia danken wir ebenfalls für die außerordentlich gute Durchführung und gute Zusammenarbeit bezüglich der Probenpräparation und -analyse sowie der gesamten Logistik und Ausstattung unserer medizinischen Räumlichkeiten.

Schließlich möchten wir auch dem medizinischen Personal, allen MTA sowie Ärztinnen und Ärzten, für die Mitarbeit und stets motivierend gute Arbeit vor Ort mit den Studienteilnehmern danken.



INHALTSVERZEICHNIS

1.	Zusammenfassung	1
2.	Einführung und Ziel	3
2.1	Hintergrund	3
2.1.1	Machbarkeitsstudie	4
2.2	Ziele und Fragestellungen der Gesundheitsstudie im Untertagekalibergbau	4
3.	Studiendesign	7
3.1	Studienansatz	7
3.2	Kriterien zur Bewertung der Studientauglichkeit potenzieller Teilnehmer	7
3.3	Studienumfang	9
3.4	Exposition	11
3.5	Gesundheitliche Effekte	12
3.6	Mögliche Störfaktoren	14
3.7	Verzerrung durch Selektion	14
4.	Gewährleistung ethischer Prinzipien	16
5.	Projektorganisation	17
6.	Probenarchivierung	18
7.	Methoden	20
7.1	Studienteilnehmer	20
7.1.1	Information und Rekrutierung	20
7.1.2	Rücklauf und Einteilung von Studienteilnehmern	22
7.1.3	Zeitliche Planung der Untersuchungstermine	22
7.2	Medizinische Untersuchung	23
7.2.1	Räumlichkeiten	24
7.2.2	Medizinisches Personal	27
7.2.3	Ablauf der medizinischen Untersuchungen	28
7.2.4	Auftragslabor	29
7.2.5	Sub-Studie CIMT	30



7.3	Expositionsbewertung	31
7.3.1	Räumlichkeiten	33
7.3.2	Ablauf	33
7.3.3	Messmethodik	34
7.4	Datenerhebung und -management	36
7.4.1	Datenschutz	36
7.4.2	Datenbank	37
7.4.3	Datentypen	37
7.4.4	Aufarbeitung von Datensätzen	38
7.5	Qualitätssicherung und -kontrolle	40
7.5.1	Medizinische Untersuchungen - IPA	40
7.5.2	Expositionsmessungen - IGF	42
8.	Ergebnisse	43
8.1	Zahlen der Anmeldungen und Untersuchungen	43
8.2	Personenbezogene und soziodemographischen Informationen	46
8.3	Personenbezogene Exposition	50
8.4	Analyse der Biomarker bei exponierten und nicht-exponierten Beschäftigten	56
8.4.1	Kardiovaskuläre Parameter	58
8.4.2	Entzündung und Immunantwort	67
8.4.3	Atemwegsparameter (Lungenfunktion)	81
8.5	Analyse von Expositions-Biomarker-Zusammenhängen	86
8.5.1	Kardiovaskuläre Parameter	87
8.5.2	Entzündung und Immunantwort	92
8.5.3	Atemwegsparameter (Lungenfunktion)	101
9.	Schlussfolgerung	105
10.	Referenzen	107
11.	Abkürzungsverzeichnis	109
12.	weitere Daten	110
12.1	Messparameter	110



12.2	Weitere Tabellen und Abbildungen	114
12.2.1	Personenbezogene und soziodemographischen Informationen	114
12.2.2	Personenbezogene Exposition	117
12.2.3	Analyse der Biomarker bei exponierten und nicht-exponierten Beschäftigten	123
12.2.4	Analyse von Expositions-Biomarker-Zusammenhängen	128
12.2.5	Daten aus Fragebögen	134





1. ZUSAMMENFASSUNG

Die epidemiologische Studie zu gesundheitlichen Effekten bei unter Tage Beschäftigten mit Exposition gegenüber Dieselmotorabgasen und Sprenggasen (Gesundheitsstudie) wurde im Zeitraum von Ende 2016 bis Anfang 2020 durchgeführt, wobei die Datenerhebung zwischen August 2017 und Januar 2019 erfolgte. Diese Studie ist eine Querschnittstudie, bei der die Studienteilnehmer an einem Tag jeweils vor und nach ihrer Schicht untersucht wurden und ihre Exposition gegenüber NO, NO₂, CO, EC-DME, OC und A-Staub während ihrer Schicht an diesem Tag gemessen wurde. Die Gesundheitsstudie wurde in den beiden Werken Zielitz und Werra der K+S Kali GmbH durchgeführt. Insgesamt 1.559 Mitarbeiter der Grubenbetriebe und Fabriken meldeten sich zur Gesundheitsstudie an, 1.303 Studienteilnehmer nahmen teil und 1.246 konnten in die Auswertung einbezogen werden, davon waren 1.003 (801 in der Gewinnung, 202 in der Instandhaltung) Mitarbeiter unter Tage und 243 als Kontrollgruppe in der Fabrik. Neben der regulären Untersuchung haben 191 zufällig ausgewählte Studienteilnehmer auch an der einmalig durchgeführten Untersuchung der Carotis-Intima-Media-Dicke (CIMT) teilgenommen, 179 konnten in die Auswertung einbezogen werden.

Der vorliegende Abschlussbericht behandelt neben der technischen Durchführung und der Datenerhebung an den beiden Standorten Zielitz und Werra auch die Beschreibung und Interpretation der Ergebnisse aus den Deskriptionen und Analysen der erhobenen Daten.

Die im Rahmen der Studie erhobenen medizinischen Daten wurden in die drei Kategorien kardiovaskuläre Parameter, Entzündung und Immunantwort sowie Atemwegparameter unterteilt. Die erhobenen Daten wurden zunächst anhand von deskriptiven Statistiken analysiert und anschließend mit den Expositionswerten in Zusammenhang gesetzt.

Im Bereich der Gewinnung traten bei 33% der Messungen Überschreitungen des Arbeitsplatzgrenzwertes (AGW) für NO₂ und bei 56% Überschreitungen des AGW für EC-DME auf. Sowohl bei der Deskription der erhobenen Parameter als auch bei der Untersuchung potenzieller Zusammenhänge mit der Exposition resultierten keine konsistenten Tendenzen für den Vergleich vor und nach der Schicht sowie zwischen den Expositionsgruppen (Fabrik, Instandhaltung und Gewinnung). Die Ergebnisse der Biomarker lagen überwiegend innerhalb der Referenzbereiche. Insgesamt



konnten trotz der relativ hohen Expositionen, insbesondere in der Gewinnung, keine Assoziationen zwischen den medizinischen Ergebnissen und den inhalativen Gefahrstoffen ermittelt werden.

Aus den in diesem Abschlussbericht der Gesundheitsstudie im Untertage-salzbergbau präsentierten Ergebnissen können – auch bei expositions-basierter Betrachtung – bislang keine Gefährdungen der Beschäftigten unter Tage durch Dieselmotorabgase oder Sprenggase abgeleitet werden.



2. EINFÜHRUNG UND ZIEL

2.1 Hintergrund

Beschäftigte im Untertagekalibergbau sind mit Belastungen der Atemluft durch die Abgase der verwendeten Maschinen und Fahrzeuge sowie in geringerem Ausmaß durch Sprengschwaden konfrontiert.

In der Vergangenheit haben bereits verschiedene Studien gezeigt, dass Beschäftigte im Untertagekalibergbau eine erhöhte Inzidenz von Atemwegssymptomen und verringerter Lungenfunktion haben können. In den Studien von Lotz et al. (1998, 2006, 2008) wurden Bergleute zweier Kalibergwerke in Deutschland untersucht. Ausgehend von der Fragestellung nach Zusammenhängen zwischen der Salzstaubexposition und Atemtraktbefunden wurde die erste dieser Studie Mitte der 90-er Jahre begonnen.

Als in Europa die Diskussion um neue Luftschadstoffgrenzwerte für Stickstoffdioxid (NO₂) und Stickstoffmonoxid (NO) begann, wurden diese Studien um die Ermittlung von Dosis-Wirkungs-Beziehungen für beide Gase erweitert. Die Autoren kamen zu folgenden Schlussfolgerungen: „Im Ergebnis der Untersuchungen ist in beiden Bergwerken ein expositionsabhängiger Effekt auf die Lungenfunktion im Längsschnitt nachweisbar.“ „Im Mittel ist der Effekt für die untersuchten Kohorten als gering anzusehen. In wenigen Fällen, insbesondere bei Rauchern, kann bei höherer Exposition das Risiko gegeben sein, dass Funktionsstörungen mit klinischer Relevanz entstehen. Das Tabakrauchen stellte sich als wichtige Einflussgröße in Hinblick auf das Entstehen einer chronischen Lungenkrankheit dar.“ (Lotz 2006). Aufgrund der hohen Korrelation zwischen den einzelnen Expositionen war es nicht möglich, Effekte einzelner Schadstoffe abzugrenzen.

Ungeachtet dessen wurden die Arbeitsplatzgrenzwerte (AGW) für Stickstoffoxide (NO_x) und Dieselmotoremissionen (EC-DME) deutlich verschärft. Dies bedeutet eine Reduktion der AGW von 25 ppm auf 2 ppm für NO, von 5 ppm auf 0,5 ppm für NO₂ und einen AGW von 50 µg/m³ für Dieselmotoremissionen (EC-DME), gemessen als elementarer Kohlenstoff. Diese Grenzwerte wurden in Deutschland seitens des Gesetzgebers im November 2016 in Kraft gesetzt. Der deutsche Bergbau konnte bis November 2021 eine fünfjährige Ausnahmegenehmigung erwirken. Für die Einhaltung dieser verschärften Grenzwerte ab 2021 hat die K+S AG ein umfangreiches Maßnahmenpaket entwickelt. Die Studie zu gesundheitlichen Effekten bei unter Tage Beschäftigten mit Exposition gegenüber Dieselmotorabgasen (EC-DME) und Sprenggasen (Stickstoffoxide) ist eine dieser Maßnahmen.

Ziel der Gesundheitsstudie war es, zu bestimmen, ob sich untertägig Beschäftigte im Kalibergbau von nicht-exponierten (über Tage) Beschäftigten bezüglich physiologischer Parameter als Hinweis auf mögliche gesundheitliche Auswirkungen unterscheiden. Betrachtet wurden dabei die Expositionen gegenüber Dieselabgasen und Sprenggasen (Restsprengschwaden). Die Untersuchungen fanden auf den Kaliwerken Zielitz und Werra statt.

Diese Studie wurde als Querschnittsstudie konzipiert, die auf Messungen während einer Schicht pro Mitarbeiter basiert. Es erfolgten eine medizinische Untersuchung der Mitarbeiter vor und nach der Schicht sowie personenbezogene Messungen der Exposition gegenüber Dieselmotorabgasen und Sprenggasen während der gleichen Schicht. Des Weiteren wurden die Angaben der Studienteilnehmer zur individuellen Arbeitshistorie erhoben.

Der vorliegende Abschlussbericht behandelt den aktuellen Stand der Gesundheitsstudie nach Abschluss der praktischen Durchführung und der bisherigen Datenanalyse. Neben der technischen Durchführung und der Datenerhebung an den beiden Standorten Zielitz und Werra werden auch die Ergebnisse aus den Deskriptionen und Analysen der erhobenen Daten behandelt.

2.1.1 Machbarkeitsstudie

Im Jahr 2015 wurde eine Machbarkeitsstudie durchgeführt, welche unter anderem eine umfassende Literaturrecherche, Powerberechnungen zur Festlegung der Studienpopulation sowie Standortbesuche umfasste. Das Studienprotokoll, das die Grundlage für die hier durchgeführte Querschnittsstudie bildet, basiert auf dieser Machbarkeitsstudie.

2.2 Ziele und Fragestellungen der Gesundheitsstudie im Untertagekalibergbau

In der Studie wurde untersucht, ob Expositionen gegenüber Stickstoffmonoxid (NO), Stickstoffdioxid (NO₂), Kohlenstoffmonoxid (CO) und Dieselmotoremissionen (gemessen als elementarer Kohlenstoff, EC-DME), denen Beschäftigte im Kalibergbau ausgesetzt sind, und die direkt sowie über Biomarker gemessen wurden, im Zusammenhang zu Indikatoren gesundheitlicher (akuter und chronischer) Effekte stehen.

Aus wissenschaftlicher Sicht wurden die folgenden Fragestellungen beleuchtet und sollten durch die Gesundheitsstudie beantwortet werden.

- Welche Unterschiede der Expositionen gegenüber CO, NO, NO₂ und EC-DME gibt es zwischen unter und über Tage Beschäftigten und innerhalb der Gruppen der unter Tage Beschäftigten?
- Gibt es messbare Unterschiede in den Expositionsbiomarkern zwischen unter Tage Beschäftigten im Kalibergbau und nicht-exponierten über Tage Beschäftigten? Welchen Einfluss haben mögliche Störfaktoren wie Alter, anthropometrische Daten und Rauchstatus?
- Spiegeln diese Unterschiede mögliche Unterschiede in messbaren Gesundheitseffekten im Bereich der Atmungsorgane, des kardiovaskulären Systems sowie bei Entzündungen und immunologischen Erkrankungen wider?

Im Rahmen der Machbarkeitsstudie wurden Powerberechnungen durchgeführt, um die Größe der Studienpopulation zu bestimmen und so eine ausreichende Stärke der statistischen Zusammenhänge zwischen Exposition und Effekten oder Indikatoren von Interesse zu gewährleisten. Auf dieser Grundlage wurde eine Größe der Stichprobe von unter Tage Beschäftigten im Kalibergbau und nicht-exponierten Produktionsbeschäftigten auf insgesamt 1.250 festgelegt.

Die Gesundheitsstudie besteht bezüglich der Datenerhebung aus mehreren Teilen: Erstens wurden arbeitshistorische Daten der Studienteilnehmer abgefragt, zweitens erfolgte eine Erhebung medizinischer Daten und drittens die Messung von tagesaktuellen personenbezogenen Expositionen am Arbeitsplatz.

Die personenbezogenen Expositionsmessungen gegenüber CO, NO, NO₂, EC-DME erfolgten im Verlauf einer gesamten Schicht der Studienteilnehmer und geben damit quantitativ individuelle Konzentrationen und die Variabilität zwischen den Studienteilnehmern im Schichtverlauf wieder.

Die medizinischen Untersuchungen erfolgten einmal vor und einmal nach derselben Schicht der Studienteilnehmer und beinhalteten die Sammlung biologischer Proben (Blut und Urin) sowie die Messung diverser Lungenfunktionsparameter und NO in der Ausatemluft. Bei einem zufällig bestimmten Teil der Studienteilnehmer wurde außerdem unabhängig von den regulären Untersuchungen die Dicke der Intima-Media der *Arteria carotis* (Halsschlagader) per Ultraschall gemessen (CIMT).

Diese Konstellation der Studie ermöglicht die Betrachtung einer direkten Beziehung zwischen den Biomarkern und der gemessenen Exposition. Dies



ist die Voraussetzung, um potenzielle Zusammenhänge zwischen Exposition und Biomarkern zu ermitteln, die mögliche Effekte auf den Gesundheitszustand widerspiegeln können.