

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.

3. STUDIENDESIGN

3.1 Studienansatz

Aufgrund der hohen Zielzahlen der Studienpopulation mussten zur Erreichung dieser Werte mehrere Standorte von K+S berücksichtigt werden. Deshalb wurden alle Beschäftigten der Fabriken und unter-Tage-Betriebe der beiden Standorte Zielitz¹ und Werra² gebeten, an der Studie teilzunehmen.

Studienteilnehmer, die eine Einverständniserklärung abgegeben haben, wurden vor der Schicht auf ihren allgemeinen Gesundheitszustand untersucht und gaben Blut- und Urinproben ab. Des Weiteren wurden bei jedem Studienteilnehmer eine Ganzkörperplethysmographie und eine Messung des Stickstoffmonoxid-Gehalts in der ausgeatmeten Luft (FeNO) durchgeführt. Diese Prozedur wurde nach der Schicht wiederholt. Während der ausgewählten Schicht trugen die Studienteilnehmer Geräte zur Messung der personenbezogenen Exposition.

In der Datenanalyse wurden Biomarkerwerte verglichen (Werte vor und nach der Schicht sowie hinsichtlich des Expositions-niveaus), um Zusammenhänge zu identifizieren, die expositionsabhängige Gesundheitseffekte widerspiegeln oder vorhersagen könnten. Mögliche Langzeiteffekte wurden durch den Vergleich spezifischer Marker (Lungenfunktionsparameter, CIMT) mit Indikatoren der durchschnittlichen Expositionen analysiert.

3.2 Kriterien zur Bewertung der Studientauglichkeit potenzieller Teilnehmer

Einschlusskriterien

Studienteilnehmer konnten unter und über Tage Beschäftigte (Bergleute bzw. Fabrikmitarbeiter) sein, die seit mindestens einem Jahr in einem der beiden Kalibergwerke oder in den ausgewählten über-Tage-Produktionsstätten arbeiteten.

¹ Das Werk Zielitz in Sachsen-Anhalt beherbergt die Fabrik- und Grubenbetriebe an einem einzigen Standort.

² Das Werk Werra in Hessen ist auf mehrere Standorte aufgeteilt und umfasst die Fabrik Wintershall, die Fabrik Hattorf und die Grube Hattorf-Wintershall mit den Standorten Herfa und Hera.

Ausschlusskriterien

Ausgeschlossen wurden hingegen alle potenziellen Teilnehmer mit akuten oder chronisch entzündlichen Erkrankungen wie:

- Chronisch rheumatische Erkrankungen; Entzündliche Erkrankungen des Magen-Darm-Trakts (z.B. Magengeschwür, Colitis Ulcerosa);
- Akuter Infekt oder prävalente Atopie (z.B. akute Heuschnupfensymptome) zum Zeitpunkt der Untersuchung oder innerhalb der letzten drei Wochen;

Für die unter Tage Beschäftigten galten zusätzlich zu den oben aufgeführten Ausschlusskriterien folgende:

- Der potenzielle Teilnehmer hat weniger als ein Jahr in einer der Gruben gearbeitet;
- Der potenzielle Teilnehmer war mehr als ein Jahr in einem Nicht-Kali-bergwerk beschäftigt (z.B. Kohlebergwerk, Uranbergwerk)

Für über Tage Beschäftigte galten zusätzlich die folgenden Ausschlusskriterien:

- Berufsbedingt exponiert gegenüber NO, NO₂, CO, EC-DME oder anderen Substanzen, die im Zusammenhang mit kardiovaskulären Erkrankungen und Risiken, Entzündungen und immunologische Reaktionen oder Atemwegserkrankungen stehen;
- Weniger als 1 Jahr in einem der Produktionsbetriebe beschäftigt;
- Gleichzeitig auch unter Tage beschäftigt oder früher mehr als ein Jahr unter Tage gearbeitet.

Die Teilnahme an der Studie wurde ausgeschlossen, sobald eines der oben genannten Kriterien erfüllt war.

Sonderfälle

Neben den Kriterien, die eine Vorauswahl der potenziellen Studienteilnehmer ermöglichten, gab es auch Kriterien, welche zu einem nachträglichen Ausschluss von Studienteilnehmern oder Datensätzen führten. Gründe dafür waren unter anderem, dass Studienteilnehmer ihre Teilnahme widerrufen haben, sie individuelle Faktoren von der Teilnahme abgehalten haben z.B. ein längerer Arbeitsausfall oder auf Grund von zeitlichen und organisatorischen Faktoren eine Einteilung zur Untersuchung nicht realisierbar war. Für diese Fälle lagen am Ende der Studie lediglich Daten aus den

Vorabfragebögen zum allgemeinen Gesundheitszustand und der Arbeits-historie vor, da diese bereits im Vorfeld erhoben wurden.

Darüber hinaus konnten einige Datensätze nicht mit in die Analyse aufge-nommen werden. Eine Erläuterung dazu wird in Kapitel 7.4 angeführt.

3.3 Studienumfang

Im Bergwerk werden die verschiedensten Tätigkeiten sowohl unter als auch über Tage ausgeübt und variieren sehr stark.

Im Unter-Tage-Betrieb umfassen die Tätigkeiten der Mitarbeiter im Abbau-prozess beispielsweise Großlochbohren, Sprenglochbohren, Laden der Sprenglöcher mit Sprengstoff, Firstsicherung sowie das Laden, Transpor-tieren und Abladen von Haufwerk. Eine Darstellung des sogenannten Ge-winnungszyklus, welcher diese Tätigkeiten umfasst, ist in der folgenden Abbildung dargestellt.



Abbildung 1: Gewinnungszyklus Bohren und Sprengen (Quelle: K+S AG).

Die Instandhaltung unter Tage umfasst Wartung und Reparatur der dort eingesetzten Fahrzeuge und Maschinen sowie die Installation und Pflege der gesamten sonstigen Infrastruktur des Bergwerks.

In den Produktionsstätten über Tage (Fabrik) umfassen die Tätigkeiten Flo-tation, Heißverlösung, Mahlen und Sieben sowie Trocknung, Granulierung, Verladung der Materialien und Produkte sowie Wartung und Instandhal-tung (M- und E-Technik).

Für die Gesundheitsstudie war es wichtig, dass die Studienpopulation sowohl aus exponierten Beschäftigten der Grubenbetriebe unter Tage als auch aus nicht-exponierten Mitarbeitern aus den Produktionsbetrieben über Tage besteht. Die nicht-exponierte Gruppe diente dabei als Kontrollgruppe und wurde mit den exponierten Gruppen verglichen. Dies ermöglichte eine fundierte Bewertung der Daten. Jeder Mitarbeiter, der die Einschlusskriterien erfüllte oder keine Ausschlusskriterien aufwies, wurde eingeladen, an der Gesundheitsstudie teilzunehmen.

Durch die Powerberechnungen der Machbarkeitsstudie wurde eine spezifische Mindestgröße von 1.000 exponierten und 250 nicht-exponierten Mitarbeitern der jeweiligen Gruppierung bestimmt. Diese Mindestanzahl war erforderlich, um potenziell statistisch signifikante Unterschiede in Biomarkern zwischen den Expositionsgruppen erfassen zu können. Da dieser Umfang an erforderlichen Studienteilnehmern nicht mit der Belegschaft eines einzelnen Standortes von K+S abgedeckt werden konnte, setzte sich die Studienpopulation aus allen zu Beginn der Studie Beschäftigten der deutschen K+S Bergwerke Zielitz¹ und Werra² zusammen und bestand somit sowohl aus unter als auch über Tage Mitarbeitern der beiden Standorte.

Die Anzahl der Mitarbeiter, die von den verschiedenen Standorten laut Zielzahlen zur Sicherstellung repräsentativer Ergebnisse erforderlich war, ist in der folgenden Tabelle dargestellt. Das final festgelegte Verhältnis der Zielzahlen pro Standort ist abhängig von den jeweils verfügbaren Mitarbeitern.

Tabelle 1: Auflistung der Zielzahlen für das Erreichen repräsentativer Studienergebnisse.

Studiengruppe	Standort	Studienteilnehmerzahl
Exponierte Mitarbeiter	Grube Zielitz	500
	Schachtanlage Hera (Schacht Ransbach)	300
	Schachtanlage Herfa (Schacht Herfa)	200
Kontrollgruppe	Fabrik Zielitz	84
	Fabrik Wintershall	83
	Fabrik Hattorf	83
Summe		1250