

Institut und Poliklinik für Arbeits-, Umwelt-und Sozialmedizin

Ludwig-Maximilians-Universität München

Vorstand: Prof. Dr. D. Nowak

**Arbeitsplätze in sauerstoffreduzierter Atmosphäre –
Befragung von Betrieben, Betriebsärzten und Beschäftigten zu
technischen Sicherheitsvorkehrungen, medizinischen
Vorsorgeuntersuchungen sowie Erkrankungen und Beschwerden
von Exponierten.**

Dissertation

zum Erwerb des Doktorgrades der Medizin

an der medizinischen Fakultät der

Ludwig-Maximilians-Universität München

vorgelegt von

Katharina Albers-Dehnicke

aus Kiel

2011

**Mit Genehmigung der Medizinischen Fakultät der
Universität München**

Berichterstatter: Prof. Dr. med. P. Angerer

Mitberichterstatter: PD Dr. Klaus O. Peschel

Mitbetreuung durch
den promovierten Mitarbeiter: Dr. R. Petru

Dekan: Prof. Dr. med. Dr. h.c. M. Reiser

Tag der mündlichen Prüfung: 09.06.2011

Inhalt

<u>I.</u>	<u>Einleitung</u>	S.6
I.1	Vorbeugender Brandschutz	
I.2	Funktionsprinzip	
I.3	Physikalische Grundlagen	
I.4	Physiologie und Pathologie	
I.4.1	<i>Akute Reaktion auf Hypoxie</i>	
I.4.2	<i>Pathologie</i>	
I.5	Belastung durch chronische Erkrankungen	
I.5.1	<i>Herz</i>	
I.5.2	<i>Lunge</i>	
I.5.3	<i>Blut</i>	
I.5.4	<i>Nervensystem</i>	
I.6	Unterschiede bei Reaktionen auf hypobare bzw. normobare Hypoxie	
I.7	Richtlinien für Arbeitssicherheit	
I.7.1	<i>Vorsorgeuntersuchungen</i>	
I.7.2	<i>technische Sicherheitsmaßnahmen, Rechtliches</i>	
I.8	Ziel der Untersuchung	
<u>II.</u>	<u>Methoden</u>	S.18
II.1	Kollektiv / Einschlusskriterien	
II.2	Telefoninterview	
II.3	Fragebogenstudie	
II.4	Inhalt von Telefoninterview und Fragebögen	
II.5	Datenverarbeitung	
II.5.1	<i>Verarbeitung der Rohdaten</i>	
II.5.2	<i>Modifizierung und Verschlüsselung von Daten</i>	
II.5.3	<i>Auswertung</i>	

- III.1 Teilnahme / Einschlusskriterien
- III.2 Interview mit dem Anlagenverantwortlichen und Aussagen Beschäftigter über die betrieblichen Gegebenheiten
 - III.2.1 *Anwendungsbereiche*
 - III.2.2a *Schutzmaßnahmen Interview / Beschäftigte*
 - III.2.2b *Sauerstoffkonzentration*
- III.3 Interview mit dem Anlagenverantwortlichen und Aussagen Beschäftigter über chronische Erkrankungen und medizinische Vorsorgemaßnahmen
 - III.3.1 *Arbeitsmedizinische Vorsorgeuntersuchungen*
 - III.3.2 *Ergebnisse der arbeitsmedizinischen Vorsorgeuntersuchungen*
 - III.3.3 *Chronische Erkrankungen*
 - III.3.4 *Schwere Erkrankungen*
- III.4 Fragebogenuntersuchung zur Beanspruchung und Belastung von Exponierten und Kontrollpersonen
 - III.4.1 *Rücklauf*
 - III.4.2 *Rücklauf pro Betrieb*
 - III.4.3 *Persönliche Daten Exponierte / Kontrollen*
 - III.4.4 *Beruf*
 - III.4.5 *Tätigkeiten*
 - III.4.6 *Umfang der Exposition*
 - III.4.7 *Akute Beschwerden*

- IV.1 Darstellung der wichtigsten Ergebnisse
- IV.2 Methodik
 - IV.2.1 *Studiendesign*
 - IV.2.2 *Ablauf*
 - IV.2.3 *Fragebogenstudie*
- IV.3 Teilnahme
- IV.4 Kontrollgruppe

IV.5 Technische Sicherheitsmaßnahmen

IV.6 Medizinische Vorsorge

IV.7 Chronische Krankheiten

IV.8 Aktuelle Beschwerden

IV.9 Welche Konsequenzen ergeben sich aus dieser Untersuchung?

V. Zusammenfassung S.69

VI. Literatur S.71

VII. Anhang S.76

VII.1 Abkürzungsverzeichnis

VII.2 Fragebögen

VII.2.1 Fragebogen für Exponierte

VII.2.2 Fragebogen für Kontrollen

VII.2.3 Telefoninterview

VII.2.4 Teilnehmerinformation

VII.3 Lebenslauf

VII.4 Danksagung

I. Einleitung

I.1 Vorbeugender Brandschutz

Zur Vermeidung von Bränden z.B. in Serverräumen oder Lagern mit unwiederbringlichen oder extrem brandgefährdeten bzw. explosiven Gütern werden etwa seit dem Jahr 2000 sog. Inertisierungsanlagen oder Brandvermeidungsanlagen eingesetzt. Das Prinzip ist schon länger bekannt, wird aber erst seit dieser Zeit in wachsendem Umfang angewendet:

Durch eine Zugabe von Stickstoff wird eine Reduktion von Sauerstoff in der Raumluft von den normalerweise auf Meeresniveau herrschenden 21% auf 13-17% erreicht. Dadurch werden in diesen Anlagen Brände bereits in ihrer Entstehung gehindert. Dies trifft auf die meisten Materialien zu. Zur Brandvermeidung von explosiven Gütern wird die Sauerstoffkonzentration vereinzelt auch auf bis zu 8% abgesenkt; solche Anlagen, die nicht von Personen betreten werden, sind nicht Gegenstand dieser Untersuchung.

In Brandvermeidungsanlagen mit Sauerstoffkonzentrationen zwischen 17 und 13 Vol% halten vorübergehend Personen auf, um Arbeiten durchzuführen, die nur vor Ort getan werden können. Für diese Personen muss sichergestellt werden, dass der Aufenthalt und die Arbeit in sauerstoffreduzierter Atmosphäre keine gesundheitlichen Risiken birgt. Es handelt sich um eine neue Technologie, zu deren gesundheitlichen Auswirkungen es bisher wenig Erfahrungen gibt.

Da die Anlagen nicht meldepflichtig sind, ist genausowenig bekannt, in welchem Umfang Personen exponiert sind und welche Maßnahmen zu ihrer Sicherheit getroffen werden.

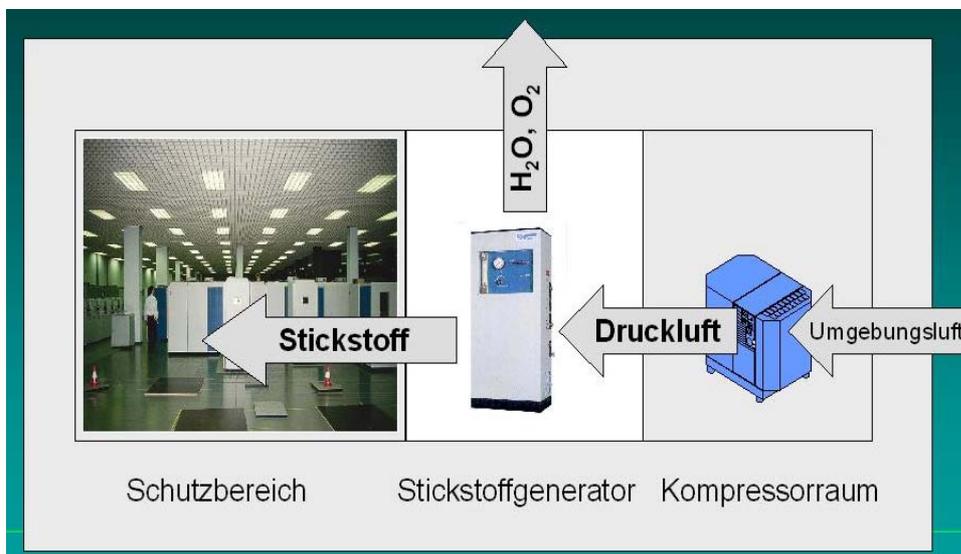
I.2 Funktionsprinzip

Das Funktionsprinzip der Anlagen besteht darin, den Sauerstoffgehalt in der Umgebungsluft durch die Erhöhung des Stickstoffgehalts abzusenken.

Dazu muss der zu schützende Bereich von der Umgebungsatmosphäre abgeschlossen werden. Ein technisches Verfahren zur Erzeugung von Stickstoff vor Ort besteht darin, mittels eines Kompressors Umgebungsluft durch eine Membran zu pressen, wodurch Stickstoff von Wasser und Sauerstoff getrennt wird. Das verbleibenden Gas mit hohem Stickstoffanteil wird dann in den abgeschlossenen Bereich eingeleitet. Die Sauerstoffkonzentration wird über Sensoren an mehreren Messpunkten permanent überwacht, eine Steuerzentrale reguliert darüber die Zufuhr von N₂ sowie ein Alarmsystem. (vgl. Abbildung 1.)

Über die Messung an mehreren Punkten im Raum wird auch sichergestellt, dass bei nicht völlig homogener Verteilung der Gase die angestrebte Sauerstoffkonzentration nicht an einer Stelle über- oder unterschritten wird.

Abb.1



(nach Angerer 2003)

I.3 Physikalische Grundlagen

Die normale Umgebungsluft besteht aus 20,9% O₂, 78,1% N₂, 0,03% CO₂ und <2% anderen Gasen. Bei einem mittleren Luftdruck von 101,3 kPa (760mmHg) herrscht auf Meeresebene demnach ein Sauerstoffpartialdruck von 21,2 kPa (160mmHg).

In einer Höhe von 2700m über dem Meeresebene herrscht ein Luftdruck von etwa 72,8 kPa und damit bei normaler prozentualer Luftzusammensetzung ein Sauerstoffpartialdruck von 15,2 kPa. Diesen Zustand bezeichnet man als hypobare Hypoxie.

Ein Sauerstoffpartialdruck von 15,2 kPa liegt auch dann vor, wenn man bei normalem Luftdruck auf Meereshöhe (101,3 kPa) die O₂-Konzentration auf 15% absenkt, wie es z.B. in Brandvermeidungsanlagen geschieht. Diesen Zustand bezeichnet man als normobare Hypoxie.

In Tabelle 1 sind erniedrigte Sauerstoffkonzentrationen auf Meereshöhe entsprechenden Höhen mit gleichem Sauerstoffpartialdruck gegenübergestellt.

Tabelle 1.

Sauerstoffkonzentration bei 101,3 kPa barometrischem Druck in Prozent	Entsprechender Sauerstoffpartialdruck , in kPa	Terrestrische Höhe, in der ein entsprechender Sauerstoffpartialdruck besteht, in m
18	18.2	1250
17	17.2	1750
16	16.2	2250
15	15.2	2700
14	14.2	3250
13	13.2	3850
12	12.2	4450

(nach Angerer 2003)

Während zur Brandvermeidung die Luftzusammensetzung entscheidend ist (erhöhter Stickstoffanteil, erniedrigter Sauerstoffanteil), ist der pulmonale Gasaustausch vom Sauerstoffpartialdruck abhängig.

I.4 Physiologie und Pathologie

I.4.1 Akute Reaktion auf Hypoxie

Die physiologischen Reaktionen auf hypobare Hypoxie sind im Bereich der Höhenmedizin intensiv beforscht worden.

Bei Abfall des Sauerstoffpartialdruckes im Blut erhöhen sich physiologischerweise innerhalb von Minuten Atemfrequenz und Puls durch Reizung von Chemorezeptoren in Aorta und Carotiden. Durch den niedrigen alveolären O₂-Partialdruck erhöht sich der pulmonare Gefäßwiderstand (Euler-Liljestrand-Reflex). Im Gegensatz zur Gefäßkontraktion in der Lunge erhöht sich der Blutfluss in den Koronararterien und im Gehirn. Es kommt zu einem leichten transienten Blutdruckabfall durch hypoxämische allgemeine Gefäßdilatation (Ward 2000, Grover 1976, Kaijser 1990, Schoene 1999).

Die Atemfrequenz steigt zunächst langsam, ab 3000m Höhe (ca. 14,5% O₂) sehr schnell an (Ward 2000).

Das Plasmavolumen wird durch vermehrte Wasserausscheidung reduziert und damit eine erhöhte Sauerstofftransportkapazität pro Volumeneinheit Blut erreicht (relative oder Konzentrationspolyglobulie).

Die Polyurie ist wie die Hyperventilation Ausdruck des normalen Akklimatisationsprozesses. Merkmal einer erfolgreich bewältigten Akklimatisation ist des weiteren, dass der Ruhepuls und damit die Herzleistung auf den individuellen Normwert zurückgeht.

Erythropoetin wird verstärkt freigesetzt; bereits nach wenigen Stunden ist der Erythropoetinspiegel bis zu 3-fach erhöht. Gleichzeitig mit dieser Entstehung einer absoluten Polyglobulie (Höhenpolyglobulie) gleicht sich das Plasmavolumen wieder an seinen Normalwert an. Die Höhenpolyglobulie kommt erst nach Wochen bis Monaten zum Tragen (Ward 2000).

Insgesamt ist der Stoffwechsel verstärkt durch Erhöhung von Cortisol, Schilddrüsenhormonen und Sympathikustonus.

Wird das hypoxische hypobare Umfeld verlassen, erfolgt rasch eine Akklimatisation an die Normoxie, so dass bei neuerlicher Hypoxie die o.g. physiologischen Akutreaktionen zu beobachten sind (Hultgren 1978). Das gleiche gilt nach Akklimatisation an eine Höhe für weiteres Aufsteigen in größere Höhen.

I.4.2 Pathologie

Gesunde Personen tolerieren die Umstellung auf den verminderten Sauerstoffgehalt der Umgebungsluft normalerweise gut. (Grover 1976, Schoene 1999, Kaijser 1990) Dies wurde auch für ältere Personen über 60 Jahre gezeigt. (Levine 1997)

Durch -oft psychisch verstärkte- Hyperventilation zum Ausgleich des Sauerstoffdefizits kann es jedoch zu einer Hypokapnie und einer respiratorischen Alkalose kommen.

Die körperliche Leistungsfähigkeit ist in hypobarer wie normobarer Hypoxie aufgrund des herabgesetzten O₂-Partialdruckes im Blut auch bei gesunden Personen eingeschränkt (Hammond 1986); die maximale O₂-Aufnahme ist in der Höhe niedriger als in Normoxie.

Akute Höhenkrankheit

Des Weiteren ist das Krankheitsbild der akuten Höhenkrankheit (AHK) bekannt, die bei gesunden Personen bei raschem Anstieg und mit zunehmender Höhe häufiger auftritt. Etwa 25% aller gesunden Personen, die rasch auf 2000 m Höhe anstiegen, entwickelten in einer Untersuchung von Montgomery 1989 zumindest in milder Ausprägung AHK. Ihr Hauptsymptom sind Kopfschmerzen, außerdem treten Übelkeit, Schwäche, Schwindel und / oder Schlaflosigkeit auf. Im schlimmsten Fall kann sich ein pulmonales und cerebrales Ödem mit Ataxie und Bewusstseinsstörungen bilden, was ohne rasche Gegenmaßnahmen, d.h. Abstieg in geringere Höhen oder Behandlung mit O₂ zum Tode führen kann. Die Symptome treten typischerweise 6-10 Stunden nach Erreichen großer Höhen auf, früheres Auftreten, z.B. nach schon einer Stunde, kommt jedoch vor. Insbesondere können isoliert Kopfschmerzen auftreten. (Dean 1990, Hackett 2001)

Die akute Höhenkrankheit tritt selten in Höhen unter 2000 m ü.M. (entspricht ca. 16,5 % O₂) auf (Hackett 2001, Roach 1993).

Bei Verlassen der Höhe bildet sich die Symptomatik meist rasch zurück.

Das Risiko für das Entwickeln einer AHK ist erhöht, wenn in der Vorgeschichte bereits AHK aufgetreten ist (Honigman et al.1995).

I.5 Belastung durch chronische Erkrankungen

Personen mit chronischen Erkrankungen können durch Hypoxie in besonderem Maß betroffen sein. Dies gilt insbesondere für Erkrankungen des Herzens, der Lunge, der Gefäße und des Blutes (v.a. Anämien).

I.5.1 Herz

In sauerstoffarmer Umgebung erhöht sich aufgrund der erhöhten Herzfrequenz der myokardiale Sauerstoffverbrauch. Bei gleichzeitig vermindertem Sauerstoffpartialdruck im Blut besteht deshalb für Patienten mit koronarer Herzerkrankung ein erhöhtes Risiko der Entwicklung von akuten Angina-pectoris-Beschwerden. Erdman et al. konnten 1998 zeigen, dass Patienten mit KHK und verminderter linksventrikulärer Funktion körperliche Anstrengung in einer Höhe von 2500 m dennoch gut tolerieren.

Patienten mit auf Meeresebene stabiler chronischer Herzinsuffizienz können sich laut einer Studie von Agostoni et al. (2000) ohne Probleme in Höhen bis 3000 m aufhalten. Sie wiesen lediglich eine mit steigender Höhe abnehmende körperliche Belastbarkeit auf. Bei Ejektionsfraktionen unter 30% sollte eine Höhe von 2000 m nicht mehr überschritten werden (Alleman et al. 1998)

Bei Patienten mit pulmonaler Hypertonie und damit chronischer Rechtsherzbelastung ist es denkbar, dass die in Hypoxie zusätzlich auftretende physiologische Erhöhung des pulmonalen Gefäßwiderstandes ein akutes Rechtsherzversagen auslöst, weshalb von Höhengedanken bei Patienten mit pulmonaler Hypertonie abgeraten wird. (Olschewski et al. 2007)

Insgesamt sollte leichte bis mäßige Hypoxie also für Patienten mit auf Meeresebene stabilen und gering symptomatischen Herzerkrankungen kein erhöhtes Risiko einer akuten Verschlimmerung darstellen. Beschwerden und Krankheitszeichen und Komplikationen sind aber auf einem geringeren Belastungsniveau zu erwarten.

I.5.2 Lunge

Bei Erkrankungen mit respiratorischer Insuffizienz können sich die Symptome in Hypoxie verstärken.

Patienten mit COPD können schon bei milder Hypoxie, z.B. im Flugzeug, deutliche Abfälle der arteriellen Sauerstoffsättigung aufweisen. Bei Lungenerkrankungen mit chronischer respiratorischer Insuffizienz verbessert die Gabe von Sauerstoff die Prognose, wenn der arterielle Sauerstoffpartialdruck unter 55 mmHg liegt (Siafakas 1995, American Thoracic Society 1995). Dieser Wert kann daher - in Analogie - als kritisch eingestuft werden. In einer Studie von Christensen 2000 wurde dieser Wert von den meisten COPD-Patienten in einer Höhe zwischen 2000 und 3000 m (bzw. entsprechender Kabinendruck bei Langstreckenflügen) bereits unterschritten. Die Personen waren dabei beschwerdefrei, befanden sich jedoch in Ruhe.

Bei Patienten mit stabilem Asthma bronchiale im freien Intervall ist keine Exacerbation zu erwarten (Fischer 2000, Wu et al. 2007). Durch Hypoxie und Kälte kann andererseits die bronchiale Hyperreagibilität in der Höhe initial verstärkt werden (Ahmet 1985, Barry et al. 1997).

I.5.3 Blut

Anämische Patienten haben von Grund auf eine eingeschränkte Sauerstofftransportkapazität, die bei erniedrigtem Sauerstoffpartialdruck im Blut zur Hypoxie in Geweben führen kann. In Normoxie ist beispielsweise bei Personen ein Hb von 3,3 - 4,0 g/dl die kritische Grenze, ab der es zu einer Unterversorgung von Geweben kommen kann (Habler und Messmer, 1997). Die Erythroneopoese durch vermehrte Bildung von Erythropoetin ist erst nach Wochen von Relevanz; zusätzlich kann je nach Anämieform die Erythroneopoese eingeschränkt sein.

Bei der hierzulande sehr seltenen Sichelzellanämie kann es in Hypoxie zu gefährlichen Organinfarkten kommen, nachdem sich die Erythrocyten im desoxygenierten Zustand zu Sichelzellen verformt haben.

I.5.4 Nervensystem

Inwieweit die geistige und psychomotorische Leistungsfähigkeit durch Hypoxie beeinflusst wird, wird kontrovers diskutiert. In Veröffentlichungen der sechziger und siebziger Jahre wurde eine Beeinträchtigung des Reaktionsvermögens und der geistigen Leistungsfähigkeit schon in niedrigen Höhen beschrieben (Ernsting 1978, Denison 1966, Crow 1969). Neuere Studien mit größeren Probandenzahlen und fortentwickeltem Studiendesign konnten diese Thesen nicht uneingeschränkt bekräftigen. So zeigten verschiedene Untersuchungen, dass Gedächtnis, räumliches Orientierungsvermögen und Lernleistung in mäßigen Höhen bis über 3000m (entsprechend um 14% O₂) nicht beeinflusst werden (Crow 1971, Fowler 1985, Green 1985, Gustafsson 1997).

Im Gegensatz hierzu treten zumindest in ausgeprägter hypobarer Hypoxie <13 Vol.% sehr wohl Einschränkungen der mentalen und psychomotorischen Leistungsfähigkeit auf, die sogar Tage nach der Rückkehr auf Meeresniveau noch bestehen können (Bartholomew et al.1999, Abraini et al. 1998, Crowley et al 1992).

I.6 Unterschiede bei Reaktionen auf hypobare bzw. normobare Hypoxie

Durch vorhandene wissenschaftliche Untersuchungen ist belegt, dass normobare und hypobare Hypoxie vergleichbare Auswirkungen auf den arteriellen Sauerstoffpartialdruck haben. Dillard et al. zeigten 1995, dass sowohl gesunde als auch solche Personen mit COPD in normobarer Hypoxie von 15Vol % und in hypobarer Hypoxie in 2400m Höhe vergleichbare Veränderungen des arteriellen Sauerstoffpartialdruckes aufweisen.

Savourey et al. konnten 2003 zeigen, dass normobare Hypoxie zu einer weniger ausgeprägten Hypoxämie, einer weniger ausgeprägten Hypokapnie und respiratorischen Alkalose sowie zu einer weniger verminderten O₂-Sättigung führt als hypobare Hypoxie .

In normobarer Hypoxie bestand in einer Untersuchung von Roach et al. bei Exposition bis zu 9h ein geringeres Risiko für das Entwickeln von Symptomen akuter Höhenkrankheit als in hypobarer Hypoxie (Roach1996).

Die körperliche Leistungsfähigkeit ist in normobarer wie hypobarer Hypoxie gleichermaßen eingeschränkt (Hammond 1986, s.o.)

I.7 Richtlinien für Arbeitssicherheit

Zum Zeitpunkt dieser Untersuchung gab es in Deutschland keine einheitlichen arbeitsmedizinischen und sicherheitstechnischen Regelungen für das Arbeiten in sauerstoffreduzierter Atmosphäre. Mittlerweile gibt es eine Stellungnahme eines entsprechenden Arbeitskreises der Staatlichen Gewerbeärzte (Dokument LV 38) (<http://lasi.osha.de/docs/lv38.pdf>) und ein Rundschreiben des Hauptverbandes der Gewerblichen Berufsgenossenschaften an alle Mitgliedsberufsgenossenschaften, die auf diese Regelungen verweisen. Eckpunkte sicheren Arbeitens wie technische und organisatorische Sicherheitsmaßnahmen, Begrenzung der Aufenthaltsdauer und arbeitsmedizinische Vorsorge und Begleitung wurden formuliert, sind aber nicht verbindlich.

In der Praxis wird der Umgang bis heute von den einzelnen Berufsgenossenschaften und von den Betrieben ganz unterschiedlich gehandhabt.

I.7.1 Vorsorgeuntersuchungen

Das Institut für Arbeits- und Umweltmedizin an der LMU München erarbeitete 2003 eine „vorläufige Richtlinie für eine spezielle arbeitsmedizinische Vorsorgeuntersuchung bei Arbeit in sauerstoffreduzierter Atmosphäre“. Sie gilt für Arbeiten im Bereich 13-17 Vol% Sauerstoff und beinhaltet bei der Erstuntersuchung einen Siebtest mit Anamnese, körperlicher Untersuchung, Ruhe-EKG und Blutbild jeweils im besonderen Hinblick auf Erkrankungen des Herzens, der Lunge, der Gefäße und des Blutes. Bei unauffälligen Befunden soll der Beschäftigte für die Exposition „freigegeben“ werden. Es sind dann je nach Sauerstoffkonzentration im Schutzbereich alle 3-5 Jahre Nachuntersuchungen vorgesehen. - Sind bei der Erstuntersuchung - bzw. auch bei Nachuntersuchungen- Auffälligkeiten festzustellen, schlägt die Richtlinie entsprechende Ergänzungsuntersuchungen vor, wie Belastungs-EKG, Spirometrie, Blutgasanalyse, Duplex-Sonographie der hirnversorgenden Arterien, Hämoglobinelektrophorese. Den Umfang der Ergänzungsuntersuchungen sollte der untersuchende Arzt je nach Befund bestimmen.

Die Richtlinie unterscheidet zwischen dauernden und befristeten gesundheitlichen Bedenken. In bestimmten Fällen wird eine Probeexposition mit direkt anschließender ärztlicher Untersuchung vorgeschlagen.

Danach sollten Personen mit koronarer Herzkrankheit, chronischer Herzinsuffizienz, Hypertonie oder Klappenvitien von der Exposition ausgeschlossen werden, wenn bei körperlicher Belastung in Normoxie bereits Beschwerden bzw. Ischämiezeichen auftreten. Der Ausschluss von der Arbeit im Schutzbereich kann befristet werden, wenn durch adäquate Therapie eine Besserung zu erwarten ist.

Ausgeschlossen werden sollten nach der Richtlinie ferner Personen mit Atemwegserkrankungen oder Anämie, die in Hypoxie einen errechneten arteriellen Sauerstoffpartialdruck von <55 mmHg haben würden; Personen mit akuter Höhenkrankheit in der Anamnese, die bei einer Probeexposition wieder entsprechende Symptome entwickeln; Personen mit hochgradiger Carotisstenose; Personen, die bereits einen Schlaganfall oder eine transitorische ischämische Attacke erlitten haben und bei denen während einer Probeexposition Schwindel oder eine verminderte geistige Leitungsfähigkeit beobachtet wird; Personen mit Sichelzellanämie; Personen mit Schwindel in den letzten 3 Monaten, der Alltagstätigkeiten beeinträchtigt hat. Der Ausschluss von der Exposition soll auch für alle Beschäftigten mit diesen Erkrankungen befristet sein, wenn eine Besserung zu erwarten ist.

I.7.2 Technische Sicherheitsmaßnahmen, Rechtliches

Die Berufsgenossenschaft der Feinmechanik und Elektrotechnik forderte 2002 eine arbeitsmedizinische Vorsorge auch für Anlagen mit über 17 Vol.% O₂, und zwischen 15 und 17 Vol.% eine maximale Expositionsdauer von 2 Stunden. Für Anlagen mit Sauerstoffkonzentrationen unter 15 Vol% gilt, dass das Betreten dieser Räume ohne ein Umgebungsluft unabhängiges Atemschutzgerät nicht zulässig ist und eine entsprechende arbeitsmedizinische Vorsorgeuntersuchung für das Tragen von Atemschutzgeräten durchgeführt werden muss.

Der Arbeitskreis Feuerschutz im Fachausschuss Nahrungs- und Genussmittel bezog den Richtlinienvorschlag der LMU 2003 in eine Stellungnahme ein und formulierte weiterhin eine Einteilung der Sauerstoffkonzentrationen in drei Kategorien. Danach sollten Räume mit ≥ 17 Vol.% O₂ für frei zugänglich sein, darunter nur mit arbeitsmedizinischer Vorsorgeuntersuchung vor der ersten Exposition. Die Wiederholungsuntersuchungen sollten jeweils nach 2 bzw. 3 Jahren durchgeführt werden. Bezüglich der Expositionsdauer forderte der AK Feuerschutz eine Beschränkung auf 4 Stunden, bei O₂-Konzentrationen zwischen 13

und 15 Vol.% auf 2 Stunden. Die Beschäftigten sollten während ihres Aufenthaltes im Schutzbereich jederzeit Kontakt zu anderen Personen aufnehmen können.

Der Länderausschuss für Arbeitsschutz und Sicherheitstechnik (LASI) stellte im Sommer 2004 Eckpunkte für die Beurteilung von Arbeiten in sauerstoffreduzierter Atmosphäre zusammen. Darin wurde insbesondere auf die bestehende rechtliche Situation eingegangen. Danach dürfen Arbeitsplätze in sauerstoffreduzierter Atmosphäre beispielsweise keine ständigen Arbeitsplätze sein. Es gibt jedoch keinen festen Grenzwert für den O₂-Gehalt in der Atemluft. Es sei bisher davon ausgegangen worden, dass Werte über 17 Vol.% unbedenklich sind und andererseits bei Konzentrationen unter 17% Atemschutz zu tragen sei, weshalb dies grundsätzlich zu fordern sei, so LASI. Es könne jedoch unter der Voraussetzung entsprechender Vorsorgeuntersuchungen und sicherheitstechnischer Auflagen ein Betreten von brandgeschützten Räumen mit Sauerstoffkonzentrationen bis 15 Vol% zugelassen werden. Unterhalb von 15 Vol% sei Atemschutz mit Zufuhr normaler Luft zu tragen.

Nach systematischer Auswertung der bislang veröffentlichten wissenschaftlichen Erkenntnissen aus der Höhenmedizin, Flugmedizin, Sportmedizin, Militärmedizin und anderen Disziplinen, die sich mit den Auswirkungen verminderten Sauerstoffpartialdrucks auf die Gesundheit von Personen auseinandersetzen und den Ergebnissen experimenteller Untersuchungen in normobarer Hypoxie wurde bisher davon ausgegangen, dass die Exposition mit normobarer Hypoxie in Brandvermeidungsanlagen für gesunde Personen und bei zeitlicher Begrenzung auf max. 6h kein gesundheitliches Risiko darstellt (Angerer und Nowak 2003, Angerer und Prechtl 2004) Die Begrenzung auf 6 Stunden geht v.a. auf eine Arbeit zum zeitlichen Verlauf von Forster zurück, in der erst nach 6h typischerweise Symptome der akuten Höhenkrankheit in solcher Form und Intensität aufzutreten beginnen, die ein Verlassen notwendig machen (Forster 1984).

Dennoch verbleiben Unsicherheiten, da die Anforderungen an den Arbeitsschutz - im Vergleich zum Umgang von Risiken im privaten Leben - sehr viel strenger sind und u.U. kleinere gesundheitliche Beeinträchtigungen, die in anderen Bereichen toleriert werden, im beruflichen Kontext nicht akzeptiert werden können. Ferner variiert die Umsetzung und Handhabung von Maßnahmen des Arbeitsschutzes und der Arbeitsmedizin in der betrieblichen Praxis und damit auch die tatsächliche Belastung und Gefährdung der beschäftigten Personen.

Unklar ist insbesondere, ob Vorsorgeuntersuchungen durchgeführt werden und bewirken, dass Personen mit erhöhtem gesundheitlichen Risiko die Anlagen nicht oder nur unter verstärkten Schutzmaßnahmen betreten. Schließlich gibt es wenig Untersuchungen zum Effekt der speziellen Expositionsgeschwindigkeit, da es wenig Situationen gibt in denen der Sauerstoffpartialdruck der Luft - wie beim Betreten eines brandgeschützten Raumes gegeben - innerhalb von Sekunden abfällt.

I.8 Ziel der Untersuchung

Vor diesem Hintergrund o.g. Erkenntnisse, Regularien und wissenschaftlicher Erkenntnislücken über Arbeitsplätzen in Hypoxie setzen wir uns mit vorliegender Untersuchung zum Ziel, eine bestmöglich repräsentative Quantifizierung der Belastungssituation (Exposition durch entsprechende Arbeiten) und der gesundheitlichen Beanspruchung (individuelle Reaktion auf die Belastung) von Personen zu erhalten, die in Deutschland in Brandvermeidungsanlagen arbeiten.

Im Einzelnen sollten folgende Fragen untersucht werden:

Auf betrieblicher Ebene:

- Wie viele solcher Anlagen werden bisher in Deutschland betrieben?
- Wie viele Personen arbeiten regelmäßig in den Anlagen?
- Wie ist der Stand der Sicherheitsvorkehrungen – technischer und persönlicher Art?
- Werden die betroffenen Personen speziell arbeitsmedizinisch betreut?

Zur Beantwortung dieser Fragen wurde die Methode einer schriftlichen und telefonischen Umfrage von Verantwortlichen in Betrieben gewählt, die solche Anlagen betreiben.

Auf individueller Ebene:

- Wie ist die individuelle Belastung (z.B. Häufigkeit, Dauer des Aufenthalts in sauerstoffreduzierten Räumen, Sauerstoffkonzentrationen, Art der beruflichen Tätigkeiten in den Räumen)?
- Welche Beschwerden und ggf. Erkrankungen treten im Zusammenhang mit der Exposition auf?

Zur Beantwortung wurde die Methode einer schriftlichen Befragung im Design einer Querschnittsuntersuchung gewählt, in der Exponierte und entsprechende Kontrollpersonen parallel untersucht wurden.

Diese Erkenntnisse sollten dazu dienen, evt Lücken im Arbeitsschutz und der arbeitsmedizinischen Vorsorge gezielt schließen zu können.

II. Methoden

II.1 Kollektiv /Einschlusskriterien

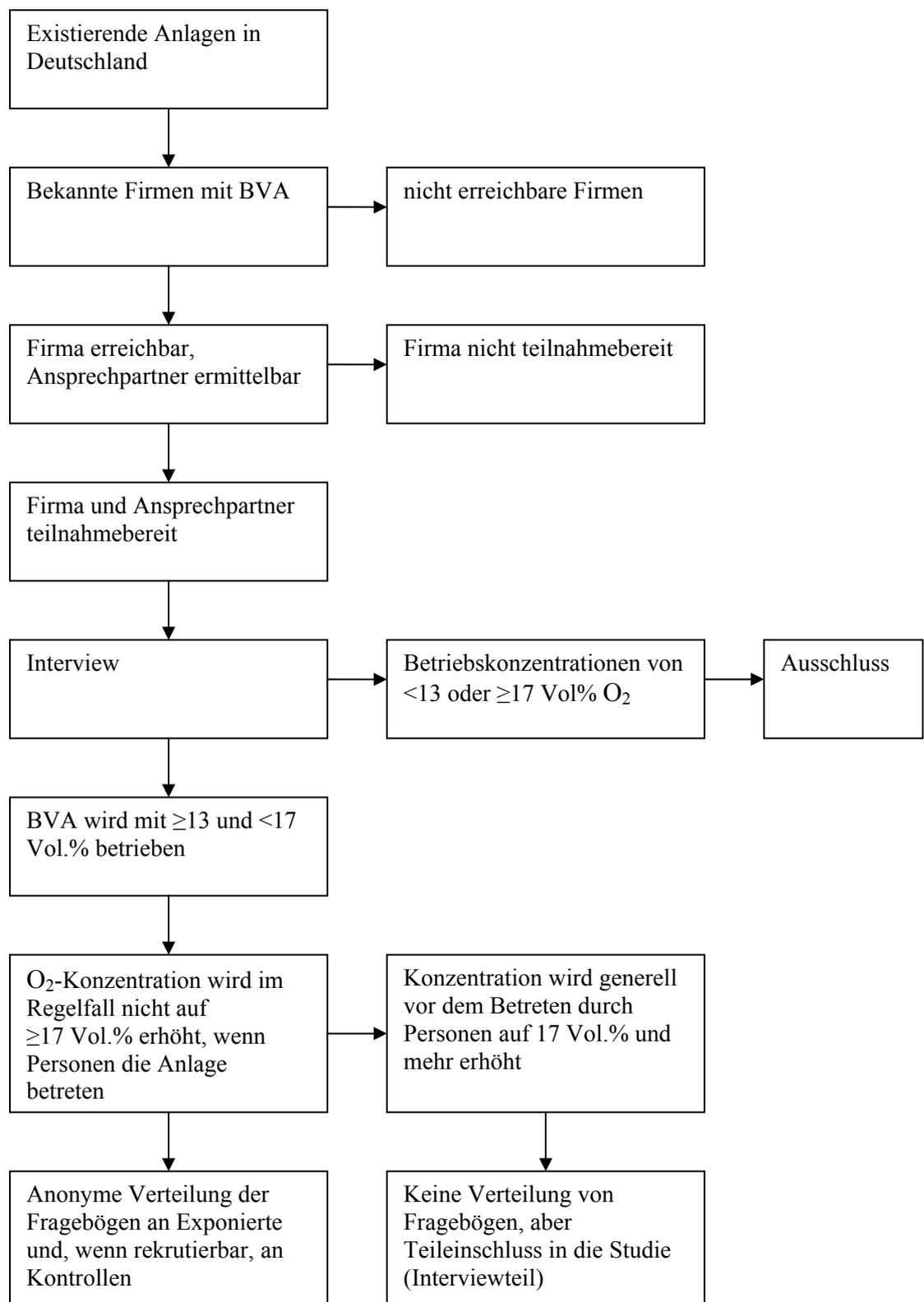
In der vorliegenden epidemiologischen Studie sollten mit der Umfrage prinzipiell alle Firmen in Deutschland erfasst werden, die eine sauerstoffreduzierende Brandvermeidungsanlage betreiben, sowie mit der Querschnittsstudie alle der Personen, die in solchen Anlagen arbeiten.

Dazu wurde aus Referenzlisten der Anlagenhersteller sowie aus gesammelten Kontakten mit Betreiberfirmen eine Firmenliste erstellt.

Nach Erstellung der Firmenliste und Ermittlung von Ansprechpartnern – mit Hilfe des Internet und telefonisch – wurden schließlich die Sicherheitsverantwortlichen bzw. die Betriebsärzte aller erreichbaren Firmen als Interviewpartner eingeschlossen. Einschlusskriterium war außerdem, dass die Brandvermeidungsanlage mit einer Sauerstoffkonzentration von 13 bis 16,9 Vol.% betrieben wird. Als Voraussetzung für den Einschluss in die Befragung der Beschäftigten sollte die Konzentration im Regelfall nicht auf Werte außerhalb dieser Grenzen verändert werden, wenn Personen den Raum betreten.

Es wurden innerhalb der eingeschlossenen Anlagen alle zum Zeitpunkt der Erhebung regelmäßig Exponierten in den Fragebogenteil eingeschlossen. Die Kontrollpersonen sollten zum Zeitpunkt der Erhebung in ähnlichen Tätigkeiten wie die Exponierten, aber nur außerhalb des sauerstoffreduzierten Milieus beschäftigt sein. Die Tätigkeiten sollten bezüglich ihrer körperlichen und geistigen Anstrengung vergleichbar sein. Die Auswahl der Kontrollpersonen oblag innerhalb dieser Kriterien dem Interviewpartner.

Schema 1.



II.2 Telefoninterview

Nach Erstellung der Firmenliste versandten wir an die Ansprechpartner in den Firmen ein Anschreiben mit Darstellung des Vorhabens, Ankündigung eines Telefoninterviews und des Wunsches, Fragebögen an die betroffenen Personen des Betriebs und an nicht exponierte Kontrollpersonen verteilen zu lassen. Kurz darauf wurden Informationen zur Anlage in einem Telefoninterview mit dem Ansprechpartner (Betriebsarzt, Sicherheitsverantwortlicher) eingeholt.

II.3 Fragebogenstudie

Nach erfolgtem Telefoninterview und bei Erfüllung der Einschlusskriterien wurden - bei Einverständnis des Interviewpartners und der Firma - Fragebögen in benötigter Anzahl an den Ansprechpartner verschickt, der sie an Exponierte und Kontrollen aushändigte. Die Beschäftigten erhielten eine Teilnehmerinformation gemäß den Richtlinien der Ethikkommission, sowie einen Fragebogen mit frankiertem und an uns adressiertem Rückumschlag. Exponierte und Kontrollen erhielten identische Fragebögen, die sich nur in folgenden Teilen – entsprechend den unterschiedlichen beruflichen Gegebenheiten - voneinander unterschieden:

In den Fragebögen für Kontrollen wurden die Fragen zur Häufigkeit der Exposition sowie zur Sicherheitstechnik der Brandvermeidungsanlagen weggelassen. Fragen zu möglichen Beschwerden während der Arbeit bezogen sich bei Exponierten auf den letzten Tag mit Exposition, bei Kontrollen auf den Tag „genau vor einer Woche“. Die Fragebögen befinden sich im Anhang.

Die Befragung erfolgte anonym: die Übergabe der Fragebögen erfolgte über eine Drittperson (=Ansprech-/Interviewpartner), die Befragten erklärten ihr Einverständnis zur Teilnahme durch die anonyme Rücksendung der Fragebögen. Der Name der jeweiligen Firma war auf dem Fragebogen notiert, so dass eine Zuordnung möglich war.

Es bestand für die Befragten aber die Möglichkeit, freiwillig Namen und Telefonnummer auf dem Fragebogen zu hinterlassen, falls eine persönliche Beratung durch Ärzte unseres

Institutes gewünscht wurde. Eine vertrauliche Behandlung gemäß den Prinzipien der ärztliche Schweigepflicht wurde zugesichert.

Einige Wochen nach der Versendung der Fragebögen wurden die Ansprechpartner nochmals telefonisch kontaktiert mit der Frage, wie viele Fragebögen tatsächlich verteilt werden konnten. Die Rücklaufquote errechnete sich aus dem Verhältnis der Anzahl der bei uns eingegangenen Fragebögen zur Zahl der tatsächlich verteilten Fragebögen. Nicht erfasst wurde somit die Zahl der Exponierten, die von vorne herein die Empfangnahme eines Fragebogens ablehnten und die, denen aus verschiedenen Gründen von unserem Ansprechpartner kein Fragebogen zugeteilt wurde.

Betrieben mit schlechteren Rücklaufquoten (um 50% und weniger) wurde etwa 4 Wochen nach Versendung der Fragebögen und mit Einverständnis des Ansprechpartners ein Erinnerungsschreiben an alle Teilnehmer zugeschickt.

In einem Betrieb mit großer Exponiertenanzahl konnte die exakte Anzahl an verteilten Fragebögen nicht ermittelt werden; die Zahl „260 Exponierte“ ist deshalb ein Schätzwert. Von allen anderen Firmen sind die Exponiertenzahlen exakt, beruhen aber auf der Einschätzung der Kontaktperson und deren Kenntnisstand.

Von einem Betrieb konnten wir Daten, die den durch unseren Fragebogen erhobenen Daten äquivalent sind, aus einer anderen laufenden Studie erhalten, die ebenfalls von unserem Institut durchgeführt wird. Diese Firma wird in unseren Ausführungen und Berechnungen genauso behandelt wie alle anderen Betriebe und nicht weiter gekennzeichnet, d.h. die Beschäftigten dieses Betriebs sind in den Zahlen der Fragebögen enthalten.

II.4 Inhalt von Telefoninterview und Fragebögen

Die Fragebögen finden zu betrieblichen Bedingungen (Telefoninterview) und individueller Belastung und Beanspruchung (Befragung der Exponierten und Vergleichspersonen mittels Fragebogen) befinden sich im Anhang.

Zusammenfassend wurden im Interview die Betriebsärzte bzw. Sicherheitsverantwortlichen zu technischen Daten der Anlage, Sicherheitsmaßnahmen, Umfang der Exposition von Beschäftigten und Vorsorgeuntersuchungen befragt.

Im einzelnen waren dies Fragen zu Sauerstoffkonzentration, Betriebszeit in Jahren, Anzeige der aktuellen O₂-Konzentration, Zutrittsregelung, Erhöhung der Konzentration unter besonderen Umständen, Anzahl der Exponierten aktuell und seit Bestehen der Anlage, Expositionsdauer und -häufigkeit sowie Tätigkeiten während der Exposition.

Weiter wurde nach der obligatorischen bzw. fakultativen Durchführung einer arbeitsmedizinischen Vorsorgeuntersuchung und im Detail nach deren Umfang gefragt. Abschließend fragten wir nach gesundheitlichen Bedenken bzw. Ausschluss von Personen von der Arbeit in der Anlage aufgrund der Vorsorge, sowie nach Erkrankungen, die im Zusammenhang mit der Exposition aufgetreten wären.

Die exponierten Beschäftigten und die Beschäftigten der Kontrollgruppe wurden zu persönlichen Daten (Alter, Geschlecht), ihrem Beruf und ihren Tätigkeiten befragt und um eine Einschätzung der körperlichen Schwere ihrer Tätigkeit gebeten.

Exponierte wurden nach der Häufigkeit und Dauer der einzelnen Expositionen, ihrer konkreten Tätigkeit in der Anlage, sowie nach dem Zeitpunkt der ersten Exposition gefragt, außerdem nach Sicherheitsmaßnahmen (Kontrolle der Sauerstoffanzeige u.a.) und ob eine medizinische Vorsorgeuntersuchung stattgefunden habe.

Beide Gruppen wurden um Angaben zu chronischen Erkrankungen des kardiovaskulären und des pulmonalen Systems, des Blutes und anderen chronischen Erkrankungen gebeten, sowie zu ernsthaften Erkrankungen in den letzten 3 Jahren.

Exponierte sollten angeben, ob diese Erkrankung in Zusammenhang mit der Exposition aufgetreten sei. Ein Zusammenhang wurde von uns angenommen, wenn die Erkrankung während des Aufenthalts in der Anlage begonnen hatte oder erste Symptome der Erkrankung während oder in den ersten Stunden nach Exposition aufgetreten waren.

Exponierte und Kontrollen wurden schließlich nach akuten Beschwerden während und nach der Arbeit gefragt. In der Exponiertengruppe bezogen sich diese Fragen auf den letzten Arbeitstag in sauerstoffreduzierter Atmosphäre, in der Kontrollgruppe auf einen zufällig festgelegten Tag („heute vor einer Woche“). Hierzu legten wir den Beschäftigten eine Liste mit Beschwerden vor, die physiologische Reaktionen auf Hypoxie, Symptome der akuten Höhenkrankheit (in Anlehnung an den Lake-Louise-Score), Hinweise auf mögliche Herz-Kreislauf-Komplikationen und häufige, aber hypoxieunabhängige Symptome (z.B. Rückenschmerzen) abdeckten.

Der Lake-Louise-Score (s. Tab. 2) beruht auf dem Vorhandensein und der Intensität folgender Symptome bei Exposition gegenüber Hypoxie (ursprünglich: Höhe): (1) Kopfschmerz, (2) gastrointestinale Symptome (Appetitlosigkeit, Übelkeit bis zum Erbrechen), (3) Mattigkeit /Schwäche, (4) Schwindel und Schlaflosigkeit. Kopfschmerz und mindestens 1 anderes Symptom müssen vorhanden sein. Konsens ist, daß ab einer Punktezahl von ≥ 3 eine AHK vorliegt. Für die Arbeit in Hypoxie wird vorgeschlagen, ebenfalls ab einer Punktezahl von ≥ 3 eine AHK anzunehmen, das Symptom Schlafstörung entfällt jedoch, da es sich im Lake-Louise-Score auf das Schlafen in Hypoxie bezieht. In unserem Fragebogen wurde das Symptom „Schlaflosigkeit nach Aufenthalt in Hypoxie“ dazugenommen.

Da es in der hier vorliegenden Arbeit primär um die Unterschiede in der Häufigkeit typischer Beschwerden zwischen Exponierten und Kontrollen ging und der Fragebogen einfach gehalten werden sollte, wurde auf die Abstufung der Beschwerdeintensität (von 0-3), aus der der Score errechnet wird, verzichtet. Ein Lake-Louise Score kann somit nicht ausgerechnet werden. Die einzelnen typischen Beschwerden, die den Score ausmachen, wurde jedoch komplett erfragt (siehe Anhang).

Die hypoxieunabhängigen Symptome wurden eingefügt, um einschätzen zu können, ob Exponierte Beschwerden angeben, weil sie allgemein klagsam sind, und ob sie zwischen Beschwerden, die im Zusammenhang mit der Hypoxie auftreten, und anderen Beschwerden differenzieren.

Tab. 2: Selbstbeurteilung nach dem Lake Louise Score

Symptom	Punktezahl
Kopfschmerz	0 keiner 1 milder Kopfschmerz 2 mäßiger Kopfschmerz 3 schwerer Kopfschmerz, behindernd
Gastrointestinale Symptome	0 guter Appetit 1 Appetitlosigkeit / Übelkeit 2 mäßig schwere Übelkeit / Erbrechen 3 schwere, behindernde Übelkeit, Erbrechen
Mattigkeit und / oder Schwäche	0 keine 1 milde Mattigkeit / Schwäche 2 mäßig schwere Mattigkeit / Schwäche 3 schwere Mattigkeit / Schwäche
Schwindel	0 kein Schwindel 1 milder Schwindel 2 mäßig schwerer Schwindel 3 schwerer Schwindel, behindernd
(nur bei Schlaf in sauerstoffarmer Atmosphäre): Schlafstörungen	0 habe so gut wie immer geschlafen 1 habe nicht so gut wie immer geschlafen 2 oft aufgewacht, schlecht geschlafen 3 konnte gar nicht schlafen

II.5 Datenverarbeitung

II.5.1 Verarbeitung der Rohdaten

Allen eingehenden Fragebögen wurden Fallnummern zugewiesen. Die Daten aus den Fragebögen wurden doppelt in eine Excel-Datenbank eingegeben, die beiden Versionen der Datenbank miteinander verglichen und Diskrepanzen durch Vergleich mit den Originalbögen aufgelöst.

Anschließend wurden Plausibilitätskontrollen durchgeführt und daraus folgend einige Änderungen vorgenommen. Die veränderten Dateneingaben wurden gekennzeichnet, die Originaldaten sind anhand der (nach Rückerhalt) durchnummerierten Fragebögen jederzeit nachvollziehbar.

II.5.2 Modifizierung und Verschlüsselung von Daten

Freitextantworten wurden als Zahlen verschlüsselt und zum Teil in Gruppen eingeteilt. Wurde die Freitextantwort nur zu einem geringen Prozentsatz beantwortet, werden diese Antworten im Ergebnisteil beispielhaft erwähnt.

Einteilung der Berufe / Tätigkeiten:

1. EDV-Bereich (Informatiker, Netzwerkprogrammierer / -administratoren,; auch Beschäftigte mit anderen gelernten Berufen (z.B. Kaufmann, EDV-Techniker, Azubi ohne angegebenes Berufsziel), die angeben, als EDV-Administrator tätig zu sein)
2. Techniker, Elektriker, Mechaniker, technische Assistenten (z.B. CTA), Lagerwirtschaft, Reinigung
3. Kaufmännische Berufe, Verwaltung, Archiv, Naturwissenschaftler Chemie / Physik (Akademiker)

Einteilung der von den Firmen angegebenen Sauerstoffkonzentrationen:

1. 14,6 – 15,4 Vol.% O₂
2. 15,5 – 16,9 Vol.% O₂
3. 13 – 14,5 Vol.% O₂
4. ≥ 17 Vol.% O₂
5. ≤ 13 Vol.% O₂

In manchen Anlagen wird die Sauerstoffkonzentration erhöht, wenn besondere Arbeiten ausgeführt werden oder besondere Personen die Anlage betreten. Für die Verschlüsselung wurden die Gründe für eine Erhöhung der Konzentration wie folgt eingeteilt:

1. Aufenthalt > 30 min
2. Aufenthalt > 4 h
3. vorhersehbar längerdauernde Arbeiten (Wartung)
4. Mitnahme von Besuchern
5. schwer körperliche Arbeit
6. Mitnahme von Personen ohne arbeitsmedizinische Vorsorge
7. bei Bedarf / Beschwerden

Die Zeit seit der ersten Exposition wurde in Monate umgerechnet. Dabei wurde die Zeit von der ersten Exposition bis zum 30.04.05 berechnet. Bei angegebener Jahreszahl, aber nicht angegebenem Monat der Erstexposition wurde der 1.7. des Jahres angenommen.

Die Häufigkeit der Exposition wurde gerundet auf Tage pro Jahr umgerechnet. Ausgehend von einer 5-Tage-Woche wurde die Antwort „täglich“ auf 5 mal 52 Wochen = 260 Tage umgerechnet, die Antwort „pro Woche x mal“ auf 52 mal x, die Antwort „pro Monat x mal“ auf 12 mal x umgerechnet. Urlaubszeiten wurden nicht berücksichtigt, da es sich ohnehin um Schätzwerte handelt und die Urlaubszeiten / Abwesenheiten aus anderen Gründen nicht detailliert erfasst werden konnten. Die Kategorien „täglich“, „pro Woche“ etc. wurden in einer weiteren Berechnung berücksichtigt. Die Antwort „10 mal pro Woche“ wurde als „mehrmals täglich“ interpretiert. Für einen Teil der Firmen wurde die explizite Frage nach „mehrmals täglich“ nachträglich in den Fragebogen aufgenommen.

In eine Brandschutzanlage werden durch eine weitere Firma Arbeitskräfte zu Wartungsarbeiten geschickt. Es gelten für diese Beschäftigten dieselben Regelungen wie für die Mitarbeiter des Betriebs welcher die Brandvermeidungsanlage unterhält. Da es sich um eine einzige Anlage handelt, wurde mit der Wartungsfirma kein Interview geführt; der Ansprechpartner gab lediglich die Fragebögen weiter. Beide Firmen werden in unseren Berechnungen zusammengezählt.

II.5.3 Auswertung

Die Auswertung der Daten erfolgte mit dem Statistikprogramm Spss 12.0 unter Einsatz biometrischer Standardverfahren (Häufigkeiten, Mittelwerte, Kreuztabellen und chi-Quadrat-Test je nach Art der Daten).

Erstellt wurde die deskriptive Statistik mit separater Auswertung der einzelnen Merkmale. Anschließend wurden Erkrankungs- / Beschwerdehäufigkeiten der Exponiertengruppe mit denen der Kontrollgruppe verglichen. Ein p-Wert von $<0,05$ wurde als signifikant angesehen (Bender und Lange, 2007).

In einem adjustierten Modell wurden die Unterschiede zwischen den beiden Expositionsgruppen erneut geprüft. Dabei wurden die Zusammenhänge zwischen Exposition und Beschwerden jeweils für Alter, Berufsgruppe und angegebene körperliche Belastung adjustiert. Dazu wurde einem univariaten allgemeinen linearen Modell (Andres, J, *Handbuch quantitative Methoden*) die verschiedenen Beschwerden als abhängige Variablen definiert, die Zugehörigkeit zur Gruppe der Exponierte bzw. Nichtexponierten als fester Faktor und die anderen Unterschiede zwischen den zwei Gruppen als Kovariaten.

Die Erstellung der Graphiken wurde mit Autodesk AutoCAD 2004, sowie Adobe Illustrator CS durchgeführt. Tabellen wurden mit Microsoft Word erstellt.

III. Ergebnisse

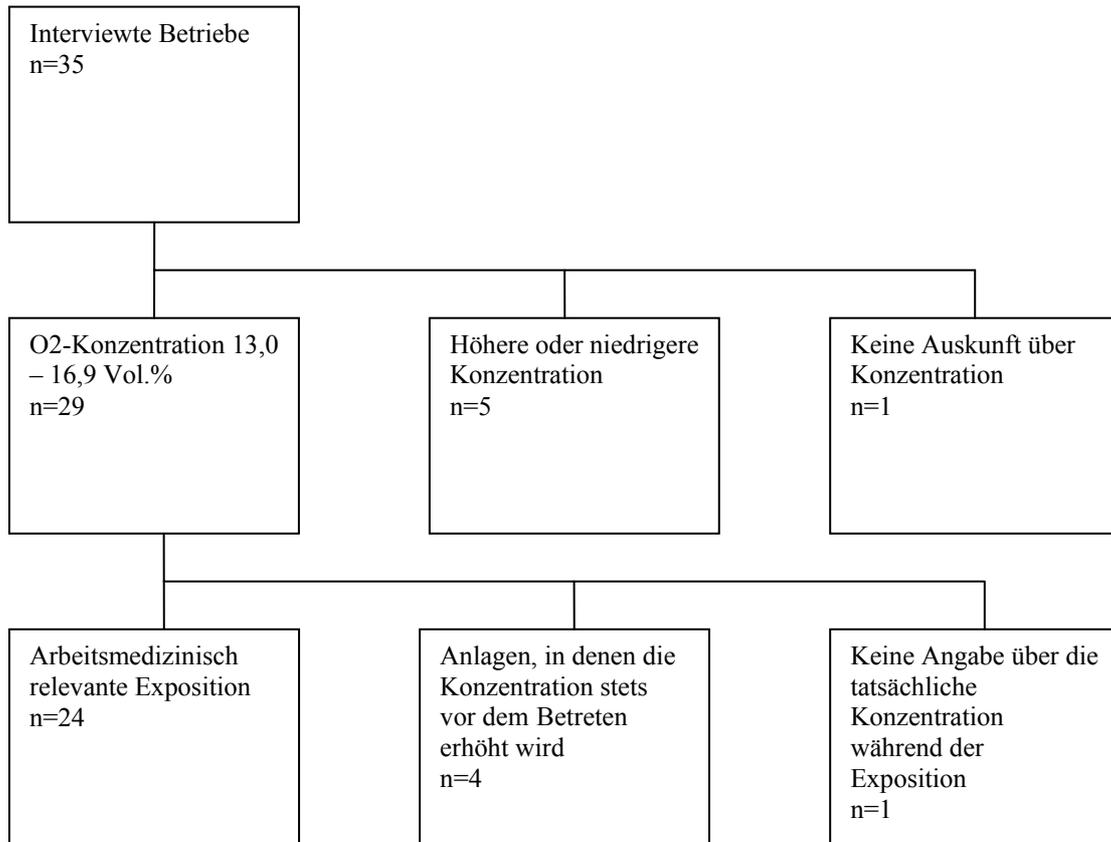
Ergebnisse von Fragestellungen, die sowohl im Interview als auch im Fragebogen für Beschäftigte behandelt werden, werden im Ergebnisteil jeweils zusammen dargestellt. Dies betrifft die Arbeitsbedingungen / die Belastung. Die Ergebnisse zu den Auswirkungen auf die individuelle beschäftigte Person / die Beanspruchung werden entsprechend unter III.1 bis III.3. dargestellt.

III.1 Teilnahme / Einschlusskriterien

Von 47 identifizierten Anlagen konnten über 35 in einem Interview Informationen eingeholt werden. In 6 Anlagen fand sich kein Ansprechpartner; die Ansprechpartner in 6 weiteren Anlagen lehnten ein Interview ab.

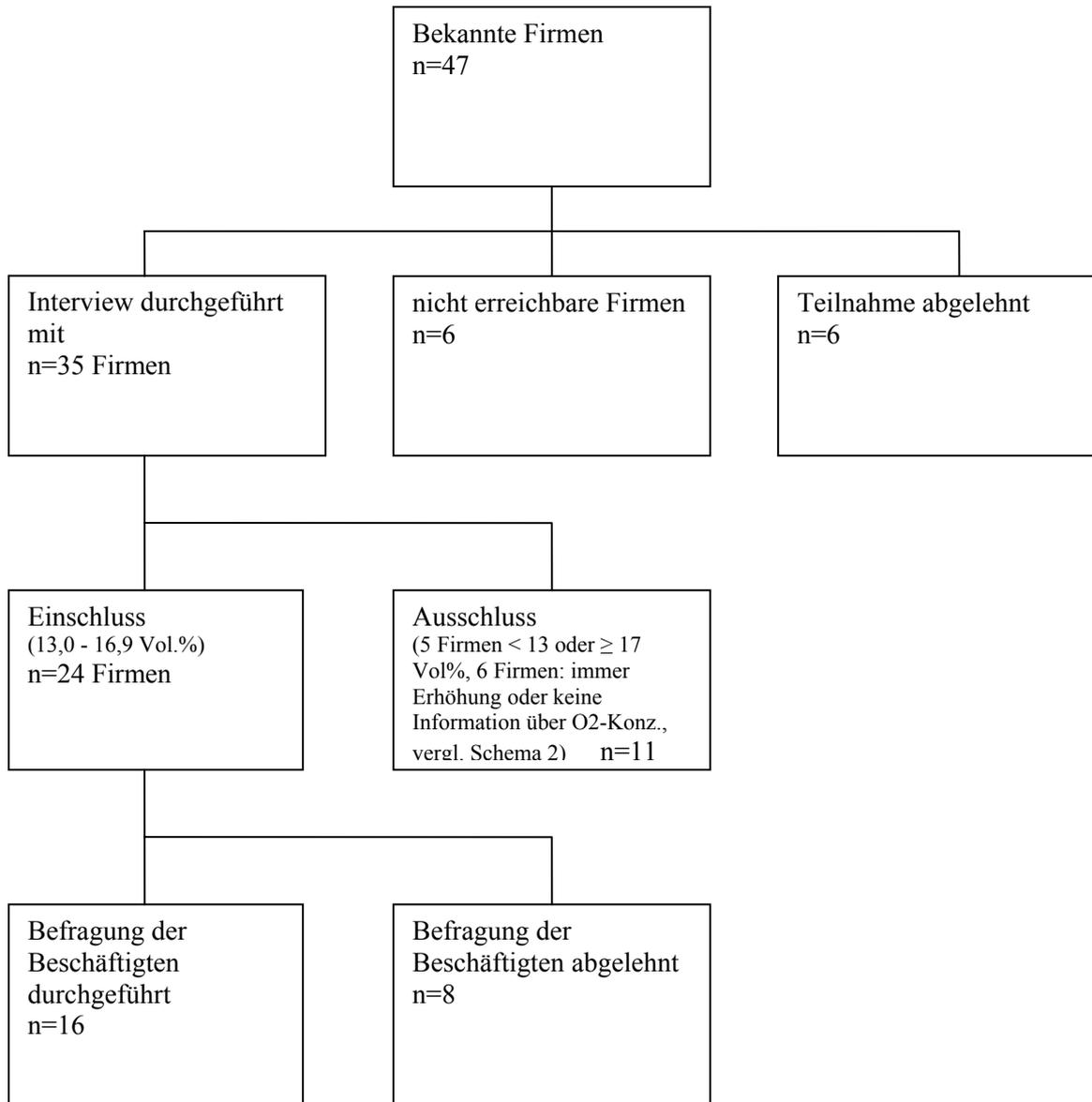
29 Anlagen werden mit Sauerstoffkonzentrationen von 13,0 bis 16,9 Vol.% betrieben, in vier dieser 29 Anlagen wird die Konzentration jedoch stets vor Betreten auf mindestens 17 Vol.% erhöht. Fünf Anlagen werden mit höheren oder niedrigeren Konzentrationen betrieben. Bei einer Anlage bekamen wir keine Auskunft über die O₂-Konzentration, bei einer weiteren konnte bezüglich der tatsächlichen O₂-Konzentration während der Exposition keine Angabe gemacht werden. Somit findet in 24 der 35 Anlagen eine arbeitsmedizinisch relevante Exposition statt (s. Schema 2).

Schema 2



In 15 der 24 Anlagen erklärten sich die Ansprechpartner bereit, Fragebögen an die Beschäftigten zu verteilen, in acht Firmen wurde dies durch Ansprechpartner oder Betriebsrat abgelehnt. Von einem Betrieb konnten wir Daten, die den durch unseren Fragebogen erhobenen Daten äquivalent sind, aus einer anderen laufenden Studie erhalten, die ebenfalls von unserem Institut durchgeführt wird. Diese Firma wird in den folgenden Ausführungen und Berechnungen genauso behandelt wie alle anderen Betriebe und nicht weiter gekennzeichnet. (vgl. Schema 3)

Schema3



Insgesamt sind in diesen Anlagen 540 Personen regelmäßig exponiert, in den einzelnen Betrieben handelt es sich um jeweils 2-270 Personen, zumeist um Personenzahlen unter 10. Seit Bestehen der Anlagen waren nach Angabe der Betreiber insgesamt ca. 670 Personen regelmäßig exponiert (vgl. Tab. 3).

Tabelle 3.

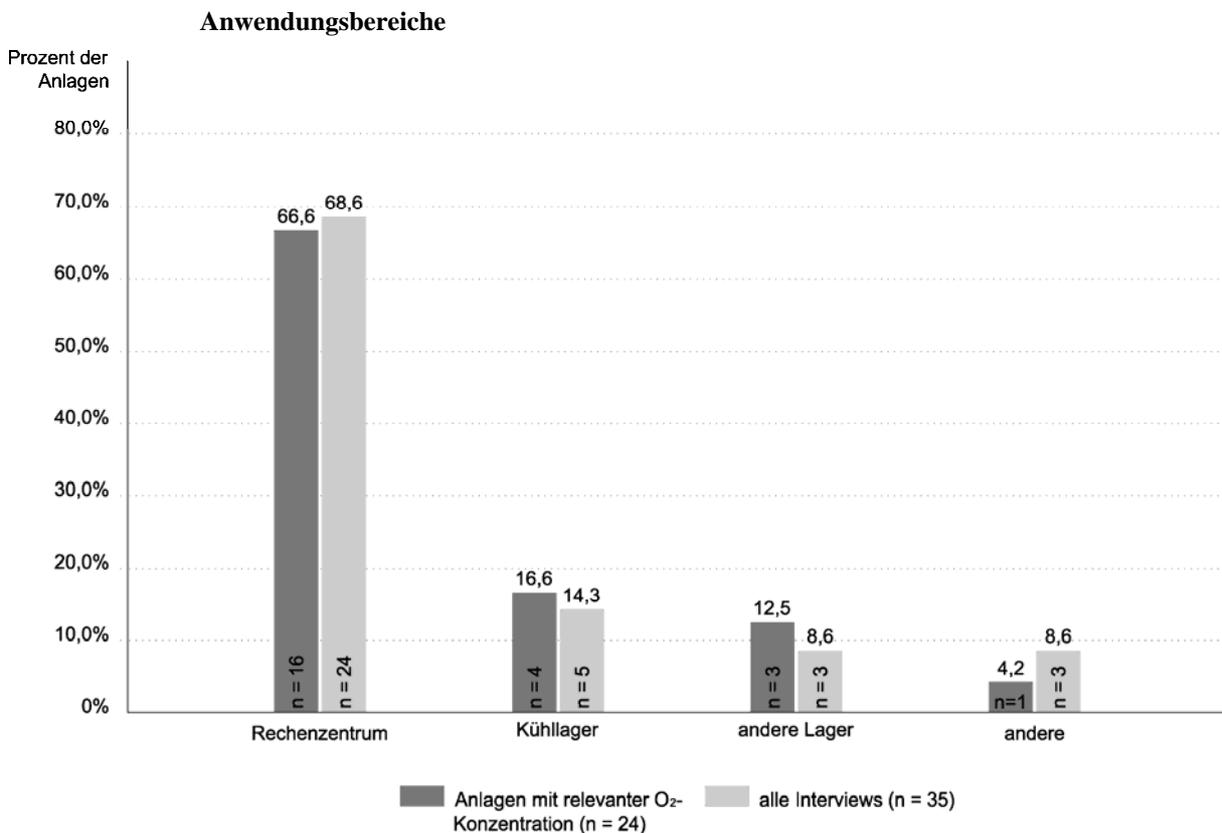
Betrieb	Personen derzeit exponiert	Personen seit Inbetriebnahme exponiert
1	6	6
2	5	5
3	3	3
4	5	5
5	40	40
6	6	6
7	22	22
8	270	270
9	16	20
10	3	3
11	5	5
12	5	5
13	7	7
14	3	3
15	5	100
16	27	27
17	8	8
18	1	2
19	k.A.	k.A.
20	5	5
21	40	60
22	2	2
23	10	20
24	50	50
Summe	544	674

III.2 Interview mit dem Anlagenverantwortlichen und Aussagen Beschäftigter (mittels Fragebogen) über die betrieblichen Gegebenheiten und Vorsorgemaßnahmen

III.2.1 Anwendungsbereiche

Die ersten Anlagen gingen 1990 in Betrieb, die meisten von uns erfassten laufen seit den Jahren 2001 -2003. Typische Bereiche, die durch die Sauerstoffreduktion vor Bränden geschützt werden, sind Rechenzentren und Lager (Hochregallager, Lager mit explosiven oder unwiederbringlichen Gütern, Tiefkühlager, Archive). Rechenzentren sind dabei am häufigsten vertreten, gefolgt von Kühlslagern. (vgl.Abb.2)

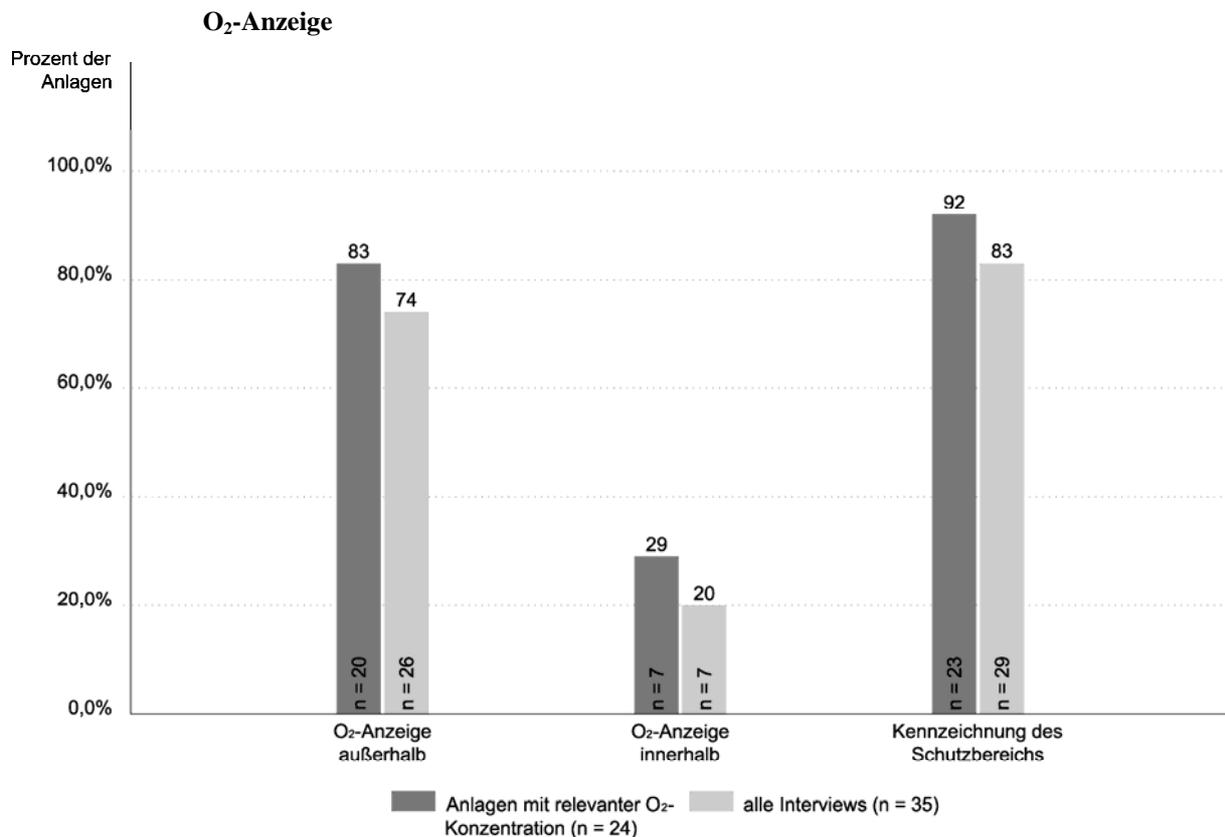
Abb. 2



III.2.2a Schutzmaßnahmen

Der Zugang ist nach Angabe der Betreiber in 100% der Anlagen (n=24) mit relevanten O₂-Konzentrationen durch diverse Sicherheitsvorkehrungen auf einen definierten Personenkreis beschränkt. Die Befugten erhalten einen Schlüssel, eine Chipkarte o.ä. oder können die Anlage in einigen Betrieben nur über ein Finger- oder Irisscansystem betreten. In einem Fall gibt es lediglich ein Schild „nur für Befugte“, ohne dass der Raum abgeschlossen ist. In einem Betrieb tragen die Beschäftigten im Schutzbereich mobile Sauerstoffmessgeräte mit sich. Bezüglich der Kennzeichnung des sauerstoffreduzierten Bereichs vergleiche Abb. 3.

Abb.3



III.2.2 Sauerstoffkonzentration

Die O₂-Konzentration liegt bei den untersuchten Anlagen nach Angabe der Interviewpartner am häufigsten bei 15%. (vgl. Abb. 4)

In der direkten individuellen, anonymen Befragung der exponierten Personen gaben diese Konzentrationen an, die teilweise von den vom Ansprechpartner genannten Konzentrationen abweichen, meist um ±1 Vol%, aber auch bis zu +8Vol% Sauerstoff.

Die Sauerstoffanzeige wird von 66% der Exponierten (n=142) vor Betreten des Schutzbereichs abgelesen. (vgl. Tab.3)

Abb. 4

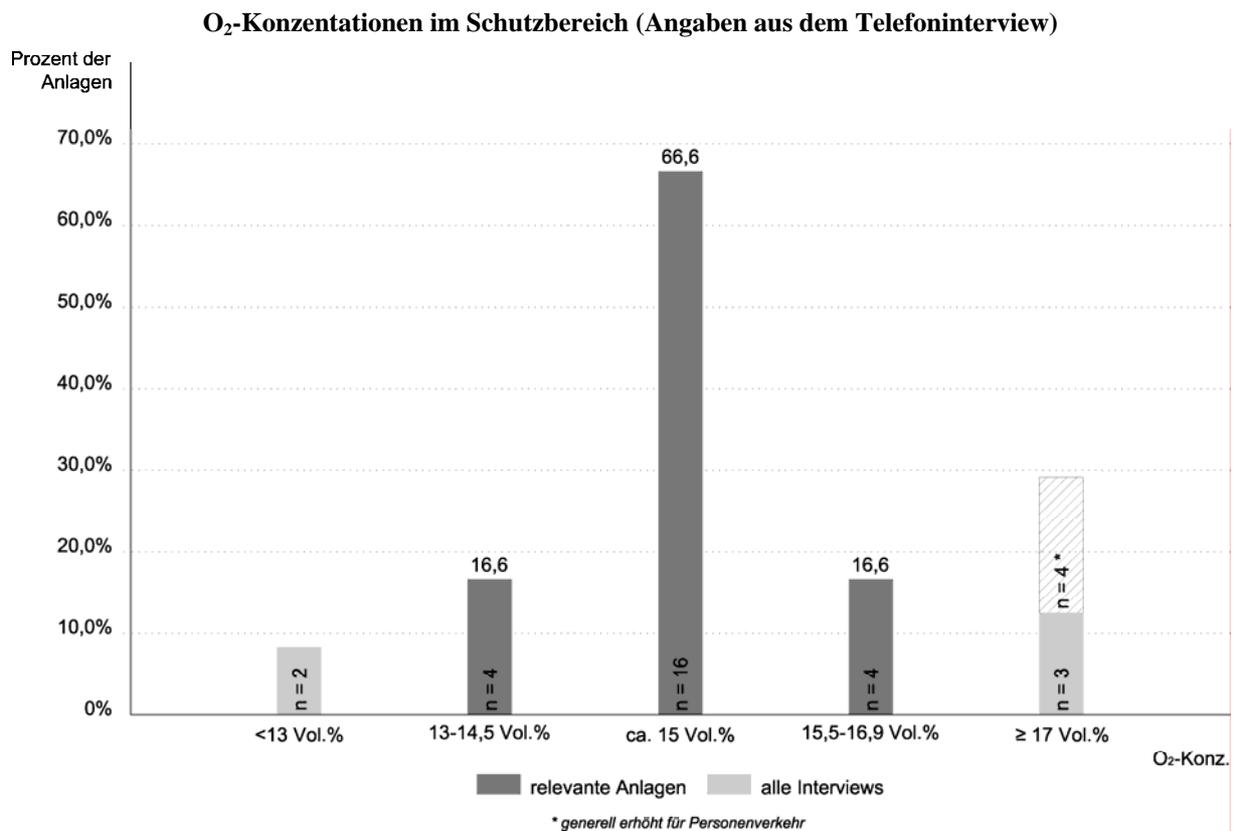


Tabelle 4.

Anlage	O ₂ -Konzentration Interview in Vol.% laut	O ₂ -Konzentration Beschäftigten in Vol.% laut
1	15	14,0 – 15,7
2	13	15
3	15	14 – 15
4	15	14 – 15
5	15	15
6	16	14 – 17
7	14	13 – 15
8	13	11 – 21
9	15	14 – 15
10	16	13 – 17,5
11	15	13,7 – 15,5
12	15	15
13	15	15
14	15	15
15	15	15 – 16

Die Sauerstoffkonzentration wird laut Verantwortlichen in 62% der Anlagen (n=15) für besondere Personen oder Situationen erhöht. Von einer solchen Konzentrationserhöhung berichteten auch Mitarbeiter aus 2 Betrieben, in denen dies nach Angabe des Verantwortlichen gar nicht der Fall ist.

In zwei Firmen gaben jeweils bis zu vier Beschäftigte an, die Sauerstoffkonzentration werde vor dem Betreten der Anlage durch Personen generell erhöht; die Konzentration betrage dann 17 bzw. 21% O₂.

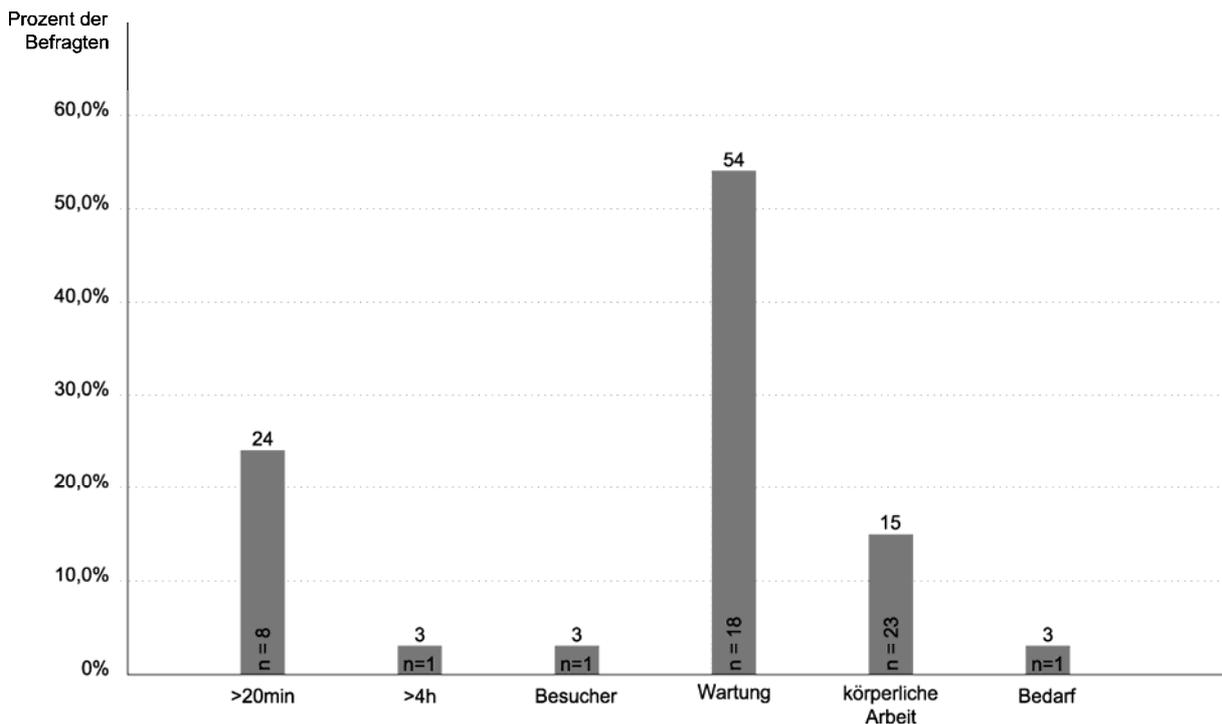
In zehn Firmen (42 %) wird nach Angaben eines Teils der Beschäftigten die Konzentration für besondere Arbeiten oder Personen erhöht. Die Angaben kamen von insgesamt 33 Beschäftigten = 15% aller Exponierten, entsprechend mind. 11% , max. 100% der

Exponierten eines einzelnen Betriebs. Die Konzentration beträgt nach der Erhöhung 17%, 20% oder 21%, in einem Fall wird eine Anhebung von 13 auf 15% angegeben.

Grund für das Anheben der Konzentration sind am häufigsten länger dauernde geplante Wartungsarbeiten, wofür die Anlage meist ganz abgeschaltet wird. Die Zeitgrenze wurde dabei laut Interviewpartner seitens der Betriebe zwischen 1 und 5 Stunden gesetzt. Laut Beschäftigten liegt eine übliche Zeitgrenze bei 20min. Andere Gründe sind die Mitnahme von Besuchern oder körperlich schwere Arbeiten sowie „nach Bedarf“ („wenn sich jemand nicht wohlfühlt“). (s. Abb.5)

Abb. 5

Gründe für Konzentrationsanhebung (Angaben der Beschäftigten)

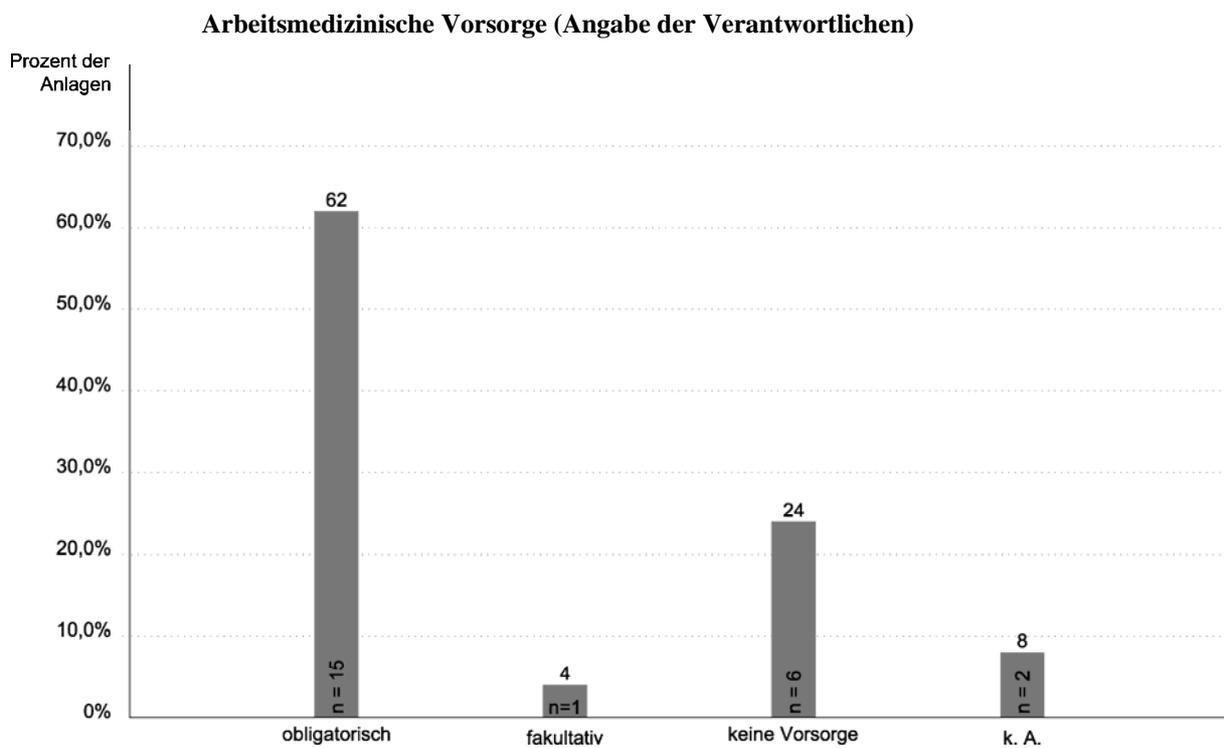


III.3 Interview mit dem Anlagenverantwortlichen und Aussagen Beschäftigter über chronische Erkrankungen und medizinische Vorsorgemaßnahmen

III.3.1 Arbeitsmedizinische Vorsorgeuntersuchungen

Eine arbeitsmedizinische Vorsorge laut Interviewpartnern wird obligatorisch, fakultativ oder gar nicht durchgeführt (vgl. Abb.6).

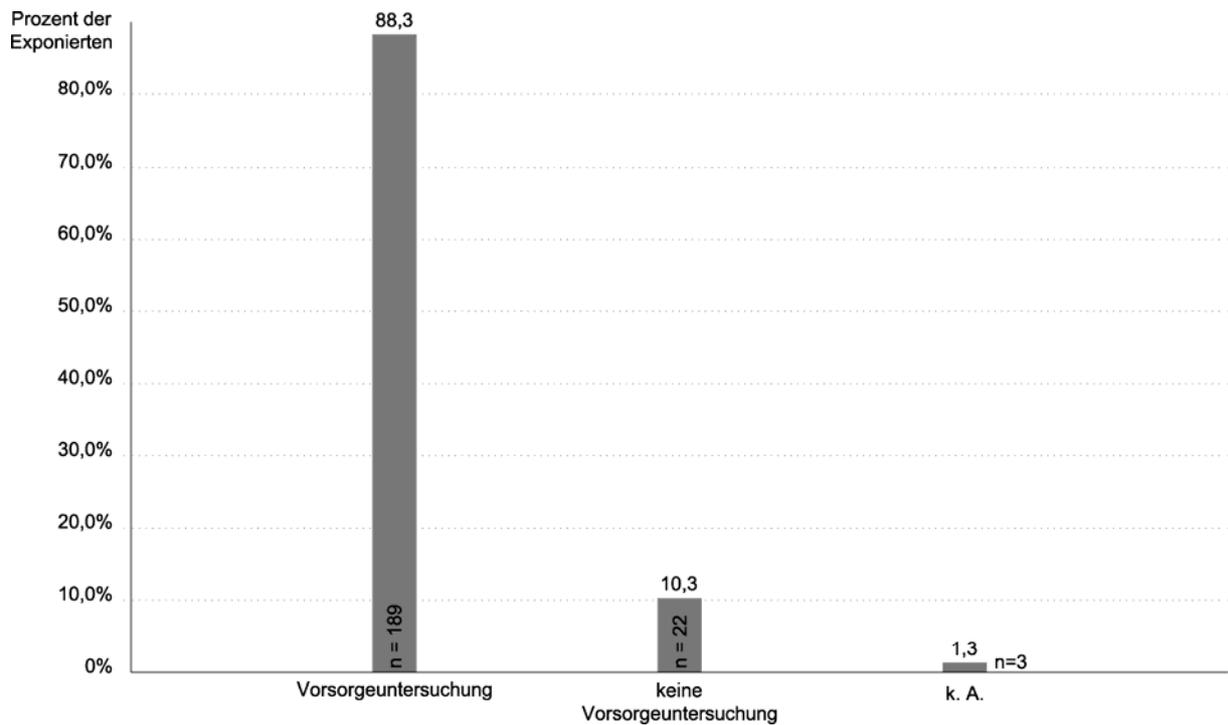
Abb. 6



Nach Angaben der Exponierten wurden rund 88% von ihnen vor Beginn der Tätigkeiten im O2-reduzierten Bereich einer arbeitsmedizinischen Untersuchung unterzogen (vgl Abb.7)

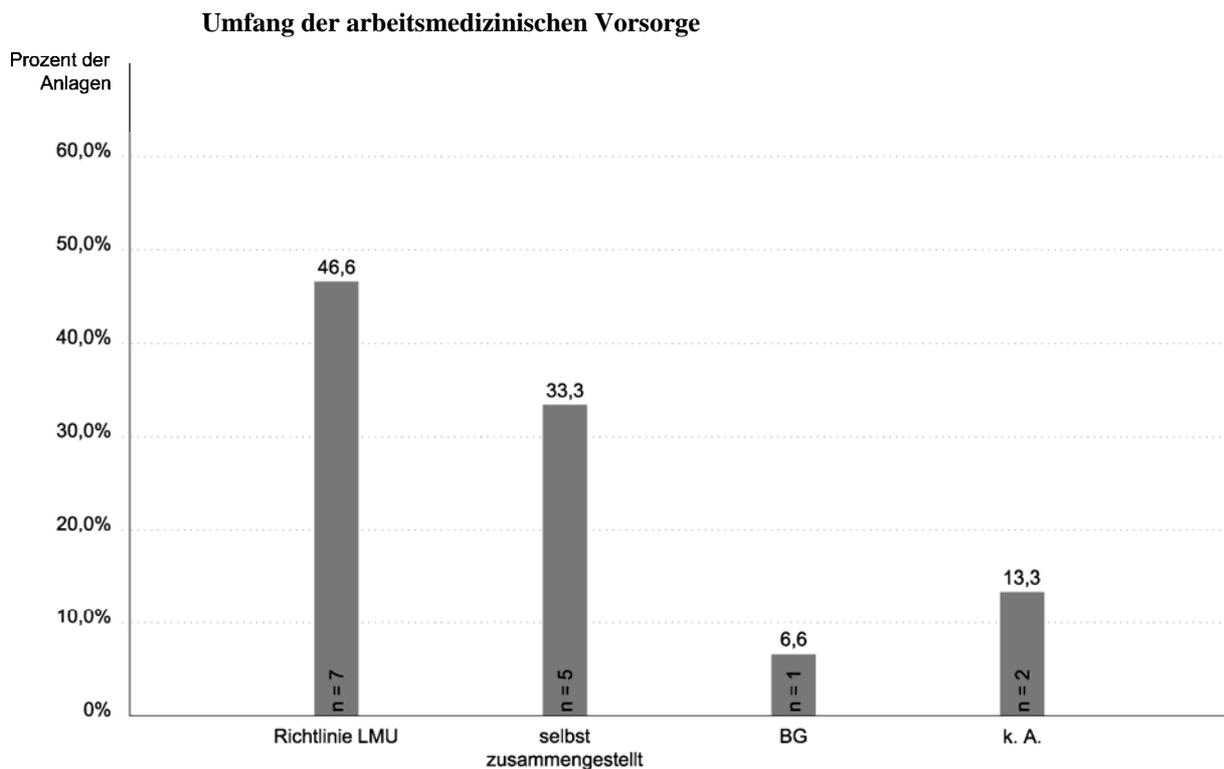
Abb. 7

Arbeitsmedizinische Vorsorge (Angabe der Exponierten)



Der Umfang der Untersuchung richtet sich teilweise nach der am Institut für Arbeits- und Umweltmedizin der LMU erarbeiteten speziellen Vorsorgerichtlinie, ansonsten werden Untersuchungen in Anlehnung an die G26.3 für schweren Atemschutz, Vorschläge von Berufsgenossenschaften oder vom untersuchenden Arzt zusammengestellte Untersuchungsprogramme durchgeführt. (Vgl. Abb.8)

Abb. 8



Die vom jeweiligen Betriebsarzt zusammengestellten Untersuchungen bestehen in 80% der Fälle (n=4) immer aus Anamnese, körperlicher Untersuchung und Blutbild, dazu kommen verschiedentlich EKG, Belastungs-EKG, Lungenfunktionstest, Blutgasanalyse und andere Untersuchungen. In einem Betrieb wird eine Probeexposition mit Pulsoxymeter durchgeführt, die Sauerstoffsättigung sollte dabei 92% nicht unter- und die Herzfrequenz 140 nicht überschreiten. In einem Betrieb wird ausschließlich eine Anamnese durchgeführt.

III.3.2 Ergebnisse der arbeitsmedizinischen Vorsorgeuntersuchungen

(Angaben des Verantwortlichen / des Betriebsarztes)

In sieben Betrieben wurden bei je ein bis zwei Beschäftigten (insgesamt 14 Personen) aufgrund der Vorsorgeuntersuchung Bedenken geäußert, ob eine Exposition arbeitsmedizinisch zu verantworten ist. Grund dafür waren Erkrankungen des Herz-Kreislauf-Systems, der Lunge, der Psyche und Adipositas. Zumeist wurden diese Personen von der Exposition ausgeschlossen (11 Personen), einige wurden nach weitergehenden Untersuchungen zugelassen. In einem Fall darf die betreffende Person den O₂-reduzierten Bereich mit einer Sauerstoffflasche im Rucksack betreten.

Beschwerden, die bei nachfolgenden Vorsorgeuntersuchung genannt wurden:

Arbeitsmedizinische Vorsorgeuntersuchungen werden in regelmäßigen Abständen wiederholt. Spontan oder im Rahmen einer solchen nachfolgenden Vorsorgeuntersuchung haben in zwei Betrieben insgesamt drei Beschäftigte gegenüber dem Betriebsarzt Beschwerden während der Exposition geäußert. Es handelte sich dabei um Kopfschmerzen, Schwindel, Übelkeit und Verwirrtheit. Eine Person wurde daraufhin von der Exposition ausgeschlossen.

Ernste bzw. bleibende Erkrankungen während bzw. im Zusammenhang mit der Exposition traten nach Angaben unserer Interviewpartner in keinem der Betriebe auf.

III.3.3 Chronische Erkrankungen

(Angaben von Beschäftigten)

Chronische Erkrankungen wurden von Exponierten und Kontrollen wie in Tab. 8 angegeben. Insgesamt gaben 16,6% der Exponierten (n=33) und 18,2% der Kontrollpersonen (n=22) chronische Erkrankungen an, ein Teil der Beschäftigten machte dazu nähere Angaben. Die Frage nach chronischen Erkrankungen wurde von 93% der Exponierten und von >99% der Kontrollen beantwortet.

Tabelle 8.

	Exponierte n=198	Kontrollen n=121	Prävalenz der jeweiligen Erkrankungen in westlichen Industrienationen
Chronische Herz- erkrankung	8 (4%) 6x Hypertonie 1x Klappenvitium 1x Herzinfarkt	1 (0,8%) 1x Hypertonie	Hypertonie 30% (Hajjar, Kotchen 2003) Aortenstenose 2-9% (Lindroos et al. 1993, Steward et al. 1997) Mitralinsuffizienz 38- 45% (Yoshida 1988) KHK 20% (M) bzw.8% (F) der 30-jährigen (McGill et al, 2000); Lebenszeitprävalenz 50% (M) bzw. 30% (F) (Lloyd Jones et al.)
Chronische Durchblutungs- störung	1 (0,5%) 1x Krampfadern	1 (0,8%) 1x Chronische Durchblutungs- störung am Ohr	Varizen 15% (m) bzw. 30% (f) (Eckstein P, Heider HH 2006)
Chronische Lungenerkran- kungen	10 (5%) 2x Asthma bronchiale 1x Sarkoidose 1x Emphysem	4 (3,3%) 3x Asthma, 1x Heuschnupfen mit Atembeschwerden	Asthma bronchiale um 5% bei Erwachsenen (Heinrich et al. 2002, Janson et al.1994, Nowak et al. 1996, Nowak et al 2004 (2x)) Sarkoidose 0,03 bis 0,05% (Newman et al. 1997) COPD geschätzt 10-15% (Konietzko/Fabel, 2000)
Chronische Erkrankungen des Blutes	1 (0,5%) 1x Eisenmangelanämie	1 (0,8%) 1x Hyper- cholesterinämie	Eisenmangelanämie 2% (Looker 1997) Hypercholesterinämie um 38% (Genest 1992)
Sonstige Erkrankungen	13 (6,5%) (Allergien, Heuschnupfen, Diabetes, Psoriasis)	15 (12,6%) (Allergien, Diabetes, Erkrankungen des Bewegungsapparates, Migräne, Tinnitus, Multiple Sklerose)	

III.3.4 Schwerere Erkrankungen (Angaben von Beschäftigten)

Von schwereren Erkrankungen in den vergangenen drei Jahren berichteten 26 Exponierte (12%) und 28 Kontrollen (23%). Es handelte sich dabei zumeist um entzündliche Erkrankungen und Erkrankungen des Bewegungsapparates. Zwei Exponierte gaben hier Bluthochdruck an. Unter den Kontrollen wurden mehrmals Depressionen genannt.

Unter den Exponierten waren dabei vier Personen einen bzw. zwei Tage vorher in sauerstoffreduzierter Atmosphäre tätig gewesen. Diese Personen erkrankten entzündlich oder im Bereich des Bewegungsapparates.

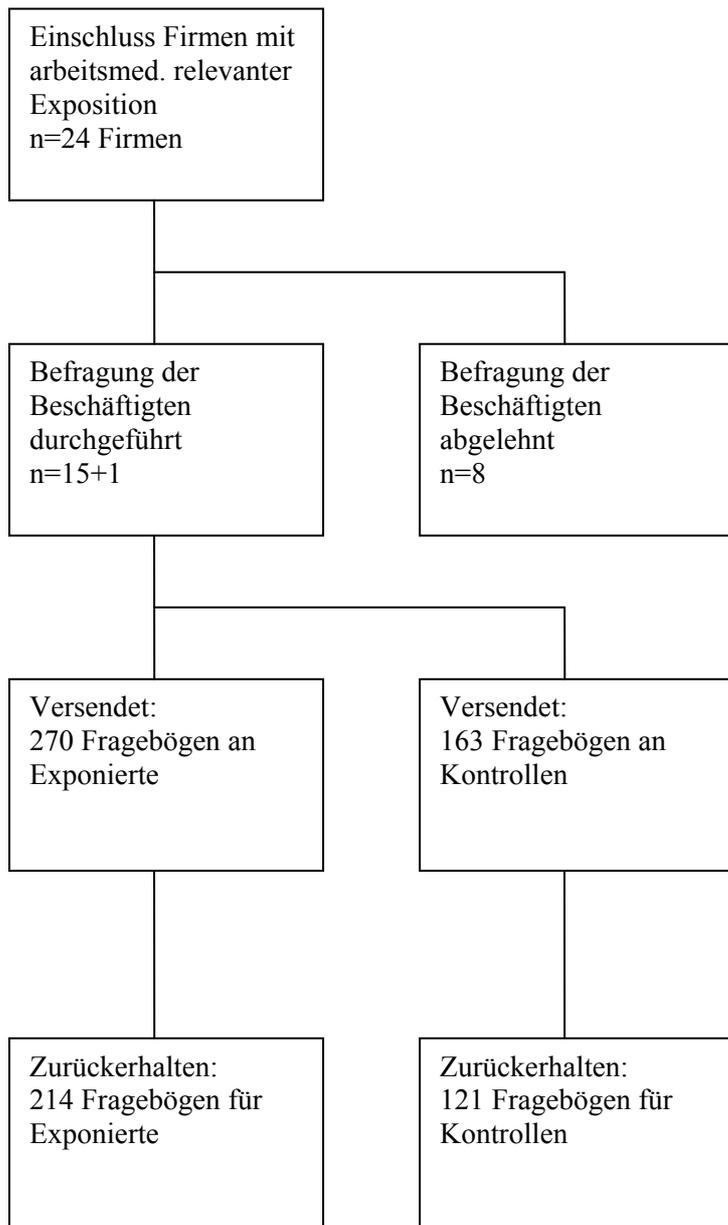
Die Patienten mit Hypertonie gaben keinen zeitlichen Zusammenhang mit Hypoxie an.

III.4 Fragebogenuntersuchung zu Beanspruchung und Belastung von Exponierten und Kontrollpersonen.

III.4.1 Rücklauf

In 15 der 24 Anlagen erklärten sich die Ansprechpartner bereit, an Exponierte und nicht exponierte Kontrollpersonen Fragebögen zu verteilen. Von den 270 Fragebögen an Exponierte erhielten wir 215 zurück, von den 163 Fragebögen an Kontrollen 121. Die Zahlen benennen hier die tatsächlich verteilten Fragebögen nach Angabe des Ansprechpartners im Betrieb. (Zunächst waren Fragebögen in der vom Ansprechpartner spontan geschätzten Anzahl in Frage kommender Personen verschickt worden.) (vgl. Schema 4)

Schema 4



III.4.2 Rücklauf pro Betrieb

Tabelle 5.

Betrieb	Rücklauf Exponierte		Rücklauf Kontrollen	
1	83%	(5/6)	66%	(4/6)
2	100%	(3/3)	-	(0/0)
3	60%	(3/5)	60%	(3/5)
4	100%	(4/4)	100%	(1/1)
5	40%	(2/5)	60%	(3/5)
6	65%	(26/40)	-	(0/0)
7	62,5%	(5/8)	50%	(4/8)
8	59%	(13/22)	32%	(7/22)
9	100%	(5/5)	80%	(4/5)
10	90%	(108/120)	87,5%	(70/80)
11	56%	(9/16)	94%	(15/16)
12	100%	(3/3)	100%	(3/3)
13	60%	(3/5)	-	(0/0)
14	40%	(2/5)	0%	(0/5)
15	100%	(7/7)	100%	(7/7)
16	100%	(16/16)	-	(0/0)
Summe	84,25%	(214/254)	74,23%	(121/163)

III.4.3 Persönliche Daten Exponierte / Kontrollen

Tabelle 6.

		Exponierte	Kontrollen	p-Wert
Alter		35,0 ± 9,6 Jahre	36,5 ± 10,1 Jahre	> 0,1
Geschlecht:	Weiblich	15 (7,3%)	25 (20,7%)	< 0,001
	Männlich	191 (92,7%)	96 (79,3%)	
		8 Angaben fehlen)		

III.4.4 Beruf

Unter den Exponierten gab es mehr Personen im EDV-Bereich, bei den Kontrollen mehr im kaufmännischen Bereich.

Die angegebenen Berufe wurden nachträglich in Gruppen eingeteilt.

Für die Berechnung der Unterschiede in den Beschwerden unter Adjustierung für die anderen Unterschiede zwischen den beiden Gruppen (Exponierte und Nichtexponierte) wurden die Berufe und damit eng verbunden die unmittelbaren Tätigkeiten in 3 Gruppen zusammengefasst: EDV, Handwerkliche Berufe etc und Kaufmännische Berufe. In der univariaten Analyse (Chi-Quadrat) ergaben sich für 2 der 3 Berufsgruppen signifikante Unterschiede. Für die Zugehörigkeit dieser beiden Berufsgruppen wurde adjustiert.

Tabelle 7a

Berufsgruppe	Exponierte	Nichtexponierte	p-Wert
EDV-Bereich (Administration, Wartung)	134 (65,04%)	32 (27,12%)	0,000
Handwerkliche Berufe, Lagerwirtschaft, Reinigung	64 (31,07 %)	29 (24,58 %)	> 0,1
Kaufmännische Berufe, Verwaltung, Archiv, Naturwissensch. (Akademiker)	8 (3,88%)	57 (48,30%)	0.000

III.4.5 Tätigkeiten

Im Schutzbereich ausgeübte Tätigkeiten sind am häufigsten Bildschirmtätigkeiten und leichtere handwerkliche Tätigkeiten. Es handelt sich dabei z.B. um Softwareadministrationstätigkeiten bzw. um die Behebung von leichten Störungen in automatischen Lagern. (vergleiche Abb. 8)

Abb. 8

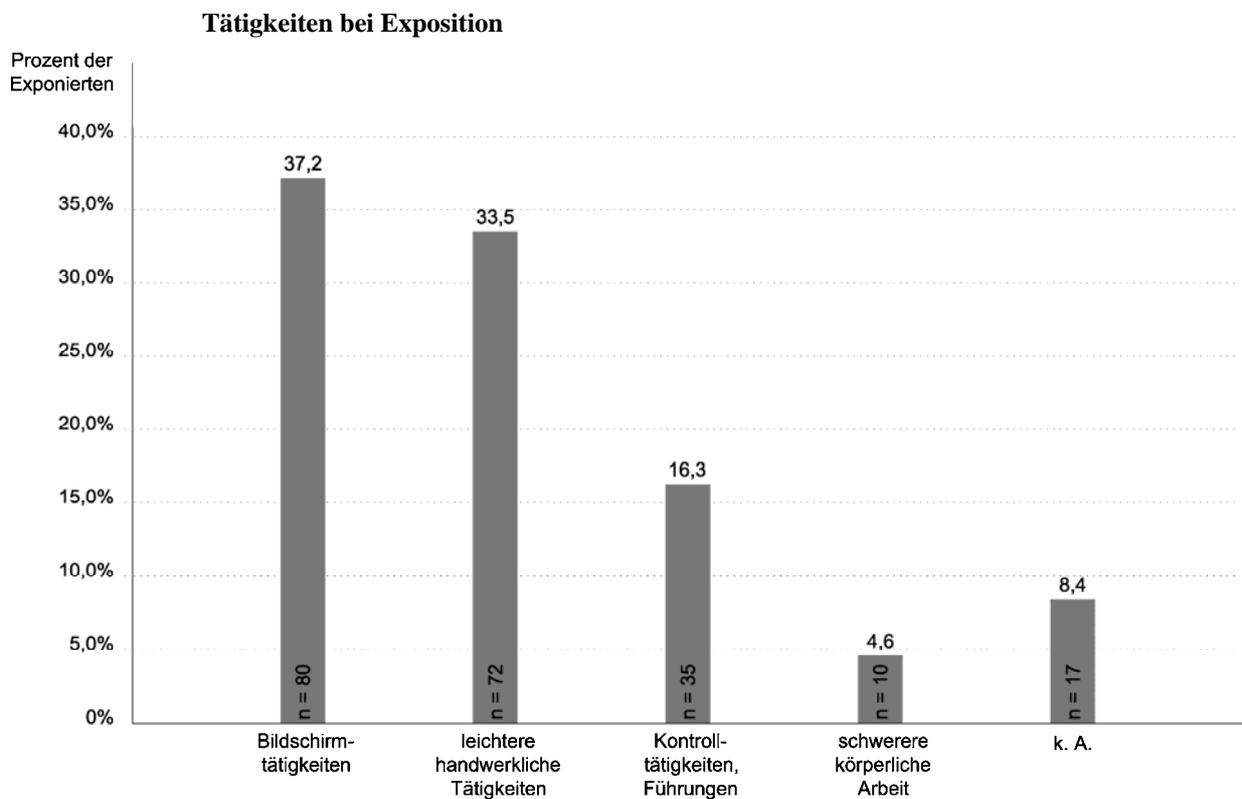


Tabelle 7b.

Tätigkeitsgruppe		Exponierte (s.auch Abb.8)	Kontrollen	p-Wert
Bildschirmtätigkeiten		80 (37,2 %)	81 (66,9%)	<0,01
Handwerkliche Tätigkeiten		72 (33,5 %)	12 (9,9%)	<0,01
Kontrollen; Führungen		35 (16,3%)	16 (13,2%)	0,26
Schwere körperliche Arbeit		10 (4,6%)	8 (6,6%)	<0,01
Ausmaß der körper- lichen Arbeit, separater Punkt im Fragebogen.	Leicht	147 (68,7%)	107 (88,4%)	0,017
	Mittel	44 (20,6%)	13 (10,7%)	
	Schwer	4 (1,9%)	1 (0,8%)	

III.4.6 Umfang der Exposition

Die betroffenen Personen sind nach eigenen Angaben meist seit 2-3 Jahren exponiert. Die Exposition findet meist in wöchentlichen bis monatlichen Intervallen statt, ca. ein Fünftel der Exponierten betritt die Anlage täglich. Die Aufenthaltsdauer beträgt dann wenige Minuten bis mehrere Stunden, meistens jedoch weniger als eine Stunde (*vergleiche Abbildung 8, 9, 10*).

Abb. 9

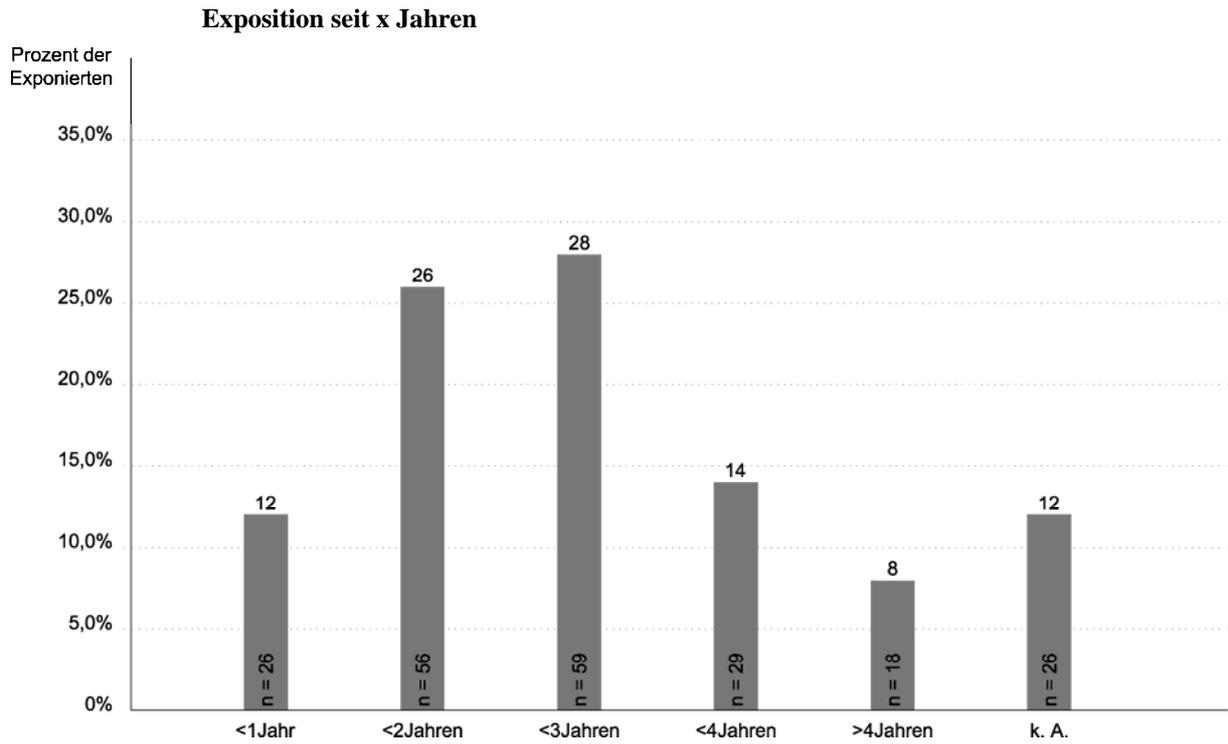


Abb. 10

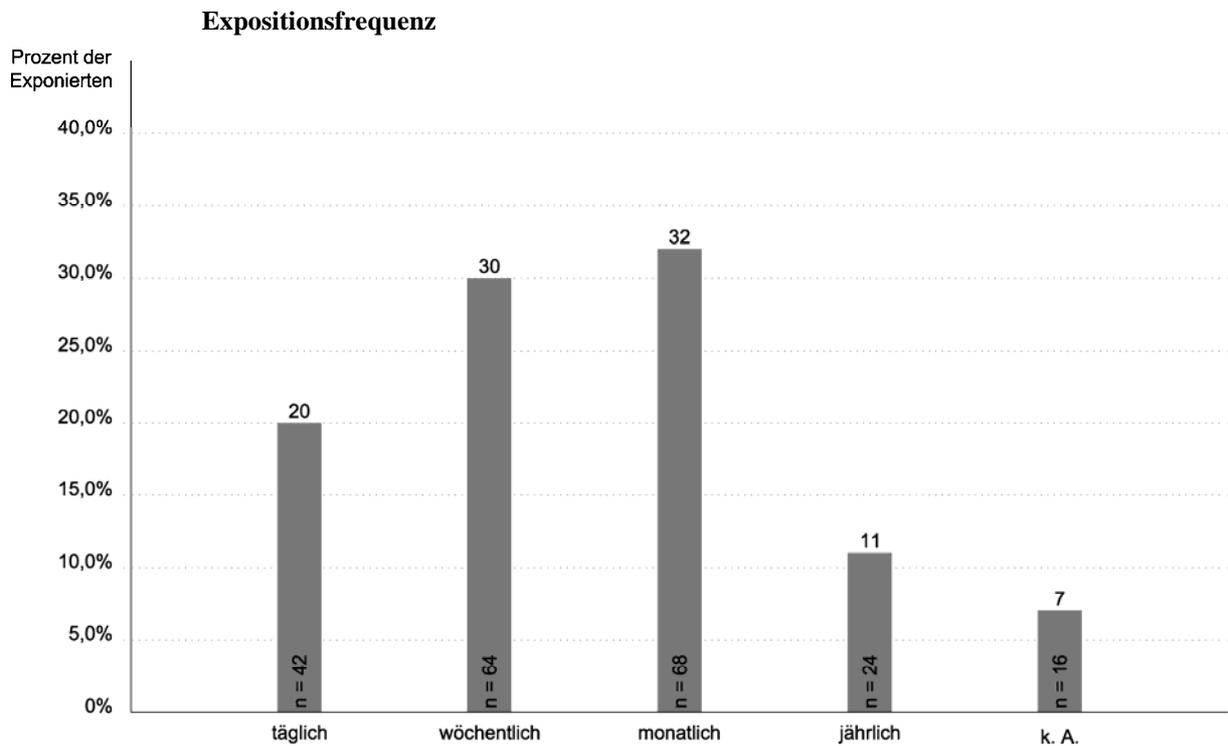
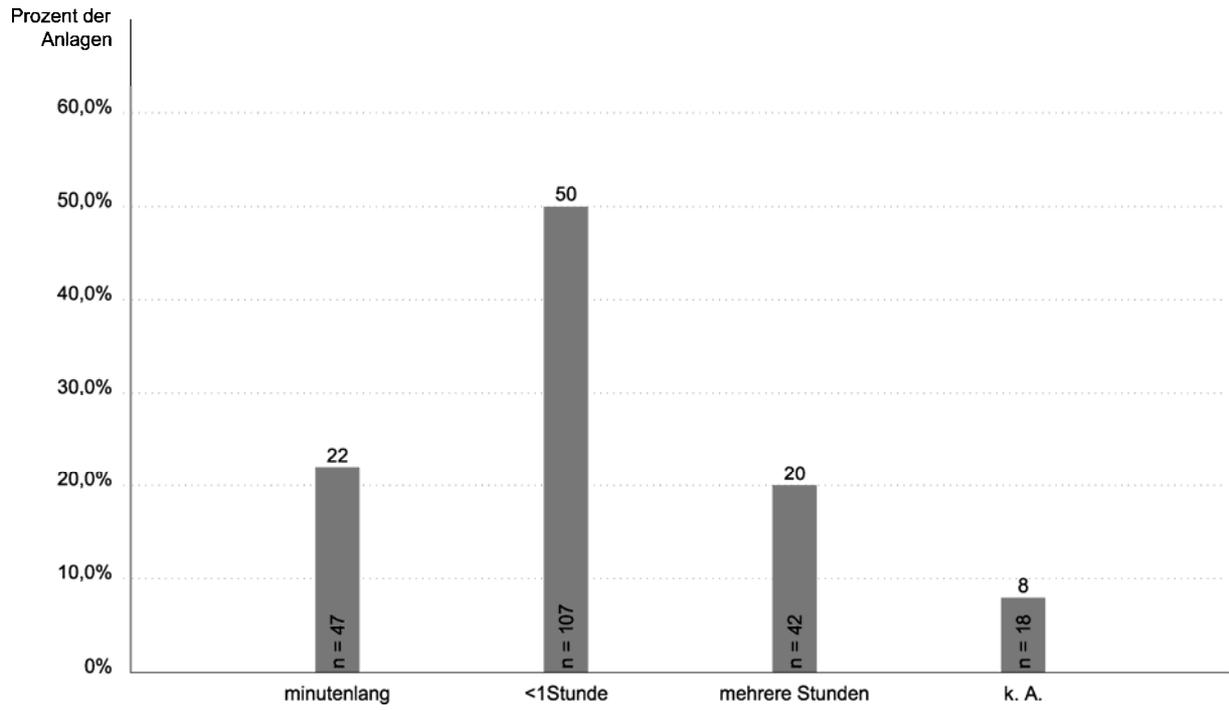


Abb.11

Expositionsdauer pro Ereignis



III.4.7 Akute Beschwerden

Die Häufigkeit von Beschwerden während oder nach der Arbeit in sauerstoffreduzierter Atmosphäre ist in den Abbildungen 13-18 dargestellt. Mit „während“ sind Beschwerden gekennzeichnet, die während des Aufenthaltes in sauerstoffreduzierter Atmosphäre aufgetreten sind, mit „nach“ Beschwerden, die unmittelbar im Anschluss bis zum Morgen den folgenden Tages auftraten.

Bei statistischer Überprüfung der Unterschiede in den Häufigkeitsangaben zwischen den Exponierten und den Kontrollen (Allgemeines Lineares Modell / GLM) wurde nach Alter, Beruf und Schwere der körperlichen Tätigkeit adjustiert. Bei den angegebenen p-Werten handelt es sich um die adjustierten Werte.

Exponierte Personen hatten folgende der abgefragten Beschwerden signifikant häufiger als Kontrollpersonen: spürbaren Herzschlag während der Exposition; Schwindel während der Exposition. Verstärkte Atmung während der Exposition mit p exakt 0,05 ist definitionsgemäß knapp nicht signifikant.

Die Beschwerden Kopfschmerzen während der Arbeit, Übelkeit nach der Arbeit sowie Müdigkeit, Rückenschmerzen, Gelenkschmerzen und Nackenschmerzen waren signifikant häufiger in der Kontrollgruppe.

Abb. 13

Physiologische Reaktionen

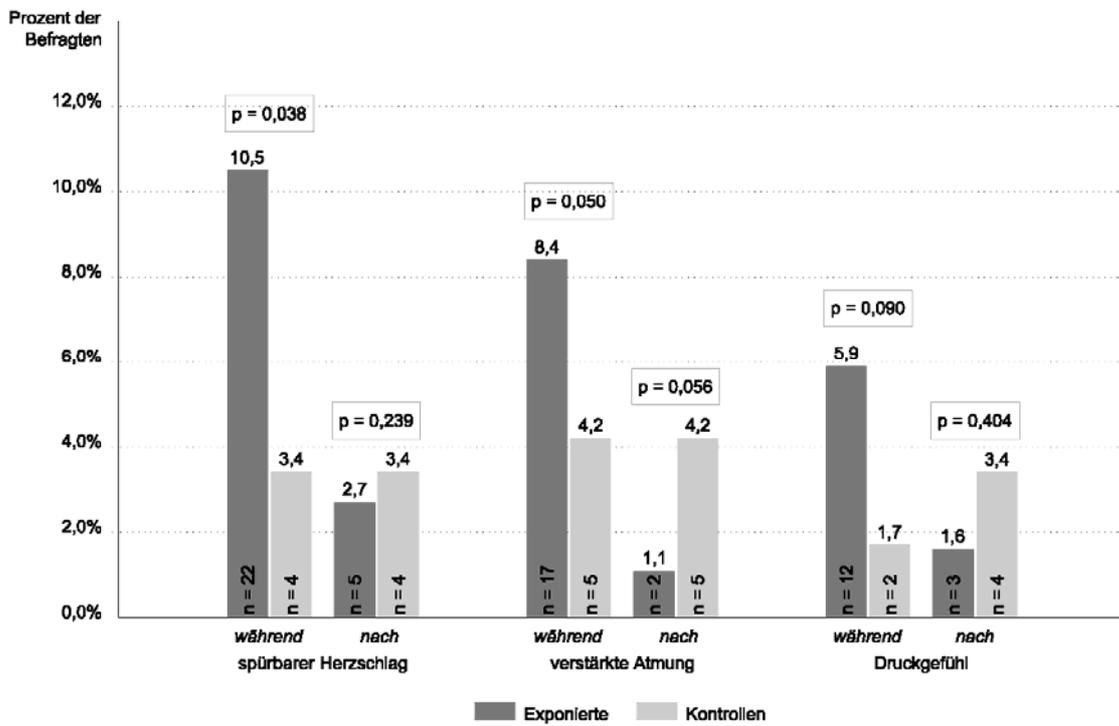


Abb. 14

Symptome der Höhenkrankheit 1

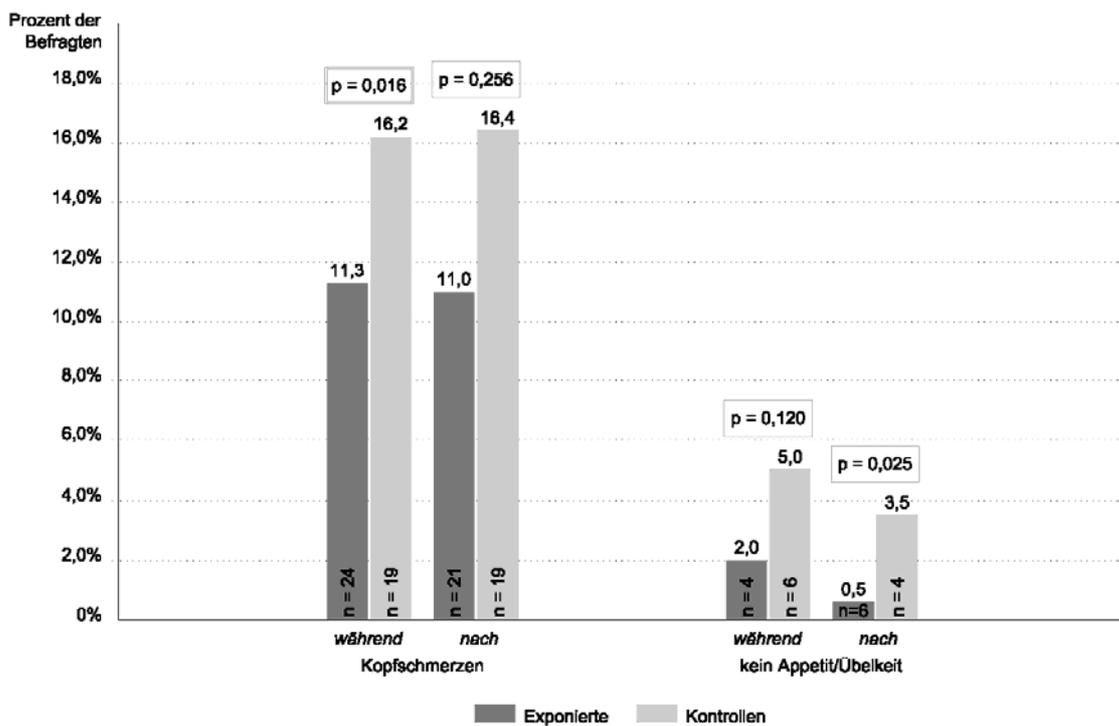


Abb. 15

Symptome der Höhenkrankheit 2

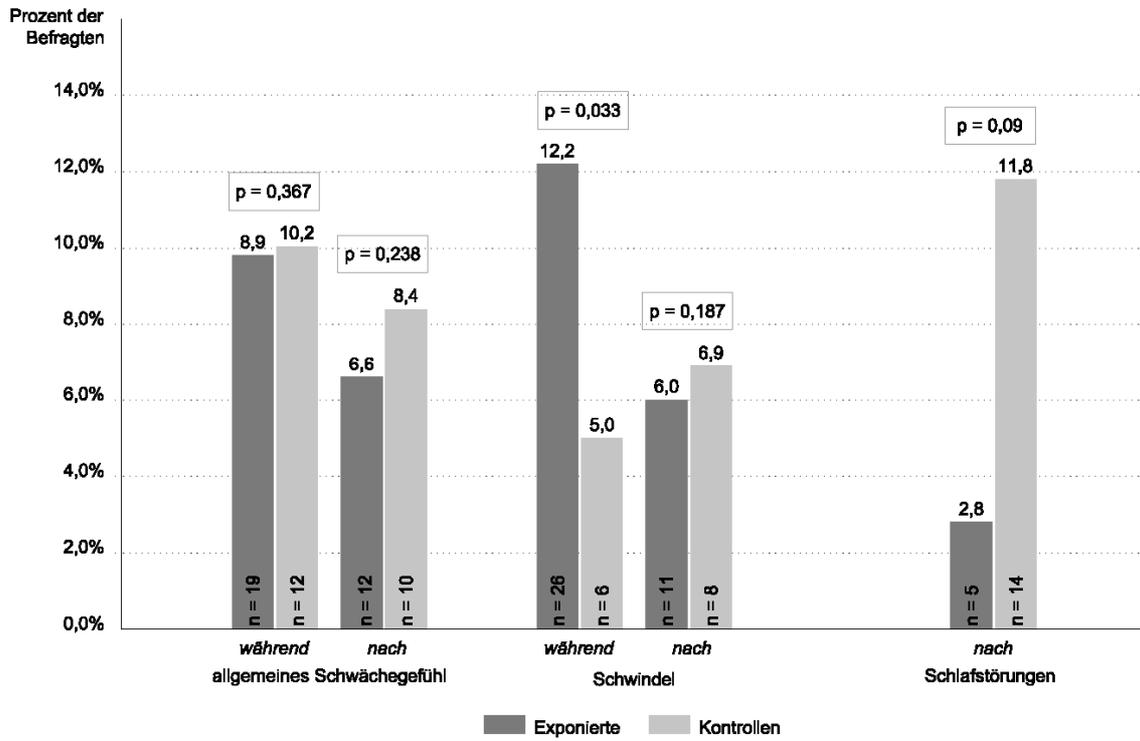


Abb. 16

Symptome kardiovaskulärer Komplikationen:

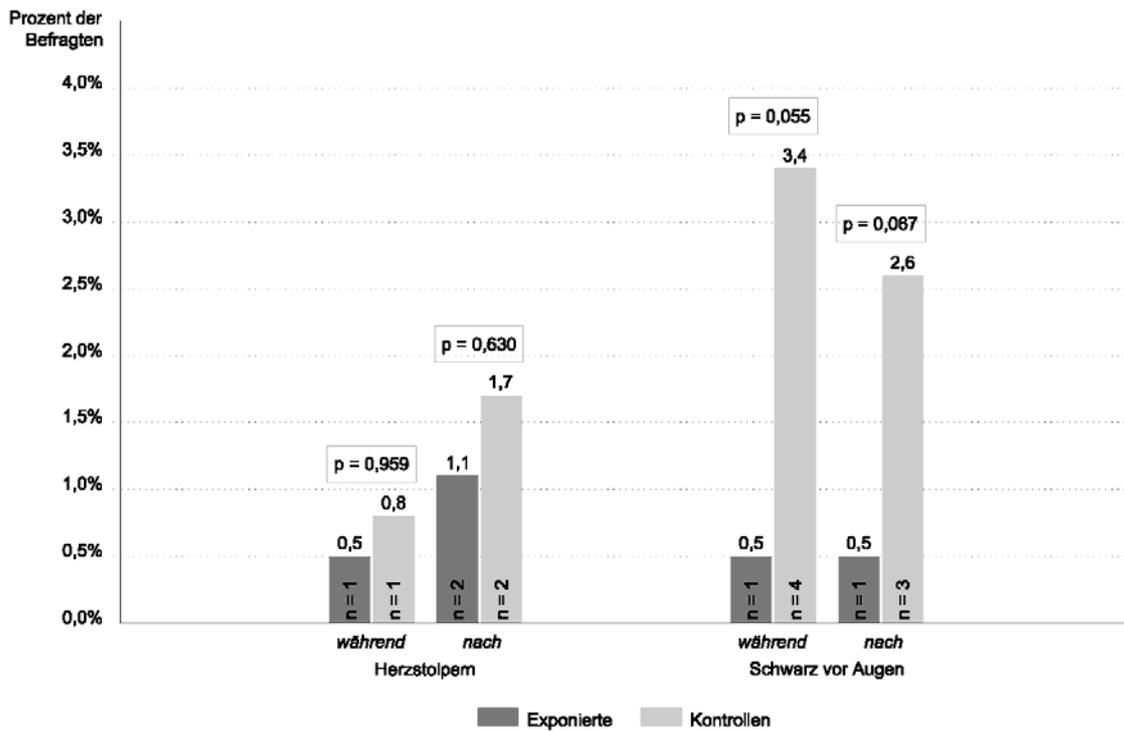


Abb. 17

Andere Beschwerden 1

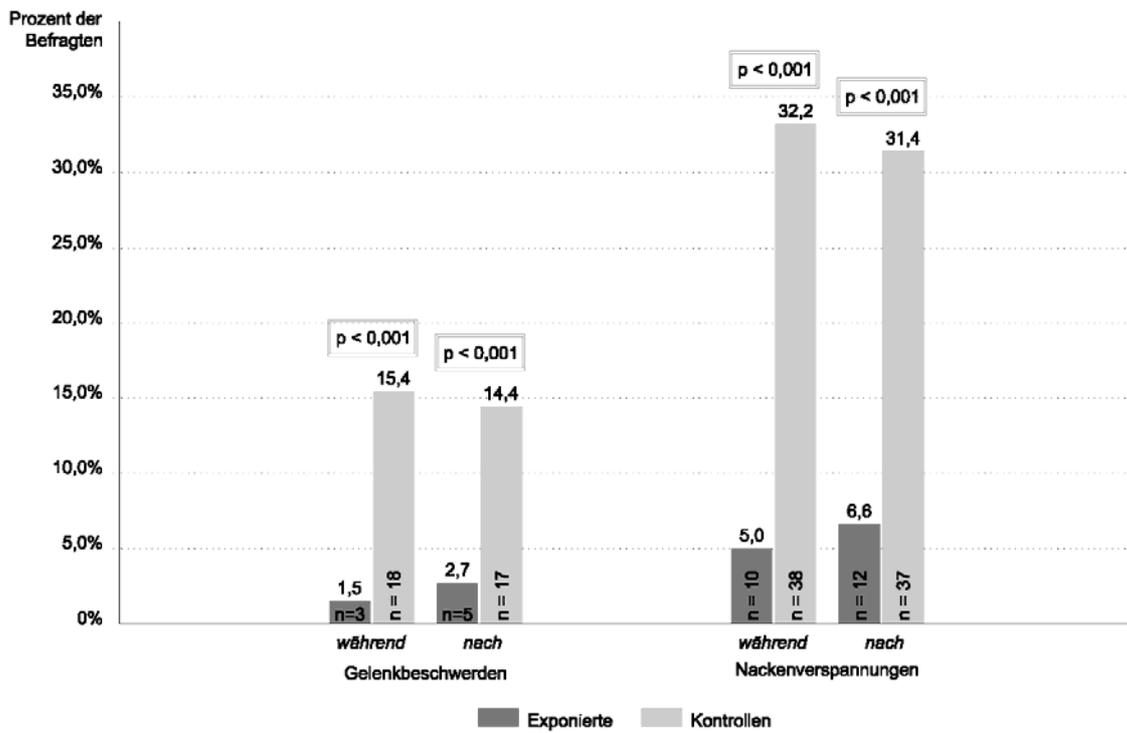
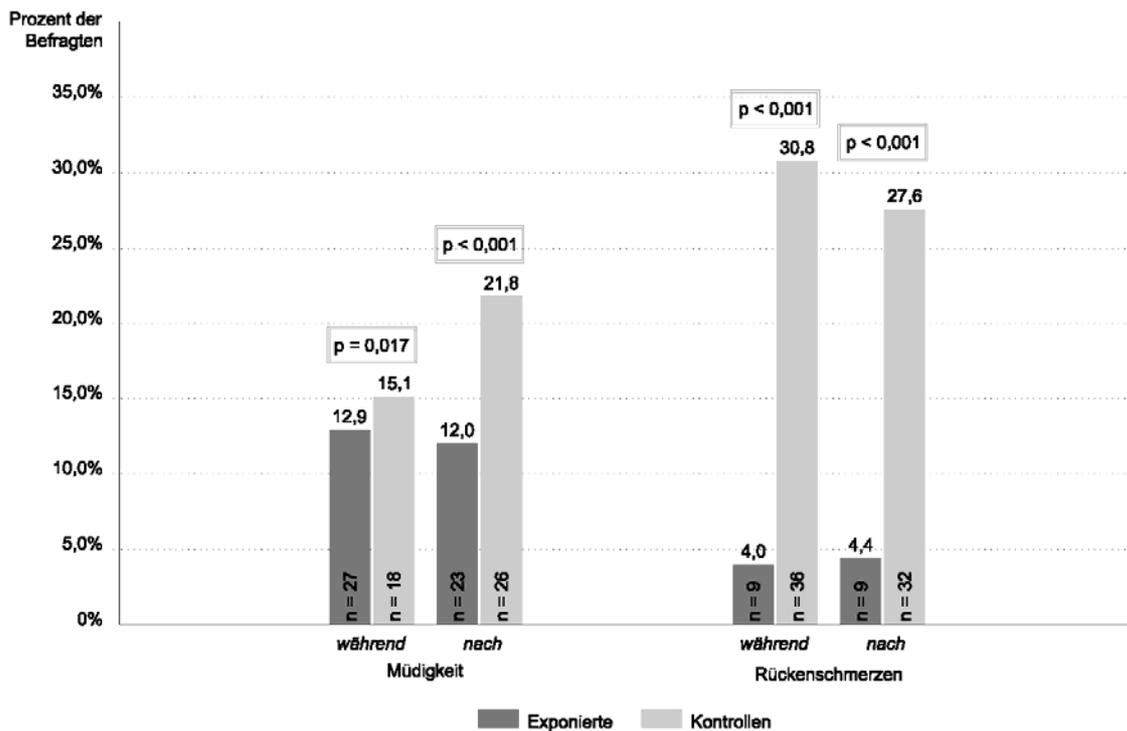


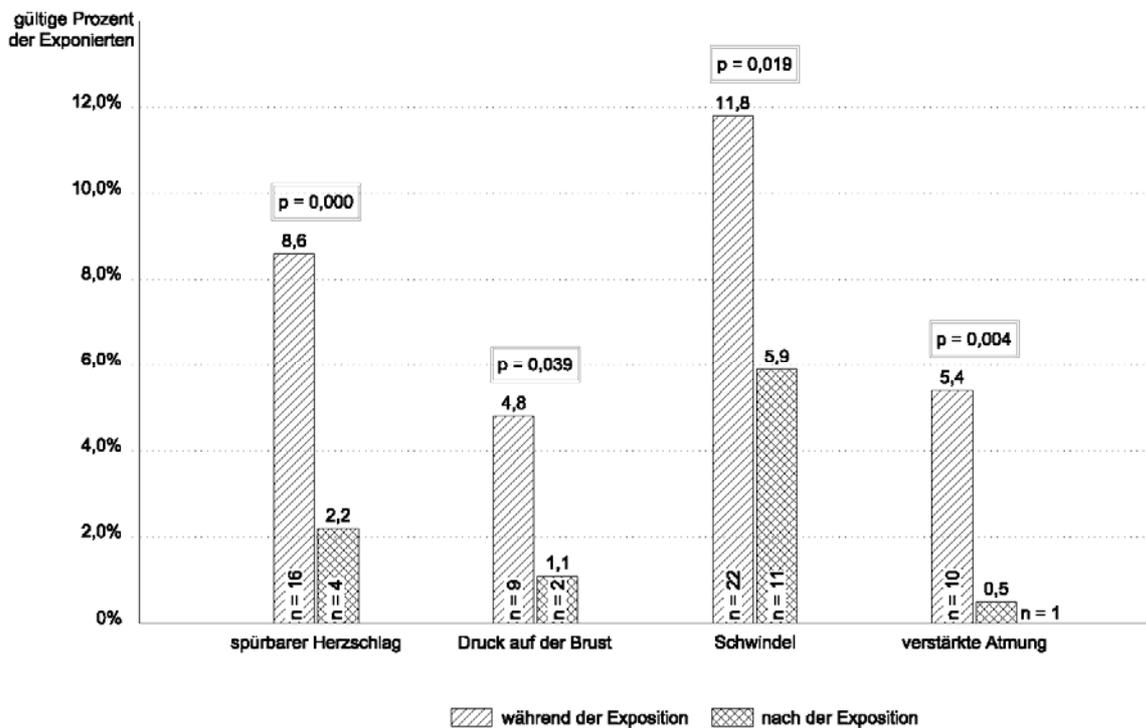
Abb. 18

Andere Beschwerden 2



Ab. 19

**Intragruppenvergleich der Exponiertengruppe
von Beschwerden während und nach der Exposition.**



Anmerkung zu Abb. 19:

Mit der Fragestellung, ob bestimmte Beschwerden während der Exposition häufiger auftreten als nach der Exposition, wurden innerhalb der Exponiertengruppe die Häufigkeiten verglichen. Bei dieser Berechnung (Mc Nemar-Test) werden nur Exponierte berücksichtigt, die die Frage nach einem Symptom für „während“ UND „nach“ beantwortet haben. Aus diesem Grunde sind die Fallzahlen teilweise geringer als bei den Vergleichen von Exponierten mit Kontrollen, wie in Abb. 13 und 15 dargestellt.

IV. Diskussion

IV.1 Darstellung der wichtigsten Ergebnisse

In 24 der 35 befragten Betriebe sind insgesamt rund 600 Personen bei arbeitsmedizinisch relevanten Konzentrationen von 13 bis 16,9 Vol.% Sauerstoff in Brandvermeidungsanlagen tätig. Der Zugang ist in allen 24 Anlagen durch diverse Sicherheitsvorkehrungen auf einen definierten Personenkreis beschränkt, arbeitsmedizinische Vorsorgeuntersuchungen werden nur für 62% der Anlagen gefordert. Diese werden in uneinheitlichem Umfang durchgeführt. Es war unseren Ansprechpartnern kein Fall einer Erkrankung mit Zusammenhang mit der Arbeit in sauerstoffreduzierter Atmosphäre erinnerlich.

In 15 der 24 Anlagen wurden durch unsere Interviewpartner Fragebögen an Exponierte und Kontrollpersonen verteilt. Von den rund 270 Fragebögen an Exponierte erhielten wir 214 (84%) zurück, von den 162 Fragebögen an Kontrollen 121 (72%). Die Kontrollen kamen aus denselben Abteilungen, unterschieden sich aber von den Exponierten in der Geschlechterverteilung (mehr Männer unter den Exponierten), in der selbst eingeschätzten Schwere der körperlichen Tätigkeit (häufiger mittelschwere Tätigkeiten bei den Exponierten) und in der Art der Tätigkeit (häufiger handwerkliche Tätigkeiten bei den Exponierten, häufiger Bildschirmarbeit bei den Kontrollen). Die beiden Gruppen unterschieden sich außerdem in der Größe (1,3 Exponierte : 1 Kontrolle). Chronische Vorerkrankungen waren in beiden Gruppen gleich häufig und insgesamt selten.

86% der Exponierten arbeiteten bereits länger als 1 Jahr in sauerstoffreduzierter Atmosphäre. Dabei finden die Expositionen meist in wöchentlichen bis monatlichen Abständen statt, die Dauer der einzelnen Aufenthalte liegt am häufigsten im Bereich von bis zu einer Stunde.

Akute Erkrankungen oder Neuauftreten chronischer Erkrankungen des Herz-Kreislaufsystems in den vergangenen 3 Jahren wurden von keiner Person berichtet, eine Überhäufigkeit bei den Exponierten hinsichtlich anderer Erkrankungen zeigte sich nicht.

Exponierte Personen hatten folgende der abgefragten Beschwerden signifikant häufiger als Kontrollpersonen: spürbaren Herzschlag während der Exposition; Schwindel während der Exposition. Verstärkte Atmung während der Exposition mit p exakt 0,05 ist definitionsgemäß knapp nicht signifikant.

Kopfschmerzen während und Übelkeit nach der Arbeit sowie weitere Beschwerden wie Müdigkeit, Rückenschmerzen, Gelenkschmerzen und Nackenschmerzen waren signifikant häufiger in der Kontrollgruppe.

IV.2 Methodik

IV.2.1 Studiendesign

Es handelt sich bei vorliegender Studie um eine Umfrage auf betrieblicher Ebene und eine epidemiologische Querschnittsstudie mit Vergleichsgruppe auf individueller Ebene.

Zunächst stellt sich die Frage nach der Repräsentativität der Ergebnisse. Sowohl der Zugangsweg zu den Verantwortlichen des Betriebs als auch zu den exponierten Beschäftigten und ihren nicht exponierten Kollegen variierte zwischen den Betrieben. Eine mögliche Verzerrung könnte entstanden sein, dass bevorzugt Betriebe, die sich arbeitmedizinisch und sicherheitstechnisch engagieren, zu Auskünften bereit waren und Betriebe mit schlechteren Arbeitsbedingungen die Auskunft verweigerten. Dadurch würden die betrieblichen Gegebenheiten positiver erscheinen als sie in Wirklichkeit sind.

Ähnliches gilt für die Ergebnisse der individuellen Belastung und Beanspruchung: Hier kann der Verantwortliche eine Rolle in beiden Richtungen gespielt haben - Selektion von besonders belasteten und beanspruchten Mitarbeitern und Selektion von besonders wenig belasteten und beanspruchten Mitarbeitern. Bei der Kontrollgruppe, die zunächst ein geringeres eigenes Interesse an der Untersuchung hatten (da sie von Arbeiten in Hypoxie nicht betroffen waren), könnten sich gerade diejenigen bereit erklärt haben, die besonders aufmerksam ihre Beschwerden beobachten, was die erhöhte Zahl von Beschwerden in dieser Gruppe erklären mag.

Die Beispiele müssen als Möglichkeiten denkbarer Verzerrungen (Bias), bei der Interpretation der Ergebnisse bedacht werden. Dabei hätte eine Selektion besonders gesunder Exponierter und besonders kranker Kontrollen zu einer Unterschätzung eines potentiell krankmachenden Effektes der Exposition geführt.

Zur Reduktion möglicher Bias wurden u.a. mehrere Strategien angewandt: (1) Expositions- und Kontrollgruppe stammten bis auf Ausnahmen aus denselben Betrieben; (2) die Auflistung chronischer Erkrankungen gibt keinen Hinweis darauf, dass die Kontrollen a priori die kränkeren Personen sind. (3) Für signifikante Unterschiede zwischen den Gruppen wurde in der Analyse der Unterschiede adjustiert.

Folgende zu erwartende Schwachpunkte einer Querschnittsstudie (Klug et al., 2007) müssen des weiteren bedacht werden: Durch die Befragung zu nur einem zufälligen Zeitpunkt

konnten Beschäftigte, die längere Zeit exponiert waren, jedoch vor der Befragung von ihrer Tätigkeit ausgeschieden sind, nicht in der Fragebogenstudie erfasst werden („healthy worker effect“). Erst seit kurzem exponierte Personen wiederum hatten mit geringerer Wahrscheinlichkeit bereits expositionsassoziierte Erkrankungen. Ergebnisse von in absehbarer Zeit geplanten arbeitsmedizinischen Untersuchungen in den Betrieben konnten nicht berücksichtigt werden.

Zur Selektion besonders gesunder Personen unter Exposition durch das krankheitsbedingte Ausscheiden solcher Exponierte, die durch die Exposition krank geworden sind, wurden die Verantwortlichen / die Betriebsärzte in den Interviews befragt. Aus diesen Informationen gibt es keine Hinweise, dass eine solche Selektion stattgefunden hat. Die unter Hypoxie zu u.U. zu erwartenden Erkrankungen sind v.a. akute Komplikationen chronischer Erkrankungen (siehe Einleitung); eine längere Exposition zu ihrer Entwicklung ist nicht notwendig.

IV.2.2 Ablauf

Nach Identifikation der Betriebe wurden die für die Brandvermeidungsanlage Verantwortlichen, wenn nicht bereits bekannt, telefonisch ermittelt. Die Erhebung der Daten fand dann zum Teil fernmündlich, zum Teil in schriftlicher Form statt; bei der Verteilung der Fragebögen war jeweils eine Drittperson (= der Interviewpartner) involviert.

Probleme des telefonischen Erstkontaktes waren schwierige Auffindbarkeit eines Ansprechpartners und mangelnde Erreichbarkeit desselben im Moment des Anrufs. In größeren Betrieben erschwerte die Vorschaltung eines großen personellen Apparates und die Anonymität innerhalb des Betriebes die Kontaktaufnahme mit dem Verantwortlichen.

Bei der Recherche der Ansprechpartner wurden etliche Interviews bereits bei dieser Gelegenheit durchgeführt, ohne dass dem Befragten die Fragen vorher schriftlich vorgelegen hätten. Besonders in diesen Fällen, aber auch bei vorher angekündigten und seitens der Gesprächspartner nicht vorbereiteten Interviews mussten sich diese spontan zu verschiedenen Sachverhalten äußern. Dabei konnten unsere Fragen nach eigener Angabe des jeweiligen Interviewpartners häufig nicht vollständig oder nicht zuverlässig beantwortet werden. In einigen Fällen hatte seit Inbetriebnahme der Anlage der zuständige Betreuer gewechselt, so dass Informationen zu früher exponierten Beschäftigten nicht vorlagen. Handelte es sich bei

der interviewten Person um den technischen Verantwortlichen der Anlage, konnten wir von diesem meist nur unvollständige und nicht unbedingt zuverlässige Angaben zur arbeitsmedizinischen Vorsorge und deren Ergebnissen erhalten; handelte es sich um den Betriebsarzt, waren evtl. die Angaben bezüglich technischer Sicherheitsmaßnahmen nicht zuverlässig oder nicht aktuell. In einigen Fällen war es nicht möglich, medizinische Informationen vom Betriebsarzt einzuholen, weil dieser nicht erreichbar oder nicht kooperationsbereit war.

Die Verteilung der Fragebögen an die Beschäftigten erfolgte durch den Sicherheitsverantwortlichen bzw. Betriebsarzt. Dieser hatte demnach die Verantwortung, den Beschäftigten zur Teilnahme an der Studie aufzufordern bzw. sie ihnen nahezulegen. Hatte der Interviewpartner am Telefon Interesse bekundet und einen engagierten Eindruck gemacht, gab es immer auch gute Rücklaufquoten in der Fragebogenstudie. Andersherum ging mangelndes Interesse seitens der Verantwortlichen oft mit einem schlechteren Rücklauf einher. Zu berücksichtigen ist dabei natürlich die Größe des Betriebes bzw. die Anzahl der Exponierten – bei wenigen Exponierten können leichter 100% Rücklauf erreicht werden als bei vielen Exponierten. In größeren Betrieben musste die Teilnahme an der Studie neben der Betriebsleitung auch durch den Betriebsrat genehmigt werden. Auch hier spielte das Engagement unseres Ansprechpartners eine gewichtige Rolle. In immerhin 6 Fällen wurde die Teilnahme letztlich durch den Betriebsrat abgelehnt, obwohl der Interviewpartner an der Teilnahme interessiert war.

IV.2.3 Fragebogenstudie

Bei der schriftlichen Beantwortung der Fragen durch die Beschäftigten kam es in einzelnen Fällen zu Missverständnissen. Bei der Frage nach dem Beruf beispielsweise erwarteten wir die Angabe eines Ausbildungsabschlusses, um uns ein Bild über den Bildungsstand des Befragten machen zu können. Oft wurden an dieser Stelle bereits genaue Tätigkeiten beschrieben oder nicht aussagefähige Angaben wie „Angestellter“ gemacht. Bei der Frage nach Tätigkeiten wurde zuweilen in Abkürzungen bzw. Fachsprache geantwortet, die für Außenstehende ohne spezielle Kenntnisse nicht verständlich sind. Handgeschriebene Freitextantworten waren in Einzelfällen nicht lesbar.

Durch die Anonymität der Befragung war es nicht möglich solche Missverständnisse und offenen Fragen zu klären, so dass manche Antworten für uns unverwertbar blieben. Da es sich

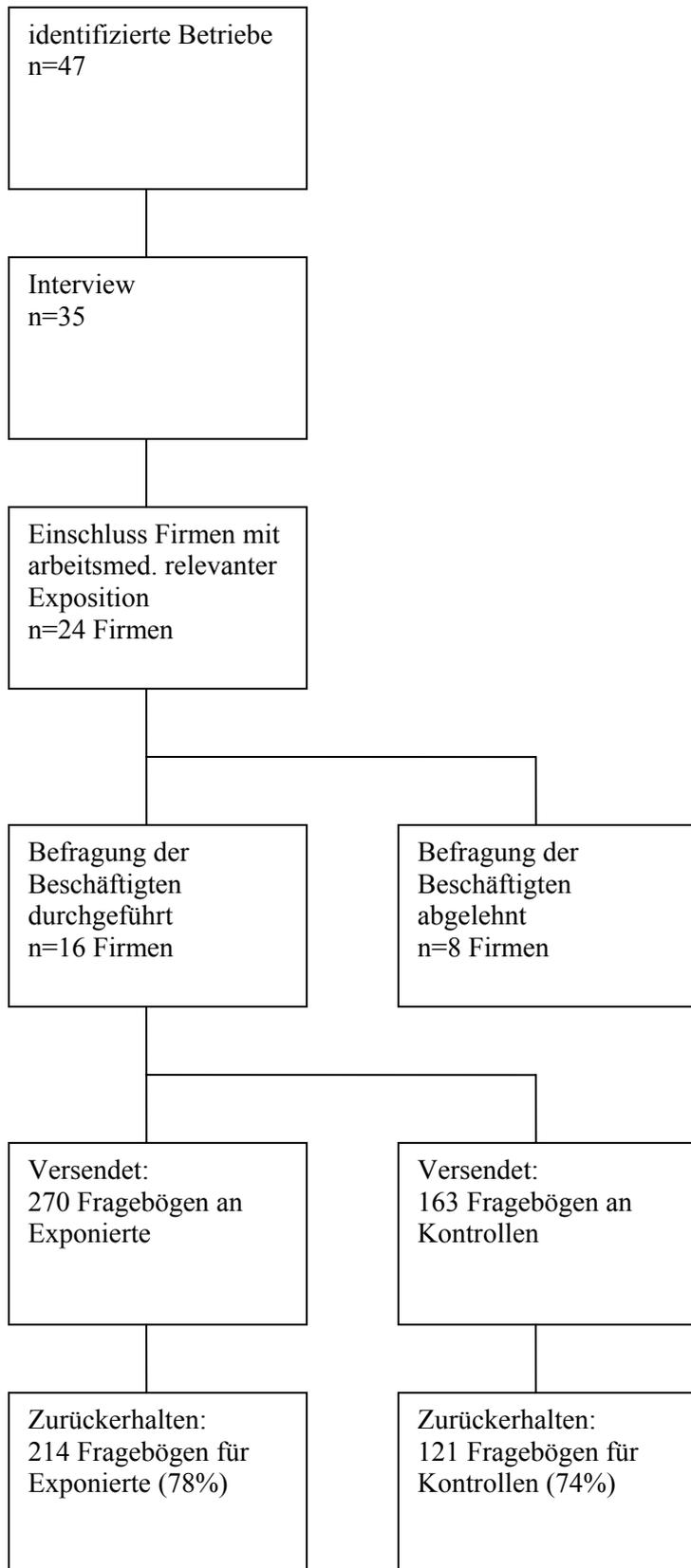
aber jeweils um Einzelfälle handelte, wurde das Gesamtergebnis der Studie nicht wesentlich beeinflusst.

Zusammenfassend gelten für die Aussagefähigkeit die typischen Einschränkungen einer Querschnittstudie mit Befragungsergebnissen. Die Ergebnisse müssen also konservativ interpretiert werden.

IV.3 Teilnahme

Von 47 identifizierten Betrieben konnten wir 35 Betriebe befragen. In 24 der 35 befragten Betriebe sind insgesamt rund 600 Personen bei arbeitsmedizinisch relevanten Konzentrationen von 13 bis 16,9 Vol.% Sauerstoff in Brandvermeidungsanlagen tätig. An nur 254 Exponierte sowie an 163 Kontrollpersonen konnten wir letztlich Fragebögen verteilen. Trotz dieser erheblichen Einschränkungen handelt es sich um die zur Zeit der Erhebung kompletteste Erfassung in Deutschland. Gründe für die Verluste an erhebaren Daten sind, wie beschrieben, mangelnde Kooperation seitens der Verantwortlichen in den Betrieben, seitens der Betriebsräte und schließlich der Beschäftigten. Der Fragebogenrücklauf selbst ist als gut zu beurteilen und wiederum abhängig vom Engagement des Anlagenverantwortlichen. (s. *Schema 5*)

Schema 5



IV.4 Kontrollgruppe

Die Kontrollgruppe wurde durch den Sicherheitsverantwortlichen bzw. Betriebsarzt aus nichtexponierten Beschäftigten, „die eine vergleichbare körperliche und geistige Tätigkeit ausüben“ (unsere Vorgabe), zusammengestellt.

Einige kleinere Betriebe konnten aus Mangel an nicht exponierten Beschäftigten keine Kontrollpersonen stellen, so dass die Kontrollgruppe insgesamt kleiner ist als die Gruppe exponierter Personen, es kommt rechnerisch 1 Kontrollperson auf 1,3 Exponierte.

Signifikante Unterschiede zur Exponiertengruppe waren mehr weibliche Personen unter den Kontrollen, weniger schwere körperliche Belastung und häufigeres Auftreten von Beschwerden und Erkrankungen des Bewegungsapparates. Dabei üben Exponierte häufiger handwerkliche Tätigkeiten, Kontrollpersonen häufiger Bildschirmtätigkeiten aus. Ein Zusammenhang von Tätigkeit und Belastungsgrad (handwerkliche Arbeiten dürften körperlich anstrengender sein als Bildschirmarbeit), Tätigkeit und Beschwerden (Bildschirmarbeit prädisponiert zu Belastungen der Wirbelsäule (LaFA 2001) und auch von Tätigkeit und Geschlecht (Männer sind eher als Frauen in Handwerksberufen tätig (Sommer und Kuhn 2007), Frauen eher als Männer im Bereich Verwaltung und Sekretariat) ist anzunehmen.

Die Unterschiede der Kontrollgruppe zur Exponiertengruppe könnten – wie oben ausgeführt - Auswirkungen auf die Antworten der Beschäftigten in den Fragebögen gehabt haben. Daher erfolgte eine Adjustierung hinsichtlich Alter, Berufsgruppe und angegebener körperlicher Belastung.

Dies führte zu folgenden Ergebnissen:

.Exponierte Personen hatten folgende der abgefragten Beschwerden signifikant häufiger als Kontrollpersonen: spürbaren Herzschlag während der Exposition; Schwindel während der Exposition. Verstärkte Atmung während der Exposition mit p exakt 0,05 ist definitionsgemäß knapp nicht signifikant.

Bei den Kontrollen war häufiger Schwarzwerden vor Augen und Kopfschmerzen während der Arbeit, sowie Nackenverspannung, Müdigkeit und Rückenschmerzen während und nach der Arbeit und Appetitlosigkeit /Übelkeit nach der Arbeit.

Bei den Kopfschmerzen zeigte sich vor der Adjustierung kein signifikanter Unterschied. Schlafstörungen schienen bei Kontrollen vor der Adjustierung signifikant häufiger, danach knapp nicht mehr signifikant.

Der a priori vorhandene Unterschied zwischen der Exponierten- und der Kontrollgruppe sorgt also für zunächst täuschende Ergebnisse bei den akuten Beschwerden.

Noch günstiger als dies mit einem mathematischen Modell auszugleichen, wäre eine primäre Gruppengleichheit, z.B. Untersuchung derselben Personen an exponierten und nichtexponierten Tagen. Dies war jedoch nicht im Rahmen einer Querschnittsstudie machbar. Zu bedenken ist noch, dass von den bei der Adjustierung berücksichtigten Variablen nur das Alter der Beschäftigten eine objektive Angabe ist. Die Schwere der körperlichen Arbeit ist eine subjektive Einschätzung der Beschäftigten und wird von multiplen individuellen Gegebenheiten beeinflusst (Persönlichkeitsstruktur, Vergleich mit Kollegen, früheren Arbeitsplätzen etc.). Die Einteilung in Berufsgruppen wurde anhand der stichpunktartigen Angaben in den Fragebögen von uns vorgenommen.

So können wir wiederum nur Hinweise und Tendenzen aus den Ergebnissen herauslesen.

IV.5 Technische Sicherheitsmaßnahmen

Die Anlagen dürfen – nach verbreiteter Auffassung - ausnahmslos nur mit besonderer Befugnis betreten werden, wobei in einem Fall nur eine Kennzeichnung des sauerstoffreduzierten Bereiches vorhanden ist, die übrigen Anlagen sind mit vielfältigen Methoden gesichert. Die aktuelle Sauerstoffkonzentration wird in allen Anlagen entweder außerhalb (87%) oder innerhalb (31%) des gesicherten Bereichs angezeigt.

Nur knapp 2/3 der Exponierten kontrollieren diese Sauerstoffanzeige. Die Angaben der Beschäftigten zur Sauerstoffkonzentration variierten innerhalb eines Betriebes zum Teil erheblich (bis 10% O₂ Unterschied) und wichen vor allem oft von der Angabe des Anlagenverantwortlichen ab (bis 1%). Mehrere Beschäftigte gaben „100%“ an, was wir als 21% gedeutet haben; sicher aber haben diese Personen nicht die Sauerstoffanzeige abgelesen. Also variiert die Konzentration entweder tatsächlich, oder die Exponierten oder der Verantwortliche sind nicht gut informiert. Bei variierenden Konzentrationen sind Auswirkungen der Hypoxie schlechter kalkulierbar und es besteht die Gefahr ungewollt niedriger Konzentrationen mit erhöhter Gesundheitsgefährdung oder zu hoher Konzentrationen mit eingeschränktem Schutz der zu inertisierenden Güter. Obwohl in der Studie nur Anlagen berücksichtigt wurden, die mit Konzentrationen zwischen 13% und 16,9% betrieben werden und in denen die Konzentration nicht regelmäßig für Personenverkehr angehoben wird, gaben 8 Beschäftigte dennoch an, die Sauerstoffkonzentration werde

generell geändert, bevor Personen den Raum betreten, und zwar am häufigsten auf 17%, aber auch auf bis zu 21%. Diese Beschäftigten stammen aus 3 verschiedenen Firmen, deren Verantwortlicher für die Anlage diese Frage verneint hatte. Angenommen, es waren die Exponierten, die bei ihrer Angabe der Sauerstoffkonzentration oder der Beantwortung der Frage nach genereller Anhebung geirrt haben, ist es möglich, dass die letzte Exposition grade dieser Personen länger zurückgelegen hat und sie sich nicht richtig erinnern.

In jedem Fall ist es als entscheidend anzusehen, dass Personen vor Betreten des sauerstoffreduzierten Bereichs die aktuelle Konzentration feststellen und diese auch hinsichtlich ihres Gefahrenpotentials einordnen können. Mangelhafte Information von Mitarbeitern bedeutet unter Umständen auch unsicheren Umgang mit potentiellen Gefahrensituationen.

Mitarbeiter von 2 Betrieben berichteten, die Sauerstoffkonzentration werde in besonderen Fällen angehoben, obwohl dies von den Verantwortlichen verneint wurde. Es kann sich hierbei wiederum um einen Irrtum seitens der Verantwortlichen handeln oder um eine Fehlinformation der Beschäftigten, wobei ersteres in Anbetracht der Anzahl der betreffenden Exponierten wahrscheinlicher ist. Mögliche Folgen wären im zweiten Fall wie eben besprochen. Der Verantwortliche sollte nicht nur über die Betriebs-O₂-Konzentration informiert sein, sondern sollte vielmehr derjenige sein, der festlegt, in welchen Fällen die Konzentration angehoben wird.

Gründe für das Anheben der Konzentration sind laut Verantwortlichen wie Beschäftigten längerdauernde Arbeiten von mehr als 4 h (wenn nicht schon bei kürzeren Aufenthalten eine Konzentrationserhöhung erfolgt), schwerere körperliche Arbeiten und Mitnahme von Besuchern.

Die Vorsichtsmaßnahmen gehen hier also teilweise über die derzeitigen Empfehlungen hinaus, nach denen Aufenthalte bis zu 6h als unbedenklich gelten. Körperliche Arbeiten dürfen bisher von gesunden Personen ebenfalls ausgeführt werden. Bei Mitnahme von nicht medizinisch untersuchten Personen ist eine Anhebung der Sauerstoffkonzentration sicher angebracht.

Insgesamt aber sind die technischen Sicherheitsmaßnahmen nach vorliegender Untersuchung uneinheitlich und liegen z.T. deutlich unter den geforderten Standards.

Bei Anlagen mit regelmäßiger Erhöhung der Sauerstoffkonzentration für Personenverkehr sind technische Sicherheitsmaßnahmen (Konzentrationsanzeige, Zutrittsregelung) wichtig, insbesondere wenn keine medizinische Vorsorgeuntersuchung durchgeführt wird.

Zutrittsregelungen gibt es in allen betreffenden 4 Anlagen, die Sauerstoffkonzentration wird außerhalb angezeigt. Nur für zwei dieser Anlagen werden jedoch obligatorisch Vorsorgeuntersuchungen durchgeführt. Andererseits wären diese nicht nötig, da ohnehin keine relevante Exposition stattfindet.

Mögliche Implikationen bestehen in einer Vereinheitlichung der empfohlenen präventiven Maßnahmen, einer Kommunikation der Empfehlung an die entsprechenden Betriebe, insbesondere durch die zuständigen Berufsgenossenschaften und die Schulung der Verantwortlichen und der exponierten Mitarbeiter. Auch für die Betriebsärzte besteht erheblicher Informationsbedarf.

IV.6 Medizinische Vorsorge

Nur für 62% der Anlagen werden spezielle arbeitsmedizinische Vorsorgeuntersuchungen gefordert. Für eine Anlage werden fakultativ, d.h. beispielsweise auf Wunsch des Beschäftigten, Untersuchungen durchgeführt.

Dies entspricht nicht der Richtlinie des Arbeitskreises Feuerschutz der Berufsgenossenschaften, die Vorsorgeuntersuchungen für alle Anlagen vorsieht, die mit Sauerstoffkonzentrationen zwischen 13% und 17% betrieben werden.

In nur 23% der Firmen orientiert sich die Durchführung der Vorsorgeuntersuchung an der Richtlinie, die 2004 von Angerer et al. an der LMU München formuliert wurde und die einen Siebtest und eventuelle Ergänzungsuntersuchungen beinhaltet. In den übrigen Betrieben wird der Umfang der Untersuchung vom jeweiligen Betriebsmediziner festgelegt. Ziel ist hierbei immer, wie auch in der o.g. Richtlinie der LMU, Risikopersonen mit kardiovaskulären und pulmonalen Vorerkrankungen oder Symptomen der akuten Höhenkrankheit in der Anamnese von der Tätigkeit in sauerstoffreduzierter Atmosphäre zu erkennen, ihr individuelles Risiko abzuschätzen und sie bzw. den Arbeitgeber zu beraten, ob eine Arbeit in einer Brandvermeidungsanlage medizinisch vertretbar scheint. Prinzipiell spricht nichts gegen solche individuell zusammengestellten Vorsorgeuntersuchungen, solange das in der LMU-Richtlinie vorgesehene Minimalprogramm erfüllt wird. Für die Erstellung einer verbindlichen Richtlinie mit dem Ziel gesetzlich fundierter Arbeitssicherheit ist jedoch die Festlegung eines arbeitsmedizinischen Procedere vonnöten.

IV.7 Chronische Krankheiten

Exponierte Studienteilnehmer gaben sehr selten bekannte chronische Krankheiten an. Dies sollte an der Selektion durch die medizinische Vorsorgeuntersuchung liegen, kann aber natürlich auch Zufall sein. Im Vergleich mit der Prävalenz in der Allgemeinbevölkerung kommen alle genannten Erkrankungen bei den Exponierten seltener vor. Gerade chronische Herz- und Lungenerkrankungen wurden jedoch häufiger (nicht signifikant) von Exponierten als von Kontrollen angegeben.

An chronischen Herzerkrankungen wurde am häufigsten die arterielle Hypertonie (6x) genannt. Auch je eine Person mit Klappenvitium und sogar eine mit Zustand nach Myokardinfarkt arbeiten im sauerstoffreduzierten Bereich. Für eine Verursachung dieser Erkrankungen durch die Exposition gibt es keinen Hinweis. Von den Hypertonie-Patienten waren nur zwei vor Beginn der Exposition arbeitsmedizinisch untersucht worden. Der Patient mit Klappenvitium war ebenfalls nicht voruntersucht worden. Hier werden Mängel deutlich, denn die Risikoabschätzung und Beratung der Beschäftigten erfordert ärztlichen Sachverstand. Dies entspricht nicht der vorgeschlagenen Richtlinie (Arbeitsmedizin LMU) bzw. verdeutlicht warum Voruntersuchungen grundsätzlich gemacht werden sollten.

Sieben Personen gaben Asthma bronchiale an. Alle waren vor Beginn der Expositionen untersucht worden und sollten danach bedenkenlos die Hypoxie tolerieren.

Eine einzige Person gab Eisenmangelanämie an; eine Eingangsuntersuchung entsprechend dem Vorschlag der LMU war erfolgt, so dass keine Komplikationen zu erwarten sind.

An anderen chronischen Erkrankungen wurden Allergien, Diabetes mellitus und Psoriasis genannt. Hier bestehen keine direkten gesundheitlichen Bedenken für das Arbeiten in Hypoxie, sie sind u.U. Risikofaktoren für das Auftreten anderer Erkrankungen, die in dem Zusammenhang relevant sind. Eine Möglichkeit zur Prävention besteht in solchen Fällen in der Verkürzung der Untersuchungsintervalle.

Kontrollpersonen gaben ebenfalls insgesamt selten chronische Erkrankungen an. Die für das Arbeiten in Hypoxie relevanten Erkrankungen wurden etwa gleichhäufig wie von den Exponierten angegeben. Unter „andere chronische Erkrankungen“, wiederum häufig Erkrankungen des Bewegungsapparates oder Migräne, leiden prozentual doppelt so viele Kontrollen wie Exponierte. Hier ist denkbar, dass psychische Faktoren eine Rolle spielen, d.h. dass Menschen, in deren Denken ihre Erkrankungen eine größere Rolle spielen, umso bereitwilliger an einer Studie teilnehmen (s.u.).

IV.8 Aktuelle Beschwerden

Wie zu erwarten, traten bei Exposition als physiologische Reaktionen auf Hypoxie Herzklopfen und Schwindel auf (signifikant häufiger als bei Kontrollpersonen). Diese Beschwerden wurden von Exponierten häufiger angegeben als von Kontrollpersonen. Ebenso wurde häufiger eine vermehrte/erschwerzte Atmung und ein Druckgefühl auf der Brust während der Exposition angegeben. Alle genannten Beschwerden traten nach Ende der Exposition signifikant seltener auf. Man kann also einen direkten zeitlichen und kausalen Zusammenhang mit der Exposition erkennen.

Der „Druck auf der Brust“ wurde von den Exponierten möglicherweise eher als Beklemmungsgefühl verstanden, das z.B. psychogen in Erwartung von Beschwerden bei Betreten der Anlage auftreten oder durch die erschwerzte Atmung hervorgerufen werden kann. Ausschließen kann man dennoch nicht, dass es sich um Angina-pectoris-artige Beschwerden gehandelt hat, insbesondere wenn unerkannt eine KHK vorgelegen hätte. Keiner der Exponierten mit Druckgefühl litt zwar bekanntermaßen an einer chronischen Herzerkrankung, ein einziger (ca.10%) an einer chronischen Lungenerkrankung. Rund 25% (n=3) der Exponierten mit Druckgefühl waren jedoch nicht arbeitsmedizinisch vor untersucht worden.

Schwindel kann ein Symptom der Akuten Höhenkrankheit (AHK) sein.

Als Symptome der akuten Höhenkrankheit fragten wir neben dem Schwindel nach Kopfschmerzen, Schwächegefühl, gastrointestinalen Symptomen und Schlafstörungen. Diese Beschwerden wurden ausnahmslos häufiger -Schlafstörungen sogar signifikant häufiger- von Kontrollen angegeben.

Einige Beschäftigte hatten während der Exposition mehrere Symptome / Beschwerden gleichzeitig, so z.B. Kopfschmerzen und Schwindel. Dies können Symptome einer akuten Höhenkrankheit sein. Ob eine solche definitionsgemäß vorgelegen hat (Lake-Louise-Score), kann aufgrund der vorliegenden Daten nicht beurteilt werden, da die Ausprägung der Beschwerden nicht erfragt wurde.

Am ehesten war der Schwindel Ausdruck einer nur kurzfristigen Adaptationsverzögerung an den verminderten Sauerstoffpartialdruck der Umgebungsluft. Die Dauer der Beschwerden innerhalb der Expositionsdauer wurde jedoch nicht erfasst.

Bei keiner anderen abgefragten Beschwerde zeigte sich eine Überhäufigkeit bei den Exponierten, insbesondere nicht bei Beschwerden, die auf kardiovaskuläre Komplikationen hindeuten (Schwarzwerden vor Augen, Herzstolpern).

Rückenschmerzen, Gelenkschmerzen und Nackenschmerzen - Beschwerden, die in keinem Zusammenhang mit Sauerstoffmangel stehen können, wurden signifikant häufiger von Kontrollen angegeben. Diese Variablen wurden im Fragebogen v.a. in die Beschwerdeliste aufgenommen, um eine Abschätzung der „Klagsamkeit“ des Kollektivs vornehmen zu können: Differenzieren die Personen zwischen hypoxieassoziierten und unabhängig auftretenden Beschwerden? Antworten sie ehrlich?

Bei der Untersuchung von Effekten der Exposition auf solche hypoxieunabhängigen Beschwerden würden wir eine gleiche Verteilung in Exponierten- und Kontrollgruppe erwarten. Die signifikante Häufung bei den Kontrollen muss daher von der Gruppenstruktur herrühren.

Ein denkbarer Grund wäre, dass in der Kontrollgruppe mehr Personen mit Bildschirmtätigkeiten, d.h. sitzenden Tätigkeiten vertreten sind. Für einzelne Tätigkeiten wurde in der kontrollierten Berechnung nicht adjustiert. Es zeigt sich aber, dass 68% der Kontrollpersonen mit kaufmännischen Berufen Bildschirmtätigkeiten verrichten.

Ebenfalls wurden aber die Beschwerden überdurchschnittliche Müdigkeit, Schlaflosigkeit und Schwarzwerden vor Augen signifikant häufiger von Kontrollen angegeben.

Die Tatsache, dass Kontrollpersonen insgesamt signifikant häufiger Beschwerden hatten (Kontrollen machten durchschnittlich 2,9 Kreuzchen in der vorgegebenen Beschwerdeliste, Exponierte machten durchschnittlich 1,3 Kreuzchen, $p < 0,001$), und dass eine große Zahl sowohl von Beschwerden, die bei Exponierten vermutet werden können, als auch Beschwerden, die nicht durch Sauerstoffmangel hervorgerufen werden können, signifikant häufiger von Kontrollen genannt wurden, könnte ihre Gründe im psychischen Bereich haben. Menschen mit depressiver Veranlagung neigen zur Klagsamkeit (Seidscheck 2006) und werden sich eher als Kontrollpersonen zur Verfügung stellen und über ihre Beschwerden berichten als solche, die keine Beschwerden haben und sich um ihre Gesundheit wenig Gedanken machen. Ob die besonderen beruflichen Belastungen der Kontrollgruppe oder ein anderer Umgang mit Beschwerden und Erkrankungen durch die Kontrollgruppe die Unterschiede erklärt, kann nicht aus den Daten entschieden werden.

Unter dem Begriff des „Healthy Worker Effect“ ist zu verstehen, dass Erkrankungshäufigkeiten in der arbeitenden Bevölkerung niedriger sein müssen als in der Allgemeinbevölkerung, bei der auch alle aus gesundheitlichen Gründen nicht arbeitenden in der Statistik berücksichtigt werden. Die Arbeitnehmerschaft ist insofern bereits eine selektierte Population, nachdem z.B. durch Vorsorgeuntersuchungen bereits ausgefiltert wurde, und andere ihre Arbeit wegen Krankheit aufgegeben haben.

IV.9 Schlussfolgerungen

Die Ergebnisse der hier dargestellten deutschlandweiten Querschnittsstudie, die versuchte, alle Beschäftigten in allen Brandermeidungsanlagen in Deutschland im Jahr 2005 zu erfassen, geben keine Hinweise darauf, dass Beschäftigte durch die Arbeit in sauerstoffreduzierter Atmosphäre vermehrt Beschwerden oder Erkrankungen erleiden. Aus den o.g. methodischen Gründen muss aber eine solche Aussage durch eine Untersuchung mit aufwändigerem Design, d.h. durch eine Kohortenstudie, überprüft werden.

Die Befragung von Anlagenverantwortlichen und Mitarbeitern in den Anlagen zeigte, dass arbeitsmedizinische Vorsorgeuntersuchungen und sicherheitstechnische Standards weit verbreitet sind – aber immer noch gravierende Lücken aufweisen: Uneinheitlichkeit und Unvollständigkeit der Vorsorgeuntersuchung, mangelnde Schulung der Mitarbeiter und unzureichende Kennzeichnung der potentiellen Gefahrenbereiche ist hier zu nennen.

Sinnvoll zur Behebung dieser Mängel wäre evtl. auch eine Art Meldepflicht bei Installation einer O₂-reduzierenden Brandvermeidungsanlage, um die Einhaltung der Sicherheitsmaßnahmen in einer Technologie kontrollieren zu können, über die insgesamt bisher doch nur wenig Erfahrungen gesammelt und dokumentiert wurden.

V. Zusammenfassung

Zum Zwecke vorbeugenden Brandschutzes für stark brandgefährdete oder unwiederbringliche Güter wird in geschlossenen Räumen die Sauerstoffkonzentration auf bis unter 13 Vol.% abgesenkt und durch Stickstoff ersetzt (normobare Hypoxie). In solchen Anlagen arbeiten zeitweise Personen. Es stellt sich die Frage nach gesundheitlichen Gefahren durch solche Arbeiten, da die bekannten Auswirkungen von hypobarer Hypoxie, wie sie in Höhenlagen zu finden ist, nicht ohne weiteres auf die Situation in Brandvermeidungsanlagen übertragbar sind.

Ziel der Studie war eine möglichst vollständige Erfassung aller Anlagen in Deutschland mit den dort praktizierten technischen und persönlichen Sicherheitsmaßnahmen sowie die Erfassung von Beschwerden und Erkrankungen im zeitlichen Zusammenhang mit der Exposition.

In telefonischen Interviews konnten Informationen zu 35 Brandvermeidungsanlagen gesammelt werden; 214 Exponierte aus 15 Betrieben berichteten anonym per Fragebogen von ihren Erfahrungen bei der Arbeit in Hypoxie. Die Kontrollgruppe bestand aus 121 Personen ähnlicher Tätigkeitsfelder. Insgesamt konnten wir nur ca. 75% der Betriebe mit BVA und ca. ein Drittel der bekannterweise exponierten Personen erreichen. Daneben gibt es noch eine unbekannte Zahl weiterer sauerstoffreduzierender Anlagen. Aufgrund des Studiendesigns (Querschnittsstudie) wurden möglicherweise nicht alle Personen mit hypoxie-assoziierten Beschwerden oder Erkrankungen erfasst. Trotz der hiermit eingeschränkten Repräsentativität handelt es sich um die zum Zeitpunkt der Untersuchung vollständigste Erfassung in Deutschland.

Die Schutzbereiche sind in allen Anlagen mit arbeitsmedizinisch relevanten O₂-Konzentrationen von 13-16,9% durch diverse Sicherheitsvorkehrungen auf einen definierten Personenkreis beschränkt, arbeitsmedizinische Vorsorgeuntersuchungen werden nur für 62% der Anlagen gefordert. Es war unseren Ansprechpartnern kein Fall einer Erkrankung mit Zusammenhang mit der Arbeit in sauerstoffreduzierter Atmosphäre erinnerlich. Akute Erkrankungen oder Neuauftreten chronischer Erkrankungen des Herz-Kreislaufsystems in den vergangenen 3 Jahren wurden von keiner Person berichtet. Chronische Erkrankungen waren in beiden Gruppen gleichhäufig. An akuten Beschwerden fanden sich bei Exponierten signifikant häufiger spürbarer Herzschlag und Schwindel. Druckgefühl auf der Brust und erschwerte Atmung waren deutlich häufiger, doch nicht signifikant. Hypoxieunabhängige Beschwerden wie Rückenschmerzen waren signifikant häufiger in der Kontrollgruppe.

Innerhalb der Exponiertengruppe traten die o.g. Beschwerden signifikant häufiger während der Exposition auf als nach der Exposition.

Insgesamt scheint nach unseren Ergebnissen die Arbeit in Brandvermeidungsanlagen bei gesunden Personen nicht mit einem vermehrten Auftreten von Beschwerden und Erkrankungen einherzugehen. Fälle von akuter Höhenkrankheit gab es nicht. Die technischen Sicherheitsmaßnahmen und arbeitsmedizinischen Vorsorgeuntersuchungen werden in uneinheitlichem Umfang durchgeführt und entsprechen teilweise nicht den geforderten Standards.

Um verbindliche Richtlinien zur Arbeitssicherheit in Hypoxie formulieren zu können, bedarf es nun zusätzlicher Längsschnittstudien.

VI Literatur

1. Abraini JH, Bouquet C, Joulia F, et al. (1998) Cognitive Performance during a simulated climb of Mount Everest: implications for brain function and central adaptive processes under chronic hypoxic stress. *Pflugers Arch* 436: 553-559
2. Agostoni P, Cattadori G, Guazzi M, et al. (2000) Effects of simulated altitude-induced hypoxia on exercise capacity in patients with chronic heart failure. *Am J Med* 109: 450-455
3. Ahmet T, Marchette B (1985) Hypoxia enhances non-specific bronchial reactivity. *Am Rev Respir. Dis.* 132:839-844
4. Allemann Y, Saner H, Meier B (1998) Höhenaufenthalte und Flüge bei koronarer Herzkrankheit. *Schweizer Medizinische Wochenschrift* 128: 671-678
5. American Thoracic Society (1995) standard for the diagnosis and care of patients with chronic obstructive pulmonary disease. *Am J Respir Crit Care Med* 152: S77-121
6. Andres, J.: Das allgemeine lineare Modell. In Edgar Erdfelder, Rainer Mausfeld, Thorsten Meiser & Georg Rudinger (Hrsg.), *Handbuch quantitative Methoden*, 1996 (S.185-200); Weinheim: Belz.
7. Angerer P, Nowak D (2003) Working in permanent hypoxia for fire protection- impact on health. *Int Arch Occup Environ Health* 76: 87-102
8. Angerer P, Prechtel A, Wittmann M, Nowak D: Arbeiten in sauerstoffreduzierter Atmosphäre - Auswirkungen auf die Leistungsfähigkeit. In: Baumgartner E, Stork J. (Hrsg) *Verh. Dtsch. Österr. Ges. Arbeitsmed. Umweltmed.* 44 (2004),
9. Barry PW, Mason NP, Riordan M, C OC (1997); Cough frequency and Cough-receptor sensitivity are increased in man at altitude. *Clin Sci Colch* 93:181-186
10. Bartholomew CJ, Jensen W, Petros TV, et al. (1999) The effect of moderate levels of simulated altitude on sustained cognitive performance. *Int J Aviat Psychol* 9: 351-359
11. Bender R, Lange S; *Dtsch Med Wochenschr* (1997) 132: e15-e16; Was ist der p-Wert?
12. Christensen CC, Ryg M, Refvem OK (2000) Development of severe hypoxaemia in chronic obstructive pulmonary disease patients at 2483 m (8000 ft) altitude. *The European respiratory journal* 15: 635-63
13. Crow TJ, Kelman GG (1969) Psychological weffects of mild hypoxia. *J physiol* 204:24

14. Crow TJ, Kelman GG (1971) Effect of mild hypoxia on human short-term memory. *Br J Anesth* 43:548-552
15. Crowley JS, Wesensten N, Kamimori G, et al. (1992) Effect of high terrestrial altitude and supplemental oxygen on human performance and mood. *Aviat Space Environ Med* 63: 696-701
16. Dean AG, Yip R, Hoffmann RE (1990) High incidence of mild acute mountain sickness in conference attendees at 10000 foot altitude. *J Wilderness Med* 1:86-92
17. Denison DM, Ledwith F, Poulton EC (1966) Complex reaction times at simulated cabin altitudes of 5,000 feet and 8,000 feet. *Aerosp Med* 37:1010-1013
18. Dillard TA, Moores LK, Bilello KL, et al. (1995) The preflight evaluation. A comparison of the hypoxia inhalation test with hypobaric exposure. *Chest* 107: 352-357
19. Erdmann J, Sun KT, Masar P, et al. (1998) Effects of exposure to altitude on men with coronary artery disease and impaired left ventricular function. *Am J Cardiol* 81: 266-270
20. Ernsting J (1978) Prevention of hypoxia-acceptable compromises. *Aviat Space Environ Med* 49:495-502
21. Fields LE; Burt VL; Cutler JA; Hughes J; Roccella EJ; Sorlie P Hajjar I; Kotchen TA (2003) The burden of adult hypertension in the United States 1999 to 2000: a rising tide. *Hypertension* 44(4):398-404
22. Fischer R, Nowak D, Huber RM (2000) Höhenaufenthalt bei Lungenkrankheiten. *Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin* 51: 412-417
23. Fowler B, Paul M, Porlier G, et al. (1985) A re-evaluation of the minimum altitude at which hypoxic performance decrements can be detected. *Ergonomics* 28:781-791
24. Genest JJ Jr; Martin-Munley SS; McNamara JR; Ordovas JM; Jenner J; Myers RH; Silberman SR; Wilson PW; Salem DN; Schaefer EJ (1992) Familial lipoprotein disorders in patients with premature coronary artery disease. *Circulation* 85(6):2025-33.
25. Green RG, Morgan DR (1985) The effects of mild hypoxia on a logical reasoning task. *Aviat Space Environ Med* 56:1004-1008
26. Grover RF, Lufschanowski R, Alexander JK (1976) Alterations in the coronary circulation of man following ascent to 3100 m altitude. *J Appl Physiol* 41: 832-838
27. Gustafsson C, Genser M, Ornhaugen H, et al. (1997) Effects of normobaric hypoxic confinement on visual and motor performance. *Aviat Space Environ Med* 68: 985-992

28. Habler OP, Messmer KF (1997) The physiology of oxygen transport. *Transfus Sci* 18: 425-435
29. Hackett PH, Roach RC (2001) High altitude illness. *N Engl J Med* 345: 107-114
30. Hammond MD, Gale GE, Kapitan KS, et al. (1986) Pulmonary gas exchange in humans during normobaric hypoxic exercise. *J Appl Physiol* 61: 1749-1757
31. Heinrich J, Richter K, Frye C, Meyer I, Wolke G, Wjst M, Nowak D, Magnussen H, Wichmann HE. Die Europäische Studie zu Atemwegserkrankungen bei Erwachsenen (ECRHS) - Bisherige Ergebnisse und der Beitrag der beiden deutschen Studienzentren. *Pneumologie* 2002;56(5):297-303.
32. Honigman B, Theis MK, Koziol-McLain J, et al. (1993) Acute mountain sickness in a general tourist population at moderate altitudes. *Ann Intern Med* 118: 587-592
33. Hultgren HN, Marticorena EA (1978) High altitude pulmonary edema. Epidemiologic observations in Peru. *Chest* 74: 372-376
34. Janson C, Bjornsson E, Hetta J, Boman G. Anxiety and depression in relation to respiratory symptoms and asthma. *Am J Respir Crit Care Med* 1994;149(4 Pt 1):930-4.
35. Kaijser L, Gubbstrom J, Berglund B (1990) Coronary circulation in acute hypoxia. *Clin Physiol* 10: 259-263
36. Klug et al., *Dtsch. Med. Wochenschr* 2007; 132: e45-e47, Wichtige epidemiologische Studientypen
37. Landesanstalt für Arbeitsschutz Nordrhein-Westfalen, <http://www.arbeitsschutz.nrw.de/bp/publications/index.html>
38. Levine BD, Zuckerman JH, de Filippi CR (1997) Effect of high-altitude exposure in the elderly: the Tenth Mountain Division study *Circulation* 96: 1224-1232
39. Lindroos M, Kupari M, Heikkila J, Tilvis R (1993) Prevalence of aortic valve abnormalities in the elderly: an echocardiographic study of a random population sample. *J Am Coll Cardiol* 21:1220-1225
40. Lloyd-Jones DM; Larson MG; Beiser A; Levy D (1999) Lifetime risk of developing coronary heart disease. *Lancet* 353(9147):89-92.
41. Looker AC; Dallman PR; Carroll MD; Gunter EW; Johnson CL (1997) Prevalence of iron deficiency in the United States. *JAMA* 277(12):973-6.
42. McGill HC Jr; McMahan CA; Zieske AW; Tracy RE; Malcom GT; Herderick EE; Strong JP (2000) Association of Coronary Heart Disease Risk Factors with microscopic qualities of coronary atherosclerosis in youth., *Circulation* 102(4):374-9.
43. Montgomery AB, Mills J, Luce JM (1989) Incidence of acute mountain sickness at intermediate altitude. *JAMA* 261: 732-734

44. Newman LS, Rose CS, Maier LA: Sarcoidosis. *N Engl J Med.* 1997 Apr 24;336(17):1224-34.
45. Nowak D, Heinrich J, Jorres R, Wassmer G, Berger J, Beck E, Boczor S, Claussen M, Wichmann HE, Magnussen H. Prevalence of respiratory symptoms, bronchial hyperresponsiveness and atopy among adults: west and east Germany. *Eur Respir J* 1996;9(12):2541-52.
46. Nowak D, Suppli UC, von Mutius E. Asthma and atopy: has peak prevalence been reached? *Eur Respir J* 2004;23(3):359-60.
47. Nowak D, von Mutius E. Asthma bronchiale im Kindes- und Erwachsenenalter: Risikofaktoren, Diagnose, Standardtherapie. *Dtsch Med Wochenschr* 2004;129(10):509-16.
48. Olschewski H, Hoepfer M M, Borst M M, Ewert R, Grünig E, Kleber F X, Kopp B, Opitz C, Reichenberger F, Schmeisser A, Schranz D, Schulze-Neick I, Wilkens H, Winkler J, Worth H. Diagnosis and therapy of chronic pulmonary hypertension. *Clin Res Cardiol* 96:301-330 (2007)
49. Roach PC, Bärtsch P, Oelz O, et al. (1993) The Lake Louise acute mountain sickness scoring system. In: Sutton JR, Houston CS, Coates G (eds) *Hypoxia and molecular medicine*. Houston, Burlington, Vt pp 272-274
50. Roach PC, Loepky JA, Icenogle MV (1996) Acute mountain sickness: increased severity during simulated altitude compared with normobaric hypoxia. *J Appl Physiol* 81: 1908-1910
51. Savourey G, Launay JC, Besnard Y, Guinet A, Travers S (2003) Normo- and hypobaric hypoxia: are there any physiological differences? *Eur J Appl Physiol* 89: 122-126
52. Schoene RB (1999) The brain at high altitude. *Wilderness Environ Med* 10: 93-96
53. Seidscheck I. Dissertation, LMU München 2006: Komorbidität Depression, S.12. <http://edoc.ub.uni-muenchen.de/5484/>
54. Siafakas NM, Vermeire P, Pride NB, et al. (1995) Optimal assessment and management of chronic obstructive pulmonary disease. The European Respiratory Society Task Force. *Eur Respir J* 8: 1398-1420
55. Sommer D, Kuhn D (2007) Auszubildende und Gesundheit im Handwerk, http://www.ikkbb.de/fileadmin/user_upload/doc/Studien/Langfassung_IKK-Studie_Auszubildende_und_Gesundheit_im_Handwerk.pdf

56. Stewart BF, Siscovick D, Lind BK et al (1997) Clinical factors associated with calcific aortic valve disease. Cardiovascular Health Study. *J Am Coll Cardiol* 29:630–634
57. Stewart BF, Siscovick D, Lind BK et al (1997) Clinical factors associated with calcific aortic valve disease. Cardiovascular Health Study. *J Am Coll Cardiol* 29:630–634
58. Trends in prevalence, awareness, treatment, and control of hypertension in the United States, 1988-2000. Hajjar I; Kotchen TA *JAMA* 2003 Jul 9;290(2):199-206.
59. Ward PW, Milledge JS, West JB (2000) High altitude medicine and physiology. Arnold, London
60. Wu TY, Ding SQ, Liu JL, Yu MT, Jia JH, Chai ZC, Dai RC, Zhang SL, Li BY, Pan L, Liang BZ, Zhao JZ, Qi de T, Sun YF, Kayser B. (2007) Who should not go high: chronic disease and work at altitude during construction of the Qinghai-Tibet railroad. *High Alt Med Biol* 8(2):88-107.
61. Yoshida K et al. Color Doppler evaluation of valvular regurgitation in normal subjects. *Circulation*. 1988 Oct;78(4):840-7

VII Anhang

VII.1 Abkürzungsverzeichnis

AHK	akute Höhenkrankheit
BVA	Brandvermeidungsanlage
COPD	chronic obstructive pulmonary disease (chronisch obstruktive Lungenerkrankung)
CTA	chemisch-technische/r Assistent/in
Hb	Hämoglobin
LASI	Länderausschuss für Arbeitsschutz und Sicherheitstechnik
LMU	Ludwig-Maximilians-Universität München
LuFu	Lungenfunktion (Spirometrie und Bodyplethysmografie)

VII.2 Fragebögen

VII.2.1 Telefoninterview

„In dem telefonischen Interview werden wir etwa folgende Fragen stellen:

Technisches:

1. Seit wann ist die Anlage in Betrieb?
Seit _____
2. Herstellerfirma der Anlage?
3. Welche Sauerstoffkonzentration herrscht im Schutzbereich?
_____ %
4. Ist der Raum als sauerstoffreduziert gekennzeichnet?
Ja Nein
5. Wird die aktuelle Sauerstoffkonzentration angezeigt (im Raum, außerhalb des Raumes)?
Innerhalb: Ja Nein
Außerhalb: Ja Nein

Organisation

6. Wie wird der Zutritt zur Anlage geregelt?
 - Ist er einem definierten Personenkreis vorbehalten?
Ja Nein
 - Wie wird ggf. der Ausschluss anderer Personen sichergestellt?
7. Wird die Sauerstoffkonzentration generell erhöht, wenn Personen den Raum betreten?
Ja Nein

8. Wird bei bestimmten Personen (z.B. ohne Vorsorgeuntersuchung oder mit besonderem Risiko) oder für besondere Arbeiten die Sauerstoffkonzentration erhöht? (Ggf. welche Personen, welche Arbeiten?)

Ja Nein Wenn ja,

Umfang der Exposition

9. Wie viele Personen betreten aktuell regelmäßig die Anlage?

_____ Personen

10. Seit wie vielen Jahren/ Monaten sind diese Personen im Durchschnitt exponiert?

Seit _____

11. Welche Tätigkeiten werden während der Exposition ausgeübt?

12. Wie oft findet die Exposition statt? *Pro Berufsgruppe/Tätigkeit*

Berufsgruppe 1 (_____) _____ x pro Tag / Woche / Monat für _____ min / h

Berufsgruppe 2 (_____) _____ x pro Tag / Woche / Monat für _____ min / h

Berufsgruppe 3 (_____) _____ x pro Tag / Woche / Monat für _____ min / h

13. Wie viele Personen waren seit Bestehen der Anlage insgesamt exponiert?

_____ Personen

Vorsorgeuntersuchung

14. Wird eine arbeitsmedizinische Vorsorgeuntersuchung durchgeführt?

obligatorisch fakultativ gar nicht

15. Wenn ja, in welchem Umfang wird die Untersuchung durchgeführt?

- Anamnese
- Körperliche Untersuchung
- Blutbild
- Anderes Labor
- EKG
- Belastungs-EKG
- Lungenfunktion (Spirometrie)
- Blutgasanalyse
- Andere, ggf. welche

16. Bei wie vielen Personen gab es Bedenken, ggf. warum ?
17. Wie wurde bei diesen Personen weiter vorgegangen?

Gesundheitliche Aspekte

18. Haben exponierte Beschäftigte Ihnen gegenüber Beschwerden im Zusammenhang mit der Exposition geäußert? Wie viele Beschäftigte ggf.? Um welche Beschwerden handelte es sich? (hier bitte detaillierte Angaben)
19. Gab oder gibt es bei exponierten Personen ernstere gesundheitliche Probleme, ggf. welche? (hier bitte detaillierte Angaben)
20. Haben diese Beschwerden oder Probleme dazu geführt, dass die Personen aus der Arbeit in sauerstoffreduzierter Atmosphäre ausgeschieden sind?
21. Aus sicherheitstechnischer bzw. arbeitsmedizinischer Sicht – haben Sie Vorschläge, wie die Arbeit in sauerstoffreduzierter Atmosphäre verbessert werden kann?

Weitere Bemerkungen“

VII.2.2. Fragebogen für Exponierte

„Name des Betriebs“

Fragebogen für Beschäftigte, die in sauerstoffreduzierter Atmosphäre arbeiten

Bitte beantworten Sie uns folgende Fragen zu Ihrer Person:

- Wie alt sind Sie? _____ Jahre
- Sind Sie männlich weiblich
- Was ist Ihr Beruf?

Es folgen einige Fragen zu Ihrer Tätigkeit in sauerstoffreduzierter Atmosphäre.

- Wie oft arbeiten Sie in diesem Bereich?
Täglich
Pro Woche _____ mal
Pro Monat _____ mal
Pro Jahr _____ mal
- Welche Tätigkeiten verrichten Sie (evtl. unterschiedliche Tätigkeiten, ggf. genauere Angaben)?
 1. _____
 2. _____
- Wie lange halten Sie sich dann in dem Bereich auf?
Bei Tätigkeit 1.)
Wenige Minuten weniger als 1 Stunde _____ Stunden
Bei Tätigkeit 2.)
Wenige Minuten weniger als 1 Stunde _____ Stunden

- Wie schwer ist dabei normalerweise Ihre körperliche Tätigkeit?
 Leicht O
 Mittelschwer mit leichtem Schwitzen und rascherer Atmung O
 Schwer mit starkem Schwitzen und erschwerter Atmung O

- Wann haben Sie das erste Mal in sauerstoffreduzierter Atmosphäre gearbeitet?
 Monat _____ Jahr _____

- Wurden Sie vor Beginn dieser Tätigkeiten einer
 arbeitsmedizinischen Untersuchung unterzogen? Ja O Nein O

- Welche Sauerstoffkonzentration herrscht normalerweise in dem Bereich?
 _____ %

- Kontrollieren Sie selbst die Sauerstoffanzeige,
 wenn Sie den Raum betreten? Ja O Nein O

- Wird die Sauerstoffkonzentration verändert,
 wenn Sie den Raum betreten? Nein O
Ja, und zwar auf _____ %

- Wird die Sauerstoffkonzentration verändert, wenn spezielle
 Arbeiten ausgeführt werden sollen? Nein O
 Ja, und zwar bei folgenden Arbeiten

Die Konzentration wird dann auf _____ % verändert.

Beantworten Sie uns bitte folgende Fragen zu Ihrem Gesundheitszustand.

Machen Sie genauere Angaben, wenn Sie es für sinnvoll halten.

- Leiden Sie an einer chronischen Herzerkrankung?
 (inkl. Herzinfarkt, koronare Herzerkrankung) Nein O
 Wenn ja, an welcher? _____
 Wenn ja, seit wann? _____ (Jahr, z.B. 1995)

- Leiden Sie an einer chronischen Lungenerkrankung? Nein O
 Wenn ja, an welcher? _____
 Wenn ja, seit wann? _____

- Leiden Sie an einer Erkrankung des Blutes?
 (insbesondere Blutarmut = Anämie) Nein O
 Wenn ja, an welcher? _____
 Wenn ja, seit wann? _____

- Leiden Sie an Durchblutungsstörungen
 des Hirns oder anderer Organe? Nein O
 Wenn ja, an welchen? _____
 Wenn ja, seit wann? _____

- Haben Sie andere chronische Erkrankungen? Nein O
 Wenn ja, welche und seit wann?

- Hatten Sie in den vergangenen 3 Jahren eine ernstere Erkrankung (mit Arbeits-
 Unfähigkeit und/oder Medikamenteneinnahme über mehrere Tage)? Nein O
 Wenn ja, um welche Erkrankung handelte es sich?

 Wenn ja, waren Sie in der Woche zuvor in sauerstoffreduzierter Atmosphäre tätig?
Nein O
 Wenn ja, in welchem zeitlichen Abstand vom Aufenthalt in sauerstoffreduzierter
 Atmosphäre ereignete sich die Erkrankung?
 Nach _____ Stunden bzw. nach _____ Tagen
*Die folgenden Fragen beziehen sich auf den Tag, an dem Sie zuletzt typische Tätigkeiten in
 sauerstoffreduzierter Atmosphäre ausgeführt haben.*

Hatten Sie folgende gesundheitliche **Beschwerden während und/oder in den folgenden Stunden bis zum Morgen danach**, nachdem Sie in sauerstoffreduzierter Atmosphäre gearbeitet haben:

	Während der Arbeit:	Nach der Arbeit
• Appetitlosigkeit, Übelkeit	Nein <input type="radio"/> Ja <input type="radio"/>	Nein <input type="radio"/> Ja <input type="radio"/>
• Schwindel	Nein <input type="radio"/> Ja <input type="radio"/>	Nein <input type="radio"/> Ja <input type="radio"/>
• Schlafstörungen		Nein <input type="radio"/> Ja <input type="radio"/>
• Spürbarer Herzschlag	Nein <input type="radio"/> Ja <input type="radio"/>	Nein <input type="radio"/> Ja <input type="radio"/>
• Herzstolpern	Nein <input type="radio"/> Ja <input type="radio"/>	Nein <input type="radio"/> Ja <input type="radio"/>
• Druck auf der Brust	Nein <input type="radio"/> Ja <input type="radio"/>	Nein <input type="radio"/> Ja <input type="radio"/>
• Überdurchschnittliche Müdigkeit	Nein <input type="radio"/> Ja <input type="radio"/>	Nein <input type="radio"/> Ja <input type="radio"/>
• Allgemeines Schwächegefühl	Nein <input type="radio"/> Ja <input type="radio"/>	Nein <input type="radio"/> Ja <input type="radio"/>
• Rückenschmerzen	Nein <input type="radio"/> Ja <input type="radio"/>	Nein <input type="radio"/> Ja <input type="radio"/>
• Gelenkbeschwerden	Nein <input type="radio"/> Ja <input type="radio"/>	Nein <input type="radio"/> Ja <input type="radio"/>
• Nackenverspannung	Nein <input type="radio"/> Ja <input type="radio"/>	Nein <input type="radio"/> Ja <input type="radio"/>
• Kopfschmerzen	Nein <input type="radio"/> Ja <input type="radio"/>	Nein <input type="radio"/> Ja <input type="radio"/>
• Atembeschwerden	Nein <input type="radio"/> Ja <input type="radio"/>	Nein <input type="radio"/> Ja <input type="radio"/>
• „Schwarz werden vor Augen“	Nein <input type="radio"/> Ja <input type="radio"/>	Nein <input type="radio"/> Ja <input type="radio"/>
• Andere Beschwerden, ggf. welche:	Nein <input type="radio"/> Ja <input type="radio"/>	Nein <input type="radio"/> Ja <input type="radio"/>

VII.2.3 Fragebogen für Kontrollpersonen

„Betrieb“

Fragebogen für Beschäftigte, die nicht in sauerstoffreduzierter Atmosphäre arbeiten

Bitte beantworten Sie uns folgende Fragen zu Ihrer Person:

- Wie alt sind Sie? _____ Jahre
 - Sind Sie männlich weiblich
 - Was ist Ihr Beruf?
-

Es folgen einige Fragen zu Ihrer Tätigkeit.

- Welche Tätigkeiten verrichten Sie (genauere Angaben)?

- Wie schwer ist dabei Ihre körperliche Tätigkeit?
Leicht
Mittelschwer mit leichtem Schwitzen und rascherer Atmung
Schwer mit starkem Schwitzen und erschwerter Atmung

Beantworten Sie bitte folgende Fragen zu Ihrem Gesundheitszustand.

Machen Sie genauere Angaben, wenn Sie es für sinnvoll halten.

- Leiden Sie an einer chronischen Herzerkrankung?
(inkl. Herzinfarkt, koronare Herzerkrankung) Nein
Wenn ja, an welcher? _____
Wenn ja, seit wann? _____ (Jahr, z.B. 1995)
- Leiden Sie an einer chronischen Lungenerkrankung? Nein
Wenn ja, an welcher? _____
Wenn ja, seit wann? _____

- Leiden Sie an einer Erkrankung des Blutes?
(insbesondere Blutarmut = Anämie) Nein O
Wenn ja, an welcher? _____
Wenn ja, seit wann? _____

- Leiden Sie an Durchblutungsstörungen
des Hirns oder anderer Organe? Nein O
Wenn ja, an welchen? _____
Wenn ja, seit wann? _____

- Haben Sie andere chronische Erkrankungen? Nein O
Wenn ja, welche und seit wann?

- Hatten Sie in den vergangenen 3 Jahren eine ernstere Erkrankung (mit Arbeits-
Unfähigkeit und/oder Medikamenteneinnahme über mehrere Tage)? Nein O
Wenn ja, um welche Erkrankung handelte es sich?

*Die folgenden Fragen beziehen sich auf den **Tag genau vor einer Woche.***

Hatten Sie folgende gesundheitliche **Beschwerden während und/oder in den folgenden Stunden bis zum Morgen danach?**

	Während der Arbeit:	Nach der Arbeit
• Appetitlosigkeit, Übelkeit	Nein <input type="radio"/> Ja <input type="radio"/>	Nein <input type="radio"/> Ja <input type="radio"/>
• Schwindel	Nein <input type="radio"/> Ja <input type="radio"/>	Nein <input type="radio"/> Ja <input type="radio"/>
• Schlafstörungen		Nein <input type="radio"/> Ja <input type="radio"/>
• Spürbarer Herzschlag	Nein <input type="radio"/> Ja <input type="radio"/>	Nein <input type="radio"/> Ja <input type="radio"/>
• Herzstolpern	Nein <input type="radio"/> Ja <input type="radio"/>	Nein <input type="radio"/> Ja <input type="radio"/>
• Druck auf der Brust	Nein <input type="radio"/> Ja <input type="radio"/>	Nein <input type="radio"/> Ja <input type="radio"/>
• Überdurchschnittliche Müdigkeit	Nein <input type="radio"/> Ja <input type="radio"/>	Nein <input type="radio"/> Ja <input type="radio"/>
• Allgemeines Schwächegefühl	Nein <input type="radio"/> Ja <input type="radio"/>	Nein <input type="radio"/> Ja <input type="radio"/>
• Rückenschmerzen	Nein <input type="radio"/> Ja <input type="radio"/>	Nein <input type="radio"/> Ja <input type="radio"/>
• Gelenkbeschwerden	Nein <input type="radio"/> Ja <input type="radio"/>	Nein <input type="radio"/> Ja <input type="radio"/>
• Nackenverspannung	Nein <input type="radio"/> Ja <input type="radio"/>	Nein <input type="radio"/> Ja <input type="radio"/>
• Kopfschmerzen	Nein <input type="radio"/> Ja <input type="radio"/>	Nein <input type="radio"/> Ja <input type="radio"/>
• Atembeschwerden	Nein <input type="radio"/> Ja <input type="radio"/>	Nein <input type="radio"/> Ja <input type="radio"/>
• „Schwarz werden vor Augen“	Nein <input type="radio"/> Ja <input type="radio"/>	Nein <input type="radio"/> Ja <input type="radio"/>
• Andere Beschwerden, ggf. welche:	Nein <input type="radio"/> Ja <input type="radio"/>	Nein <input type="radio"/> Ja <input type="radio"/>

VII.2.4 Teilnehmerinformation

„Sehr geehrte Dame, sehr geehrter Herr,

wir bitten Sie hier um die Teilnahme an einer beobachtenden Untersuchung, die vom Institut und der Poliklinik für Arbeits- und Umweltmedizin der Universität München durchgeführt wird. Es geht um die Auswirkung von vermindertem Luftsauerstoff auf Beschäftigte in brandgeschützten Räumen. Dazu befragen wir Personen, die sich beruflich in Räumen mit vermindertem Luftsauerstoff aufhalten und Personen aus vergleichbaren Arbeitsbereichen (Kontrollgruppe), die nicht in sauerstoffreduzierter Atmosphäre arbeiten.

In Ihrem Betrieb ist eine solche Anlage zur Herstellung sauerstoffreduzierter Atmosphäre eingerichtet, die zum vorbeugenden Brandschutz besonderer Objekte dient. Bei Sauerstoffkonzentrationen unterhalb etwa 15 Vol% werden, je nach Stoff, Brände in ihrer Entstehung verhindert. Solche verminderten Sauerstoffkonzentrationen sind vom Sauerstoffdruck und ihren natürlichen Wirkungen vergleichbar mit Aufhalten in der Höhe: In etwa entsprechen sich 15 Vol% Sauerstoff auf Meereshöhe und 2700 m Höhe sowie 13 Vol% Sauerstoff und 3800 m Höhe. Die Verminderung des Sauerstoffdrucks in der Luft ruft natürlicherweise körperliche Reaktionen hervor, z. B. eine Beschleunigung des Pulses und eine verstärkte Atmung. Bei Aufenthalt in großer Höhe oder über längere Zeit bekommen manche Personen Beschwerden. Der Betrieb der Brandschutzanlagen ist so ausgelegt, dass dies hier nicht der Fall sein sollte.

Wir führen diese Untersuchung derzeit deutschlandweit in allen Anlagen mit vermindertem Sauerstoff in Deutschland durch. Ziel ist, gesundheitliche Beschwerden, die trotz Arbeitsschutz und wider Erwarten bei Beschäftigten auftreten, zu erfassen. Die Untersuchung dient dazu, ggf. Arbeitsschutzmaßnahmen zu optimieren und die Tätigkeit in Brandschutzanlagen mit der größtmöglichen Sicherheit zu belegen. Die Untersuchung beruht auf unserer Initiative und wird durch die Universität München finanziert. Die Ergebnisse werden in unsere arbeitsmedizinischen Empfehlungen eingehen.

Was bedeutet die Teilnahme für Sie?

Die Teilnahme an der Studie ist völlig freiwillig und anonym. Sie erhalten von uns anbei einen Fragebogen und einen frankierten Umschlag, der an unser Institut adressiert ist. Wenn Sie an der Studie teilnehmen möchten, füllen Sie bitte den Fragebogen vollständig aus, stecken ihn in den Umschlag und senden ihn bitte innerhalb der nächsten 3 Tage an uns zurück. Das Beantworten der Fragen wird maximal 5 Minuten dauern.

Der Fragebogen trägt keinen Namen und der Brief keinen Absender. Uns ist somit lediglich der Betrieb bekannt, aus dem der Fragebogen stammt. Auch von der Person, die Ihnen die Unterlagen aushändigt, erfahren wir Ihren Namen nicht. Die individuellen anonymen Daten werden von uns nicht an Dritte weitergegeben, auch nicht an Ihren Betrieb.

Wir bieten Ihnen jedoch an, wenn Sie Fragen haben oder eine persönliche arbeitsmedizinische Beratung wünschen, Ihren Namen und Ihre Telefonnummer auf dem Fragebogen zu vermerken. Wir werden uns dann gerne bei Ihnen melden. *Auch in diesem Fall werden Ihre Angaben selbstverständlich streng vertraulich behandelt.*

Was haben Sie von der Teilnahme?

Sie helfen mit, mittelfristig die Arbeitssicherheit in sauerstoffreduzierten Bereichen zu optimieren. Sie tragen damit aktiv zur Erhaltung Ihrer Gesundheit und/oder der Ihrer Kollegen bei.

Sind mit der Teilnahme Nachteile für Sie verbunden?

Wir nehmen wenige Minuten Ihrer Zeit in Anspruch.

Vielen Dank für Ihre Kooperation!“

VII.3 Lebenslauf

Katharina Christine Elisabeth Albers-Dehnicke, geb. Albers

geb. 28.7.1978 in Kiel

verheiratet, eine Tochter

Ausbildung

- Theodor-Heuss-Schule Kiel, Kieler Gelehrtenschule, Gymnasium Philippinum Marburg; Abitur 1998
- WS 1998/99 bis SS 1999 Chemie (Dipl.), Philipps-Universität Marburg
- WS 1999/2000 bis WS 2000/01 Medizin, Georg-August-Universität Göttingen
- SS 2001 bis WS 2005 Medizin, LMU München
- Praktisches Jahr: Wahlfach Pädiatrie.
Auslandstertial Universidad Miguel Hernández de Elche (Spanien)
- Approbation Januar 2006

Fachärztliche Ausbildung Pädiatrie

Mai 2006 bis Dezember 2007 Klinik Santa Maria Oberjoch,

Fachklinik für atopische Erkrankungen und Allergologie im Kindesalter

Seit Januar 2008 Kinderkrankenhaus St. Marien, Landshut

Elternzeit seit Januar 2010

Weitere Qualifikationen

November 2007 Ausbildung zum Asthmatrainer

an der Asthmaakademie Baden-Württemberg

VII.4 Danksagung

Herrn Dr. Angerer gebührt mein großer Dank für die Überlassung des Themas, die Einarbeitung in die Methodik und die hervorragende und aktive Betreuung der Arbeit.

Bei Frau Dr. Petru und dem Team der arbeitsmedizinischen Ambulanz möchte ich mich für alle technischen Hilfestellungen und für die freundliche Unterstützung bedanken.

Meinem Mann Horst Dehnicke danke ich für die Erstellung der Grafiken.

Ihm, meinen Eltern und Schwiegereltern danke ich für die ausdauernde Ermutigung und Motivation während der Entstehung der Arbeit.