

Aus dem Institut für Arbeitsmedizin und Sozialmedizin der  
Heinrich-Heine-Universität Düsseldorf

Kommissarische Direktorin: Prof. Dr. med. S. Schwarze

**Nicht invasive Untersuchungsmethoden zur  
Gefährdungseinschätzung bei CO-Exposition in  
Gefechtsfahrzeugen der Bundeswehr**

Dissertation

zur Erlangung des Grades eines Doktors der Medizin

Der Medizinischen Fakultät der Heinrich-Heine-Universität

Düsseldorf

vorgelegt von

Tina Kleinfeld

2010

**Als Inauguraldissertation gedruckt  
mit Genehmigung der Medizinischen Fakultät  
der Heinrich-Heine-Universität Düsseldorf**

**gez.Univ.-Prof. Dr. med. Joachim Windolf**

**Dekan**

**Referentin: Univ.-Prof. Dr. Borsch - Galetke**

**Korreferent: PD Dr. med. Schulze-Röbbecke**

## **Inhalt**

<b>1.</b>	<b>Einleitung</b>	<b>Seite</b>
1.1	Vorkommen von Kohlenmonoxid	5
1.2	Kohlenmonoxidbelastung im beruflichen Umfeld	5
1.2.1	Prävention	7
1.2.2	Relevanz für die Bundeswehr	8
1.3	Pathophysiologie	9
1.3.1	Einfluss auf besonders gefährdete Personen	14
1.3.2	Kompensationsmechanismen	15
1.4	Raucher und CO-Belastung	16
1.5	Kohlenmonoxidvergiftung	16
1.5.1	Symptome in Abhängigkeit von der COHb-Konzentration	17
1.5.2	Akute Intoxikation	21
1.5.3	Chronische Intoxikation	23
1.5.4	Folgeschäden und Spätschäden	23
1.6	Therapie der Intoxikation	25
1.7	Ziel der Arbeit	28
<b>2.</b>	<b>Methodik</b>	
2.1	Kollektiv und Untersuchungsbedingungen	30
2.2	CO-Biomonitoring im Blut und in der Atemluft	32
2.2.1	COHb	32
2.2.2	CO-Breath	33
2.3	Aufmerksamkeits-Belastungs-Test	34
2.3.1	Testdurchführung	34
2.3.2	Relevante Parameter	36
2.4	Erfassung möglicher Beschwerden mittels Fragebogen	37
2.5	Statistische Methoden	41
<b>3.</b>	<b>Untersuchungsergebnisse</b>	
3.1	COHb	42
3.1.1	Gesamtkollektiv	42
3.1.2	Unterschiede zwischen Rauchern und Nichtrauchern	44

3.2	CO-Breath	45
3.2.1	Gesamtkollektiv	45
3.2.2	Unterschiede zwischen Rauchern und Nichtrauchern	47
3.3	Aufmerksamkeits-Belastungs-Test	50
3.3.1	Normvergleich	50
3.3.2	Unterschiede vor und nach dem Rennen	52
3.3.2.1	Unterschiede der einzelnen Gesamttrennen	52
3.3.2.1.1	Gesamtzeichen	53
3.3.2.1.2	Gesamtleistung	54
3.3.2.1.3	Konzentrationsleistung	55
3.3.2.1.4	Fehlerzahl	56
3.3.2.1.5	Schwankungsbreite	57
3.3.2.2	Vorher- und Nachher-Mittelwerte	58
3.3.2.2.1	Gesamtzeichen	58
3.3.2.2.2	Gesamtleistung	59
3.3.2.2.3	Konzentrationsleistung	60
3.3.2.2.4	Fehlerzahl	61
3.3.2.2.5	Schwankungsbreite	62
3.4	Mittels Fragebögen erfasste Symptome	63
3.4.1	Symptome vorher und nachher	63
3.4.2	Symptome mittels Lake-Louise-Skala	68
<b>4.</b>	<b>Diskussion</b>	<b>72</b>
<b>5.</b>	<b>Zusammenfassung</b>	<b>83</b>
<b>6.</b>	<b>Literatur</b>	<b>88</b>
<b>7.</b>	<b>Anhang</b>	<b>93</b>

## 1. Einleitung

### 1.1 Vorkommen von Kohlenmonoxid

Kohlenmonoxid (CO) ist ein außergewöhnliches Gas. Es hat nahezu die gleiche Dichte wie Luft, ist farb-, geruch- und geschmacklos, kann aber unter Mitwirkung von Katalysatoren sehr reaktionsfähig sein. Es ist in der Lage, Erdreich und Mauerwerk zu durchdringen, und genau das macht dieses brennbare, giftige Gas für den Menschen oft so gefährlich. Kohlenmonoxid übt meist unbemerkt seine Wirkung auf den Menschen aus, was in bestimmten Situationen zum Tod führen kann. Kohlenmonoxid wird aber auch endogen während des Katabolismus von Hämoglobin, Myoglobin und Cytochrom im Menschen produziert. Hierbei werden COHb-Konzentrationen von 0,4-0,7 % erreicht, bei Patienten mit hämolytischer Anämie kann die Konzentration bis auf 6 % steigen (Crocker 1984).

### 1.2 Kohlenmonoxidbelastung im beruflichen Umfeld

Nicht selten sind Menschen berufsbedingt höheren bzw. wiederholten CO-Belastungen ausgesetzt. Kohlenmonoxid ist ein typischer Vertreter der Gruppe der Erstickungsgase. Exogen entsteht CO bei unvollständigen Verbrennungen von kohlenstoffhaltigen Substanzen – hier steht nicht genügend Sauerstoff zur Verfügung, um Kohlendioxid zu bilden.

Hauptsächlich handelt es sich hier um akute, unfallartige Vergiftungen. Ein mehrmaliges Auftreten einer CO-Exposition hat eine kumulative Wirkung und äußert sich in Symptomen wie z. B. Kopfschmerzen, Schlafstörungen, Minderung der geistigen Leistungsfähigkeit oder nervöse Erregbarkeit (**Kap. 1.5.3**). Längere CO-Belastungen führen zu Folge- bzw. Spätschäden wie z. B. funktionelle und organische Herz- und Gefäßveränderungen oder cerebrale Ausfälle (**Kap. 1.5.4**). Gefährdete Arbeitsplätze, Tätigkeiten oder Betriebsarten sind z.B.:

- Arbeitsplätze, an denen CO als Produkt unvollständiger Oxidation bei der Verbrennung kohlenstoffhaltigen Materials auftritt (Deponien, Müllpyrolyse).
- Arbeitsplätze, an denen CO im Stadtgas, Generatorgas, Kokereigas, Gichtgas, Rauchgas, in Explosionsschwaden usw. auftritt (Eisen- und Stahlindustrie, Hochöfen, Feuerwehr, Waffentechnik).
- Tätigkeiten in weitgehend geschlossenen Räumen, in denen mit dem Auftreten von CO als Bestandteil der Auspuffgase zu rechnen ist (Autowerkstätte).

1929 ist die beruflich bedingte Kohlenmonoxiderkrankung als Berufskrankheit in die BK-Liste aufgenommen worden und wird heute unter der Ziffer 1201 der Berufskrankheitenverordnung geführt. In der BK-Statistik spielt sie eine eher untergeordnete Rolle. Einen statistischen Überblick über Kohlenmonoxid als Berufskrankheit gibt die folgende **Tabelle 1.2.-1**.

<b>BK</b>	<b>2005</b>	<b>2006</b>	<b>2007</b>	<b>2008</b>
<b>Verdacht</b>	150	145	119	101
<b>Bestätigt</b>	102	83	65	61
<b>Rente</b>	0	0	1	0

**Tab. 1.2.-1: Kohlenmonoxid als Berufskrankheit (BMAS 2008)**

### 1.2.1 Prävention

Die langjährig verwendeten arbeitsmedizinischen Grenzwerte „MAK“ (maximale Arbeitsplatzkonzentration) und „BAT“ (biologische Arbeitsstofftoleranz) wurden abgelöst durch den „AGW“ (Arbeitsplatzgrenzwert) und den „BGW“ (Biologische Grenzwerte). Im Januar 2006 wurden die ersten TRGS 900 und 903 (Technische Regeln für Gefahrstoffe, Ausschuss für Gefahrstoffe 2006) mit Arbeitsplatzgrenzwerten bzw. Biologischen Grenzwerten veröffentlicht.

Die beste Vorbeugung einer CO-Intoxikation ist die Einhaltung der „AGW- und BGW-Werte“ für Kohlenmonoxid. Der Arbeitsplatzgrenzwert für Kohlenmonoxid, der nach achttündiger Exposition an 5 Tagen pro Woche keinen Gesundheitsschaden verursachen soll, liegt bei 30 ppm (35 mg/m<sup>3</sup> oder 0,003 Vol.-%). Der Biologische Grenzwert liegt hier bei 5 % COHb im Vollblut. Erste subklinische Symptome können bereits bei diesem Wert auftreten. Die Normgrenze ist < 1 % COHb, dieser Wert gilt für Nichtraucher und die Normalbevölkerung ohne besondere Belastung. In Einzelfällen kann der Wert auch bis auf ca. 5 % COHb steigen. Für Raucher liegen die Werte belastungsbedingt etwas höher bei ca. 5 bis 10 % COHb (in Einzelfällen noch höher).

Ein Risiko für Fruchtschädigung durch Kohlenmonoxid ist wahrscheinlich auch bei Einhalten der Grenzwerte. Die Spitzenbegrenzung fällt in die Kategorie II für resorptiv wirksame Stoffe, der Überschreitungsfaktor ist 2 (60 ppm) für 15 Minuten (Mittelwert), und zwar 4 x pro Schicht (8 Stunden) bei einem Abstand der Überschreitungen von 1 Stunde. Davon unabhängig ist der 8-Stunden-Mittelwert von 30 ppm einzuhalten.

Eine automatische Raumlufüberwachung kann hier sehr hilfreich sein. Funktionsfähige Ableitvorrichtungen für anfallendes CO in der Raumluf z.B. für Kfz-Werkstätten, sind obligat. Des Weiteren sind spezielle arbeitsmedizinische Vorsorgeuntersuchungen nach dem Berufsgenossenschaftlichen (BG) Grundsatz 7 an CO-exponierten Arbeitsplätzen anzuwenden (Erstuntersuchung vor Aufnahme der Tätigkeit, erste Nachuntersuchung nach 24 Monaten), und das Bereitstellen von Atemschutz z.B. bei Bränden, ist ebenfalls eine unumgängliche präventive Maßnahme.

In Deutschland beträgt der Grenzwert für die maximale Immission 9 ppm.

### **1.2.2 Relevanz für die Bundeswehr**

Eine Gefährdung durch Kohlenmonoxid findet sich an außerordentlich vielen Stellen. Eine relativ häufige CO-Gefährdung besteht auch in der Waffentechnik und Waffenanwendung.

In der Vergangenheit wurden in Gefechtsfahrzeugen der Bundeswehr beim Schießen kurzzeitige CO-Konzentrationen in der Luft festgestellt, die über dem AGW lagen. Dieser findet ebenso wie die Gefahrstoffverordnung im Bereich des Arbeitsschutzes bei der Bundeswehr seine Anwendung.

Eine möglicherweise erhöhte CO-Exposition an Arbeitsplätzen bei Schussgaschwaden kann die Leistungsfähigkeit der Kameraden beeinträchtigen und ist zu vermeiden.

### 1.3 Pathophysiologie

Die **Aufnahme** des Kohlenmonoxids erfolgt über die Lunge. Es kann nach der Ventilation in kürzester Zeit die Alveolarwände passieren und so ins Blut gelangen.

**Abbildung 1.3.-1** illustriert die Beziehung zwischen dem COHb-Wert und dem CO-Gehalt in der Alveolarluft. Die Menge der inhalativen CO-Aufnahme und somit der CO-Hämoglobin-Wert (COHb) werden bestimmt von:

- der CO-Konzentration der Umgebungsluft
- der Expositionsdauer
- dem O<sub>2</sub>-Partialdruck der Umgebungsluft
- dem Atemminutenvolumen
- dem Herzminutenvolumen
- der Lungenperfusion
- dem Hämoglobin (Hb)-Wert

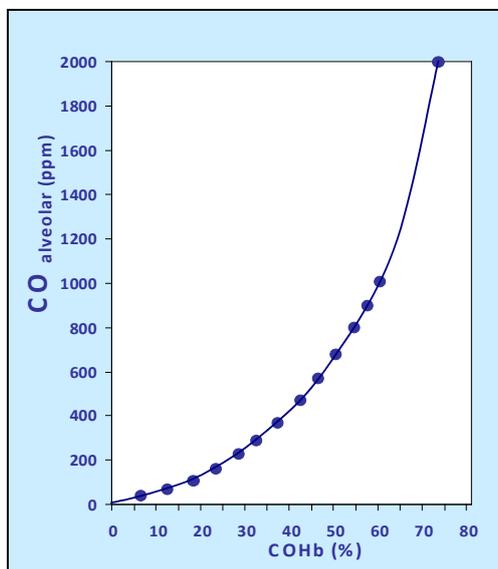
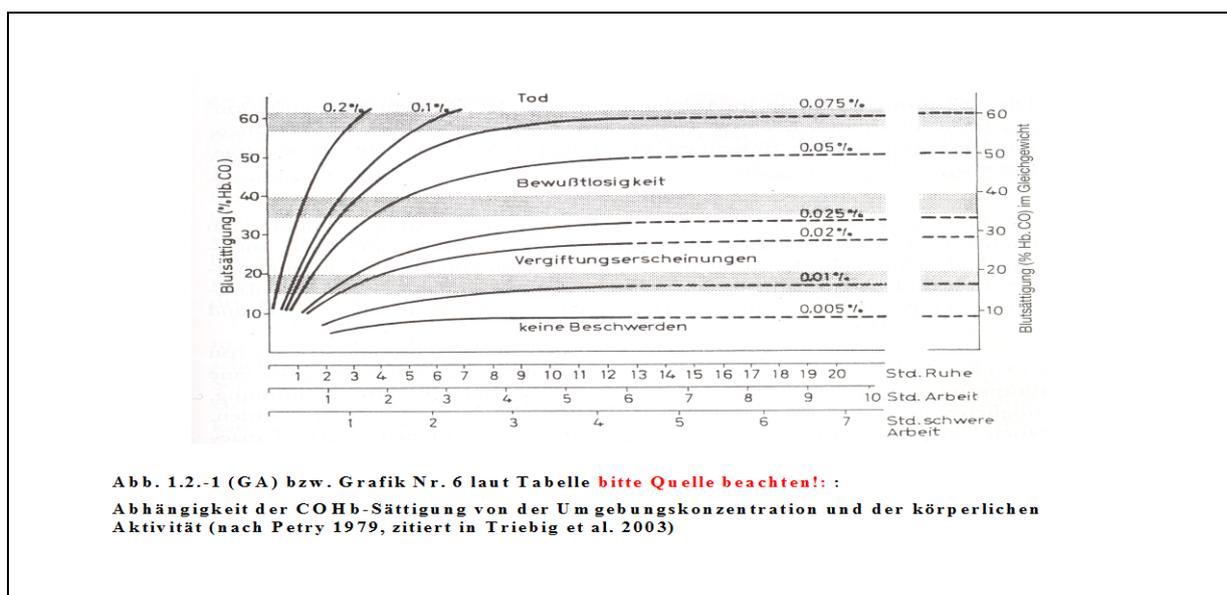


Abb.1.3.-1: Beziehung zwischen CO in der Alveolarluft und COHb

Die Erythrozyten passieren über das Gefäßnetz die Lunge und nehmen dabei O<sub>2</sub>, aber auch CO in das Hämoglobin auf. Die durchschnittliche Zeitdauer einer Lungenpassage der Erythrozyten hat Roughton schon 1945 ermittelt, sie beträgt in Ruhe 0,73 Sekunden (± 0,30) und bei schwerer Arbeit 0,34 Sekunden (± 0,1). Die Bindung des CO an das Hb erfolgt entsprechend der tetrameren Hb-Struktur (Antonini & Brunori 1971, O'Donnell et al. 1984). Bei der CO-Aufnahme reicht aber nicht, wie bei der O<sub>2</sub>-Aufnahme, nur eine Lungenpassage der Erythrozyten, da CO im Vergleich zu O<sub>2</sub> langsamer in das Hämoglobin aufgenommen wird (Tirpitz 1998). Der Unterschied beträgt fast eine Zehnerpotenz (Antonini & Bunori 1971).

Vergleicht man Myoglobin mit Hämoglobin hinsichtlich der Reaktionsgeschwindigkeit, so nimmt Myoglobin CO schneller auf, dies ist ein wesentlicher Faktor für die Wirkung auf das Herz (s. u.). Agostoni et al. haben 1980 günstige Bedingungen für die CO-Bindung an Myoglobin errechnet, wenn ein sehr niedriger PaO<sub>2</sub> vorhanden war. Somit nimmt sämtliches myoglobinhaltiges Gewebe CO unter z. B. körperlicher Arbeit (wenn PaO<sub>2</sub> sinkt) besonders gut auf.

Die Geschwindigkeit der Aufsättigung des Blutes mit COHb hängt zudem vor allem von der äußeren CO-Konzentration und der körperlichen Aktivität ab. Dies ist in **Abbildung 1.3.-2** zu sehen:



**Abb. 1.3.-2: Abhängigkeit der COHb-Sättigung von der Umgebungskonzentration und der körperlichen Aktivität (nach Petry 1979)**

Die **Verteilung** des CO ist eindeutig, nicht zuletzt wegen der hohen Affinität zum Hb. Ungefähr 85 % CO sind im Blut, 10 bis 15 % im Myoglobin und ein kleiner Rest ist in den Cytochromen enthalten. Wenn das Kohlenmonoxid die Blutbahn erreicht hat, nimmt es seinen Platz als kompetitiver Sauerstoffantagonist ein. Zielorgane sind die Hämproteine (v.a. das Hämoglobin), wodurch nahezu alle Organe betroffen sind, insbesondere die sauerstoffempfindlichen Organe wie Herz und Gehirn. Der höchste COHb-Wert tritt zunächst im Herzen auf und etwas später dann im Gehirn. Das venöse Blut der Peripherie hat nur geringe COHb-Werte. Gemessene COHb-Werte in der Arteria carotis interna und den Herzkranzgefäßen fielen nach CO-Exposition höher aus als entsprechende Werte der Vena cubitalis bzw. Vena femoralis (Zorn 1982, Zorn 1983, Zorn et al. 1983). CO hat eine etwa 250fach höhere Affinität zum Hb als O<sub>2</sub>. Es konkurriert nicht nur mit dem O<sub>2</sub>, sondern verdrängt den Sauerstoff regelrecht aus seiner Bindung zum Hb, was unweigerlich zu einer Hypoxämie führt. Das Ergebnis der reversiblen Bindung des CO an Hb ist COHb und mit wachsender COHb-Konzentration werden die typischen Symptome einer solchen CO-Intoxikation immer deutlicher.

Bei Einatmung eines Gasgemisches, in dem der CO-Anteil 1/250 des O<sub>2</sub>-Anteils beträgt, liegt nach Einstellen des Gleichgewichtes etwa 50 % des Gesamthämoglobins als COHb vor. Die Bildung von COHb und O<sub>2</sub>Hb richtet sich nach dem Partialdruck beider Gase, verdeutlicht durch die „Haldane-Gleichung“:

$$\frac{\text{COHb}}{\text{O}_2\text{Hb}} = M \frac{\text{paCO}}{\text{paO}_2}$$

Konstante M = Affinität (250)

paO<sub>2</sub>, paCO = arterielle Partialdruck von O<sub>2</sub> und CO

Bereits 0,05 bis 0,1 Vol.-% CO (1000 ppm) für ca. 3 h in der Atemluft bei körperlicher Ruhe können COHb-Konzentrationen von über 50 % hervorrufen, was zu lebensbedrohlichen Situationen führen kann (Petry 1979).

Folgende Faktoren begründen diese Gewebshypoxie:

- Verminderung des O<sub>2</sub>-Transportvolumens: Das Hb ist durch CO blockiert und fällt als O<sub>2</sub>-Reservoir aus, der O<sub>2</sub>-Nachschub von den Erythrozyten ist stark eingeschränkt.
- Verminderung der O<sub>2</sub>-Abgabe: In Gegenwart von COHb verschiebt sich die Dissoziationskurve für das verbliebene O<sub>2</sub>Hb nach links, was zu einer erschwerten O<sub>2</sub>-Abgabe an das Gewebe führt.
- Verminderung der O<sub>2</sub>-Aufnahme in der Lunge: ebenfalls durch die Linksverschiebung der Dissoziationskurve bedingt.
- Verminderung der O<sub>2</sub>-Transport- und -Speicherfähigkeit im Herzmuskel: das Myoglobin ist durch CO blockiert (Müller-Plathe 1963 und Tirpitz 1998).

Je mehr Eisenatome des Hb's mit CO beladen sind, desto schwerer können die restlichen Atome O<sub>2</sub> aufnehmen und an das Gewebe abgeben (Haldane Effekt: die CO-Aufnahme ist von der O<sub>2</sub>-Sättigung des Hb's abhängig und nimmt bei abnehmender Oxygenierung zu). Auch das Abtransportieren von CO<sub>2</sub> ist nicht mehr möglich durch die CO-Blockade der Hämoglobinmoleküle, es kommt zum Anstau metabolischer Produkte und somit zur Azidose. Besonders empfindlich reagieren Organe, die auf einen aeroben oxidativen Stoffwechsel angewiesen sind, was u. a. bei Herz-, Nerven- und Gefäßsystem der Fall ist. Es kommt zu schweren Kreislaufstörungen wie vermehrte Durchlässigkeit der Gefäße, Gefäßlähmung und Verlangsamung der Blutzirkulation (Münzberger 1999). Das Schadensausmaß ist von der Hypoxiedauer abhängig.

CO behindert aber nicht nur den Transport von O<sub>2</sub>, es ist zudem auch zelltoxisch. Es dringt in das Gewebe ein und bindet innerhalb der Mitochondrien an die Cytochromoxidase-a<sub>3</sub> (Martindale 1989).

Es wird diskutiert, ob die Hemmung des Cytochrom  $a_3$  der Atmungskette durch CO als weiterer Faktor zu einer Störung der Sauerstoffutilisation im Gewebe führt (Greim & Lehnert 1994) oder ob diese Hämverbindung erst bei supraletalen CO-Konzentrationen gehemmt wird (Eyer 1994). Diese Wirkungsweise ähnelt der Cyanidvergiftung. Personen mit einer kurzen, aber sehr hohen Expositionszeit können einen hohen COHb-Wert im Blut aufweisen, die Auswirkung auf das Cytochrom  $a_3$ -System hingegen ist aber geringer. Bei Personen mit einer langen, niedrigen Exposition reichert sich das Cytochrom  $a_3$ -System an, was zu einer schlechteren Prognose führt (Martindale 1989).

Betrachtet man den **CO-Metabolismus**, dann lässt sich feststellen, dass das Kohlenmonoxid durch den physiologischen Stoffwechsel kaum abgebaut wird. Weniger als 1 % des aufgenommenen CO wird in  $CO_2$  umgewandelt (Tobias et al. 1945, Luomanmäki & Coburn 1969).

Die **CO-Ausscheidung** erfolgt nach den gleichen Grundsätzen wie die CO-Aufnahme. Mit sinkendem CO-Partialdruck in der Alveolarluft wird immer mehr CO aus dem COHb abgegeben.

Auch die eigene Dissoziation ist maßgeblich beteiligt, sie verläuft um einiges langsamer als die des  $O_2Hb$  (CO-Dissoziationshalbwertszeit: 11 s bei  $37^\circ C$ ), beschrieben durch Roughton et al. 1957. Berücksichtigt man sämtliche Parameter (analog zur Aufnahme z.B. Expositionszeit, Herzminutenvolumen, Atemminutenvolumen), liegt die Eliminationshalbwertszeit aus dem Hb zwischen 18 min und 7 h. Nach erheblicher Exposition und bei älteren Menschen verlängert sich die Halbwertszeit, sie steigt ab dem 42. Lebensjahr für jedes zusätzliche Jahr um 1 % (Pace et al. 1948, Zorn 1966).

Eine Beschleunigung der Elimination kann durch gesteigertes  $O_2$ -Angebot und erhöhtes Atemminutenvolumen erzielt werden.

Es kann durch Schadstoffe wie  $NO_2$ , Cl,  $SO_2$  oder Lärmeinwirkung aber auch zu einer verzögerten Elimination kommen (Zorn 1968).

### 1.3.1 Einfluss auf besonders gefährdete Personen

Generell gelten **kardial und vaskulär vorbelastete Personen** sowie **Schwangere** als Risikogruppen bei CO-Exposition, der Grund ist in der bereits beeinträchtigten O<sub>2</sub>-Versorgung zu sehen. Schon ein Überschreiten eines COHb-Wertes von 2 bis 3 % kann gesundheitliche Auswirkungen haben, bei Gesunden ist das erst bei über 4 % der Fall.

Ein **anämischer Patient** kann z.B. bei einem COHb-Wert von 10 bis 15 % kollabieren (Greim 2001 und Wirth 1994). Der Gesunde vergrößert seinen kardialen „Output“ bei eingeschränkter Sauerstoffzufuhr zum Gewebe, um den hypoxischen Stress zu kompensieren. Patienten ohne Herzkranzgefäßerkrankungen, die 9 % CO ausgesetzt waren, zeigten einen erhöhten koronaren Blutstrom. Patienten mit Herzkranzgefäßerkrankungen hatten keinen erhöhten Blutfluss, die Sauerstoffextraktionsrate erhöhte sich und der Sauerstoffsinusdruck verringerte sich beträchtlich. Die Schwelle der Fibrillation (Herzrhythmusstörungen und abnorme Bewegungen des linken Ventrikels) war niedriger und das Risiko eines plötzlichen Herztodes höher (Crocker 1984). Müller-Plathe beschrieb 1963, dass bei 50 % COHb das Herzminutenvolumen (HMV) um ca. 50 % steigt, danach folgt das Herzversagen. Bei Vorschädigungen am Herzen sind unter hypoxischen Bedingungen Repolarisations- und Rhythmusstörungen beobachtet worden.

Im weiteren Verlauf kann die Hypoxie zu bleibenden Schäden bis hin zum Myokardinfarkt führen (Neuhaus 1992).

Ein COHb-Spiegel ab 2,7 % verstärkt bereits die Symptome einer klinisch manifesten Angina pectoris, ebenso ist es bei Patienten mit einer peripheren arteriellen Verschlusskrankheit (Greim 2001).

Schwangere selber sind hier weniger gefährdet, gesundheitliche Schäden treffen vor allem den Fötus. Die Linkverschiebung der O<sub>2</sub>-Bindungskurve verringert das O<sub>2</sub>-Partialdruckgefälle zwischen Mutter und Kind und vermindert so den O<sub>2</sub>-Übertritt durch die Plazenta. Bei rauchenden Müttern ist der Effekt noch mal verstärkt (Greim 2001).

Menschen mit einer hämolytischen Anämie haben bereits eine erhöhte endogene CO-Produktion, es kommt hier zu Werten bis 4 % COHb (Tirpitz 1998). Crocker beschrieb 1984 sogar Werte bis 6 % COHb.

### 1.3.2 Kompensationsmechanismen

- a) Eine **bessere Ausschöpfung des Sauerstoffs** begrenzt die Linksverschiebung der O<sub>2</sub>-Dissoziationskurve.
  
- b) Die O<sub>2</sub>-Aufnahme kann durch eine **Erhöhung des Herzminutenvolumens (HMV)** verbessert werden. Bei 50 % COHb liegt bereits in Ruhe eine Zunahme des HMV um ca. 50 % vor.  
Bei 20 % COHb kommt es zu einer 26 %igen Zunahme der Hirndurchblutung.
  
- c) Eine **Hyperventilation** kann bei vermehrtem HMV zur verbesserten Sauerstoffversorgung durch Anhebung des arteriellen Sauerstoffpartialdruckes führen. Hierdurch soll die metabolische Azidose kompensiert werden. Dieser Mechanismus ist aber nicht ganz eindeutig.
  
- d) Es kommt zu einer **Zunahme der Hb-Konzentration**.  
Dieses Hb entstammt möglicherweise aus Blutdepots (Milzentspeicherung unter CO) und kann, wie auch die auftretende Leukozytose, die Hyperglykämie und die Hyperthermie, als vegetative Gesamtumschaltung oder zentrale Reizwirkung gedeutet werden. Auch eine Flüssigkeitsverschiebung aus der Blutbahn wäre denkbar (Müller-Plathe 1963 und Winneke 1978).

## 1.4 Raucher und CO-Belastung

Raucher sind chronisch CO-belastet. Der aktuelle Arbeitsplatzgrenzwert beträgt 30 ppm (Mittelwert) pro 8-Stundentag. Ca. 400 ppm CO sind im Tabakrauch enthalten. Crocker untersuchte 1984 die CO-Konzentration im Blut von Rauchern und Nichtrauchern und beschrieb durchschnittliche Werte von 4,85 % COHb bzw. Werte von 0,85 % COHb. Nach Tirpitz (1998) können Raucher mit 15-20 Zigaretten/Tag einen COHb-Wert von 5-7 % erreichen und bei 30-80 Zigaretten/Tag sind sogar COHb-Werte von 11-21 % möglich. Bei der Erhebung der subjektiven Befindlichkeit gaben Raucher eine stärkere Beeinträchtigung des Befindens im CO-Versuch an als Nichtraucher (Malorny 1972).

## 1.5 Kohlenmonoxidvergiftung

C. Bernard (1865) und J. Haldane (1895) haben zum ersten Mal die Kohlenmonoxidvergiftung beschrieben. CO-Konzentrationen in der Atemluft von bereits 500 bis 1000 ppm für ca. 3 h können schwere Vergiftungsbilder mit COHb-Werten von mehr als 50 % hervorrufen (Petry 1979). Die folgende Tabelle verdeutlicht den Einfluss der CO-Konzentration in der Atemluft und der Expositionsdauer auf den COHb-Wert im Blut.

CO (ppm)	1-h-Exposition COHb (%)	2-h-Exposition COHb (%)	3-h-Exposition COHb (%)
0	0,8-2,3	0,8-2,3	0,8-2,3
10	1,0	1,3	1,4
25	1,5	2,2	3,6
50	1,6-2,0	4,0	6,0-7,0
100	3,0	7,5	11,0-13,0
200	5,0-8,0	9,0-14,0	12,0-24,0
500	9,0-15,0	30,0	45,0
1000	23,0	50,0	60,0

Tab. 1.5.-1: COHb-Konzentration im menschlichen Blut nach CO-Inhalation (Hoetzel & Schmidt 2006)

Die Diagnose der Kohlenmonoxidvergiftung ist schwer zu stellen, aufgrund der unspezifischen Symptome, die denen vieler anderer Krankheiten ähneln. Oftmals werden Abgeschlagenheit oder ein viraler Infekt diagnostiziert. Auch die typische Gesichtsröte und die „kirschroten Lippen“ haben sich in der Praxis als eher unzuverlässig erwiesen (Kindwall 1988). Die Gefahr des Übersehens darf nicht unterschätzt werden. Das beste diagnostische Mittel ist die COHb-Bestimmung oder der CO-Expositionsnachweis. Ein gehäuftes Vorkommen der Symptome in einer Familie, der plötzliche Tod eines Haustiers oder welkende Zimmerpflanzen können ebenso Hinweise auf eine CO-Vergiftung sein (Karow & Lang 2003). Die Prognose hängt von mehreren Faktoren ab, wie z.B. Lebensalter, Vorerkrankung, körperliche Verfassung, Trainingszustand, Expositionsdauer, CO-Konzentration in der Einatemluft oder vom Zeitpunkt des Therapiebeginns (Neuhaus 1992).

### **1.5.1 Symptome in Abhängigkeit von der COHb-Konzentration**

Eine direkte CO-Wirkung ist bis heute nicht sicher nachgewiesen. Wesentlich für die Symptome verantwortlich sind die CO-induzierte Hypoxämie und die Gewebhypoxie.

Der Verlauf einer CO-Vergiftung wird von der COHb-Konzentration im Blut bestimmt. Ein normaler COHb-Wert liegt unter 1 %. Liegen COHb-Werte unter 20 % vor, sind die Symptome eher unspezifisch (Kopfschmerzen, Schwachheit, Müdigkeit, Gliederschmerzen, Erbrechen, Ohrensausen, Schwindel, Apathie, fehlende Koordination und mangelnde Entscheidungsfähigkeit sind Beispiele).

Stärker werden die Symptome bei COHb-Werten über 25 % (Schulte 1963).

Die folgende Tabelle zeigt einige Beispiele von Symptomen in Abhängigkeit von der COHb-Konzentration.

<b>COHb (%)</b>	<b>Symptome</b>	<b>Autor/Datum</b>
5–10	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Leichte, eben messbare Einschränkungen des Visus</li> <li>- Einschränkung in der Beantwortung komplexer Fragen</li> <li>- Bestätigter 5 %-Grenzwert für eben messbare Beeinflussung einzelner Individuen</li> <li>- Beeinflussung der Hirnfunktion bei Gesunden nachweisbar</li> <li>- Herabgesetzte Fingergeschicklichkeit</li> </ul>	<p>Henschler 1998 Mikula 1970 Benignus 1977 Zorn 1973 Bender 1972</p>
10–20	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Leichter Kopfschmerz, Mattigkeit, Unwohlsein, Kurzatmigkeit bei Anstrengung, Herzklopfen</li> <li>- Verzögerte Reaktion auf Lichtsignale, Bremsreaktionsverzögerung, erschwertes Kurvenfahren</li> <li>- Fahrbeeinträchtigung → bei Lungenerkrankungen, Arteriosklerose, Anämie bereits früher</li> <li>- Intellektuelle Leistung und Geschick eindeutig beeinträchtigt, motorische Schwierigkeiten</li> <li>- Gesichtsfeldeinengung</li> </ul>	<p>Henschler 1998  Ray &amp; Rockwell 1970  Ramsey 1970 Zorn 1973 Mc Farland 1973</p>
20–30	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Schwindel, Bewusstseins Einschränkungen, Gliederschlaffheit und –lähmung</li> <li>- Erinnerungsstörung, unbewusste Fehlhandlungen</li> </ul>	<p>Henschler 1998 Francois 1963, Bertin 1965</p>
30–40	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Haut rosafarben, Bewusstseinschwund, flache Atmung, Kreislaufkollaps</li> </ul>	<p>Henschler 1998</p>
40–60	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Tiefe Bewusstlosigkeit, Lähmung, Cheyne-Stokes'sche Atmung, sinkende Körpertemperatur</li> </ul>	<p>Henschler 1998</p>
60–70	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Tödlich in 10 Minuten bis 1 Stunde</li> </ul>	<p>Henschler 1998</p>
> 70	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Tödlich in wenigen Minuten</li> </ul>	<p>Henschler 1998</p>

**Tab. 1.5.1.-1: Symptombespiele abhängig von der COHb-Konzentration**

Die Symptome erklären sich überwiegend aus dem resultierenden Sauerstoffmangel der Körpergewebe. Wichtige Faktoren sind:

- Höhe der CO-Konzentration in der Atemluft
- Gradienten des COHb-Anstiegs im Blut
- COHb-Konzentration
- Dauer der Hypoxämie
- Dauer der Gewebhypoxie
- Individuelle unterschiedl. Empfindlichkeit gegenüber O<sub>2</sub>-Mangel
- Schon früh einsetzende Gefäßschädigung und Veränderung der Fließeigenschaft des Blutes (Marshall 1981)
- Sekundäre Effekte der Hypoxidose wie Azidose und Zellnekrosen

Bei Gesunden ist vor allem eine CO-Auswirkung auf das Zentralnervensystem zu sehen, da dieses einen überaus hohen O<sub>2</sub>-Bedarf hat und bei einer Unterversorgung entsprechend empfindlich reagiert. Das Festlegen eines COHb-Schwellenwertes für objektive psychointellektuelle Leistungsverminderung ist bis heute nicht eindeutig gelungen (Ramsey 1972, Fodor & Winneke 1972, Groll-Knapp et al. 1972, Winneke 1978). Zeichen einer intellektuellen und physischen Leistungsverminderung zeigen sich jedoch bereits bei Werten von 5 % COHb (Benignus 1977), es kommt zu einer signifikanten Abnahme des Lernens und Behaltens (Bender et al. 1972).

Rechenfehler wurden bei Probanden mit 5 % COHb festgestellt, auch wurde eine eingeschränkte Gliedmaßenkoordination beobachtet (Crocker 1984).

Unter Einwirkung von 50 ppm CO werden nach 80 bis 125 Minuten deutlich mehr reaktionsfordernde Signale ausgelassen als unter Kontrollbedingungen (Fodor & Winneke 1979). Ein weiterer Versuch zeigte, dass nach zwei Stunden Expositionszeit mit 50, 100 und 150 ppm CO sich Reaktionen, die sich auf unvorhersehbare Ereignisse eindeutig gegenüber der Kontrollgruppe verändert haben, die normaler Raumluft ausgesetzt war.

Die dazugehörigen COHb-Werte betragen 3 %, 5,4 % und 7,6 % (Groll-Knapp et al. 1972).

Laties & Merigan haben 1979 in ihrem Artikel verschiedene Untersuchungen zusammengetragen, um zu zeigen, dass die Anwendung des Erlernten ebenso eingeschränkt sind wie angeborene Verhaltensweisen.

Sie beschrieben Untersuchungen, die u. a. von Malorny 1972 an Mäusen durchgeführt wurden: So z. B. die Beobachtung der spontanen Benutzung des Laufrades von Mäusen während der letzten drei Stunden einer 17-stündigen CO-Exposition. Nach einer CO-Exposition von 55 ppm betrug die zurückgelegte Strecke im Laufrad nur noch  $\frac{2}{3}$  der ursprünglichen Strecke, nach einer CO-Exposition von 84 ppm nur noch  $\frac{1}{2}$  und nach einer CO-Exposition von 160 ppm nur noch  $\frac{1}{4}$  der Anfangsstrecke. Auch Untersuchungen am Menschen, durchgeführt von z.B. Stewart et al. 1970, beschrieben Laties & Merigan 1979. Stewart testete die Koordination bei einer COHb-Konzentration von 15 %, hier kam es zu großen Schwierigkeiten, möglichst schnell kleine Hütchen vom Boden aufzuheben, sie in schmale Löcher zu stecken und einen Deckel darüber zu stülpen. Groll-Knapp et al. untersuchte 1972 die Wachsamkeit der Patienten. Er präsentierte ihnen zwei Töne direkt hintereinander, war der erste leiser als der zweite, sollte dies von den Patienten notiert werden. Gleichzeitig waren sie einer CO-Konzentration von 50 ppm, 100 ppm bzw. 150 ppm ausgesetzt. Die nichtexponierte Kontrollgruppe registrierte zu 87 % die richtigen Töne. Nach einer CO-Exposition von 50 ppm, 100 ppm bzw. 150 ppm wurden nur noch 82 %, 80 % bzw. 78 % der Töne wahrgenommen.

CO führt zu einer Verlangsamung des gesamten Organismus. Die Fähigkeit, Reize aus der Umgebung wahrzunehmen und möglichst schnell zu verarbeiten und ggf. in Befehle umzuwandeln, ist signifikant reduziert.

Auch diverse Abnormitäten im ZNS sind erforscht worden, wie z. B. verminderte Lichtsensibilität, verringerte Dunkelheitsadaptation, Abnahme der Sehschärfe, Augenflimmern, peripupilläre Hämorrhagie, Netzhautschwellungen und Hämorrhagie. Ebenso kann das Hörvermögen eingeschränkt sein (Crocker 1984). Bei einer COHb-Konzentration von 4,5 % kommt es vermutlich zu einer Stimulation, während bei einem COHb-Wert von 7,5 % eine Hemmung der visuellen Wahrnehmung eintritt (Bender et al. 1972). Neuropsychiatrische Folgen können Persönlichkeitsstörungen und Gedächtnisverlust sein. Die Bewusstseinslage korreliert sehr stark mit späteren gesundheitlichen Auswirkungen (Crocker 1984).

Müller-Plathe beschrieb 1963 typische EKG-Veränderungen wie ST-Strecken- und T-Wellenveränderungen sowie Herzrhythmusstörungen.

COHb-Werte > 25 % führen zu ST-Senkung und häufig sind Patienten mit Werten > 40 % komatös. Zu einem sicheren tödlichen Verlauf kommt es bei COHb-Werten > 66 % (Martindale 1989).

Eine klare COHb-Grenze für verminderte Handlungsfähigkeit ist nach Meinung der Rechtsmediziner nicht gegeben (Janssen & Schmidt 1968).

Ein tödlicher Verlauf kann bei COHb-Konzentrationen zwischen 30-90 % auftreten (**Tab. 1.5.1.-1**). Die geringeren Konzentrationen führen meist zum Tod durch Aspiration von Erbrochenem oder Ersticken durch Zurücksinken der Zunge bei zunehmendem Bewusstseinschwund und Lähmung. Nach Breitenecker (1939) kommt es nach einer einstündigen Exposition mit 1500 ppm zu einer lebensbedrohlichen toxischen Wirkung.

## **1.5.2 Akute Intoxikation**

Die Inhalation eines Luftgemisches mit hohem CO-Anteil führt innerhalb weniger Minuten zu einer akuten Vergiftung (Neuhaus 1992). Nach Tirpitz (1998) tritt solch eine akute Vergiftung bei  $12 \text{ g CO/m}^3$  (ca. 11000 ppm) und einem COHb-Wert von 50 bis 80 % auf. Akutsymptome sind vor allem Kopfschmerzen, Brechreiz, Kurzatmigkeit, Ohrensausen, Augenflimmern, fehlende Koordination, Benommenheit, Blässe (bei 40 % der Patienten), Gliederschwäche, Desinteresse, Herzklopfen und Apathie. Oft endet der Versuch, ein Fenster zu öffnen, in einem Kollaps mit zunehmender Bewusstlosigkeit. Der Tod folgt nicht selten durch Ersticken (Erbrochenes oder zurückgefallene Zunge). Kommt es dann zu lebensbedrohlichen Zuständen, treten Symptome wie Erbrechen, Bewusstlosigkeit, Erregungszustände, Krämpfe, erhöhter Puls (eventuell arrhythmisch), unregelmäßige, flache Atmung und Zyanose (bei 40 % der Pat.) auf. Nur 20 % der Patienten haben die typische kirschrote Gesichtsfarbe. Der Tod kann letztendlich durch Atemlähmung oder Herzversagen eintreten. Wichtig zu beachten ist, dass symptomlose Intervalle von mehreren Wochen auftreten können.

Nach schweren, akuten Vergiftungen kann es zu Dauerschädigungen des Herzens kommen, ebenso zu Schädigung von Nieren und Leber (Valentin et al. 1985).

Der Körper versucht, die Kreislaufsituation bei einer akuten Vergiftung stabil zu halten, bevor es letztendlich zu einem Versagen des Kreislaufes kommt.

Hypoxie ist die Haupttodesursache, da das Herz und das Gehirn am sensibelsten auf die Sauerstoffverminderung reagieren. Es kann auch durch intermittierende CO-Konzentrationen zwischen 2-12 g C O/m<sup>3</sup> (ca. 1800-11000 ppm) oder durch kontinuierliche Exposition von 0,2-2 g CO/m<sup>3</sup> (ca. 180-1800 ppm) zu einer subakuten CO-Vergiftung kommen. Die erreichte kritische COHb-Konzentration ist nicht hoch genug, um innerhalb der Expositionszeit zum Tode zu führen, aber durch die anhaltende Gewebshypoxie kommt es zum Kreislaufchock mit einer schweren metabolischen Azidose, die tödlich enden kann (Neuhaus 1992). Die auftretende Bewusstlosigkeit bei der akuten Intoxikation kann über Tage andauern, über Hirnödeme und erhöhtem Hirndruck kann es zu Läsionen des Atemzentrums kommen, oder Herzversagen und Lungenödeme können Todesursachen sein. Pathologische Veränderungen im EEG (verlangsamer Grundrhythmus, Wellenstörungen) und im EKG (supraventrikuläre Extrasystolen, Senkung der ST-Strecke, negatives T, QT-Verlängerung) können auftreten (Tirpitz 1998). Die verschiedenen Ausfälle und Funktionsstörungen des ZNS (z.B. epileptische Anfälle (Remy 1987)) können sofort eintreten oder als Spätschäden verzögert zurückbleiben (Zorn 1968, Davous et al. 1987). Ebenso wurden Störungen in der Peripherie beschrieben wie Polyneuritiden (Pentschew 1958, Zorn 1968), verschiedenste Störungen an Auge (z.B. Blutungen, Amaurosis (Symanski 1940)) und Gehör (Höreinschränkung bis Hörverlust (Pankow et al. 1975, Zenk 1965)) sowie Gefäßanomalien im Gehirn (Pentschew 1958, Zorn 1968, Snyder 1970) oder Störungen der motorischen Nervenleitgeschwindigkeit (Joiner & Summer 1990).

### **1.5.3 Chronische Intoxikation**

Ständige bzw. häufige Einwirkung von relativ kleinen CO-Konzentrationen, meist Konzentrationen unter  $233 \text{ mg CO/m}^3$  (210 ppm), führen zur chronischen Intoxikation (Valentin et al. 1985). Dauerschäden durch chronische CO-Belastung werden beobachtet, wenn wiederholt COHb-Konzentrationen von  $> 20 \%$  erreicht werden. Konzentrationen unter  $10 \%$  können jahrelang ohne Schaden ertragen werden (Wirth & Gloxhuber 1994). Eine chronische CO-Vergiftung ist meist ohne Bewusstseinsverluste, sie kann zu Ausfällen der Stammhirnfunktion, der Hirnrinde und weiteren Hirnregionen führen (Tirpitz 1998).

Nach Valentin et al. (1985) sind vorrangige Symptome Kopfschmerzen, Schwindel, Müdigkeit, Übelkeit, Appetitmangel, Herzklopfen, Schlafstörungen, Alkoholintoleranz, Schwitzen, Minderung der geistigen Leistungsfähigkeit, verminderte Libido und nervöse Erregbarkeit. Petry definierte 1953 die chronische Intoxikation zutreffend mit dem Satz: „Ein Krankheitsbild, welches sich schleichend unter der häufigen und permanenten Einatmung solcher CO-Konzentrationen ausbildet, welche zu gering sind, um akute Symptome in unmittelbarem Zusammenhang zu erzeugen und bei einmaliger Einatmung noch keine Folgen hervorrufen können.“ Im Laufe chronischer Intoxikationen reagiert der Körper mit Kompensationsmechanismen, die oben beschrieben wurden.

### **1.5.4 Folgeschäden und Spätschäden**

Zu Folge- bzw. Spätschäden kommt es vor allem nach längeren CO-Belastungen, aber auch nach akuten und subakuten CO-Expositionen. Sie treten spätestens innerhalb eines Monats auf. Dazu gehören dann nervöse und psychische Störungen, epileptiforme Bilder, funktionelle und organische Herz- und Gefäßveränderungen, Störungen der Verdauungsorgane und der Organe mit innerer Sekretion. Auch Morbus-Parkinson-ähnliche Krankheitsbilder, Erblindungen, Hörstörungen, akute delirante Zustände, cerebrale Ausfallserscheinungen wie Herabsetzung des Antriebs, der Merkfähigkeit und des sprachlichen Ausdrucksvermögens.

Manche organischen Veränderungen manifestieren sich erst nach einer gewissen Latenzzeit, was u.a. wiederholte EKG- und neurologische Untersuchungen zur Diagnosesicherung erforderlich machen (Münzberger 1999, Wegner & Szadkowski 2005).

Die Tabelle von Zorn (1990) gibt noch einmal einen organbezogenen Überblick über Auswirkungen einer Kohlenmonoxidvergiftung.

<p><b>Nervensystem</b></p> <p>Wallenbergsyndrom, Schlafstörungen (vereinzelt Schlafsucht), Stupor, retrograde Amnesie, depressive Befindensstörung, Anorexie, Halluzinationen, Kopfschmerzen, „stirn-“, helmförmige, psychointellektuelle, psychomotorische Störungen, Minderung intellektueller Leistung (Merkfähigkeit, Kombinationsfähigkeit), Parkinsonsyndrom (meist sine agitatione), Hypophysen-, Zwischenhirn-Funktionsstörungen mit Auswirkung auf das endokrine System, Libidoverlust, Pollakisurie, seltener Potenzstörungen, Alkoholintoleranz, Minderung des Hörvermögens im höheren Frequenzbereich, Störungen des Sehvermögens (selektiver Ausfall des Farbsehvermögens), Amaurose, Vestibularisstörungen mit Schwindel und Orientierungsschwierigkeiten, Sprachstörungen (verwaschene Sprache), Fazialislähmung, Glossopharyngeus-Teilparese, Polyneuritiden, überwiegend sensibler, teils jedoch auch motorischer Art, Parästhesien und Kältegefühl (feuchte bläuliche Hände), Nachtschweiß, Hyperdermographismus bis zum urtikariellen Syndrom</p>	<p><b>Herz</b></p> <p>Blutdruckanstieg (anfangs), monatelang anhaltende Tachykardie, Herzrhythmusstörungen, Herzerweiterung, Zunahme des Herzgewichts, Herzinfarkt, Herzklopfen, Herzangst, EKG-Veränderungen, die in 1/2 - 1/7 der Fälle persistieren, meist atrio-ventrikuläre Blocks und koronare Durchblutungsstörungen, Verschlimmerung bestehender koronarer Herzkrankheit und Kardiomyopathie, Myokardschäden</p>	<p><b>Blutgefäße</b></p> <p>Intima-Veränderungen an Arterien, Arteriosklerose (nach gehäuften Intoxikationen), Venenthrombose nach akuter Vergiftung</p>
<p><b>Endokrines System</b></p> <p>Basedow, Hyper- und Hypothyreose, Hypertrophie der Nebennierenrinde, Cortisolserhöhung, ACTH-Erhöhung, Diuresesteigerung</p>	<p><b>Niere</b></p> <p>Nur bei ausgeprägtem Schock, bzw. Muskelnekrosen: Oligurie und Urämie. Hemmung und überschießende Diurese als oft langanhaltende Funktionsstörung des Stammhirns</p>	<p><b>Blut</b></p> <p>Leukozytose direkt nach der Intoxikation (relative Lymphozytose) Viskositätserhöhung, vermehrte Thrombozytenadhäsion</p>
	<p><b>Leber</b></p> <p>vorübergehend Anstieg der Serumtransaminasen, nachfolgend Glycogenschwund und zentrale Läppchennekrose</p>	<p><b>Lunge</b></p> <p>nur akut: pulmonale Hypertension, Ödem, Bronchopneumonie, Lungenembolie</p>

Tab. 1.5.-2: Organ- und Gewebsschäden nach CO-Vergiftungen (nach Zorn 1990)

## 1.6 Therapie der Intoxikation

Die erste wirkungsvolle Sofortmaßnahme liegt darin, den Patienten an die frische Luft zu bringen. Sauerstoff ist in diesem Fall die Schlüsseltherapie. Gegebenenfalls kann eine Intubation und Beatmung bei 100 % O<sub>2</sub> nötig werden. Der Körper besitzt keine spezifischen Entgiftungsmöglichkeiten für CO, er ist auf den Sauerstoff angewiesen, der CO aus der Hämoglobinbindung verdrängt. Die einzige Möglichkeit, CO zu eliminieren, erfolgt über die Atmung. Die Voraussetzung für das Abatmen von CO ist die Freisetzung aus seiner Bindung an das Hämoglobinmolekül, was abhängig ist von der O<sub>2</sub>-Spannung in der Atemluft. Bei Abnahme des pCO oder Zunahme des pO<sub>2</sub> in der Inspirationsluft nimmt die COHb-Konzentration ab (Neuhaus 1992). Eyer beschreibt 1994 die Behandlung mit der hyperbaren Oxygenierung (HBO) in der Druckkammer als noch effektiver. Hier ist die CO-Verdrängung am schnellsten, da im Plasma der Anteil an physikalisch gelöstem O<sub>2</sub> um das 20fache steigt (3 bis 4 Vol.% O<sub>2</sub>), womit eine ausreichende Sauerstoffversorgung aller Gewebe möglich wird.

**Tabelle 1.6.-1** gibt einen Überblick über die verschiedenen Sauerstofftherapien und deren Einfluss auf die COHb-Halbwertszeit (COHb HWZ).

O <sub>2</sub> -Applikation	pO <sub>2</sub>	O <sub>2</sub> physikalisch gelöst	COHb HWZ
Raumluft 21 %-Vol. O <sub>2</sub>	100 mmHg	0,3 ml/100 ml	bis 5 h
Intubation 100 %-Vol. O <sub>2</sub>	600 mmHg	1,9 ml/100 ml	≈ 1 h
HBO (3 bar)	2000 mmHg	6,2 ml/100 ml	15 bis 23 min

**Tab.1.6.-1: Einfluss der Sauerstofftherapie auf die COHb-Halbwertszeit (Karow & Lang 2003).**

Drei wichtige Ziele des therapeutischen Vorgehens sind die CO-Eliminierung, ein hohes O<sub>2</sub>-Angebot und eine Verbesserung der Perfusion. Die Werte oben zeigen, warum seit 1960 die hyperbare Oxigenation die Therapie der Wahl ist.

Kriterien für eine solche Behandlung sind:

- a) COHb > 20 %
- b) Bewusstseinsverlust
- c) neurologische Symptome neben Kopfschmerzen
- d) myokardiale Ischämie oder Arrhythmie (Hawkins et al. 2000)

In Anbetracht der Spätschäden sollte ruhig großzügig mit der Indikation umgegangen werden. Eine solche Behandlung muss innerhalb von vier Stunden beginnen. Der Patient wird für 60 Minuten mit 100 % O<sub>2</sub> in einer Überdruckkammer (2 bis 3 bar) beatmet, es kommt zur Elimination von CO und einer besseren Perfusion für O<sub>2</sub>. Unter steigendem Umgebungsdruck geht O<sub>2</sub> im Plasma vermehrt in Lösung und Hb wird für den O<sub>2</sub>-Transport entbehrlich (Gesetz von Henry). Die Überdruckbeatmung ist in der Lage, einen pO<sub>2</sub> von über 1800 mmHg zu erzeugen (normal wäre 95 mmHg). Zudem wird die CO-Abatmung durch die Überdruckbeatmung beschleunigt und eine Enzephalopathie verhindert, da die Überdruckbeatmung das Ansteigen der Lipidperoxide (verursachen Veränderungen an der Zellmembran, was zu Gewebeschäden führt) im Gehirn verhindert (Martindale 1989). Tirpitz (1998) hat seit 1984 nach diesen Prinzipien die Therapie an einem Patientengut durchgeführt, wovon 91 % (n = 405) der Beteiligten an Hochöfen oberhalb der Blasformen arbeiteten. Es gab keinen Todesfall mehr trotz Intoxikationen von bis zu 60 % COHb, was den Erfolg dieser Behandlung bestätigt. Eine Therapie der CO-Vergiftung soll so lange fortgesetzt werden, bis der COHb unter 10 % liegt und der Patient keinerlei Symptome mehr aufweist (Crocker 1984).

Je höher die COHb-Konzentration, je länger die Exposition und je protrahierter die Elimination, desto schlechter ist die Prognose. Die Wirkung eines Atemgiftes ist direkt proportional dem Produkt von Konzentration und Zeit (Malorny 1972). Nicht die Höhe des COHb-Wertes ist entscheidend, sondern die Dauer der Exposition (Kindwall 1988). Ein COHb-Wert von 58 % nach 15 Minuten hat eine bessere Heilungsprognose als ein Wert von 38 % nach stundenlanger Exposition.

Hinweise auf ungünstige Verläufe können tiefe Bewusstlosigkeit, Hypo- und Hyperthermie, hohe Serumtransaminasen, Creatinphosphokinase (Anstieg infolge hypoxischer Herzmuskelschädigung) und Blutzuckerwerte sein, sowie EKG-Veränderungen und Rhythmusstörungen (Tirpitz 1998). Diazepam wird bei auftretenden Krämpfen gegeben, auch eine Therapie gegen Hirnödeme oder metabolische Azidose kann notwendig werden (Karow & Lang 2003).

Eine neurologische und psychologische Nachuntersuchung ist in jedem Fall empfehlenswert, um eventuellen Folgeschäden frühzeitig entgegenwirken zu können.

## 1.7 Ziel der Arbeit

In der Vergangenheit wurden in Gefechtsfahrzeugen der Bundeswehr beim Übungsschießen kurzzeitig CO-Konzentrationen in der Luft festgestellt, die über dem „MAK-Wert“ (bzw. AGW) lagen. Dieser findet ebenso wie die Gefahrstoffverordnung im Bereich des Arbeitsschutzes bei der Bundeswehr seine Anwendung. Um eine mögliche Gefährdung der während Schießübungen exponierten Kameraden abschätzen zu können, ist es erforderlich, ein differenziertes Ambient- und Biomonitoring auf CO durchzuführen. Das Biomonitoring hat ganz allgemein den Vorteil, dass es direkt die in den menschlichen Organismus aufgenommenen Schadstoffe, ihre Stoffwechselprodukte und deren im Organismus an Proteine oder an die DNA gebundene Formen analysiert. Somit bekommt man die wertvolle Möglichkeit, das Ausmaß der Schadstoffbelastung des Menschen und der daraus resultierenden gesundheitlichen Beanspruchung abzuschätzen (Zielhuis 1980, Kommission „Human-Biomonitoring“ des Umweltbundesamtes 1996, Angerer & Gündel 1996), um den einzelnen Menschen im Sinne der Individualprävention vor den Wirkungen gesundheitsschädlicher Arbeitsstoffe zu schützen. Das Biomonitoring hat aber die folgenden Nachteile:

- Es ist ein invasives Verfahren (außer bei Urinuntersuchungen)
- Im Fall der Gefechtsübungen ist es aus organisatorischen und sicherheitstechnischen Gründen nicht direkt nach der Exposition, sondern erst nach längerer Latenz durchführbar.

So ergibt sich die Frage nach weiteren Möglichkeiten, um die Beanspruchung der Kameraden durch Kohlenmonoxid während Gefechtsübungen zeitnah zu analysieren und zu bewerten.

Entsprechend den dargestellten physiologischen Wirkungen des CO ist es Ziel der vorliegenden Arbeit zu untersuchen, ob sich Veränderungen bei den Kameraden vor und nach der Gefechtsübung nachweisen lassen bezüglich:

- Aufmerksamkeits- und Konzentrationsleistung
- Beschwerdesymptomatik und Gesundheitszustand
- CO-Konzentration in der Ausatemluft mit Umrechnung in COHb-Konzentration.

## 2. Methodik

### 2.1 Kollektiv und Untersuchungsbedingungen

Im Panzer Leopard 2 A 4 wird aufgrund der Absaugkonstruktion an der MG-Laffetierung eine erhöhte CO-Belastung erwartet. An insgesamt 4 Tagen finden auf dem Truppenübungsplatz Lager Ostenholz (Lager der Kameraden, von hier aus findet der Transfer zur Panzerplatte statt, wo die Schießübungen durchgeführt werden) drei unterschiedliche Tests (**Kap. 2.2, 2.3, 2.4**) zur Ermittlung der CO-Konzentration bzw. deren gesundheitlicher Auswirkung, statt. Hierfür haben sich insgesamt 34 junge Männer (**Tab. 2.1.-3, Nr.1**), Panzerbesatzung des Leopard 2 A 4, im Alter von 18 bis 27 Jahren freiwillig zur Verfügung gestellt. Alle Teilnehmer werden eine Woche vor der Hauptuntersuchung in der Kaserne Wilhelmstein in Neustadt a. R. mittels Lungenfunktionsprüfung und Basisfragenbogen A<sub>1</sub> (**Anhang**) medizinisch voruntersucht.

Vor der eigentlichen Untersuchung erfolgt die Einteilung der Teilnehmer in bestimmte Gruppen (A–D) à 8 Personen. Den Gruppen werden jeweils 4 Panzer zugeteilt mit jeweils einem Ladeschützen und einem Richtschützen. Pro Tag gibt es drei Schießübungen (so genannte Rennen, **Tab. 2.1.-1**) mit jeweils einer Gruppe, Ausnahme ist Tag 4 mit - aus organisatorischen Gründen - nur zwei Rennen.

1. Tag	A	B	A
2. Tag	B	A	B
3. Tag	C	D	C
4. Tag	D	C	-

**Tab. 2.1.-1: Tagesablauf der Gruppen**

Einen Überblick über das Gesamtkollektiv und seine Aufteilung auf die Rennen gibt **Tabelle 2.1.-2.**

Bezeichnung	Quantität	Erläuterung
„Rennen“ gesamt	n = 11	3 x 3 + 1 x 2
Panzer pro „Rennen“	n = 4	
Gesamtkollektiv	n = 34	
Teilnehmer pro „Rennen“ und Gruppe	n = 8	n = 4 Ladeschützen n = 4 Richtschützen
Tagesgruppenaufteilung	1. Tag: A B A 2. Tag: B A B 3. Tag: C D C 4. Tag: D C –	
„Rennteilnehmer gesamt“	n = 88	n = 44 Ladeschützen n = 44 Richtschützen
Teilnehmer mit 3 „Rennen“	n = 22	34 – 8 – 4

**Tab. 2.1.-2: Übersicht über das Gesamtkollektiv und seine Aufteilung auf die Rennen**

Die Untersuchung ist so aufgebaut, dass jeder Teilnehmer drei solcher Rennen durchlaufen soll, was für letztendlich 22 Teilnehmer (**Tab. 2.1.-3, Nr. 2**) umsetzbar war, da zum einen Gruppe D (**Tab. 2.1.-3, Nr. 3**) ihr drittes Rennen nicht wahrnehmen konnte und zum anderen zwei Teilnehmer aufgrund von Wachdiensten im dritten Rennen ausfallen mussten. Für diese Teilnehmer wurde ein Ersatz (**Tab. 2.1.-3, Nr. 4**) gestellt, der nur am dritten Rennen teilnahm.

Das folgende Bild zeigt einen Kampfpanzer Leopard 2 A 4, der in den Untersuchungen zum Einsatz kam.



Abb. 2.2.-1: Kampfpanzer Leopard 2 A 4 auf der Schießbahn 8b des Truppenübungsplatzes in Bergen (Panzer Nr. 3)

## 2.2 CO-Biomonitoring im Blut und in der Atemluft

### 2.2.1 COHb

Die CO-Breath-Untersuchung (**Kap. 2.2.2**) ist die vor Ort am schnellsten einsetzbare Untersuchungsmethode zur Messung der CO-Konzentration in der Ausatemluft, zusätzlich wird zur Validierung der CO-Breath-Untersuchung eine COHb-Messung durchgeführt.

Jedem Teilnehmer wird aus dem zuvor hyperämisierten Ohrläppchen Blut in ein kapilläres, heparinisierendes Röhrchen entnommen. Unmittelbar nach der Abnahme wird das Blut mit dem Analysator der ABL 700 Serie der Firma Radiometer untersucht.

Die angewandte Methode in dem optischen System des Analysators ist die Absorptionsspektroskopie im sichtbaren Spektralbereich. Die Blutprobe wird auf 37°C untersucht.

### **2.2.2 CO-Breath**

Mit Hilfe des „CO-Breath-Überwachungsgeräts“ der Firma Vitalograph wird die CO-Konzentration in der Ausatemluft der Teilnehmer zu festgesetzten Zeitpunkten (**Kap. 2.1**) gemessen. Dieses Gerät ist ein direktanzeigendes Instrument, das speziell für die Messung des alveolären Kohlenmonoxids ohne Interferenz von ausgeatmetem H<sub>2</sub> oder organischen Verbindungen konzipiert wurde.

Diese Methode ermöglicht eine Untersuchung direkt vor Ort noch auf der Panzerplatte.

Das Ergebnis, die alveoläre CO-Konzentration, wird auf der Digitalanzeige des Geräts in ppm angezeigt. Notiert wird der höchste Wert innerhalb von 40 s, nachdem der Teilnehmer den Test beendet hat.

Dieser Wert kann mit Hilfe folgender Formel in den korrespondierenden COHb-Wert umgerechnet werden:

$$\text{COHb} = - 0,28 + 0,175 \text{ ECO} \text{ (ECO = Exhaled Carbon Monoxide in ppm)}$$

## **2.3           Aufmerksamkeits-Belastungs-Test**

### **2.3.1        Testdurchführung**

Der Aufmerksamkeits-Belastungs-Test (d2-Test, erste Auflage 1962) von Professor Dr. Rolf Brickenkamp ist das derzeit meist genutzte Verfahren zur Messung von Aufmerksamkeits- und Konzentrationsleistung. Er gehört zur Kategorie "allgemeine Leistungstests" und beinhaltet vor allem Sachverhalte wie "Konzentration", "Aufmerksamkeit", "Anstrengung", "Beachtung", "innere Anspannung" und "Willensanspannung". Dieser Test erfordert keine speziellen Fähigkeiten und Fertigkeiten. Er ist intelligenzunabhängig. Der Test d2 gehört zu den Durchstreichtests, im Mittelpunkt steht die visuelle Aufmerksamkeit, eine auf externe visuelle Reize bezogene Konzentrationsleistung.

Laut Brickenkamp & Karl (1986) ist die Konzentrationsfähigkeit eines der wichtigsten Elemente dieses Tests. Sie fordert eine leistungsbezogene, kontinuierliche und fokussierende Reizselektion, das heißt die Fähigkeit eines Individuums unter Abschirmung gegenüber irrelevanter Stimuli, sich Reizen ununterbrochen zuzuwenden und diese schnell und korrekt zu analysieren. Rützel (1977) betonte die Aufmerksamkeit und definierte sie wie folgt: „Aufmerksamkeit ist Selektion“, auch das ist ein Punkt, der objektiv durch den d2-Test gemessen werden kann.

Er beruht auf der individuellen Koordination von Antriebs- und Kontrollfunktionen, die sich im Test wie folgt manifestieren:

**ANTRIEB**           im Tempo/Quantität (bearbeitetes Material pro Zeit)

**KONTROLLE**       a) in der Qualität (Sorgfalt, Genauigkeit der Bearbeitung)  
                          b) im zeitl. Verlauf der Leistung, frühzeitige Ermüdung

Auf der Vorderseite eines solchen Testbogens sind die Personalien (ID-Nr.), das Datum, die Uhrzeit und die Testergebnisse zu finden. Die Rückseite des Blattes zeigt im DIN A4-Querformat 14 Zeilen, die aus jeweils 47 Zeichen (16 verschiedene Zeichen), zusammengesetzt aus den Buchstaben "d" und "p" mit einem, zwei, drei oder vier Strichen, bestehen.

Die Teilnehmer werden gebeten, jeweils an zwei Tests pro Schießübung teilzunehmen. Ein Test ist vor einer solchen Übung angesetzt und einer nachher. Im Normalfall durchläuft jeder Teilnehmer jeweils drei Schießübungen und somit 6 Tests.

Die Aufgabe der Teilnehmer besteht darin, aus der gemischten Reihenfolge jedes "d" mit zwei Strichen (so genannte relevante Zeichen) durchzustreichen.

Jeder Teilnehmer bekommt den Original-Testzettel und ein separates Blatt mit einer Übungszeile. Nach einer kurzen Einweisung erfolgt der Probedurchlauf, und eventuelle Fragen werden geklärt. Nun beginnt der Test mit der Aufforderung des Versuchsleiters in der ersten Zeile. Nach jeweils 20 Sekunden ruft der Versuchsleiter: "Halt! Nächste Zeile!" Sofort muss der Teilnehmer zur nächsten Zeile übergehen und auch hier jedes "d" mit zwei Strichen durchstreichen bis zum Ablauf der nächsten 20 Sekunden. So wird mit allen 14 Zeilen verfahren.

### 2.3.2 Relevante Parameter

Die wichtigsten Parameter zur Untersuchung der Konzentration und Aufmerksamkeit und zur Auswertung des Testes sind folgende:

**GZ** bezeichnet die Gesamtzahl aller bearbeiteten Zeichen, hier wird nicht unterschieden zwischen relevanten Zeichen, die durchzustreichen sind, oder irrelevanten Zeichen, die nicht durchgestrichen werden dürfen. GZ ist eine quantitative Leistungsvariable, sie misst die Bearbeitungsmenge und ist ein hoch reliables Kriterium des Bearbeitungstempos.

**F** ist der Fehlerrohwert und gibt die Summe aller Fehler an. F ist zusammengesetzt aus dem Auslassungsfehler (F1, relevante Zeichen übersehen) und aus dem Verwechslungsfehler (F2, irrelevante Zeichen durchgestrichen). F wird zur Berechnung weiterer Messwerte benötigt und ist auch ein Ausdruck der Sorgfalt, mit der dieser Test bearbeitet wurde.

**GZ-F** repräsentiert die Gesamtleistung und misst die einfach fehlerkorrigierte Leistungsmenge. Da die Testdurchführungszeit konstant gehalten wird, entspricht GZ-F dem individuellen Tempo der visuellen Informationsverarbeitung. Dieser Wert ist hoch reliabel, aber nicht verfälschungsresistent.

**SB** ist die Schwankungsbreite. Hierunter versteht man die Differenz zwischen maximaler und minimaler Teilzeitleistung (Differenz aus der größten und geringsten Bearbeitungsmenge pro Testzeile). SB gibt Auskunft über die Konstanz des Arbeitstempos, ist aber wenig reliabel.

**KL** bezeichnet die Konzentrationsleistung. Gebildet wird dieser Wert aus der Anzahl der richtig durchgestrichenen relevanten Zeichen, abzüglich der Verwechslungsfehler. KL entspricht sozusagen der Anzahl der erzielten Treffer, von der die Fehlreaktionen abgezogen wurden, um beliebiges Durchstreichen nicht zu belohnen. Die Konzentrationsleistung ist verfälschungsresistent und hoch reliabel.

## 2.4 Erfassung möglicher gesundheitlicher Beschwerden mittels Fragebogen

Insgesamt kommen vier standardisierte Fragebogen zum Einsatz. Für die Voruntersuchung wurde der vom Institut eigens erstellte Fragebogen A<sub>1</sub> (**Anhang**) und für die nachfolgende Hauptuntersuchung wurden drei weitere unterschiedliche Fragebogen A<sub>3-5</sub> (**Anhang**) verwendet. Jeder Fragebogen enthält die ID-Nummer, Datum und Uhrzeit. Der Schwerpunkt liegt in der Abfrage der aktuellen Rauchanamnese, der Erfassung derzeitiger möglicher gesundheitlicher Beschwerden bzw. des momentanen Gesundheitszustandes.

Die unterschiedlichen Fragebogen erhalten die Teilnehmer zu jeweils definierten Zeiten (**Kap. 2.1**).

Den ersten standardisierten Fragebogen, „Fragebogen vorher“ A<sub>3</sub> (**Anhang**), bekommen die Teilnehmer nach der ersten Blutentnahme und der ersten CO-Breath-Untersuchung, noch vor der Schießübung.

Inhalte des ersten Bogens sind Fragen über das momentane Wohlbefinden („Fühlen Sie sich wach?“, „Sind Sie erkältet?“,...), zu typischen Symptomen einer Kohlenmonoxidvergiftung (z. B. Kopfschmerzen, Übelkeit, Müdigkeit, Augenflimmern), Rauchanamnese seit dem Aufstehen, Einnahme von Medikamenten und Getränken, Selbsteinschätzung des aktuellen Gesundheitszustandes und der Leistungsfähigkeit sowie eine Symptomeinschätzung (Kopfschmerzen, gastrointestinale Symptome, Schwindel,...) anhand des Lake-Louise-Scores (1991 und 1993 in Lake Louise, Canada, entworfen (Richards 2004). Er beinhaltet jeweils vier Kategorien: von nicht vorhanden bis stark ausgeprägt (s. **Anhang A<sub>3</sub> Frage 14**). Ursprünglich kommt dieser Score aus der alpinen Rettungsmedizin zur Beurteilung der Symptome der Höhenkrankheit. Auch für unsere Fragestellung lässt er sich nutzen, da sich die Symptome der akuten CO-Intoxikation vorwiegend aus dem CO-induzierten Sauerstoffmangel der Körpergewebe erklären (s. **Kap. 1.2**).

Direkt im Anschluss an die Schießübung erfolgt der Rücktransfer zum Lager Ostenholz (Truppenübungsplatz). Hier bekommen die Teilnehmer den zweiten standardisierten Fragebogen, „Fragebogen nachher“ A<sub>4</sub> (**Anhang**), nach der zweiten

Blutentnahme und der zweiten CO-Breath-Messung. Auch hier werden die bereits oben erwähnten Fragen gestellt.

Zwei Stunden nach der Schießübung erfolgt die dritte und letzte standardisierte Befragung der Teilnehmer. Wiederum nach der nun dritten Blutentnahme und der dritten CO-Breath-Messung bekommen die Teilnehmer den Fragebogen „Fragebogen 2 h nachher“ A<sub>5</sub> (**Anhang**). Dieser Kurzfragebogen geht am Ende noch einmal auf das momentane Wohlbefinden, die Rauchanamnese seit der letzten Untersuchung und die Symptomeinschätzung anhand des Lake-Louise-Scores ein.

Für einen nahezu reibungslosen Ablauf und zur Orientierung bekommen die Kameraden zu Anfang einen Laufzettel. Dieser beschreibt exemplarisch einen solchen Untersuchungstag und ist im Anhang (**Anhang A<sub>2</sub>**) beigelegt.

Der Ablauf gestaltet sich für die Teilnehmer wie folgt:

Zu Beginn werden im Lager Ostenholz die Ohrläppchen gruppenweise für die nachfolgende kapilläre Blutentnahme mit Finalgon-Salbe zur Hyperämisierung eingecremt, der Untersuchungsablauf wird erläutert und die Laufzettel werden ausgeteilt. Hiernach erfolgen die erste kapilläre Blutentnahme (prä) und die erste CO-Breath-Untersuchung. Als nächstes füllen die Teilnehmer einen standardisierten Fragebogen (FB) aus und durchlaufen den ersten Vigilanztest (Aufmerksamkeits-Belastungs-Test, d2-Test). Nun erfolgt der Transport der Kameraden zur Panzerplatte, wo die Schießübungen stattfinden.

Die Zeitdauer zwischen Schießende und Eintreffen zur Blutentnahme im Lager Ostenholz betrug im Mittel ca. 25 min. Dieser Zeitraum ließ sich aus Sicherheitsgründen nicht verkürzen. Um trotzdem erste schnelle Kontrollen durchzuführen, wird im Anschluss an die Gefechtsübung noch auf der Panzerplatte die zweite CO-Breath-Untersuchung durchgeführt. Dort werden auch bereits die Ohrläppchen mit Finalgon-Salbe vorbereitet, um die Einwirkzeit der Salbe in diesen Zeitraum zu verlegen. Sobald die Kameraden wieder im Lager Ostenholz eingetroffen sind, erfolgt die zweite kapilläre Blutentnahme (post) und die dritte CO-Breath-Untersuchung. Ebenso werden der zweite standardisierte Fragebogen und der zweite Vigilanztest durchgeführt.

Ein solcher Untersuchungstag wird abgeschlossen mit der dritten kapillären Blutentnahme (2h post), die dann zwei Stunden nach dem Ende der Schießübung zusammen mit der vierten CO-Breath-Untersuchung und dem Ausfüllen des dritten Fragebogens, durchgeführt wird.

Die folgende Tabelle gibt einen Überblick über die unterschiedlichen Kollektive bei den 11 Schießübungen und die damit zusammenhängende Anzahl von Untersuchungen und Messreihen.

<b>Nr.</b>	<b>Bezeichnung</b>	<b>Quantität</b>
<b>1</b>	Gesamtkollektiv	n = 34
<b>2</b>	Teilnehmer mit 3 Rennen	n = 22
<b>3</b>	Teilnehmer mit 2 Rennen	n = 10
<b>4</b>	Teilnehmer mit einem Rennen	n = 2
<b>5</b>	Kollektiv „Rennteilnehmer gesamt“	n = 88
<b>6</b>	Kollektiv „Rennteilnehmer gesamt“ mit komplett durchgeführten <b>COHb-Untersuchungen</b> (prä, post und post 2h)	n = 86
<b>7</b>	Kollektiv „Rennteilnehmer gesamt“ mit komplett durchgeführten <b>CO-Breath-Untersuchungen</b> (prä, PP [direkt auf der Panzerplatte], post und post 2h)	n = 62
<b>8</b>	Kollektiv „Rennteilnehmer gesamt“ mit komplett durchgeführten <b>d2-Tests</b> (prä und post)	n = 87
<b>9</b>	Anzahl der kapillären Blutabnahmen (COHb, prä, post und post 2 h)	n = 262
<b>10</b>	Anzahl der Fragebogen (prä, post und post 2 h)	n = 262
<b>11</b>	Anzahl der Vigilanztests (prä und post)	n = 176
<b>12</b>	Anzahl der CO-Breath-Untersuchungen	n = 326

**Tab. 2.1.-3: Untersuchungskollektiv und durchgeführte Untersuchungen/Messreihen**

**Abbildung 2.1.-1** auf der folgenden Seite gibt eine Übersicht über den oben aufgeführten Untersuchungsablauf.

**Voruntersuchung (1 Woche vor der Hauptuntersuchung)**

Kaserne Wilhelmstein

Lungenfunktionstest

Basisfragebogen A<sub>1</sub>

**Hauptuntersuchung**

Lager Ostenholz **Prä**

COHb

CO-Breath

FB (Fragebogen)

d2-Test

Transfer zur Panzerplatte

Panzerplatte **Post (PP)**

CO-Breath

Transfer zum Lager Ostenholz

Lager Ostenholz **Post**

COHb

CO-Breath

FB

d2-Test

Lager Ostenholz **Post 2 h**

COHb

CO-Breath

FB

**Abb. 2.1.-1: Übersicht über Untersuchungsablauf**

## 2.5 Statistische Methoden

Die erhobenen und gemessenen Daten (Anamnesebogen, d2-Testergebnisse, Messergebnisse aus Biomonitoring und Fragebogen) wurden anonymisiert über probandenspezifische Codenummern erfasst und für die elektronische Datenverarbeitung aufbereitet. Hierbei kam das Datenbankprogramm MS-EXCEL zum Einsatz, und die Auswertung wurde mit Hilfe des Statistikprogramms SPSS durchgeführt.

Die Auswertung der Ergebnisse des d2-Tests erfolgte mit Hilfe von Auswertungsschablonen. Die Testergebnisse wurden mit Normwerten für Erwachsene verglichen (basierend auf einer Stichprobe von 3000 Personen **Kap. 2.3.1**)

Zum Vergleich von Verteilungs- und Stichprobenwerten wurden die dem jeweiligen Datenniveau entsprechenden Verfahren verwendet: Wilcoxon-, T-Test. Korrelationsprüfungen erfolgten mit Hilfe des Pearson'schen Produkt-Moment-Koeffizienten nach Prüfung auf Normalverteilung (Kolmogorov-Smirnov-Test).

### 3. Untersuchungsergebnisse

#### 3.1 COHb

##### 3.1.1 Gesamtkollektiv

Zur COHb-Bestimmung wurden insgesamt n = 262 kapilläre Blutentnahmen (**Messreihe Nr. 9**) durchgeführt, jeweils n = 88 vor und nach dem Rennen (Lager Ostenholz) und n = 86 (**Kollektiv Nr. 6**) zwei Stunden nach dem Schießen (**Kap. 2.1 und Tab. 2.1.-3**).

Die nachfolgende **Tabelle 3.1.1.-1** zeigt die ausgewerteten statistischen Kennwerte der COHb-Konzentrationen in %.

Auf Unterschiede zwischen Rauchern und Nichtrauchern wird in **Kapitel 3.1.2** genauer eingegangen.

		CO_Hb_Prä (%)	CO_Hb_Post (%)	CO_Hb_Post_2 h (%)
<b>n</b>		88	88	86
<b>MW</b>		<b>2,27</b>	<b>2,33</b>	<b>2,39</b>
<b>S</b>		1,44	1,23	1,48
<b>Min</b>		0,4	0,6	0,6
<b>Max</b>		<b>5,9</b>	<b>5,7</b>	<b>6,7</b>
<b>%-Perzentile</b>	10	0,70	0,90	0,80
	20	0,80	1,10	0,90
	25	0,90	1,23	1,00
	30	0,97	1,40	1,12
	40	1,46	1,70	1,60
	<b>50</b>	<b>2,20</b>	<b>2,25</b>	<b>2,30</b>
	60	2,80	2,70	2,72
	70	3,13	2,93	3,20
	75	3,30	3,10	3,43
	80	3,52	3,40	3,50
	90	4,24	3,80	4,39
	92	4,60	3,80	4,72
	93	4,68	4,03	5,06
	95	5,09	5,07	5,36

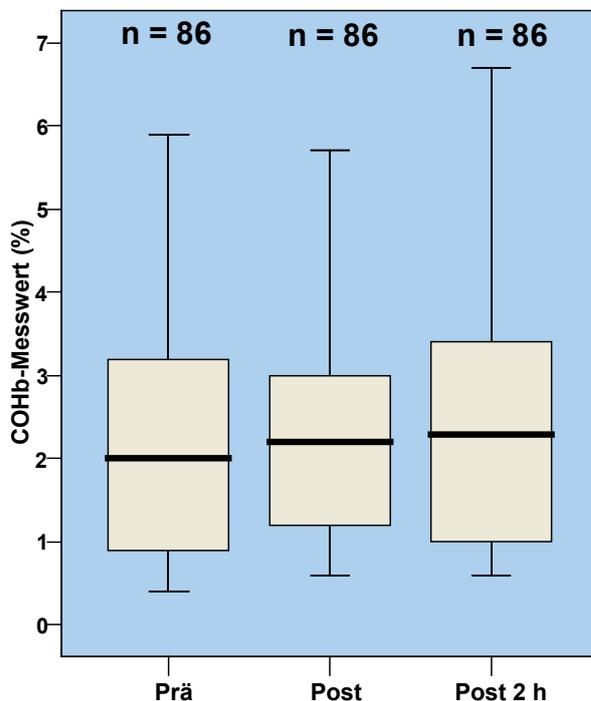
Tab. 3.1.1.-1: Statistische Kennwerte der COHb-Konzentrationen in % (die Kürzel Prä stehen für vor, Post für nach und Post 2 h für 2 Stunden nach dem Schießen im Lager Ostenholz, n = Anzahl der COHb-Messungen)

Betrachtet man zunächst die mittleren und medianen COHb-Konzentrationen (2,27-2,39 % bzw. 2,20-2,30 %), sieht man, dass diese zu allen drei Untersuchungszeitpunkten kleiner als die Hälfte des biologischen Grenzwertes (BGW) sind, der 5 % beträgt.

Unterschiede in den Messergebnissen vor und nach dem Schießen fallen eher gering aus. Es kommt nur zu einem leichten Anstieg der COHb-Konzentrationen nach der Übung (prä: MW 2,27 %; post: MW 2,33 %).

Auffällig sind die COHb-Maximalwerte der drei Untersuchungen (5,9 % prä, 5,7 % post und 6,7 % post 2 h). Sie liegen über dem BGW von 5 % und stammen von einem rauchenden Teilnehmer.

Einen graphischen Überblick über den Verlauf der COHb-Konzentrationen während der Untersuchungen gibt **Abbildung 3.1.1.-1**.

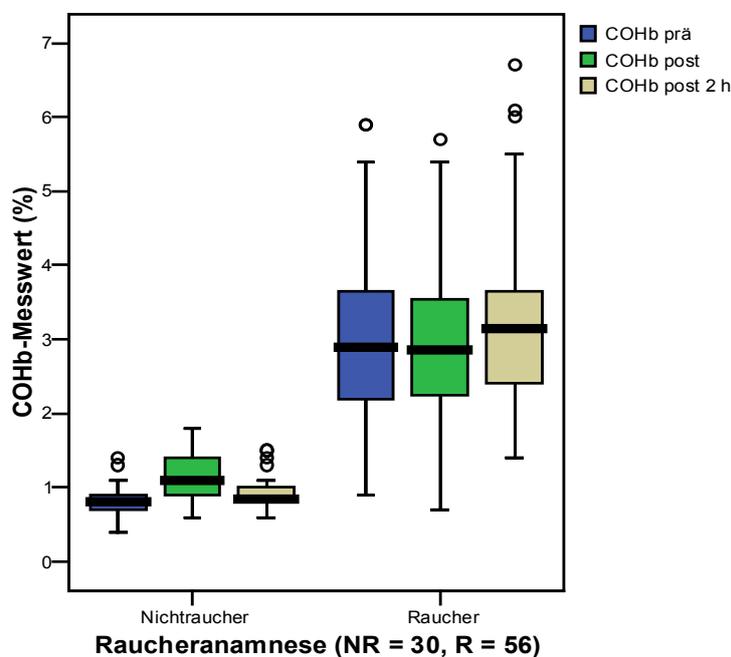


**Abb. 3.1.1.-1:** COHb-Gehalte in % vor, nach und 2 h nach der Schießübung (Kollektiv Nr. 6: n = 86 Kameraden)

### 3.1.2 Unterschiede zwischen Rauchern und Nichtrauchern

66 % des Gesamtkollektivs (Tab. 2.1.-3, Kollektiv Nr. 1) sind Raucher. Der Anteil der Raucher differiert in den weiteren Unterkollektiven (Tab. 2.1.-3, Kollektive Nr. 6 u. 7) aufgrund unterschiedlicher Bezugsgrößen.

Differenziert man nach dem Raucherstatus, kommt es zu Ergebnissen, wie in **Abbildung 3.1.2.-1** dargestellt. Hier besteht das Kollektiv der „Rennteilnehmer gesamt“, bei denen die COHb-Untersuchungen an allen 3 Zeitpunkten (prä, post, post 2 h) durchgeführt worden sind, aus  $n = 86$  (Tab. 2.1.-3, Kollektiv Nr. 6), der Raucheranteil macht 65 % aus.



**Abb. 3.1.2.-1:** COHb-Gehalte in % differenziert nach Raucherstatus vor, nach und 2 h nach der Schießübung (NR = Nichtraucher, R = Raucher)

Es zeigt sich, dass die Raucher in allen drei Untersuchungssituationen hochsignifikant höhere COHb-Konzentrationen aufweisen als die Nichtraucher (z.B. MW prä: NR 0,80 % versus R 3,02 %; T-Test für unabhängige Stichproben:  $t = -9,93$ ;  $df = 86$ ;  $p < 0,001$ ).

Im Vergleich der Konzentrationswerte vor und direkt nach dem Schießen kommt es bei den Rauchern zu einer leichten Verringerung der Werte nach dem Schießen im Mittel um 0,08 Einheiten auf 2,94 % COHb. Weiterhin ist ein mittlerer Anstieg zwischen der Post- und Post 2 h – Untersuchung um 0,26 Einheiten zu verzeichnen (T-Test für gepaarte Stichproben:  $t = -3,51$ ;  $df = 55$ ;  $p < 0,01$ ).

Bei den Nichtrauchern hingegen sieht man eine Steigerung der mittleren COHb-Konzentration um 0,33 Einheiten auf 1,13 % COHb (T-Test für gepaarte Stichproben:  $t = - 5,74$ ;  $df = 29$ ;  $p < 0,001$ ). Nach zwei Stunden erreichen diese Werte aber wieder den Ausgangswert.

## 3.2 CO-Breath

### 3.2.1 Gesamtkollektiv

Für die Untersuchung der alveolären CO-Konzentration standen insgesamt 326 (**Tab.2.1.-3, Messreihe Nr.12**) dokumentierte Messdaten zur Verfügung. Jeweils  $n = 88$  vor und nach dem Rennen (Lager Ostenholz),  $n = 64$  nach dem Schießen noch auf der Panzerplatte und  $n = 86$  zwei Stunden nach dem Schießen (im Lager Ostenholz).

**Tabelle 3.2.1.-1** gibt einen Überblick über die statistischen Kennwerte der CO-Breath-Konzentrationen. Diese Tabelle differenziert zunächst nicht zwischen Rauchern und Nichtrauchern.

		CO_BR_Prä (ppm)	CO_BR_PP (ppm)	CO_BR_Post (ppm)	CO_BR_Post 2 h (ppm)
<b>n</b>		88	64	88	86
<b>MW</b>		<b>12,68</b>	<b>13,16</b>	<b>13,53</b>	<b>13,97</b>
<b>S</b>		9,96	8,51	8,23	10,10
<b>Min</b>		0,00	2,00	1,00	0,00
<b>Max</b>		<b>41,00</b>	<b>36,00</b>	<b>35,00</b>	<b>39,00</b>
<b>%-Perzentile</b>	10	2,00	3,00	4,00	3,00
	20	3,00	5,00	5,80	4,00
	25	3,00	5,00	6,00	4,75
	30	3,00	6,00	7,00	6,00
	40	7,00	9,00	9,00	8,00
	<b>50</b>	<b>11,50</b>	<b>13,00</b>	<b>12,50</b>	<b>13,00</b>
	60	16,40	16,00	16,00	16,00
	70	18,30	18,50	17,30	19,00
	75	20,00	19,75	19,00	20,25
	80	21,00	21,00	21,20	22,00
	90	26,00	24,00	24,20	28,00
	<b>91</b>	<b>26,00</b>	<b>24,30</b>	<b>25,98</b>	<b>28,34</b>
	<b>95</b>	<b>31,00</b>	<b>29,00</b>	<b>30,10</b>	<b>36,00</b>

**Tab. 3.2.1.-1: Statistische Kennwerte der CO-Breath-Konzentrationen vor, direkt nach (auf der Panzerplatte), nach und 2 h nach der Schießübung**

Da kein eigener CO-Breath-Grenzwert existiert, wird zum Vergleich der AGW von 30 ppm genutzt.

Die mittleren und medianen CO-Breath-Konzentrationen liegen mit 12,68-13,97 ppm bzw. 11,50-13,00 ppm unterhalb des AGW.

Betrachtet man nun das Maximum der CO-Breath-Konzentrationen, liegen der Prä-Wert mit 41 ppm und auch die folgenden Werte (PP, Post, Post 2 h) dieser Reihe deutlich über dem AGW. Diese Ergebnisse gehören zu einem rauchenden Teilnehmer.

Vergleicht man die Messwerte vor dem Schießen (Prä) mit denen direkt nach dem Schießen (PP), zeigt sich eine nur geringfügige Erhöhung der alveolären CO-Konzentrationen nach der Übung.

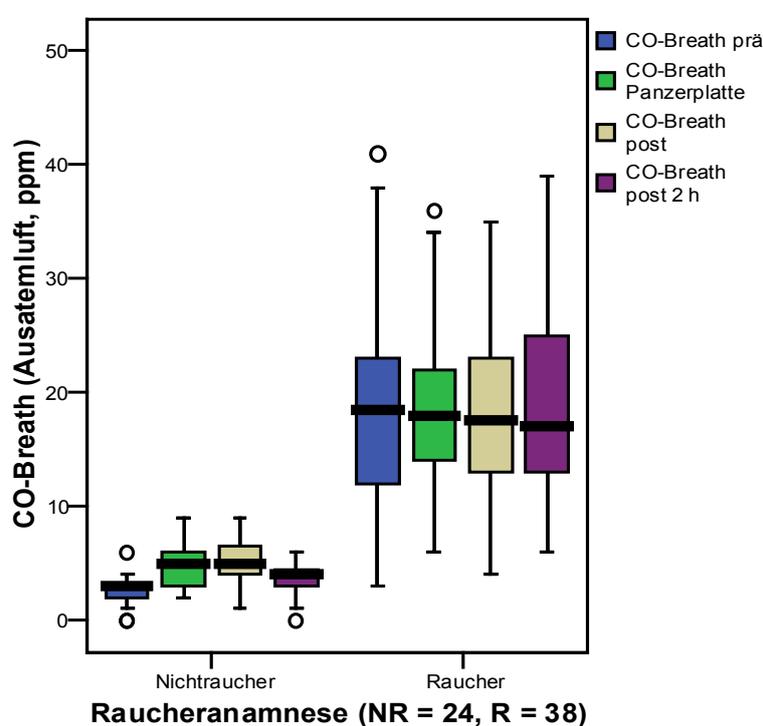
Die folgenden Werte der Messreihe Post zeigen einen weiteren minimalen Anstieg, welcher dann in der letzten Auswertungsreihe (Post 2 h) wieder etwas abfällt.

In keiner der vier Untersuchungssituationen, bis einschließlich des 91 %-Perzentils, kommt es zum AGW mit 30 ppm.

Der Wert direkt nach dem Schießen für das 95 %-Perzentil erreicht mit 29 ppm fast den AGW.

### 3.2.2 Unterschiede zwischen Rauchern und Nichtrauchern

Die folgende **Abbildung 3.2.2.-1** zeigt den Unterschied zwischen Rauchern und Nichtrauchern. Das Kollektiv der „Rennteilnehmer gesamt“, bei denen die CO-Breath-Untersuchungen an allen 3 Zeitpunkten (prä, post und post 2 h) durchgeführt worden sind, besteht hier aus  $n = 62$  (**Tab. 2.1.-3, Kollektiv Nr. 7**), der Raucheranteil macht 61 % aus.



**Abb. 3.2.2.-1:** CO-Konzentration in der Ausatemluft (CO-Breath-Messwerte,  $n = 62$ ) vor, direkt nach [auf der Panzerplatte], nach und 2 h nach der Schießübung (NR = Nichtraucher, R = Raucher)

Im Vergleich zu den Nichtrauchern (NR) ist bei den Rauchern (R) eine statistisch signifikant höhere CO-Konzentration in der Ausatemluft zu allen Untersuchungszeitpunkten zu sehen (z.B. MW prä NR 2,46 ppm versus R 17,98 ppm; T-Test für unabhängige Stichproben:  $t = -10,34$ ;  $df = 86$ ;  $p < 0,001$ ).

Bei den Nichtrauchern ergibt sich im Verlauf der Untersuchung ein Anstieg der CO-Konzentrationen. Die Messwerte direkt nach dem Schießen auf der Panzerplatte

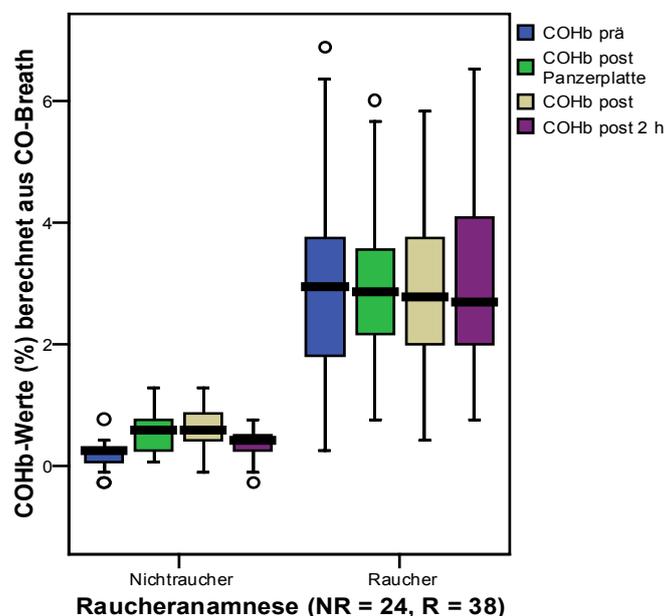
zeigen eine signifikante Erhöhung im Vergleich zu vorher, im Mittel um 2,29 ppm auf 4,75 ppm, (T-Test für gepaarte Stichproben:  $t = -6,78$ ;  $df = 23$ ;  $p < 0,001$ ).

Nach weiteren zwei Stunden fällt dieser auch nur geringfügig wieder ab (im Mittel auf 4,0 ppm).

Die gemessenen CO-Konzentrationen der Raucher hingegen sind relativ konstant. Die mittleren Werte für die ersten drei Untersuchungssituationen (vorher, nachher auf der Panzerplatte und nachher im Lager Ostenholz) zeigen kaum Unterschiede und liegen bei etwa 18 ppm (prä: 17,98 ppm; post Panzerplatte: 18,20 ppm; post: 17,60 ppm).

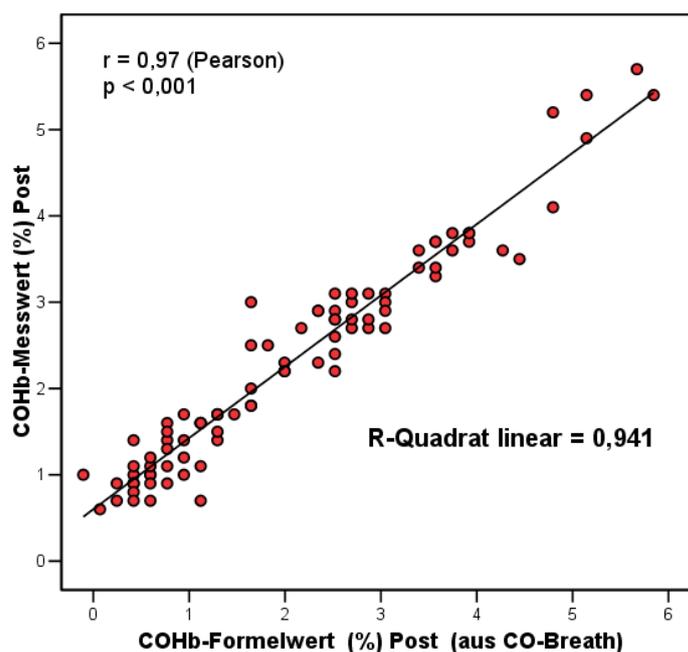
Die ermittelten CO-Breath-Werte können mit folgender Formel ( $COHb = -0,28 + 0,175 \text{ ECO}$  (ECO = Exhaled Carbon Monoxide in ppm)) in einen entsprechenden COHb-Wert umgerechnet werden. **Abbildung 3.2.2.-2** zeigt berechnete COHb-Werte für die Zeitpunkte prä, post auf der Panzerplatte, post und post 2 h.

Der aus Abbildung 3.2.2.-1 (s.o.) bekannte Verlauf für Nichtraucher und Raucher findet sich auch hier wieder.



**Abb. 3.2.2.-2:** COHb-Gehalte (in %) nach Raucherstatus vor, direkt nach [Panzerplatte], nach und 2 h nach der Schießübung, jeweils berechnet aus den mittels CO-Breath in der Ausatemluft der Kameraden gemessenen CO-Gehalte (NR = Nichtraucher, R = Raucher)

Die folgende **Abbildung 3.2.2.-3** veranschaulicht die Beziehung zwischen den gemessenen und berechneten COHb-Werten zum Zeitpunkt post als lineare Regression. Es ist eine hohe Korrelation zwischen den gemessenen und den berechneten Werten zu sehen ( $r = 0,97$ ;  $p < 0,001$ ) und eine relativ geringe Differenz zwischen den Wertepaaren.



**Abb. 3.2.2.-3: Beziehung zwischen gemessenen und mittels CO-Breath berechneten COHb-Werten (in %) zum Zeitpunkt Post (nach dem Schießen im Lager Ostenholz)**

Diese lineare Beziehung zwischen den gemessenen und berechneten Werten zeigt sich in allen Zeitpunkten.

### 3.3 Aufmerksamkeits-Belastungs-Test

#### 3.3.1 Normvergleich

Um die erbrachte Leistung der Teilnehmer im d2-Test einschätzen zu können, werden die einzelnen Parameter der Teilnehmer: **Gesamtzeichen (GZ)**, **Gesamtleistung (GZ-F)**, **Konzentrationsleistung (KL)** und **Schwankungsbreite (SB)** mit den Normwerten für Männer und Frauen zwischen 19 und 39 Jahren verglichen und graphisch in Liniendiagrammen und Tabellen dargestellt.

**Tabelle 3.3.1.-1** zeigt anhand der Mediane der Parameter die erbrachte Leistung der Teilnehmer im Vergleich zur Leistung der Normstichprobe. Die Mediane der Teilnehmer sind für jeden einzelnen Parameter deutlich höher als die der Norm.

	Mediane der Teilnehmer	Mediane der Norm
Gesamtzeichen (GZ)	532,2	381-387
Gesamtleistung (GZ-F)	514,0	359-365
Schwankungsbreite (SB)	13,5	11
Konzentrationsleistung (KL)	205,5	165

**Tab. 3.3.1.-1: Die Mediane der Teilnehmer im Vergleich zu den Medianen der Normstichprobe.**

Im Folgenden sollen zwei Beispielgraphiken (**Abb. 3.3.1.-1** und **Abb. 3.3.1.-2**), die die Gesamtleistung und die Konzentrationsleistung repräsentieren, ebenfalls verdeutlichen, wie sich die Leistung der Teilnehmer im Vergleich zur Norm darstellt.

**Abbildung 3.3.1.-1** zeigt die **Gesamtleistung (GZ-F)**. Hier ist zu sehen, dass die Ergebnisse der Teilnehmer durchweg besser sind als die der Norm. Das gilt auch für den gesamten Verlauf des Prozenranges.

Der Mittelwert für GZ-F aus allen drei Rennen beträgt für die Teilnehmer 504,5 (S 71,8; Min 339,5; Max 651,5).

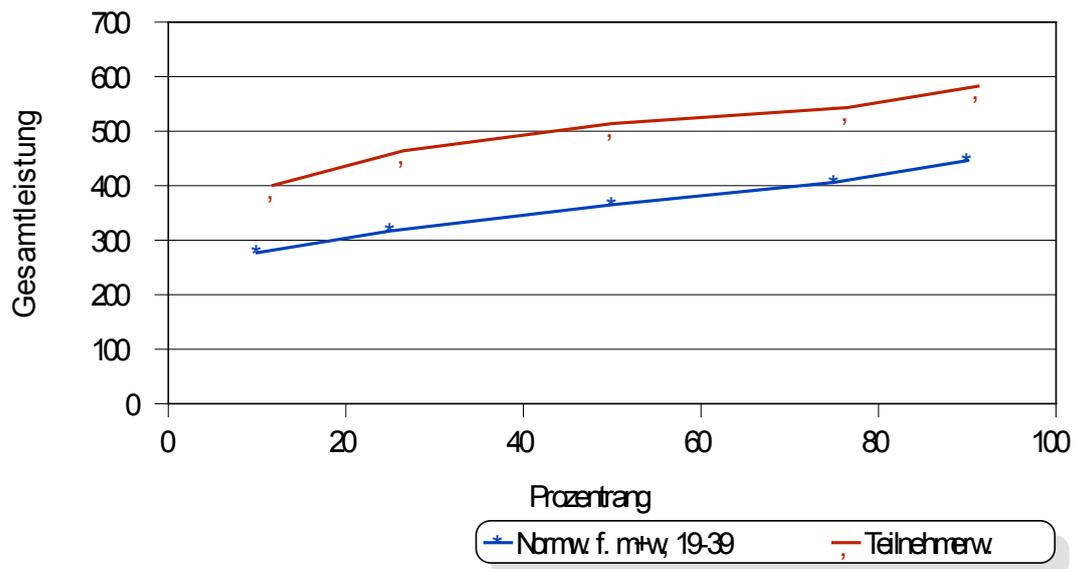


Abb. 3.3.1.-1: Vergleich der Werte der Gesamtleistung zwischen den Teilnehmern und der Normstichprobe (für m+w, 19-39 Jahre)

Abbildung 3.3.1.-2 illustriert, dass auch die **Konzentrationsleistung (KL)** der Teilnehmer über der Norm liegt. Diese Tendenz spiegelt sich ebenso im weiteren Verlauf des Prozentranges wider.

Für KL liegt der Mittelwert aus allen drei Rennen für die Teilnehmer bei 206,7 (S 39,0; Min 124,5; Max 298,0).

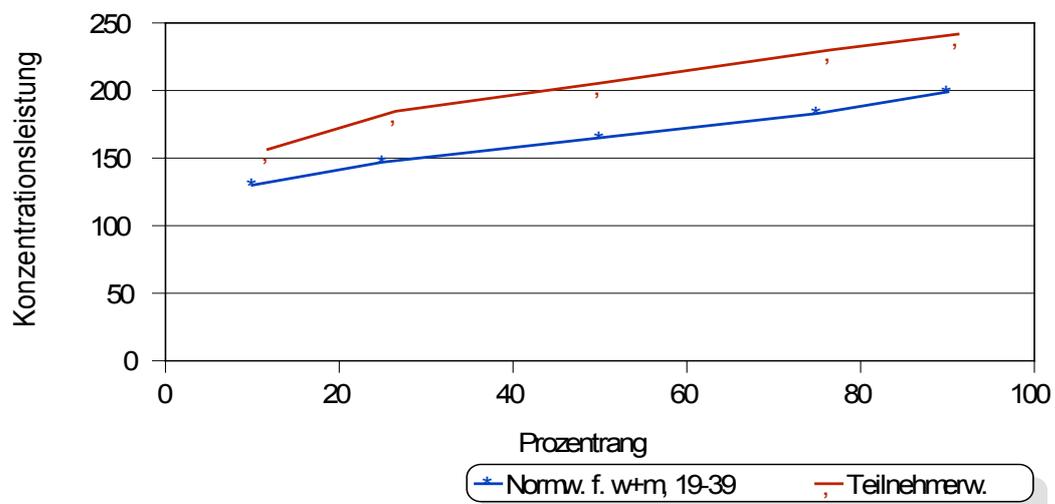


Abb. 3.3.1.-2: Vergleich der Werte der Konzentrationsleistung zwischen den Teilnehmern und der Normstichprobe (für w+m, 19-39 Jahre)

Diese Ergebnisse zeigen, dass die Teilnehmergruppe mit den Parametern Gesamtleistung, Gesamtzeichen, Konzentrationsleistung und Schwankungsbreite über der Norm liegt.

### **3.3.2 Unterschiede vor und nach dem Rennen**

Das Ablegen des Testes vor und nach einem Rennen (**Kap. 2.1**), ermöglicht einen Vergleich der Ergebnisse zwischen vorher und nachher.

Die Rennen sind mit R1 (Rennen 1 mit 31 Teilnehmern), R2 (Rennen 2 mit 32 Teilnehmern) und R3 (Rennen 3 mit 24 Teilnehmern) gekennzeichnet. Es handelt sich hier um das Kollektiv Nr. 8 (**Tab. 2.1.-3**), diese Kollektivgrößen sind konstant für die weiteren Beschreibungen.

Im Folgenden werden zunächst die Ergebnisse der Parameter (GZ, F, GZ-F, SB und KL) der einzelnen Rennen 1, 2 und 3 miteinander verglichen und dann werden die Vorher- und Nachher-Mittelwerte der Rennen genauer dargestellt.

#### **3.3.2.1 Unterschiede der einzelnen Gesamtrennen**

Zu Beginn werden die einzelnen Rennen (komplettes Rennen, vorher und nachher nicht getrennt) 1, 2 und 3 betrachtet und der Leistungsverlauf von Rennen zu Rennen dargestellt. Hier ist eine Steigerung von Rennen 1 zu Rennen 2 und 3 zu erkennen (**Abb. 3.3.2.1.-1 ff**). Die Ergebnisse von 2 nach 3 verändern sich kaum.

### 3.3.2.1.1 Gesamtzeichen

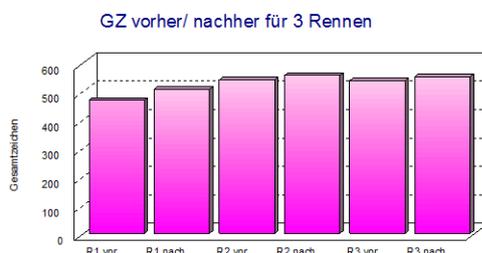
Die **Tabelle 3.3.2.1.1.-1** zeigt den Mittelwert der Gesamtzeichen (GZ) für Rennen 1, 2 und 3 aus den einzelnen Mittelwerten eines Rennens von vorher und nachher zusammen. Diese Mittelwerte verdeutlichen den Leistungsverlauf von Rennen zu Rennen. Von Rennen 1 zu Rennen 2 kommt es zu einer eindeutigen Steigerung des Mittelwertes. Von Rennen 2 nach Rennen 3 sinkt der Mittelwert nur minimal, Rennen 2 und 3 bleiben also nahezu gleich.

	Rennen 1 vorher+nachher			Rennen 2 vorher+nachher			Rennen 3 vorher+nachher		
	MW	S	n	MW	S	n	MW	S	n
GZ	486,7	61,3	31	546,1	65,3	32	543,1	79,5	24

**Tab. 3.3.2.1.1.-1: Mittelwerte der Gesamtzeichen für Rennen 1-3 aus den MW von vorher und nachher zusammen (S = Standardabweichung, n = Teilnehmerzahl).**

Die Ergebnisse vor und nach den Rennen 1-3 werden durch die **Abbildung 3.3.2.1.1.-1** dargestellt. Hier ist zu sehen, dass die Teilnehmer durchgängig nach dem Rennen höhere Werte erreichen als vorher. Zwischen Rennen 2 und 3 sind nur noch minimale Unterschiede zu sehen.

Abb. 1001: Vergleich der Gesamtzeichen zwischen vorher und nachher eines Rennens. Durchgeführt für alle drei Rennen.



**Abb. 3.3.2.1.1.-1: Vergleich der Gesamtzeichen (MW) zwischen vorher und nachher für alle drei Rennen (R = Rennen)**

### 3.3.2.1.2 Gesamtleistung

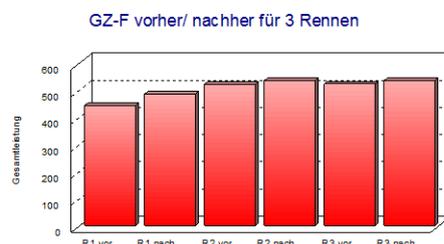
Dasselbe gilt für die **Gesamtleistung (GZ-F)**, sie ist die einfach fehlerkorrigierte Leistungsmenge. Hier ist ebenfalls eine eindeutige Steigerung des Mittelwertes von Rennen 1 zu Rennen 2 zu sehen und die Werte in Rennen 2 und Rennen 3 verändern sich kaum noch. Die steigende Leistung ist sehr wahrscheinlich auf einen Trainingseffekt zurückzuführen.

	Rennen 1 vorher+nachher			Rennen 2 vorher+nachher			Rennen 3 vorher+nachher		
	MW	S	n	MW	S	n	MW	S	n
GZ-F	463,4	57,3	31	527,0	63,7	32	527,6	77,5	24

**Tab. 3.3.2.1.2.-1: Mittelwerte der Gesamtleistung für Rennen 1-3 aus den MW von vorher und nachher zusammen (S = Standardabweichung, n = Teilnehmerzahl).**

**Abbildung 3.3.2.1.2.-1** zeigt den Vergleich der Ergebnisse vor und nach den einzelnen Rennen. Bei dem Parameter Gesamtleistung verhält es sich ähnlich wie bei dem Parameter Gesamtzeichen; die Teilnehmer haben durchweg nach dem Rennen höhere Ergebnisse erreicht als vorher. Unterschiede zwischen Rennen 2 und Rennen 3 sind, nach Erreichen eines bestimmten Niveaus, kaum noch zu erkennen.

**Abb. 1002:** Vergleich der Gesamtleistung zwischen vorher und nachher eines Rennens. Durchgeführt für alle drei Rennen.



**Abb. 3.3.2.1.2.-1: Vergleich der Gesamtleistung (MW) zwischen vorher und nachher für alle drei Rennen (R = Rennen)**

### 3.3.2.1.3

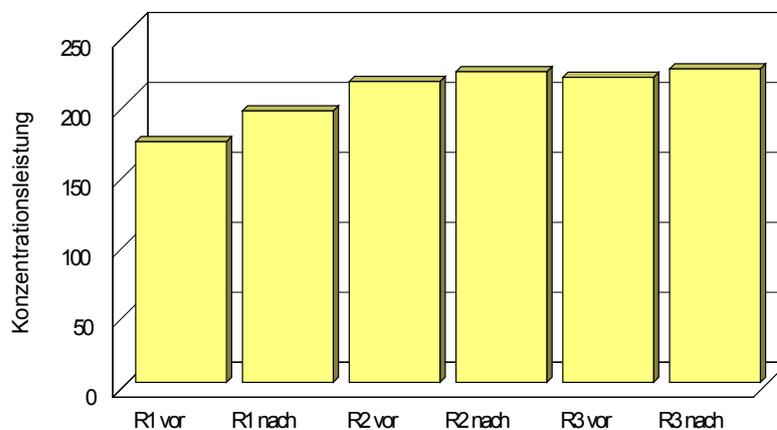
### Konzentrationsleistung

Die **Konzentrationsleistung (KL)** ist ein Wert aus der Anzahl der richtig durchgestrichenen relevanten Zahlen abzüglich der Verwechslungsfehler. Sie zeigt eine deutliche Steigerung (19,5 %) von Rennen 1 zu Rennen 2. Im Weiteren bleiben die Ergebnisse, wie **Tabelle 3.3.2.1.3.-1** zeigt, in Rennen 2 und Rennen 3 fast gleich, es gibt nur noch eine geringe Steigerung von 1,5 %.

	Rennen 1 vorher+nachher			Rennen 2 vorher+nachher			Rennen 3 vorher+nachher		
	MW	S	n	MW	S	n	MW	S	n
KL	183,2	27,8	31	218,5	35,9	32	221,2	42,3	24

**Tab. 3.3.2.1.3.-1:** Mittelwerte der Konzentrationsleistung für Rennen 1-3 aus den MW von vorher und nachher zusammen (S = Standardabweichung, n = Teilnehmerzahl).

**Abbildung 3.3.2.1.3.-1** verdeutlicht ebenfalls den Unterschied zwischen den Ergebnissen vor und nach den einzelnen Rennen, was bereits an den vorangegangenen Parametern erläutert wurde.



**Abb. 3.3.2.1.3.-1:** Vergleich der Konzentrationsleistung (MW) zwischen vorher und nachher für alle drei Rennen (R = Rennen)

### 3.3.2.1.4 Fehlerzahl

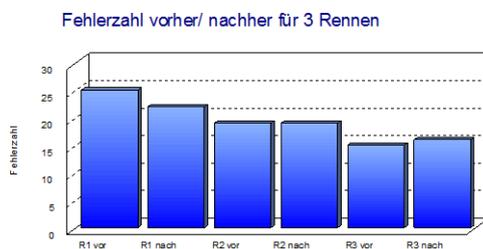
Die Werte der **Fehlerzahl (F)** (Summe von Auslassungs- u. Verwechslungsfehler) zeigen hier noch einmal etwas mehr Bewegung. Zunächst verhält sich F bezüglich der Mittelwertsteigerung von Rennen 1 zu Rennen 2 wie die anderen Parameter. Von Rennen 2 zu Rennen 3 fällt die Fehlerzahl nochmals klar ab und bleibt nicht wie bei den Parametern GZ, GZ-F und KL konstant.

	Rennen 1 vorher+nachher			Rennen 2 vorher+nachher			Rennen 3 vorher+nachher		
	MW	S	n	MW	S	n	MW	S	n
F	23,4	18,2	31	19,2	18,4	32	15,5	19,5	24

**Tab. 3.3.2.1.4.-1: Mittelwerte der Fehlerzahl für Rennen 1-3 aus den MW von vorher und nachher zusammen (S = Standardabweichung, n = Teilnehmerzahl).**

Differenziert man die Fehlerzahl zwischen vorher und nachher, so nimmt sie bis zum zweiten Rennen weiter ab, innerhalb des zweiten Rennens bleibt sie gleich und fällt ein weiteres Mal zum dritten Rennen hin ab. Nach Erreichen eines sehr niedrigen Fehlerniveaus im dritten Rennen kommt es hier erstmals zu einer geringen Zunahme der Fehlerzahl nach dem Schießen (von 14 auf 16 Fehler) (**Abb. 3.3.2.1.4.-1**).

Abb. 1000: Vergleich der Fehlerzahl zwischen vorher und nachher eines Rennens. Durchgeführt für jedes der drei Rennen.



**Abb. 3.3.2.1.4.-1: Vergleich der Fehlerzahl (MW) zwischen vorher und nachher für alle drei Rennen (R = Rennen)**

### 3.3.2.1.5 Schwankungsbreite

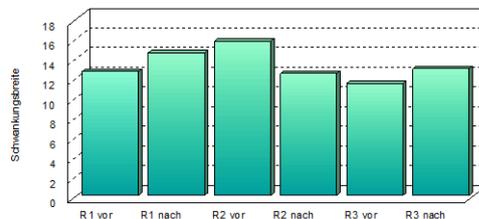
Die **Schwankungsbreite (SB)** ist die Differenz zwischen maximaler und minimaler Teilzeitleistung (Differenz aus größten und geringsten Bearbeitungsmenge pro Testzeile), sie steigt von Rennen 1 zu Rennen 2 leicht an und fällt dann aber von Rennen 2 zu Rennen 3 deutlich (**Tab. 3.3.2.1.5.-1**). Diesen Anstieg der Schwankungsbreite bis in das 2. Rennen (prä) und der Abfall der SB im 3. Rennen zeigt auch die **Abbildung 3.3.2.1.5.-1**.

	Rennen 1 vorher+nachher			Rennen 2 vorher+nachher			Rennen 3 vorher+nachher		
	MW	S	n	MW	S	n	MW	S	n
SB	13,5	2,3	31	14,0	4,7	32	12,2	5,2	24

**Tab. 3.3.2.1.5.-1: Mittelwert der Schwankungsbreite für Rennen 1-3 aus den MW von vorher und nachher zusammen (S = Standardabweichung, n = Teilnehmerzahl).**

**Abb. 1004:** Vergleich der Schwankungsbreite zwischen vorher und nachher eines Rennens. Dargestellt für alle drei Rennen.

SB vorher/ nachher für 3 Rennen



**Abb. 3.3.2.1.5.-1: Vergleich der Schwankungsbreite (MW) zwischen vorher und nachher für alle drei Rennen (R = Rennen)**

Zusammengefasst zeigen diese Ergebnisse, dass es eine Steigerung vom 1. Rennen zum 2. (und 3. Rennen) gibt, und dass die Ergebnisse in Rennen 2 und 3 dann weitestgehend gleich bleiben. Die Fehlerzahl verbessert sich auch von Rennen 2 zu 3 als einziger Parameter noch einmal deutlich. Für die Schwankungsbreite gibt es einen Anstieg bis in das 2. Rennen (prä), sie wird dann geringer und bleibt im Weiteren relativ konstant.

### 3.3.2.2 Vorher- und Nachher-Mittelwerte

Wenn man sich die einzelnen Rennen (R1, R2, R3) anschaut und den Vorher- und Nachher-Mittelwert der Parameter vergleicht, so ist in jedem Rennen ein Anstieg der Werte (abgesehen von SB) nachher zu erkennen, besonders auffällig in Rennen 1.

#### 3.3.2.2.1 Gesamtzeichen

**Tabelle 3.3.2.2.1.-1** zeigt den Mittelwert für GZ von allen drei Rennen zusammen für vorher und nachher, sowie die gepaarte Differenz für den Mittelwert mit - 23,5 ( $t = - 6,6$ ;  $df = 86$ ;  $p < 0,01$ ). Es ergibt sich also im Mittel eine signifikante Erhöhung der Gesamtzeichen, wenn man diese vor und nach dem Rennen vergleicht.

Die zweite Tabelle (**Tab. 3.3.2.2.1.-2**) zeigt den Verlauf der einzelnen drei Rennen. Im 1. Rennen steigt der Mittelwert für die **Gesamtzeichen (GZ)** von vorher zu nachher um ca. 10 %. Weitere Steigerungen im 2. Rennen zwischen vorher und nachher fielen geringer aus. Der Mittelwert für GZ steigt nur um ca. 3 %. Ebenso minimale Veränderungen fielen im 3. Rennen auf, GZ steigt wieder nur um ca. 3 % von vorher zu nachher. Die Unterschiede zwischen den Mittelwerten wurden mit dem T-Test für gepaarte Stichproben auf ihre statistische Bedeutung überprüft.

	alle Rennen vorher			alle Rennen nachher			gepaarte Differenz für den MW
	MW	S	N	MW	S	n	
GZ	512,4	78,1	87	535,9	71,4	87	-23,5

**Tab. 3.3.2.2.1.-1: Gepaarte Differenzen: Mittelwerte der Gesamtzeichen aus vorher und nachher aller drei Rennen zusammen (S = Standardabweichung, n = Teilnehmerzahl).**

	R1 vor			R1 nach			R2 vor			R2 nach			R3 vor			R3 nach		
	MW	S	n	MW	S	n	MW	S	n	MW	S	n	MW	S	n	MW	S	n
GZ	467,0	65,6	31	506,4	61,9	31	538,8	64,9	32	553,5	68,3	32	535,8	84,9	24	550,3	77,0	24

**Tab. 3.3.2.2.1.-2: Vorher- und Nachher-Mittelwerte der Gesamtzeichen für alle drei Rennen (R = Rennen, S = Standardabweichung, n = Teilnehmerzahl).**

### 3.3.2.2.2 Gesamtleistung

Auch für die **Gesamtleistung (GZ-F)** zeigt sich ein signifikanter Unterschied zwischen den Rennen vorher und nachher. Die gepaarte Differenz für den Mittelwert aller Rennen vorher und nachher (**Tab. 3.3.2.2.2.-1**) ergibt - 23,9 ( $t = - 7,2$ ;  $df = 86$ ;  $p < 0,01$ ).

**Tabelle 3.3.2.2.2.-2 (ebenso Abb. 3.3.2.1.2.-1)** zeigt eine Steigerung im 1. und 2. Rennen, wie auch im 3. Rennen.

	alle Rennen vorher			alle Rennen nachher			gepaarte Differenz für den MW
	MW	S	n	MW	S	n	
GZ-F	492,5	76,9	87	516,4	69,9	87	-23,9

**Tab. 3.3.2.2.2.-1: Gepaarte Differenzen: Mittelwerte der Gesamtleistung aus vorher und nachher aller drei Rennen zusammen (S = Standardabweichung, n = Teilnehmerzahl).**

	R1 vor			R1 nach			R2 vor			R2 nach			R3 vor			R3 nach		
	MW	S	n	MW	S	n	MW	S	n	MW	S	n	MW	S	n	MW	S	n
GZ-F	442,3	60,8	31	484,5	57,8	31	519,7	62,9	32	534,2	66,5	32	521,2	81,5	24	534,0	76,3	24

**Tab. 3.3.2.2.2.-2: Vorher- und Nachher-Mittelwerte der Gesamtleistung für alle drei Rennen (R = Rennen, S = Standardabweichung, n = Teilnehmerzahl).**

### 3.3.2.2.3 Konzentrationsleistung

Ebenso signifikant ist auch der Unterschied zwischen den Rennen bezüglich der **Konzentrationsleistung (KL)**. **Tabelle 3.3.2.2.3.-1** zeigt die gepaarte Differenz für den Mittelwert aller Rennen vorher und nachher mit - 12,4 ( $t = - 7,6$ ;  $df = 86$ ;  $p < 0,01$ ). **Tabelle 3.3.2.2.3.-2** (wie **Abb. 3.3.2.1.3.-1**) zeigen auch hier eine Steigerung der Konzentrationsleistung im 1. und 2. Rennen und ebenfalls im 3. Rennen.

	alle Rennen vorher			alle Rennen nachher			gepaarte Differenz für den MW
	MW	S	n	MW	S	n	
KL	200,5	40,9	87	212,9	38,6	87	-12,4

**Tab. 3.3.2.2.3.-1: Gepaarte Differenzen: Mittelwert der Konzentrationsleistung aus vorher und nachher aller drei Rennen zusammen (S = Standardabweichung, n = Teilnehmerzahl).**

	R1 vor			R1 nach			R2 vor			R2 nach			R3 vor			R3 nach		
	MW	S	n	MW	S	n	MW	S	n	MW	S	n	MW	S	n	MW	S	n
KL	172,2	28,3	31	194,3	29,2	31	214,7	35,1	32	222,4	37,7	32	218,1	43,3	24	224,3	42,6	24

**Tab. 3.3.2.2.3.-2: Vorher- und Nachher-Mittelwerte der Konzentrationsleistung für alle drei Rennen (R = Rennen, S = Standardabweichung, n = Teilnehmerzahl).**

### 3.3.2.2.4 Fehlerzahl

Die **Fehlerzahl (FZ)** zeigt hier einen anderen Verlauf als die anderen Parameter, der Unterschied zwischen den Rennen vorher und nachher ist nicht signifikant. Für die gepaarte Differenz der Mittelwerte aller Rennen vorher und nachher ergibt sich ein Wert von 0,44 (**Tab. 3.3.2.2.4.-1**) ( $t = 0,46$ ;  $df = 86$ ;  $p < 0,65$ ).

Im 1. Rennen zeigt die Fehlerzahl den gleichen Verlauf wie die oben beschriebenen Parameter. Im 2. Rennen bleibt FZ vorher und nachher konstant, und dann steigt die Fehlerzahl im 3. Rennen noch einmal um ca. 11 % (**Tab. 3.3.2.2.4.-2 u. Abb. 3.3.2.1.4.-1**).

	alle Rennen vorher			alle Rennen nachher			gepaarte Differenz für den MW
	MW	S	n	MW	S	n	
F	19,9	18,6	87	19,4	19,8	87	0,4

**Tab. 3.3.2.2.4.-1: Gepaarte Differenzen: Mittelwerte der Fehlerzahl aus vorher und nachher aller drei Rennen zusammen (S = Standardabweichung, n = Teilnehmerzahl).**

	R1 vor			R1 nach			R2 vor			R2 nach			R3 vor			R3 nach		
	MW	S	n	MW	S	n	MW	S	n	MW	S	n	MW	S	n	MW	S	n
F	24,8	18,6	31	21,9	19,1	31	19,0	17,7	32	19,3	19,9	32	14,6	18,8	24	16,3	20,9	24

**Tab. 3.3.2.2.4.-2: Vorher- und Nachher-Mittelwerte für die Fehlerzahl für alle drei Rennen (R = Rennen, S = Standardabweichung, n = Teilnehmerzahl).**

### 3.3.2.2.5 Schwankungsbreite

Auch für die **Schwankungsbreite (SB)** zeigt sich ein nicht signifikanter Unterschied zwischen den Rennen vorher und nachher. **Tabelle 3.3.2.2.5.-1** zeigt für die gepaarte Differenz der Mittelwerte aller Rennen vorher und nachher einen Wert von 0,1 ( $t = 0,15$ ;  $df = 86$ ;  $p < 0,89$ ). Im 1. Rennen steigt die Schwankungsbreite um ca. 15 % von vorher zu nachher und fällt im 2. Rennen um ca. 20 %. Im 3. Rennen steigt der MW von 11,4 auf 12,9 (**Tab. 3.3.2.2.5.-2**).

	alle Rennen vorher			alle Rennen nachher			gepaarte Differenz für den MW
	MW	S	n	MW	S	n	
SB	13,4	5,0	87	13,3	5,3	87	0,1

**Tab. 3.3.2.2.5.-1:** Gepaarte Differenzen: Mittelwerte der Schwankungsbreite aus vorher und nachher aller drei Rennen zusammen (S = Standardabweichung, n = Teilnehmerzahl).

	R1vor			R1 nach			R2 vor			R2 nach			R3 vor			R3 nach		
	MW	S	n	MW	S	n	MW	S	n	MW	S	n	MW	S	n	MW	S	n
SB	12,6	3,2	31	14,5	3,7	31	15,7	4,7	32	12,4	6,0	32	11,4	6,0	24	12,9	5,9	24

**Tab. 3.3.2.2.5.-2:** Vorher- und Nachher-Mittelwerte der Schwankungsbreite für alle drei Rennen (R = Rennen, S = Standardabweichung, n = Teilnehmerzahl).

Diese Auswertungen zeigen hiermit für die Parameter Gesamtzeichen, Gesamtleistung und Konzentrationsleistung durchweg steigende Werte nach der Schießübung im Vergleich zu den Ergebnissen vorher, wobei jeweils das 1. Rennen hervorzuheben ist mit der deutlichsten Steigerung. In den nachfolgenden Rennen kommt es nur noch zu geringfügigen Anstiegen nach der Übung. Die Schwankungsbreite erhöht sich im 1. Rennen zunächst nach der Schießübung, im 2. Rennen sinkt sie dann nach der Übung und bleibt ab hier relativ konstant. Über die Fehlerzahl ist zu sagen, dass sie bis zum 3. Rennen fällt und dann nach dem 3. Rennen geringfügig wächst.

### 3.4 Mittels Fragebogen erfasste Symptome

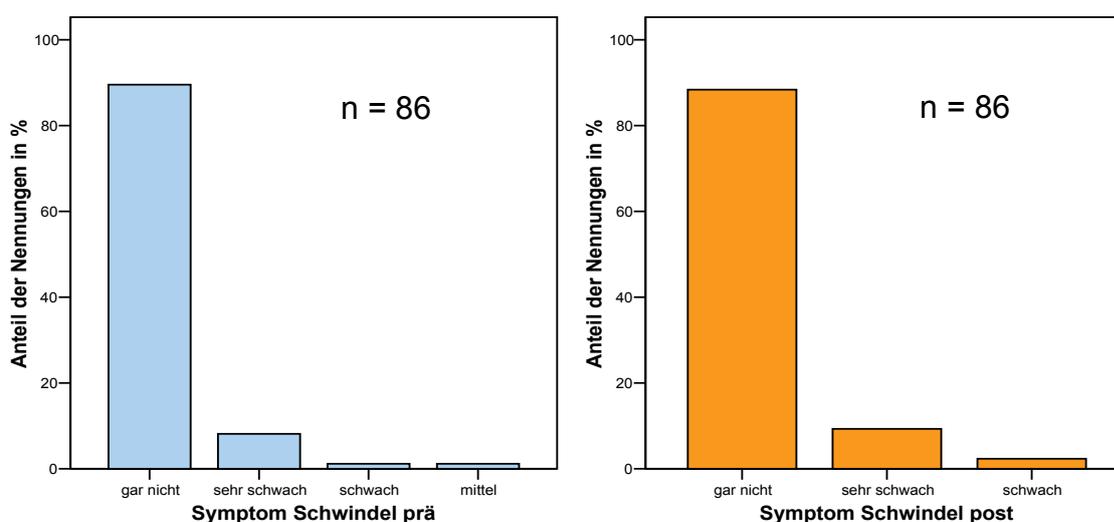
Die Teilnehmer haben insgesamt  $n = 262$  (s. **Tab. 2.1.-3, Untersuchungsanzahl Nr. 10**) Fragebögen ausgefüllt,  $n = 86$  vor sowie jeweils  $n = 88$  nach bzw. 2 h nach dem Rennen. Davon auswertbar waren je nach Untersuchungszeitpunkt zwischen 82 und 86 Fragebögen, da nur Bögen berücksichtigt werden konnten, die vorher und nachher von demselben Teilnehmer ausgefüllt wurden (Ausfälle z. B. wegen Wachdienst s. **Kap. 2.1**).

Im Folgenden werden die Ergebnisse, vor dem Rennen und nach dem Rennen, anhand von Frage 5 (**Anhang A<sub>3</sub> und A<sub>4</sub>**) und anschließend anhand von Frage 14 (**Anhang A<sub>3</sub> und A<sub>4</sub>**) dargestellt.

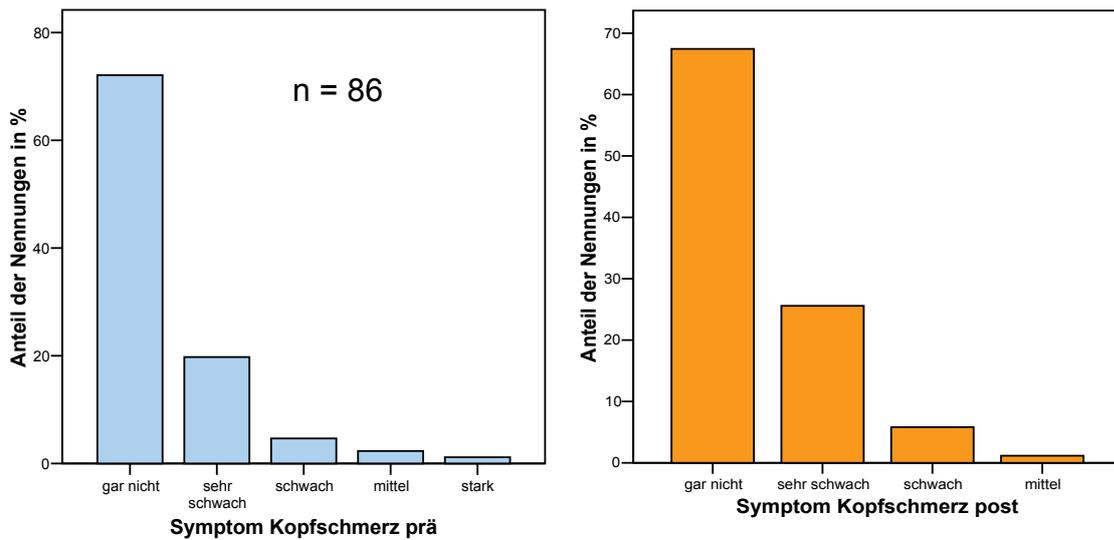
#### 3.4.1 Symptome vorher und nachher

Sämtliche Symptome der Frage 5 können dem Anhang A<sub>3</sub> und A<sub>4</sub> entnommen werden, hier soll beispielhaft auf einige der Symptome eingegangen werden.

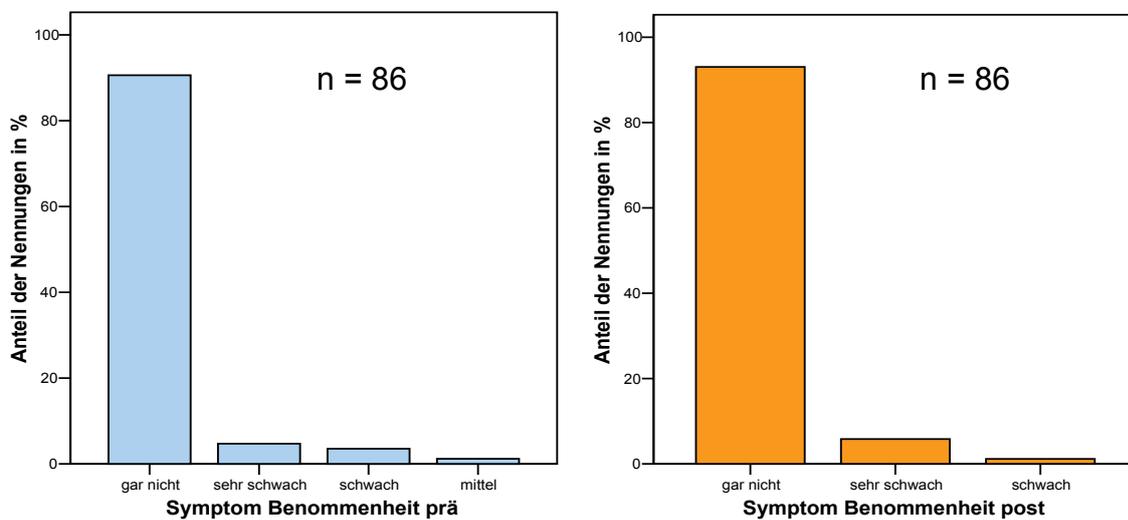
Die Angaben der Kameraden sind in den **Abbildungen 3.4.1.-1 bis 3.4.1.-7** wiedergegeben. Der überwiegende Teil der Kameraden gibt an, weder vor noch nach dem Rennen unter diesen Symptomen zu leiden.



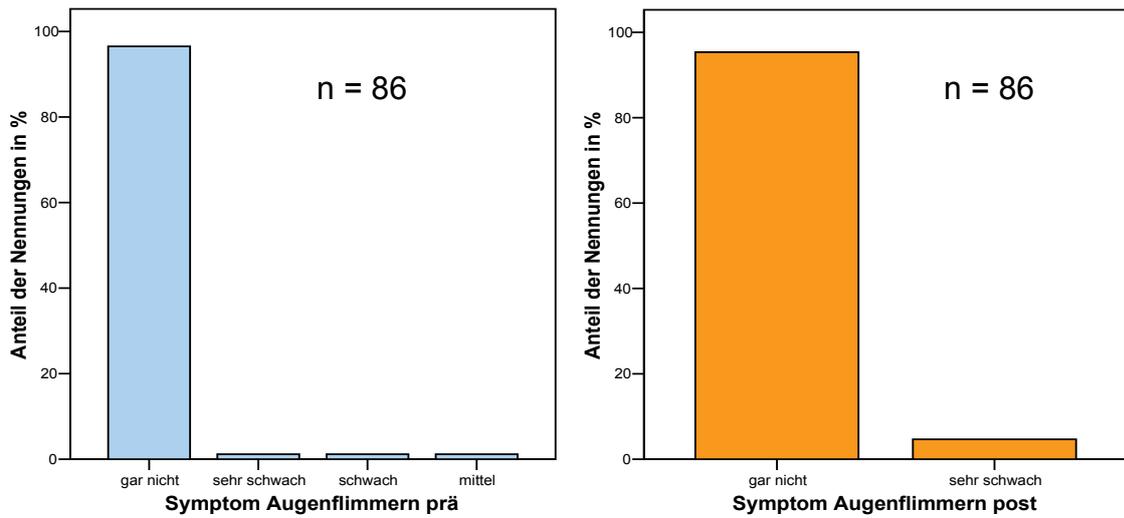
**Abb. 3.4.1.-1:** Häufigkeit und Ausprägung des Symptoms Schwindel vor und nach dem Rennen (Kategorien der 5'Skala abgebildet, wenn > 0 %; n = Anzahl der ausgefüllten und auswertbaren Fragebögen)



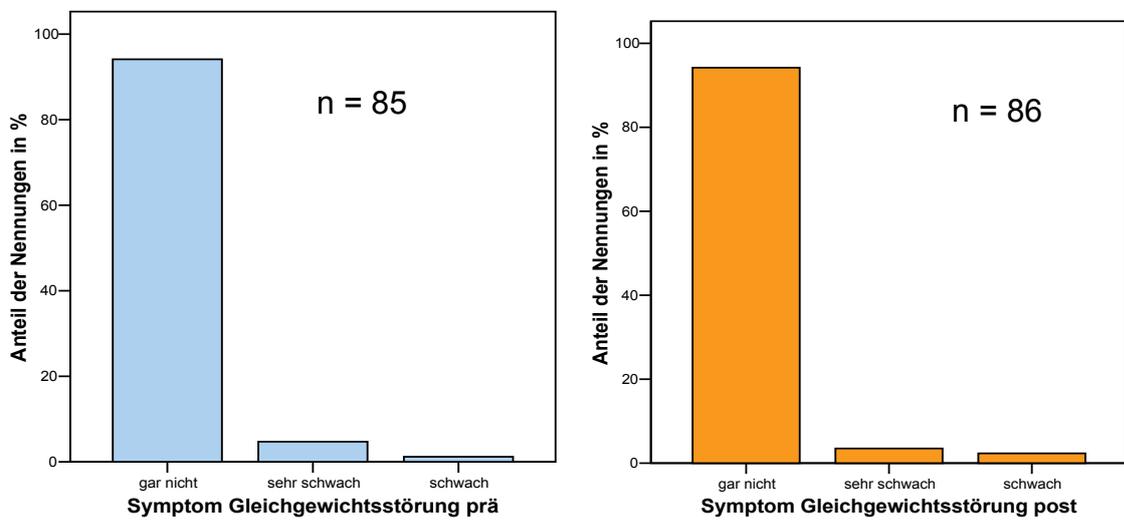
**Abb. 3.4.1.-2:** Häufigkeit und Ausprägung des Symptoms Kopfschmerz vor und nach dem Rennen (Kategorien der 5'Skala abgebildet, wenn > 0 %; n = Anzahl der ausgefüllten und auswertbaren Fragebögen)



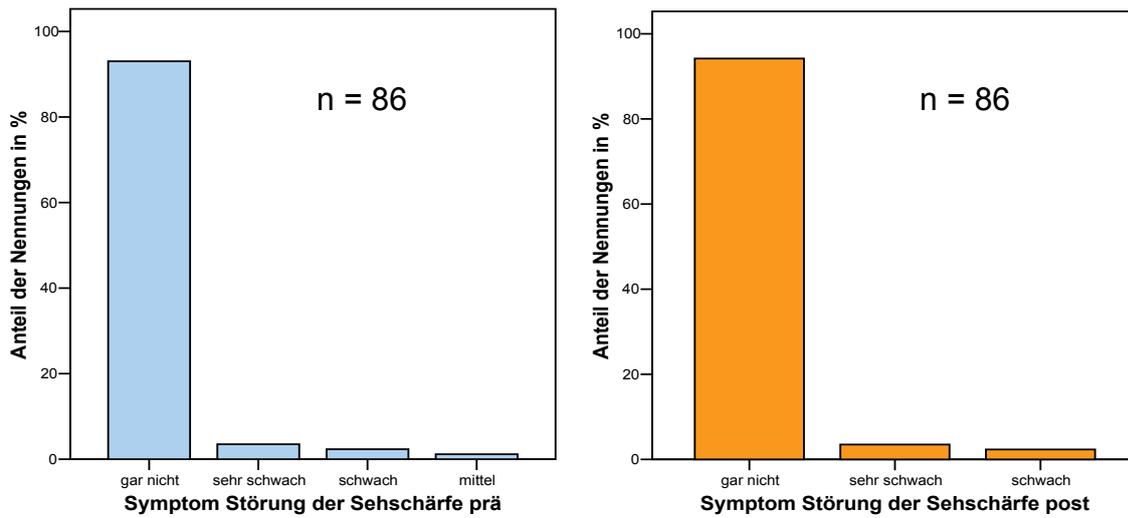
**Abb. 3.4.1.-3:** Häufigkeit und Ausprägung des Symptoms Benommenheit vor und nach dem Rennen (Kategorien der 5'Skala abgebildet, wenn > 0 %; n = Anzahl der ausgefüllten und auswertbaren Fragebögen)



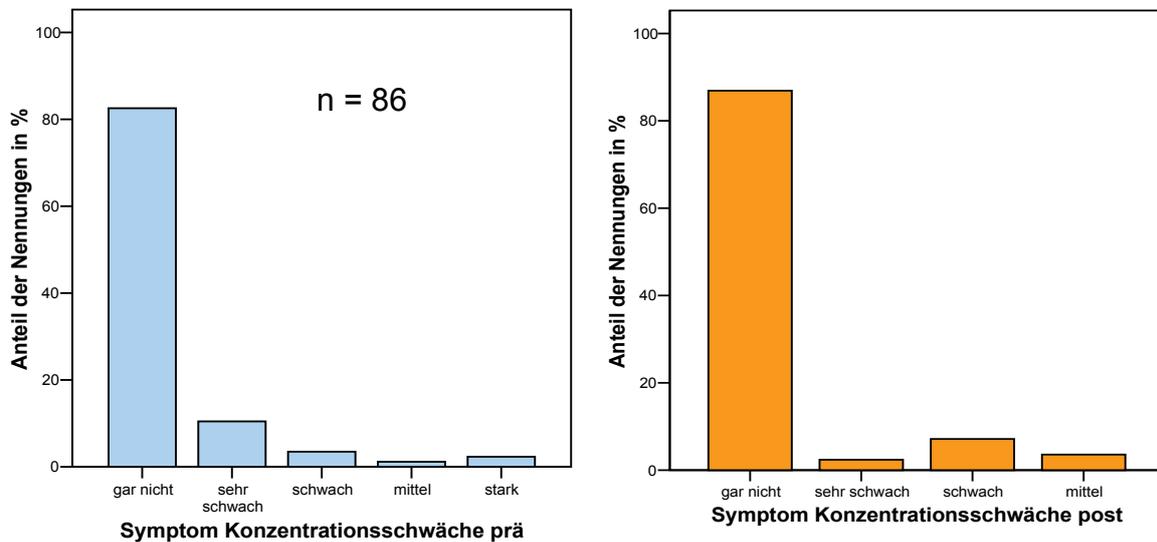
**Abb. 3.4.1.-4: Häufigkeit und Ausprägung des Symptoms Augenflimmern vor und nach dem Rennen (Kategorien der 5'Skala abgebildet, wenn > 0 %; n= Anzahl der ausgefüllten und auswertbaren Fragebögen)**



**Abb. 3.4.1.-5: Häufigkeit und Ausprägung des Symptoms Gleichgewichtsstörung vor und nach dem Rennen (Kategorien der 5'Skala abgebildet, wenn > 0 %; n= Anzahl der ausgefüllten und auswertbaren Fragebögen)**



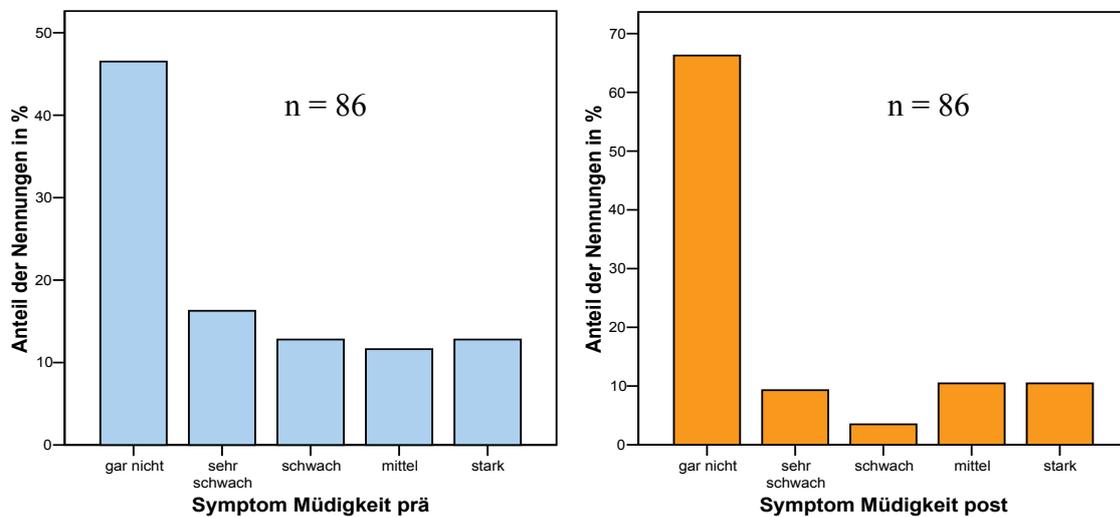
**Abb. 3.4.1.-6: Häufigkeit und Ausprägung des Symptoms Sehschärfe vor und nach dem Rennen (Kategorien der 5'Skala abgebildet, wenn > 0 %; n = Anzahl der ausgefüllten und auswertbaren Fragebögen)**



**Abb. 3.4.1.-7: Häufigkeit und Ausprägung des Symptoms Konzentrationsschwäche vor und nach dem Rennen (Kategorien der 5'Skala abgebildet, wenn > 0 %; n = Anzahl der ausgefüllten und auswertbaren Fragebögen)**

Wie in den oben illustrierten Abbildungen zu sehen ist, gibt es, was die Häufigkeit der Symptome betrifft, keine signifikanten Unterschiede zwischen der Befindlichkeit vor und nach dem Rennen.

Eine Ausnahme bildet das Symptom „Müdigkeit“ (**Abb. 3.4.1.-8**). Hier wird von den Kameraden eine deutlich geringere Ausprägung **nach** dem Rennen angegeben als vor dem Rennen. Dieser Unterschied ist hochsignifikant (Wilcoxonstest für zwei verbundene Stichproben:  $z = - 3,51$ ;  $p < 0,001$ ).



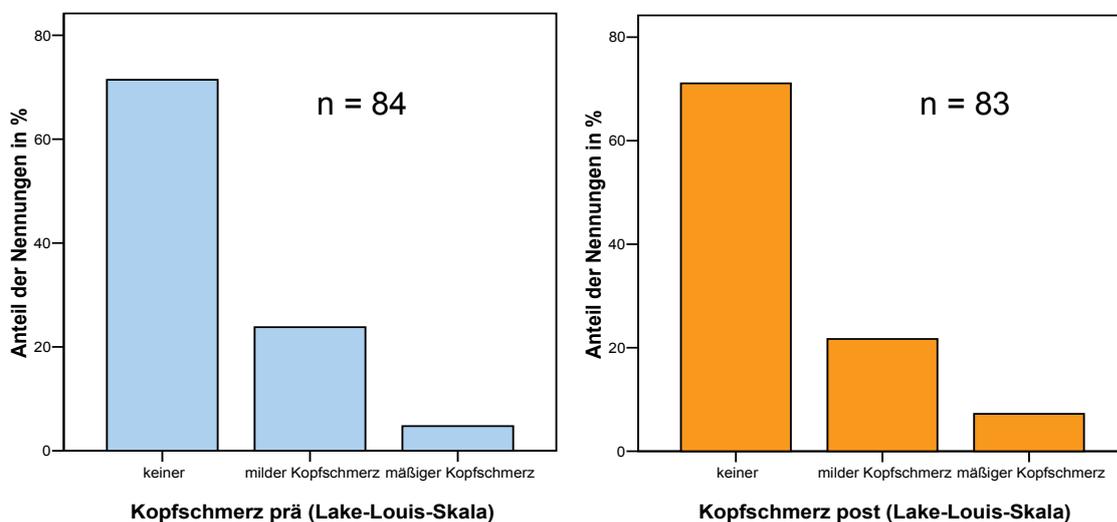
**Abb. 3.4.1.-8: Häufigkeit und Ausprägung des Symptoms Müdigkeit vor und nach dem Rennen (Kategorien der 5'Skala abgebildet, wenn > 0 %; n = Anzahl der ausgefüllten und auswertbaren Fragebögen)**

### 3.4.2 Symptome mittels Lake-Louise-Skala

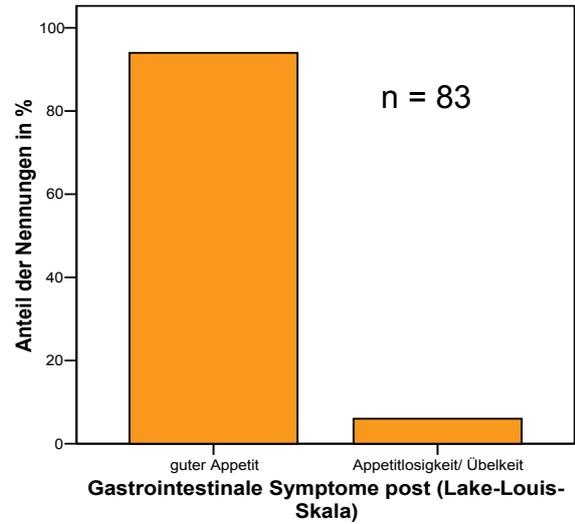
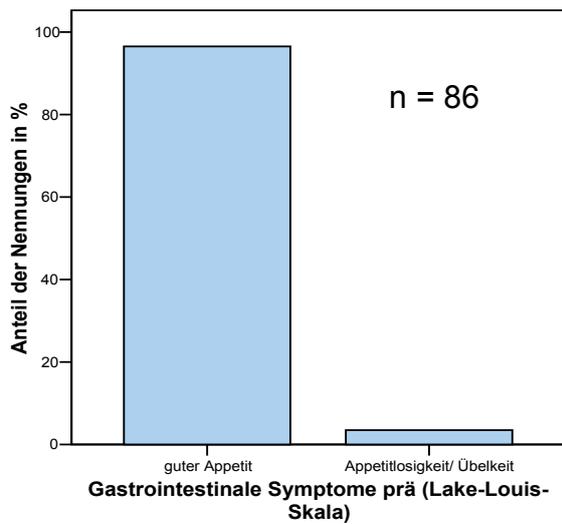
Mit Hilfe der Lake-Louise-Skala wurden 5 Symptome, die jeweils in 4 Ausprägungsgraden (nicht vorhanden bis schwer) abgefragt wurden, untersucht. Bei den Symptomen handelte es sich um: Kopfschmerzen, gastrointestinale Symptome, Mattigkeit und/oder Schwäche, Schwindel und Schlafstörungen.

Die **Abbildungen 3.4.2.-1 bis 3.4.2.-5** verdeutlichen, dass bezüglich der Symptommhäufigkeit keine signifikanten Unterschiede zwischen den Zuständen vor und nach dem Rennen bestehen. Die Mehrheit der Kameraden (je nach Symptom zwischen 65,1 und 96,5 %) gibt an, weder vor noch nach dem Rennen unter einem der abgefragten Symptome gelitten zu haben.

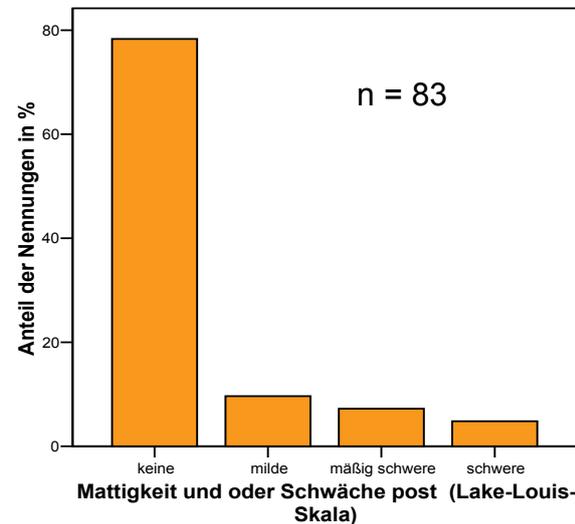
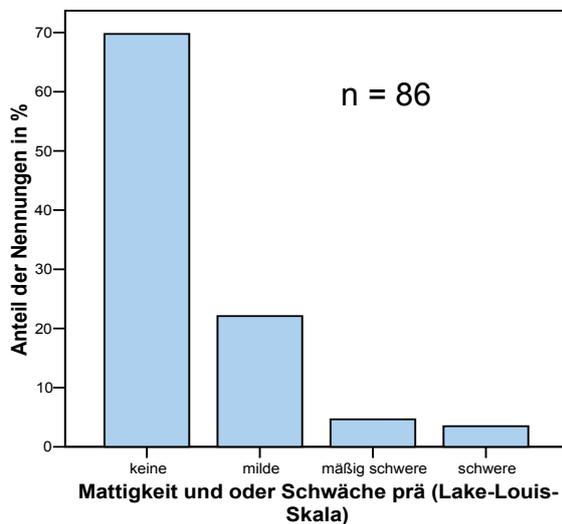
Je nach Untersuchungszeitpunkt waren zwischen 82 und 86 Fragebögen auswertbar, da nur Bögen berücksichtigt werden konnten, die vorher und nachher von demselben Teilnehmer ausgefüllt wurden (Ausfälle z.B. wegen Wachdienst s. **Kap. 2.1** und **Kap. 3.4**).



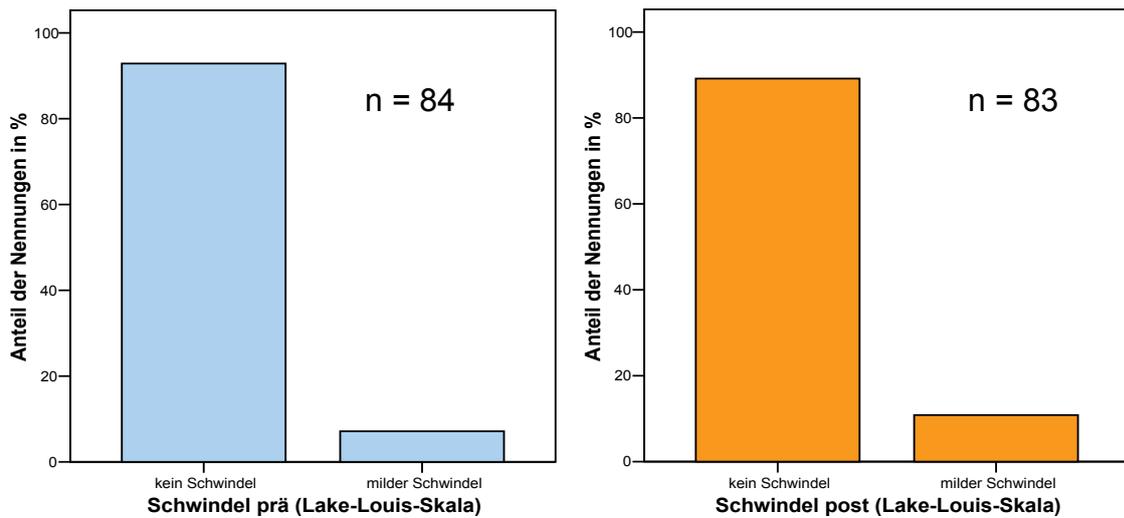
**Abb. 3.4.2.-1: Lake-Louise-Skala: Kopfschmerzhäufigkeit vor und nach dem Rennen (Kategorien der 4'Skala abgebildet, wenn > 0 %; n = Anzahl der ausgefüllten und auswertbaren Fragebögen)**



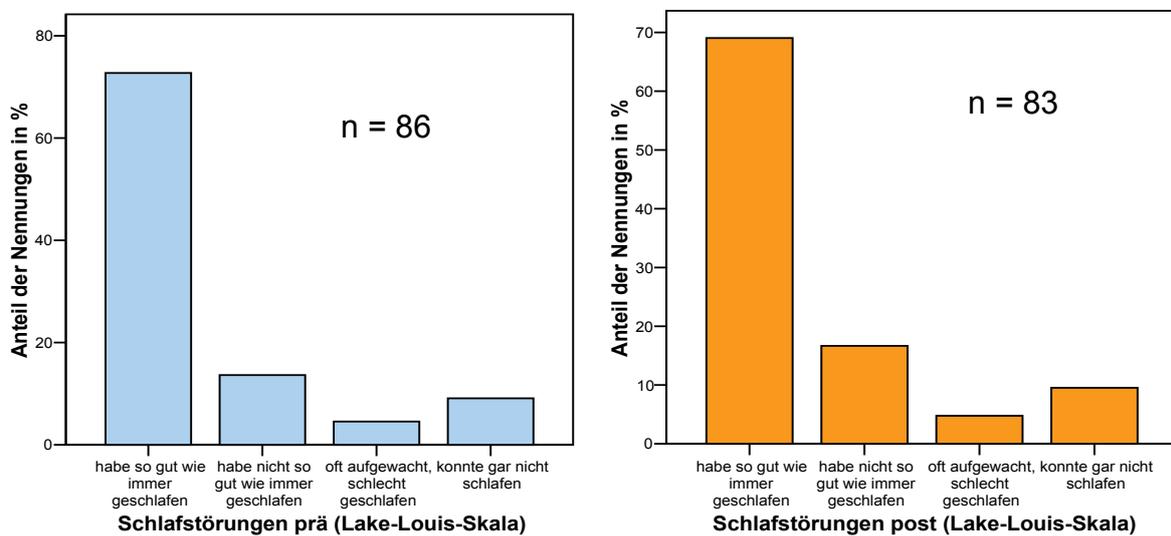
**Abb. 3.4.2.-2: Lake-Louise-Skala: Gastrointestinale Symptome vor und nach dem Rennen (Kategorien der 4'Skala abgebildet, wenn > 0 %; n = Anzahl der ausgefüllten und auswertbaren Fragebögen)**



**Abb. 3.4.2.-3: Lake-Louise-Skala: Mattigkeit und/oder Schwäche vor und nach dem Rennen (Kategorien der 4'Skala abgebildet, wenn > 0 %; n = Anzahl der ausgefüllten und auswertbaren Fragebögen)**

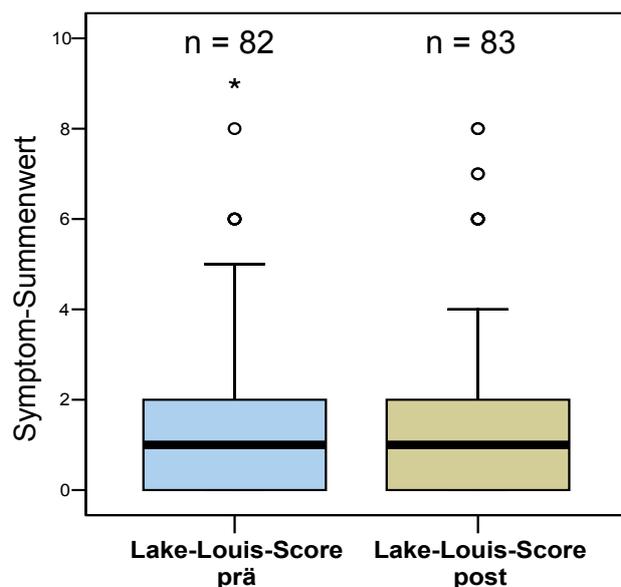


**Abb. 3.4.2.-4: Lake-Louise-Skala: Schwindel vor und nach dem Rennen (Kategorien der 4'Skala abgebildet, wenn > 0 %; n = Anzahl der ausgefüllten und auswertbaren Fragebögen)**



**Abb. 3.4.2.-5: Lake-Louise-Skala: Schlafstörungen vor und nach dem Rennen (Kategorien der 4'Skala abgebildet, wenn > 0 %; n = Anzahl der ausgefüllten und auswertbaren Fragebögen)**

Des Weiteren wurde ein Summenscore (Summe der einzelnen Symptome, die vorher mit jeweiligem Ausprägungsgrad [0-3] multipliziert wurden) aus den 5 Symptomen der Lake-Louise-Skala errechnet, und in **Abbildung 3.4.2.-6** sind die entsprechenden statistischen Kennzahlen dieser Prä- und Post- Summenwerte als Boxplots dargestellt.



**Abb. 3.4.2.-6: Lake-Louise-Score: Summenwert der 5 Symptome vor und nach dem Rennen (Summe der einzelnen Symptome, die vorher mit jeweiligem Ausprägungsgrad [0 – 3] multipliziert wurden; n = Anzahl der ausgefüllten und auswertbaren Fragebögen)**

Hier zeigt sich ebenfalls, dass sich die Ergebnisse vorher und nachher kaum unterscheiden und insgesamt auf einem eher niedrigem Niveau liegen (Prä: MW 1,48; S 2,03; Min 0; 95 %-Perzentil 6,0; Max 9,0; Post: MW 1,53; S 2,20; Min 0; 95 %-Perzentil 6,8; Max 8,0). Die mittlere Differenz zwischen den beiden Summenwerten (Score-Post minus Score-Prä) beträgt 0,05, und es besteht eine hohe Korrelation nach Pearson ( $r = 0,887$ ;  $p < 0,001$ ) zwischen dem Score vor und nach dem Rennen.

#### 4. Diskussion

Kohlenmonoxid (CO) ist ein Gas, das exogen bei unvollständigen Verbrennungen von kohlenstoffhaltigen Substanzen entsteht. Es kann in industriellen Produktionsabläufen entstehen.

Zu einem kleinen Anteil (etwa 0,4 ml CO/h) wird CO auch im menschlichen Körper selbst produziert. Das Enzym Hämoxygenase ist der ausschlaggebende Katalysator in diesem Prozess, ca. 85 % des endogenen CO werden durch Degradation von Häm gebildet, die verbleibenden 15 % entstehen durch den Abbau von Proteinen, Lipidperoxidation, Photooxidation oder bakterielle Stoffwechselprozesse (Hoetzel & Schmidt 2006).

Die Kohlenmonoxidexposition ist auch für die Bundeswehr ein nicht irrelevantes Thema. Durch den Waffeneinsatz und bei Übungen kommt es zur Freisetzung von CO, v.a. in der Raumluft der Gefechtsfahrzeuge.

Das über die Lungen aufgenommene CO gelangt schnell in die Blutbahn und verdrängt dort den Sauerstoff aus seiner Bindung zum Hb, Carboxyhämoglobin (COHb) wird gebildet. Der Sauerstofftransport wird vermindert, und es kommt zu einer Hypoxämie und nachfolgend einer Hypoxie, welche eine Beeinträchtigung sämtlicher Organe v.a. Herz und Gehirn zur Folge haben.

Angeborene wie auch erlernte Verhaltensweisen können unter CO-Belastung eingeschränkt sein, es kommt zu einer generalisierten Verlangsamung des gesamten Organismus. Wegen des hohen O<sub>2</sub>-Bedarfs reagiert vor allem das ZNS empfindlich auf eine entsprechende Unterversorgung.

Bis heute ist ein eindeutiger COHb-Schwellenwert für objektive psychointellektuelle Leistungsverminderung nicht klar festgelegt (Ramsey 1972, Fodor & Winneke 1972, Groll-Knapp et al. 1972, Winneke 1978). Benignus spricht 1977 allerdings von Zeichen einer intellektuellen und physischen Leistungsverminderung bei Werten von 5 % COHb, es kommt zu einer Abnahme des Lernen und Behaltens (Bender et al. 1972). Rechenfehler und eingeschränkte Gliedmaßenkoordination werden auch von Crocker 1984 bei Probanden mit COHb-Werten von 5 % beschrieben. Versuche durch Groll-Knapp et al. von 1972 zeigen, dass sich nach zwei Stunden

Expositionszeit mit 50, 100 und 150 ppm Reaktionen auf unvorhersehbare Ereignisse eindeutig gegenüber der Kontrollgruppe, die unbelasteter Luft ausgesetzt waren, verändert haben. Die dazugehörigen COHb-Werte lagen bei 3 %, 5,4 % und 7,6 %.

Die Fähigkeit, Reize (Gefahren/Veränderungen) aus der Umgebung adäquat wahrzunehmen und schnellstmöglich zu verarbeiten bzw. ggf. in Befehle umzuwandeln, ist für die Kameraden in Belastungssituationen von enormer Wichtigkeit. Der Besitz der vollen Leistungsfähigkeit ist für sie lebenswichtig. Diese Fähigkeit ist unter CO-Belastung nach Laties & Merigan 1979 signifikant reduziert.

Vom Institut für Arbeitsmedizin und Sozialmedizin der Heinrich-Heine-Universität Düsseldorf durchgeführte Untersuchungen (2002/2004) bezüglich der CO-Konzentration in Gefechtsfahrzeugen nach vorangegangenen Schießübungen mit Bordkanonen und Blenden-MG ergaben v.a. im Kampfpanzer Leopard 2 Typ 4A kurzfristige Grenzwertüberschreitungen des aktuell gültigen AGW, der 30 ppm beträgt.

Um abschätzen zu können, inwieweit während der Schießübung exponierte Kameraden gefährdet sind und welche psychischen und physischen Auswirkungen das CO hat, wurden Untersuchungen v.a. mittels nicht invasiver Methoden (Vigilanztest, CO-Breath-Messung und Fragebogen zu mögl. Symptomen) durchgeführt. Zusätzlich wurde eine invasive Methode eingesetzt, die COHb-Messung, zur gleichzeitigen Kontrolle der CO-Konzentration im Blut.

Ein in der vorliegenden Untersuchung durchgeführter d2-Test stellt ein solches nicht invasives Verfahren zur Erfassung möglicher Einschränkungen der Aufmerksamkeits- und Konzentrationsleistung durch die CO-Exposition dar. Dieser Test erfordert ein hohes Maß an Aufmerksamkeit und Konzentration, aber keine speziellen Fähig- und Fertigkeiten.

Die Teilnehmer wurden gebeten, jeweils an zwei Tests pro Schießübung teilzunehmen, einer vor der Übung und einer nachher, bei insgesamt drei Schießübungen.

Die wichtigsten Parameter zur Untersuchung und zur Auswertung sind die Gesamtzahl (GZ = alle bearbeiteten Zeichen), der Fehlerrohwert (F = Summe aller Fehler), die Gesamtleistung (GZ-F = einfach fehlerkorrigierte Leistungsmenge), die Schwankungsbreite (SB = Differenz zwischen maximaler und minimaler Teilzeitleistung) und die Konzentrationsleistung (KL = Anzahl der richtig durchgestrichenen Zeichen, abzüglich der Verwechslungsfehler).

Um die erbrachte Leistung der Teilnehmer in dem d2-Test einschätzen zu können, wurden diese Parameter zunächst mit den Normwerten für Männer und Frauen zwischen 19 und 39 Jahren verglichen. Da bei Erwachsenen, im Gegensatz zu Kindern, keine signifikanten geschlechtsspezifischen Differenzen gefunden wurden, wurde auf eine getrennte Normierung verzichtet.

Hier zeigte sich, dass die Mediane der Teilnehmer für jeden einzelnen Parameter höher als die der Norm sind (z.B. Median der Konzentrationsleistung: Teilnehmer: 205,5 versus Norm: 165, Median der Gesamtzeichen: Teilnehmer: 532,2 versus Norm: 381-387).

Zunächst werden die einzelnen Ergebnisse (vorher und nachher bzw. prä und post) der Rennen zusammengefasst diskutiert: Hier zeigt sich in der Leistungsentwicklung der Teilnehmer v. a. von Rennen 1 zu Rennen 2 eine deutliche Steigerung. Die Ergebnisse von 2 nach 3 verändern sich kaum und bleiben weitgehend gleich.

Sämtliche Mittelwerte der Parameter (Gesamtzeichen, Gesamtleistung, Konzentrationsleistung und Fehlerzahl) steigen nach dem 1. Rennen an (z.B. MW der Gesamtleistung 463,4 (R1) auf 527,0 (R2) und liegt für R3 bei 527,6). Die Fehlerzahl nimmt ab.

Die Teilnehmer werden also nach dem ersten Durchlauf des Testes deutlich besser. Bearbeitungsmenge und –tempo steigen, ebenso die Konzentrationsleistung und die Bearbeitungssorgfalt, was an der sinkenden Fehlerzahl zu sehen ist.

Die steigende Leistung ist höchst wahrscheinlich auf einen Trainingseffekt zurückzuführen sowie auf die vorangegangene Konzentrationsleistung während der Gefechtsübung, die hier weitgehend noch präsent ist.

Die Schwankungsbreite (SB) nimmt bis in das 2. Rennen hin zu, sie wird dann geringer und bleibt im Weiteren relativ konstant. Hier gab es demnach anfangs eher Schwierigkeiten, das Arbeitstempo konstant zu halten, was zum Ende hin kein Problem mehr war.

Das Ablegen des Testes vor und nach einem Rennen ermöglicht einen Vergleich der Ergebnisse zwischen vorher (vor der Exposition) und nachher (nach der Exposition). Auch hier ist in jedem Rennen für jeden Parameter (abgesehen von SB) eine Steigerung der Leistungen zwischen vorher und nachher zu erkennen, besonders auffällig im 1. Rennen. Der Mittelwert der angekreuzten Gesamtzeichen z.B., steigt im 1. Rennen von vorher zu nachher um ca. 10 % (von 467,0 auf 506,4). Betrachtet man alle drei Rennen zusammen liegen die Mittelwerte hierfür zu vorher und nachher bei 512,4 bzw. 535,9, die gepaarte Differenz für den Mittelwert bei -23,5 ( $T = -6,6$ ;  $df = 86$ ;  $p < 0,01$ ). Ein ähnlicher Verlauf mit kleinen Abweichungen zeigt sich auch für die anderen Parameter.

Mit steigendem Kohlenmonoxidgehalt im Blut kann es zur Gefahr einer Minderung der Leistungsfähigkeit kommen.

Im Rahmen von 11 Schießübungen wurden insgesamt 262 kapilläre Blutproben vor (prä mit  $n = 88$ ), nach (post mit  $n = 88$ ) und 2 Stunden (post 2 h mit  $n = 86$ ) nach dem Schießen entnommen und direkt auf ihren prozentualen COHb-Gehalt untersucht. Diese gemessenen COHb-Werte wurden später genutzt, um die Validität der CO-Breath-Messung (s.u.) zu prüfen, indem die gemessenen COHb-Werte mit den berechneten COHb-Werten verglichen wurden (s.u.).

Die mittleren und medianen Werte zeigen deutlich, dass sämtliche gemessenen COHb-Konzentrationen unterhalb des biologischen Grenzwertes (BGW) von 5 % liegen (2,27-2,33 % bzw. 2,20-2,30 %).

Alle drei Untersuchungssituationen unterscheiden sich bezüglich der Ergebnisse kaum, die Werte nach dem Schießen sind nur geringfügig höher als vor dem Schießen (prä: MW 2,27 %; post: MW 2,33 %).

In der Literatur werden unterschiedliche Laborexperimente beschrieben, die untersuchen, wie lange eine bestimmte CO-Konzentration kontinuierlich eingeatmet wird, um einen bestimmten COHb-Wert zu erreichen.

Zum Großteil wurden Auswirkungen unterschiedlicher COHb-Konzentrationen auf bestimmte Fähigkeiten, wie z.B. Koordination und Konzentration, untersucht:

Bender et al. 1972 setzten ihre Versuchspersonen (n = 42, 50 % Nichtraucher, 50 % Raucher, die 10 h vor Beginn der Untersuchung nicht geraucht haben) 2,5 h kontinuierlich einer CO-Konzentration von 100 ppm aus. Nach 2,5 h wurde eine mittlere COHb-Konzentration von 7,24 % erreicht. Die Teilnehmer mussten keinerlei körperliche Anstrengungen unternehmen und saßen während der Untersuchung auf einem Stuhl.

Nach der Exposition zeigten sich bei den Teilnehmern leichte, aber signifikante Leistungseinbußen, während sie Aufgaben an einer Stecktafel absolvierten.

1976 untersuchten Putz et al. 30 junge Männer und Frauen, welche in 3 Gruppen mit je 10 Personen einer CO-Konzentration von 5, 36 und 74 ppm für 4 h ausgesetzt wurden. Am Ende der Exposition zeigte sich ein durchschnittlicher COHb-Wert von 1 %, 3 % und 5,1 %. Während dessen mussten die Teilnehmer halbstündig für 55 s mit einem Joystick auf einem Bildschirm einen kleinen weißen Zielpunkt fixiert halten. Erschwert wurde dieses durch unvorhersehbare vertikale Bewegungen seitens des Punktes. Erst während der 4. Stunde der Exposition, bei einem COHb-Wert von rund 5 %, kam es zu einem Fehleranstieg bei jedoch nur stark oszillierenden Bewegungen des Punktes.

Putz wiederholte eine ähnliche Studie 1979 (4 h 76 ppm). Das Ergebnis war reproduzierbar.

Luria & McKay fanden 1979 nach einer 3-stündigen CO-Exposition (195 ppm) einen mittleren COHb-Wert von 9 %.

2005 führten Gu et al. eine Untersuchung an Ratten durch, die für 5 Minuten unbelasteter Luft oder einer von sechs CO-Konzentrationen (1.000, 3.000, 6.000, 10.000, 12.000 oder 24.000 ppm) ausgesetzt wurden.

Ratten aus den Gruppen mit den beiden höchsten Expositionskonzentrationen (12.000 und 24.000 ppm) hatten einen pH-Wert von < 6,87 und einen COHb-Wert von > 82 %. Nicht selten kam es in diesen Gruppen zu Todesfällen. In den 3 Gruppen ≤ 6.000 ppm kam es zu keinem Todesfall, obwohl auch hier COHb-Werte

von 14,52 %, 29,94 % und 57,24 % erreicht wurden. Diese Ergebnisse zeigen, dass kurze CO-Belastungen von  $< 1.000$  ppm auch relevante physiologische Veränderungen hervorrufen. CO-Werte  $> 10.000$  ppm für eine Zeit von 5 Minuten können das Atemminutenvolumen verändern, akute Atemprobleme hervorrufen, eine Azidose verursachen und letztlich tödlich enden.

Sokal berichtet 1975 von einem Versuch mit Ratten, die zum einen einer CO-Exposition von 10.000 ppm für 4 Minuten und zum anderen einer CO-Exposition von 4.000 ppm für 40 Minuten ausgesetzt waren. In beiden Fällen zeigte sich am Ende ein COHb-Wert von 50 %. Auch hier wurde eine Abnahme des pH-Wertes, eine Zunahme der Glucose, des Laktat und des Pyrovat dokumentiert. Diese Auswirkungen zeigten sich extremer in der „länger-weniger“ Variante.

Raucher sind wegen des CO-Anteils im aktiven Rauchstrom grundsätzlich gegenüber Kohlenmonoxid exponiert. Nach dem Raucherstatus differenziert, zeigt sich in der vorliegenden Untersuchung, dass die Raucher ( $n = 56$ ) in den drei Untersuchungssituationen (prä, post und post 2 h) hochsignifikant höhere COHb-Konzentrationen aufweisen als die Nichtraucher ( $n = 30$ , z.B. MW prä: NR 0,80 % versus R 3,02 %; T-Test für unabhängige Stichproben:  $t = -9,93$ ;  $df = 86$ ;  $p < 0,001$ ). Tirpitz verdeutlicht in seinem Artikel von 1998, dass Raucher einen höheren COHb-Wert aufweisen als Nichtraucher. Mit 15-20 Zigaretten/Tag kann ein COHb-Wert von 5-7 % erreicht werden, Werte von 11-21 % bei 30-80 Zigaretten/Tag.

Turner et al. berichteten 1986 in ihrer Untersuchung von einem durchschnittlichen COHb-Wert von 4,78 % bei Rauchern; 94,7 % haben eine COHb-Konzentration von  $> 1,7\%$ .

In unserer Untersuchung liegen ab dem 95 %-Perzentil alle Werte der COHb-Bestimmung knapp über der 5 %-Grenze (prä: 5,09 %, post: 5,07 %, post 2 h: 5,36 %). Diese Werte werden ausschließlich von den Rauchern erreicht. Der Maximalwert, der von einem Raucher stammt, überschreitet mit 5,9 % (prä), 5,7 % (post) und 6,7 % (post 2 h) den BGW.

Im Vergleich der Ergebnisse vor und direkt nach dem Schießen, sieht man bei den Nichtrauchern eine Steigerung der mittleren COHb-Konzentration um 0,33 Einheiten auf 1,13 % COHb (T-Test für gepaarte Stichproben:  $t = -5,74$ ;  $df: 29$ ;  $p < 0,001$ ), die nach zwei Stunden aber wieder zum Ausgangswert zurückgeht.

Bei den Rauchern hingegen zeigt sich eine leichte Verringerung der Werte nach dem Schießen im Mittel um 0,08 Einheiten auf 2,94 % COHb.

Es kommt also innerhalb des Zeitraumes zwischen der Blutentnahme vor und nach dem Rennen insgesamt zu einer leichten „CO-Abatmung“ bei den Rauchern. Dies erklärt sich dadurch, dass sie während dieser Zeit nicht rauchten.

Alle Teilnehmer wurden gebeten, während der Untersuchung nicht zu rauchen. Dies wurde nach den Ergebnissen zu urteilen zwischen den Prä- und Postuntersuchungen weitgehend so eingehalten. Allerdings zeigt der mittlere Anstieg um 0,26 Einheiten zwischen der Post- und Post 2 h-Untersuchung (T-Test für gepaarte Stichproben:  $t = -3,51$ ;  $df = 55$ ;  $p < 0,01$ ), dass die Raucher sich in diesem Zeitraum nicht an die Vorgabe gehalten haben.

Mit dem mobilen CO-Breath-Gerät kam ein weiteres nicht invasives Verfahren zum Einsatz. Mit diesem Gerät ist es möglich, zusätzlich zu den Untersuchungszeitpunkten (vor, nach und 2 h nach dem Rennen), die alveoläre CO-Konzentration direkt nach dem Schießen noch auf der Panzerplatte zu ermitteln. Für diese Untersuchung stehen insgesamt 326 dokumentierte Messdaten zur Verfügung.

Die mittleren und medianen CO-Breath-Konzentrationen liegen mit 12,68-13,97 ppm bzw. 11,50-13,00 ppm deutlich unterhalb des AGW von 30 ppm.

Da kein eigener CO-Breath-Grenzwert existiert, wurde hier zum Vergleich der AGW genutzt.

Das Maximum der CO-Breath-Konzentration liegt bei 41 ppm (Prä-Wert), ebenso liegen die anderen Werte mit 36 ppm (Panzerplatten-Wert), 35 ppm (Post-Wert) und 39 ppm (Post-2 h-Wert) deutlich über 30 ppm. Diese Ergebnisse gehören zu einem rauchenden Teilnehmer.

2002 führten Cunnington und Hornbrey eine CO-Breath-Untersuchung an 382 Probanden durch. Die Nichtraucher erreichten Werte von 0 bis 6 ppm CO, die Raucher Werte von 1 bis 68 ppm CO mit einer durchschnittlichen CO-Breath-Konzentration von 16,4 ppm, diese stieg proportional zur Anzahl gerauchter Zigaretten.

Vergleicht man die Messwerte vor dem Schießen mit denen direkt nach dem Schießen, zeigt sich hier eine nur geringfügige Erhöhung der alveolären CO-

Konzentrationen nach dem Schießen. Dies entspricht auch den Ergebnissen der COHb-Untersuchung.

Der AGW mit 30 ppm wird bis einschließlich zum 91 %-Perzentil in keiner der vier Untersuchungssituationen erreicht. Betrachtet man - den Raucherstatus unberücksichtigt - nur die Situation direkt nach dem Schießen auf der Panzerplatte, so wird hier der AGW für das 95 %-Perzentil mit 29 ppm nahezu erreicht.

66 % der Teilnehmer sind Raucher. Im Vergleich zu den Nichtrauchern ist bei den Rauchern eine statistisch hoch signifikant höhere CO-Konzentration in der Ausatemluft zu allen Untersuchungszeitpunkten zu sehen (z.B. MW prä NR 2,46 ppm versus R 17,98 ppm; T-Test für unabhängige Stichproben:  $t = -10,34$ ;  $df = 86$ ;  $p < 0,001$ ).

Low et al. zeigen dies 2004 in einer CO-Breath-Untersuchung an 155 Kameraden der Navy. Der durchschnittliche CO-Breath-Wert lag bei  $11,6 \pm 6,2$  ppm für Raucher und für Nichtraucher bei  $1,9 \pm 0,9$  ppm.

Bei den Nichtrauchern zeigt sich im Verlauf unserer Untersuchung ein Anstieg der CO-Konzentration. Die Messwerte direkt nach dem Schießen auf der Panzerplatte zeigen eine hoch signifikante Erhöhung im Vergleich zu vorher, im Mittel um 2,29 ppm auf 4,75 ppm, (T-Test für gepaarte Stichproben:  $t = -6,78$ ;  $df = 23$ ;  $p < 0,001$ ).

Nach zwei Stunden fällt dieser Wert auch nur geringfügig wieder ab (im Mittel auf 4,0 ppm).

Die gemessenen CO-Konzentrationen der Raucher hingegen sind relativ konstant.

Die mittleren Werte für die ersten drei Untersuchungssituationen (vorher, nachher auf der Panzerplatte und nachher im Lager Ostenholz) zeigen kaum Unterschiede und liegen bei etwa 18 ppm (prä: 17,98 ppm; post Panzerplatte: 18,20 ppm; post: 17,60 ppm).

Die Umrechnung der ermittelten CO-Breath-Werte in einen entsprechenden COHb-Wert kann mittels folgender Formel ( $COHb = -0,28 + 0,175 \text{ ECO}$  (ECO = Exhaled Carbon Monoxide in ppm)) erfolgen. Diese Umrechnung ermöglicht einen Vergleich zwischen den gemessenen und den errechneten COHb-Werten. Der beschriebene Verlauf für Nichtraucher und Raucher findet sich auch hier für alle vier Zeitpunkte: prä, post auf der Panzerplatte, post und post 2 h wieder.

Die gemessenen Werte korrelieren mit den berechneten Werten (z.B. post:  $r = 0,97$ ;  $p < 0,001$ ) und zeigen eine relativ geringe Differenz zwischen den entsprechenden Wertepaaren.

Die gemessenen und berechneten COHb-Werte stehen zu allen drei Zeitpunkten (prä, post und post 2 h) in einer linearen Beziehung zueinander, was für die Validität der CO-Breath-Bestimmung spricht.

Jarvis et al. veröffentlichten 1986 eine Studie, in der sie die Messgenauigkeit von transportablen Geräten zur Erfassung der CO-Konzentration in der Ausatemluft untersuchten. An dieser Studie nahmen 72 Probanden teil. Zwei Geräte wurden untersucht, und die Ergebnisse wurden mit den COHb-Werten des entsprechenden Teilnehmers verglichen.

Die Werte der Ausatemluft korrelierten sehr eng mit den gemessenen Blutwerten und ergaben somit ähnliche Ergebnisse wie in der vorliegenden Untersuchung.

Die CO-induzierte Hypoxämie und die Gewebhypoxie sind im Wesentlichen für die Symptome einer CO-Intoxikation verantwortlich. Lebensbedrohlich werden COHb-Werte ab ca. 25 % (Schulte 1963), es kommt hier zu Symptomen wie Bewusstseins Einschränkungen, Lähmungen, Kreislaufkollaps und flacher Atmung, COHb-Konzentrationen  $> 70$  % sind innerhalb weniger Minuten tödlich (Henschler 1998). Aber auch schon Werte unter 20 % können Symptome hervorrufen, hierbei handelt es sich meist um Schwindel, Schwachheit, Kopfschmerzen Müdigkeit, Erbrechen, Gliederschmerzen, Ohrensausen, fehlende Koordination und mangelnde Entscheidungsfähigkeit (Schulte 1963) sowie Benommenheit, Augenflimmern, Störung der Sehschärfe und Konzentrationsschwäche (Henschler 1998, Zorn 1973).

Als weitere nicht invasive Möglichkeit, die CO-Beanspruchung der Kameraden zu untersuchen, kommen drei verschiedene Fragebogen zum Einsatz. Mittels dieser Fragebogen, welche die Teilnehmer zu definierten Zeiten (vor dem Schießen, nachher und 2 h nachher) ausgefüllt haben, werden Daten zum aktuellen Wohlbefinden, zu typischen Symptomen einer CO-Vergiftung, zur Raucheranamnese, zur Medikamenteneinnahme und Getränken, zur Selbsteinschätzung des aktuellen

Gesundheitszustandes und der Leistungsfähigkeit sowie Daten zu einer Symptomeinschätzung anhand des Lake-Louise-Scores ermittelt.

Der Lake-Louise-Score ist ein bewährter Fragebogen zur Analyse der akuten Höhenkrankheit:

Er ist international anerkannt und bewertet den Grad einer Höhenerkrankung, welche ab 2500 m Höhe durch den sinkenden Sauerstoffpartialdruck auftreten kann. Sauerstoff wird vermindert durch die Lungen aufgenommen, so dass der Sauerstoffgehalt im Blut sinkt. Es kommt zu Symptomen wie: Erschöpfung, Kopfschmerzen, Schwindel, Halluzinationen, Schlaf- und Appetitlosigkeit. Diese Symptome gleichen denen, die durch die Sauerstoffverdrängung bei CO-Exposition entstehen. Der Lake-Louise-Score wurde so als weiterer Fragebogen zum Vergleich eingesetzt.

Ziel der Einsetzung der Fragebogen ist es, näher auf die Symptome einer Kohlenmonoxidvergiftung einzugehen.

Zur Repräsentation des Testergebnisses der ersten Frage wurden 8 der insgesamt 21 Symptome ausgewählt, die in 5 Ausprägungsstufen eingeteilt sind (gar nicht bis stark). Die Auswertung zeigt, dass weder vor noch nach dem Rennen einer der teilnehmenden Kameraden an einem dieser Symptome Schwindel, Kopfschmerzen, Benommenheit, Augenflimmern, Gleichgewichtsstörungen, Störung der Sehschärfe, Konzentrationsschwäche oder Müdigkeit litt. Bei der Mehrzahl der Kameraden lag keines der erfragten Symptome vor.

Was die Häufigkeit der Symptome betrifft, gibt es keine signifikanten Unterschiede zwischen den Ergebnissen vor und nach dem Rennen.

Eine Ausnahme macht das Symptom „Müdigkeit“. Hier wird von den Kameraden eine deutlich geringere Ausprägung nach dem Rennen angegeben als vor dem Rennen. Dieser Unterschied ist hoch signifikant (Wilcoxon-Test für zwei verbundene Stichproben:  $z = -3,51$ ;  $p < 0,001$ ).

Anhand der zweiten Frage werden 5 Symptome mittels Lake-Louise-Score, die jeweils in 4 Ausprägungsgraden (nicht vorhanden bis schwer) abgefragt werden, untersucht. Bei den Symptomen handelt es sich um: Kopfschmerzen, gastrointestinale Symptome, Müdigkeit und/oder Schwäche, Schwindel und Schlafstörungen.

Die Untersuchung zeigt bezüglich der Symptommhäufigkeit keine signifikanten Unterschiede zwischen den Werten vor und nach dem Rennen (Prä: MW 1,48, Post: MW 1,53). Die Mehrheit der Kameraden gibt an, weder vor noch nach dem Rennen unter einem der abgefragten Symptome gelitten zu haben.

Dass sich die Ergebnisse vorher und nachher kaum unterscheiden und insgesamt auf einem eher niedrigen Niveau liegen (prä: MW 1,48; S 2,03; Min 0; 95 %-Perzentil 6,0; Max 9,0; post: MW 1,53; S 2,20; Min 0; 95 %-Perzentil 6,8; Max 8,0) repräsentiert auch ein aus den 5 Symptomen der Lake-Louise-Skala errechneter Summenscore. Die mittlere Differenz zwischen den beiden Summenwerten (Score-post minus Score-prä) beträgt 0,05, und es besteht eine hohe Korrelation nach Pearson ( $r = 0,887$ ;  $p < 0,001$ ).

Nach diesen Ergebnissen ist anzunehmen, dass die Kameraden zwar einer kurzzeitigen Kohlenmonoxidbelastung ausgesetzt sind, aber diese nicht hoch genug ist bzw. lang genug anhält, um eine akute geistige oder körperliche Leistungsminderung nachweisen zu können.

Während der Übungen kommt es immer wieder zu diesen kurzfristigen Spitzenbelastungen (Werte, die oberhalb des AGW von 30 ppm liegen), die aber nur einige Sekunden andauern, und damit nicht mit Industriearbeitsplätzen zu vergleichen ist bei denen es zu einer CO-Belastung über 8 h kommt – für diesen Zeitraum ist der AGW von 30 ppm definiert.

## 5. Zusammenfassung

Einer von vielen bekannten Gefahrstoffen, vor allem im beruflichen Umfeld, ist das Kohlenmonoxid. Heutige Einsatzgebiete liegen in der Großindustrie zur Herstellung von Reineisen, und wichtige Emissionsquellen sind Verbrennungsprozesse bei ungenügender Sauerstoffzufuhr. Endogen wird Kohlenmonoxid im menschlichen Körper während des Hämoglobinabbaus produziert, weshalb es auch bei nicht belasteten Personen zu finden ist. Die Einschätzung gegenüber der potentiellen Gefahr einer CO-Exposition ist durch seine farb- und geruchlose Eigenschaft oft schwierig. Die CO-Aufnahme erfolgt über die Lunge, von hier aus gelangt es ins Blut und bindet dort, unter Verdrängung des Sauerstoffs, an das Hämoglobin. CO behindert so den O<sub>2</sub>-Transport und wirkt zudem noch zelltoxisch. Besonders empfindlich reagieren Organe, die auf einen aeroben oxidativen Stoffwechsel angewiesen sind, wie Herz-, Nerven- und Gefäßsystem.

Seit fast 80 Jahren ist Kohlenmonoxid ein typischer Vertreter der Erstickungsgase und hinsichtlich der Arbeitsplatzkonzentrationen gibt es klare regulatorische Richtlinien, um Vergiftungen weitestgehend zu vermeiden. Der Arbeitsplatzgrenzwert (AGW) mit 30 ppm und der Biologische Grenzwert (BGW) mit 5 % COHb im Vollblut sind einzuhalten.

Untersuchungen des Instituts für Arbeitsmedizin und Sozialmedizin der Heinrich-Heine-Universität Düsseldorf von 2002/2004 bezüglich der CO-Konzentration in Gefechtsfahrzeugen nach Schießübungen zeigen kurzfristige Grenzwertüberschreitungen des AGW bzw. BGW.

Das Ziel der vorliegenden Arbeit liegt darin, die Auswirkung dieser Kohlenmonoxidbelastung während Übungen oder auch gefechtsähnlicher Bedingungen von Bundeswehrkameraden zu untersuchen und zu beurteilen.

Mittels nicht invasiver Methoden wie der CO-Breath-Messung (zur Messung der CO-Konzentration in der Ausatemluft), einem d2-Test und standardisierten Fragebogen zu aktuellen gesundheitlichen Symptomen soll die Auswirkung der CO-Belastung erfasst und bewertet werden. Zur Validierung der CO-Breath-Messung erfolgte eine COHb-Bestimmung. Hierfür wurde den Kameraden jeweils vor einer Übung, nach

einer Übung und nach 2 h Blut aus dem arterialisierten Ohrläppchen entnommen und der COHb-Wert ermittelt.

An 4 Übungstagen fanden Untersuchungen auf dem Truppenübungsplatz Lager Ostenholz statt. Insgesamt 34 junge Männer, Besatzung des Leopard 2 A 4, hatten sich nach einer medizinischen Voruntersuchung freiwillig zur Verfügung gestellt.

Jeder Teilnehmer wurde in einer bestimmten Gruppe (A-D) von jeweils 8 Personen einem Panzer zugeteilt. Möglichst drei Schießübungen (Rennen) sollten zu festgelegten Zeiten durchlaufen werden.

Insgesamt 22 der Teilnehmer legten alle 3 Rennen ab. Gruppe D konnte aus organisatorischen Gründen ihr drittes Rennen nicht durchlaufen und 2 Teilnehmer mussten aufgrund von Wachdiensten im dritten Rennen ausfallen. Für die beiden Teilnehmer, die wegen Wachdiensten ausfielen, wurde ein Ersatz gestellt, der nur am dritten Rennen teilnahm.

Vor dem Rennen erfolgten eine kapilläre Blutentnahme, eine CO-Breath-Messung, das Ausfüllen des Fragebogens und ein d2-Test. Danach wurden die Kameraden zur Panzerplatte gefahren und durchliefen die Schießübung. Direkt danach wurde eine weitere CO-Breath-Messung durchgeführt mit anschließendem Transfer in das Lager zurück. Hier kam es zur zweiten Blutentnahme, zur dritten CO-Breath-Untersuchung und zum zweiten Ausfüllen des Fragebogens sowie zum zweiten Durchlauf des d2-Tests. Zwei Stunden später wurden eine dritte Blutentnahme, eine vierte CO-Breath-Messung und ein dritter Fragebogen (jeweils identische Items) durchgeführt.

Die mittleren und medianen Werte des COHb-Gehaltes der Blutuntersuchungen lagen alle unter dem aktuellen BGW von 5 % (2,27-2,33 % bzw. 2,20-2,30 %).

Die Ergebnisse aller drei Untersuchungssituationen unterschieden sich nicht wesentlich. Nach dem Schießen lagen die COHb-Werte nur geringfügig höher (prä: MW 2,27 %; post: MW 2,33 %).

Ein deutlicher Unterschied zeigte sich im Vergleich zwischen Rauchern und Nichtrauchern. Die Raucher wiesen in allen drei Untersuchungen höhere COHb-Konzentrationen auf (z. B. MW prä: NR 0,80 % versus R 3,02 %). Raucher sind von vornherein schon gegenüber Kohlenmonoxid durch den aktiven Rauchstrom

exponiert. Die Werte ab dem 95 %-Perzentil lagen über der 5 %-Grenze und wurden ausschließlich von den Rauchern erreicht.

Die Maximalwerte (prä: 5,9 %, post: 5,7 %, post 2 h: 6,7 %) der Untersuchungen stammen von einem rauchenden Teilnehmer.

Im Vergleich zwischen dem COHb-Wert vor und direkt nach dem Schießen kam es bei den Nichtrauchern zu einer leichten Erhöhung der COHb-Konzentration im Mittel um 0,33 Einheiten auf 1,13 % COHb, bei den Rauchern hingegen zeigte sich eine geringe Verringerung der Werte im Mittel um 0,08 Einheiten auf 2,94 % COHb nach dem Schießen.

Zur Untersuchung der alveolären CO-Konzentration wurde eine nicht invasive Methode angewandt, die CO-Breath-Messung. Die mittleren und medianen CO-Breath-Konzentrationen lagen deutlich unterhalb des Arbeitsplatzgrenzwertes (30 ppm).

Ähnlich dem COHb-Wert gehört auch hier der ermittelte Maximalwert einem rauchenden Teilnehmer. Für diesen konnte man bei allen Untersuchungssituationen ein Überschreiten des AGW feststellen.

Zu allen Untersuchungszeitpunkten zeigten sich statistisch signifikante Anstiege der CO-Konzentrationen in der Ausatemluft der Raucher ( $p < 0,001$ ).

Bei den Nichtrauchern kam es im Verlauf der Untersuchung zu einem Anstieg des CO-Gehaltes in der Ausatemluft. Vor allem direkt nach dem Schießen, noch auf der Panzerplatte, war ein signifikanter Messwert ermittelbar ( $p < 0,001$ ), der sich auch nach weiteren zwei Stunden kaum veränderte.

Die Messwerte der Raucher blieben während der unterschiedlichen Untersuchungen relativ konstant.

Zur Validierung der CO-Breath-Messung erfolgte eine COHb-Bestimmung. Mittels folgender Formel ( $\text{COHb} = -0,28 + 0,175 \text{ ECO}$ ) konnten die gemessenen CO-Breath-Werte in COHb-Werte umgerechnet werden. Vergleicht man die gemessenen mit den berechneten COHb-Werten, so zeigt sich eine hohe Korrelation (Beispiel post-Werte:  $r = 0,97$ ;  $p < 0,001$ ) sowie eine relativ geringe Differenz zwischen den entsprechenden Wertepaaren. Dies gilt ebenso für die anderen Zeitpunkte.

Auch der bekannte Verlauf für Raucher und Nichtraucher spiegelt sich in den Berechnungen wider.

Der d2-Test ermöglichte die Erfassung von Einschränkungen der Aufmerksamkeit und Konzentration: Ein Vergleich der einzelnen Parameter (Gesamtzeichen, Gesamtleistung, Konzentrationsleistung und Schwankungsbreite) der Teilnehmer mit den Normwerten für Männer und Frauen zwischen 19 und 39 Jahren ergab für jeden Parameter der Kameraden einen deutlich höheren medianen Wert.

In der Betrachtung der einzelnen Gesamtrennen wurde ein Mittelwert aus dem MW vorher und nachher erstellt. Dies wurde für alle relevanten Parameter berechnet, und es zeigte sich ein Anstieg der Leistung der Teilnehmer vor allem von Rennen 1 zu Rennen 2 für die Parameter Gesamtzeichen, Gesamtleistung, Konzentrationsleistung und Fehlerzahl.

Die Ergebnisse von Rennen 2 zu Rennen 3 blieben weitestgehend gleich mit Ausnahme der Fehlerzahl, die sich von Rennen 2 zu 3 noch einmal deutlich verringerte.

Die Schwankungsbreite stieg bis in das 2. Rennen, fiel danach etwas ab und blieb im Weiteren dann relativ konstant.

Ein ähnliches Ergebnis zeigte sich auch im Vergleich der Mittelwerte „vorher“ und „nachher“ der einzelnen Rennen. Für die Parameter GZ, GZ-F und KL ist in jedem Rennen zwischen vorher und nachher ein Leistungsanstieg zu erkennen, besonders deutlich innerhalb des ersten Rennens. Die Schwankungsbreite erhöhte sich im ersten Rennen zunächst, blieb dann auch hier konstant.

Die Fehlerzahl fiel bis zum 3. Rennen.

Die Leistungssteigerung ist sehr wahrscheinlich auf einen Trainingseffekt zurückzuführen sowie auf die vorangegangene Konzentrationsleistung während der Gefechtsübung, die hier weitgehend noch präsent ist.

Die Befragung nach möglichen Symptomen, die allgemein bereits bei Werten unter 20 % COHb auftreten, wie z. B. Schwindel, Kopfschmerz, Benommenheit, Augenflimmern, Gleichgewichtsstörung, Störung der Sehschärfe, Konzentrationschwäche und Müdigkeit ergab, dass der überwiegende Teil der Kameraden auch

vor und nach der Untersuchung an einem dieser Symptome litt. Es waren aber keine signifikanten Unterschiede nach der Exposition zu „vorher“ zu erkennen.

Die Abnahme der Müdigkeit nach dem Rennen ist signifikant ( $p < 0,001$ ), was sehr wahrscheinlich an der noch präsenten gesteigerten Aufmerksamkeit während des Rennens lag.

Die akute Höhenkrankheit, ebenfalls ausgelöst durch Sauerstoffmangel, zeigt dieselben Symptome, wie sie teilweise bei einer CO-Intoxikation zu finden sind. Ein bewährter Fragebogen zur Analyse der Höhenkrankheit ist der Lake-Louise-Score, den wir für die Untersuchungen nutzten.

Bei den abgefragten Symptomen handelte es sich um Kopfschmerzen, gastrointestinale Symptome, Mattigkeit und/ oder Schwäche, Schwindel und Schlafstörungen. Auch hier zeigten sich bezüglich der Symptommhäufigkeit keine signifikanten Unterschiede zwischen dem Befinden der Kameraden vor und nach dem Rennen. Mindestens 70 % der Kameraden gaben bei der Befragung an, an keinem der Symptome vorher oder nachher gelitten zu haben. Ein errechneter Summenscore aus den 5 Symptomen des Lake-Louise-Scores zeigte, dass sich die Ergebnisse vorher und nachher kaum unterscheiden und insgesamt nur auf einem niedrigem Niveau liegen.

## 6. Literatur

- Agostoni A, Stabilini R, Viggiano G, Luzzana M, Samaja M:** Influence of capillary and tissue pO<sub>2</sub> on carbon monoxide binding to myoglobin. *Microvasc Res*; 20 (1), 81 – 87, 1980
- Angerer J, Gündel J:** Biomonitoring and occupational medicine. Possibilities and limitations. *Ann 1<sup>st</sup> Super Sanita* 32 (2) , 199 – 206, 1996
- Antonini E, Brunori M:** Hemoglobin and Myoglobin in their reactions with ligands. North Holland Publishing Company. Amsterdam, London; 302 – 304, 309 – 316, 320 – 327, 1971
- Ausschuss für Gefahrstoffe:** TRGS 900 – Arbeitsplatzgrenzwerte. BArbBl. 1/2006, S.41; 12/2006 S.172, online unter: [http://www.umwelt-online.de/regelwerk/t\\_regeln/trgs/trgs900/mak\\_ges.htm](http://www.umwelt-online.de/regelwerk/t_regeln/trgs/trgs900/mak_ges.htm), Zugriff am: 26.03.2007
- Ausschuss für Gefahrstoffe:** TRGS 903 – Biologische Grenzwerte. BArbBl 12/2006, S. 167, online unter: [http://www.umwelt-online.de/regelwerk/t\\_regeln/trgs/trgs900/903\\_ges.htm](http://www.umwelt-online.de/regelwerk/t_regeln/trgs/trgs900/903_ges.htm), Zugriff am: 26.03.2007
- Bender W, Göthert M, Malorny G:** Die Beeinflussung psychologischer Funktionen durch niedrige Kohlenmonoxidkonzentration. *Staub Reinhalt Luft*; 32 (4), 175 – 179, 1972
- Benignus VA:** Lack of effects of carbon monoxide on human vigilance. *Percept Mot Skills*; 45, 1007 – 1010, 1977
- Bernard C:** An Introduction to the Study of Experimental Medicine. In: Green. H.C. (trans.), 1865, 1957 reprint. Dover Publications New York,
- Bertin M:** Erfolg und Problematik der Sauerstoffüberdruckbehandlung in Kohlenmonoxid-intoxikationen. *Zorn H, ASP; Sonderheft 1*, 95 – 97, 1965
- Breitenecker L:** Zur Frage der Entstehung von Linsenkerneweichungen bei Kohlenmonoxid-vergiftung. *Dt Z ges gerichtl Med*; 30, 299 – 305, 1939
- Brickenkamp R, Karl GA:** Geräte zur Messung von Aufmerksamkeit, Konzentration und Vigilanz. In Brickenkamp (Hrsg.) *Handbuch apparative Verfahren in der Psychologie*. Hogrefe-Verlag für Psychologie Göttingen; 195, 1986
- Brickenkamp R:** Test-d2 Aufmerksamkeits-Belastungs-Test. Hogrefe-Verlag für Psychologie Göttingen; 7 – 88, 1994
- Bundesministerium für Arbeit und Soziales:** Sicherheit und Gesundheit bei der Arbeit 2006, Unfallverhütungsbericht Arbeit, Dortmund/Berlin/Dresden 2007, online unter: [http://de.osha.europa.eu/statistics/statistiken/suga/suga2006/tab/suga2006\\_tc.pdf](http://de.osha.europa.eu/statistics/statistiken/suga/suga2006/tab/suga2006_tc.pdf), Stand 2006
- Crocker PJ:** Carbon monoxide poisoning, the clinical entity and its treatment. *Military medicine*; 1489, 257 – 259, 1984
- Cunnington AJ, Hormbrey P:** Breath analysis to detect recent exposure to carbon monoxide. *Postgrad Med J*; 78 (918), 233 – 237, 2002
- Davous P, Rondot P, Marion MH, Guengnen B:** Severe Chorea after CO-Poisoning. *J Neurol Neurosurg Psychiatry*; 49, 266 – 298, 1987
- Eyer P:** Kohlenmonoxid. In: *Lehrbuch der Toxikologie* (Hrsg.: Marquardt H, Schäfer S.G.), BI-Wissenschaftsverlag, Mannheim; 550 - 553, 1994
- Fodor GG, Winneke G:** Effect of low CO concentrations on resistance to monotony and on psychomotor capacity. *Staub Reinhalt Luft*; 32, 45 – 54, 1972

- Fodor GG, Winneke G:** Effect of low CO concentrations on resistance to monotony and on psychomotor capacity. *Staub Reinhalt Luft*; 32, 4, 169 – 175, 1979
- Francois R:** Les symptomes et “signs” de l’intoxication oxycarbonisme. *Zbl Arbeitsmed*; 10, 833 – 850, 1963
- Greim H:** Kohlenmonoxid. In: *Gesundheitsschädliche Arbeitsstoffe, Toxikologisch – arbeitsmedizinische Begründungen von MAK-Werten*. Wiley-VCH, Weinheim, 2001
- Greim H, Lehnert G:** Kohlenmonoxid. In: *Biologische Arbeitsstoff-Toleranzwerte, Arbeitsmedizinisch – toxikologische Begründungen*, Wiley-VCH, Weinheim; 7, 1994
- Groll-Knapp E, Wagner H, Hauck H, Haider M:** Auswirkung geringer Kohlenmonoxidkonzentrationen auf Vigilanz und computeranalytisierte Hirnpotentiale. *Staub Reinhalt Luft*; 32, 185 – 188, 1972
- Gu Z, Januszkiewicz AJ, Mayorga MA, Coleman GD, Morissette CR:** Consequences of brief exposure to high concentrations of carbon monoxide in conscious rats. *Inhal Toxicol.*; 17 (13), 755 – 764, 2005
- Haldane J:** The action of carbonic oxide on man. *J. Physiol. (London)*; 18, 430 – 462, 1895
- Hawkins M, Harrison J, Charters P:** Severe carbon monoxide poisoning: outcome after hyperbaric oxygene therapy. *Br. J. Anaesth.*; 83 (5), 584 – 586, 2000
- Henschler D:** Wichtige Gifte und Vergiftungen: Atemgifte-Kohlenoxid. In: Forth W, Henschler D, Rummel W, Starke K (Hrsg.), *Allgemeine und spezielle Pharmakologie*, Kapitel 32, 824 – 827, Spektrum Akademischer Verlag, Heidelberg Berlin Oxford 1998
- Hoetzel A, Schmidt R:** Kohlenmonoxid - Gift oder potentielles Therapeutikum? *Anaesthesist*. Springer Medizin Verlag; 55, 1068 – 1079, 2006
- Janssen W, Schmidt A:** Zur Frage der Handlungsfähigkeit bei Herzverletzungen und CO-Vergiftungen. *Wiss Z Martin-Luther-Univ, Halle-Wittenberg*; XVII'68M; 573 – 577, 1968
- Jarvis MJ, Belcher M, Vesey C, Hutchison DCS:** Low cost carbon monoxide monitors in smoking assessment. *Thorax*; 41, 886 – 887, 1986
- Joiner TA, Summer JA:** Unilateral diaphragmatic paralysis secondary to carbon monoxide poisoning. *Chest*; 97, 498 – 499, 1990
- Karow Th, Lang-Roth R:** *Allgemeine und spezielle Pharmakologie und Toxikologie*. 11, 714 – 716, 2003
- Kindwall EP:** Carbon monoxide. In: Zenz C: *Occupational Medicine: Principles and practical applications*, 2<sup>nd</sup> ed. YEAR BOOK MEDICAL PUBLISHERS, Chicago; 503 – 508, 1988
- Kommission “Human-Biomonitoring” des Umweltbundesamtes:** Human-Biomonitoring: Definitionen, Möglichkeiten und Voraussetzungen sowie Qualitätssicherung und Konzept der Referenz- und Human-Biomonitoring-Werte in der Umweltmedizin, *Bundesgesundheitsbl.*; 6, 205 – 244, 1996
- Laties VG, Merigan WH:** Behavioral Effects of Carbon Monoxide on Animals and Man. *Ann Rev Pharmacol Toxicol*; 19, 357 – 392, 1979
- Low EC, Ong MC, Tan M:** Breath carbon monoxide as an indication of smoking habit in the military setting. *Singapore Med J*; 45 (12), 578 - 582, 2004
- Luomanmäki K, Coburn RF:** Effects of metabolism and distribution of carbon monoxide on blood and body stores. *Am J Physiol*; 217, 354 – 362, 1969

- Luria SM, Mc Kay CL:** Effects of low levels of carbon monoxide on vision of smokers and non-smokers. Arch Environ Health; 34, 38 – 44, 1979
- Malorny G:** Kohlenmonoxid – Kolloquium der VDI – Kommission Reinhaltung der Luft, Berichtsausgabe, Teil 2. VDI – Berichte; 180, 47 – 58, 1972
- Marshall M:** Wirkung niedriger Kohlenmonoxidkonzentration auf das Herzkreislaufsystem. Staub Reinhalt Luft; 41, (8), 296 – 300, 1981
- McFarland RA:** Low level exposure to carbon monoxide and driving performance. Arch Environ Health; 27, 355 – 359, 1973
- Martindale LG:** Carbon monoxide poisoning: The rest of the story. Journal of emergency nursing; 101 - 104, 1989
- Mikula P, O'Donnell RD, Heinig P, Theodore J:** The effect of carbon monoxide on human performance. Ann NY Acad Sci; 174, 409 – 420, 1970
- Müller-Plathe O:** Zur Pathophysiologie und Therapie der akuten Kohlenoxidvergiftung. Medizinische Klinik; 58 (21), 857 - 862, 1963
- Münzberger E:** Erkrankungen durch Kohlenmonoxid, Merkblatt zu BK Nr. 11 der Anl. 1 zur 7. BKVO, 1999, online unter: <http://arbmed.med.uni-rostock.de/bkvo/m1201.htm>, Zugriff am: 18.05.2007
- Neuhaus GA:** Kohlenmonoxidintoxikation. In: Innere Medizin in Praxis und Klinik IV, Thieme Stuttgart; 4, 87 - 93, 1992
- O'Donnell RD, Chikos P, Theodore J:** Effect of carbon monoxide exposure on human sleep and psychomotor performance. J appl Physiol; 31, 233 – 243, 1984
- Pace N, Strajman E, Walker E:** Influence of age on carbon monoxide desaturation in man. Feder Proc Feder amer soc exper Biol; 7, 89, 1948
- Pankow D, Glatzel W, Tietze K, Ponsold W:** Motor nerveconduction velocity after carbon monoxide or m-dinitrobenzene poisoning following elimination of the poisons. Arch Toxicol; 34, 325 – 330, 1975
- Pentschew A:** Kohlenmonoxidvergiftung. In: Lubarsch O, Henke F und Rossie R (Hrsg) Handb der spez. Pathol Anatomie und Histologie; Bd XIII/2; Teil B; Springer; 2107 – 2149, Berlin Göttingen Heidelberg 1958
- Petry H:** Die chronische Kohlenoxidvergiftung. Arbeitsmed; 29, 1 – 131, Leipzig Barth 1953
- Petry H:** Kohlenmonoxidvergiftung. Arbeitsmed Sozialmed Präventivmed; 14, 300 – 302, 1979
- Putz VR, Johnson BL, Setzer JV:** Effects of carbon monoxide on vigilance performance: Effects of low level carbon monoxide on divided attention, pitch discrimination, and the auditory evoked potential. Dhew niosh Publ; 58, 77 – 124, 1976
- Putz VR:** The effects of carbon monoxide on dual-task performance. Hum Factors; 21, 13 – 24, 1979
- Ramsey JM:** Oxygen reduction and reaction time in hypoxic and normal drivers. Arch Environ Health; 20, 597 – 601, 1970
- Ramsey JM:** Carbon monoxide, tissue hypoxia and sensory psychomotor to response in hypoxaemic subjects. Clin Sci; 42, 619 – 625, 1972
- Ray AM, Rockwell TH:** An exploratory study of automobile driving performance under the influence of low levels of carboxyhemoglobin. Ann NY Acad Sci; 174 (I), 396 – 408, 1970
- Remy P:** L'oxycarbonisme et convulsive epileptiques. Presse médicales ; 21, 1055 -1056, 1987

**Richards P:** Scoring of Mountain Sickness. AMS and Lake Louise Score, Medex; 2004, online unter: [http://www.medex.org.uk/new\\_page\\_5.htm](http://www.medex.org.uk/new_page_5.htm), Zugriff am: 28.05.2007

**Roughton FJW:** The average time spent by the blood in the human lung capillary and its relation to the rates of carbon monoxide uptake and elimination in man. *J Physiol*; 143, 621 – 633, 1945

**Roughton FJW, Forster RE, Cander L:** Rate of which carbon monoxide replaces oxygen from combination with human haemoglobin in solution and in the red cell. *J appl Physiol*; 11, 269 – 276, 1957

**Rützel E:** Aufmerksamkeit. In: Herrmann T (Hrsg.) *Handbuch psychologischer Grundbegriffe*. Kösel München; 49, 1977

**Schulte JH:** Effects of mild carbon monoxide intoxication. *Arch Environ Health*; 7, 524 - 530, 1963

**Sheps DS, Adams KF Jr, Bromberg PA, Goldstein GM, O'Neil JJ, Horstmann D, Koch G:** Lack of effect of low levels of carboxyhemoglobin on cardiovascular function in patients with ischemic heart disease. *Arch Environ Health*; 42, 108 – 116, 1987

### **Sjöstrand, Coburn**

**Snyder RD:** Carbon monoxide intoxication with peripheral neuropathy. *Neurology*; 20, 177 – 180, 1970

**Sokal JA:** Lack of the correlation between biochemical effects on rats and blood carboxyhemoglobin concentration in various conditions of single acute exposure to carbon monoxide. *Arch Toxicol*; 34 (4), 331 - 336, 1975

**Stewart RD, Peterson JE, Baretta ED, Bachand RT, Hosko MJ, Herrmann AA:** Experimental human exposure to carbon monoxide. *Arch Environ Health*; 21, 154-64

**Symanski H:** Gewerbliche Kohlenoxid-Vergiftung mit Erblindung. *Samml Verg-Fälle* 11, A865; 159 – 162, 1940

**Tirpitz D:** Hyperbare Sauerstofftherapie bei akuter CO-Intoxikation. *Ergo Med*; 1, 19 - 29, 1998

**Tobias CA, Lawrence JH, Roughton FJW, Root WS, Gregersen MI:** The elimination of carbon monoxide from the human body with reference to the possible conversion of CO to CO<sub>2</sub>. *Am J Physiol*; 145, 253 – 263, 1945

**Turner JA, Mc Nicol MW, Sillett RW:** Distribution of carboxyhaemoglobin concentrations in smokers and non-smokers. *Thorax*; 41(1), 25 - 27, 1986

**Valentin H, et al.:** Erkrankungen durch Kohlenmonoxid. In: *Arbeitsmedizin Band 2: Berufskrankheiten*, Thieme Stuttgart; 3, 54 – 59, 1985

**Wegner R, Szadkowski D:** Arbeit unter Einwirkung von Kohlenmonoxid. Leitlinien, Deutsche Gesellschaft für Arbeitsmedizin und Umweltmedizin e. V. (DGAUM), aktualisiert 2005, online unter: <http://www-dgaum.med.uni-rostock.de/leitlinien/KohlMonox.htm>, Zugriff am: 18.05.2007

**Winneke G:** Grenzwertüberlegungen für Kohlenmonoxid (CO). *Lufthygiene und Silikoseforschung*; 10, 75 – 90, 1978

**Wirth W, Gloxhuber C:** *Toxikologie*. Thieme Stuttgart New York 1994

**Zenk H:** Die Auswirkung berufsbedingter CO-Intoxikationen auf Geruchs-, Gehör- und Gleichgewichtsorgan. *Z Laryngol Rhinol Otol*; 44, 821 – 828, 1965

**Zielhuis RL:** Recent and potential advances applicable to the protection of workers' health: Biological Monitoring. Presented at the international seminar assessment of toxic agents at the workplace – Roles of ambient and biological monitoring. Workshop, Luxemburg, 8 – 12, 1980

**Zorn H:** Kohlenmonoxid-Intoxikationen. Sonderheft Nr. 1; Arbeitsmed Sozialmed Arbeitshyg, 1966

**Zorn H:** Die kombinierte Wirkung physikalischer und chemischer Noxen aufgezeigt am Beispiel der Schädigung durch Lärm und Kohlenmonoxid. Arbeitsmed Sozialmed Arbeitshyg; 27, 39 – 45, 1968

**Zorn H:** Untersuchungen zur Auffindung von Schwellenwerten. Attempto; 47/48, 61 – 63, 1973

**Zorn H:** Die Entwicklung von Zeitgradienten bei einem biolog. Monitoring des COHb. Verhandl Dtsch Ges Arbeitsmed; 485 – 490, 1982

**Zorn H:** Der Einfluss von Kohlenmonoxid auf die Herzkranzgefäßdurchblutung. Umwelthygiene; Suppl 1, 131 . 146, 1983

**Zorn H, Eisenmann R, Weichardt H:** Problems in biol. monitoring of short terms carbon-monoxide-exposures. Medichem Kongress; Paris 1983

**Zorn H:** Kohlenmonoxid. In: Konietzko J, Dupuis H (Hrsg.) Handbuch der Arbeitsmedizin. Arbeitsphysiologie, Arbeitspathologie, Prävention. Loseblatt.-Ausg. Ecomed-Verl.-Ges. Landsberg a.L. Kapitel IV – 2.4.10.2, 1 – 34, 3.Erg. Lfg. 12/90

## **7. Anhang**

- A<sub>1</sub> Basisfragebogen aus der Voruntersuchung (Kaserne Wilhelmstein)
- A<sub>2</sub> Laufzettel mit Ablauf der Untersuchungen für die Kameraden
- A<sub>3</sub> Fragebogen prä (ausgefüllt vor dem Rennen im Lager Ostenholz)
- A<sub>4</sub> Fragebogen post (ausgefüllt nach dem Rennen im Lager Ostenholz)
- A<sub>5</sub> Fragebogen post 2 h (ausgefüllt 2 Stunden nach dem Rennen im Lager Ostenholz)
- A<sub>6</sub> Abstract
- A<sub>7</sub> Lebenslauf

**A<sub>1</sub> Basisfragebogen aus der Voruntersuchung (Kaserne Wilhelmstein)**

**Persönliche Daten**

Ladeschütze

Richtschieße

Dienstgrad	Name	Vorname	PK

Einheit	Geburtsdatum	Id_Uni

	Seit wann sind Sie bei der Bundeswehr?	<input type="text"/>
Kompanie		<small>Tag    Monat    Jahr</small>

Schulabschluss	Berufsausbildung	Berufsziel

**Krankheitsanamnese**

**1. Bestand bei Ihnen in den letzten 12 Monaten Dienst/Arbeitsunfähigkeit ?**

ja \_1    nein \_0

1.1 Wenn ja wie lange?  Tage

1.2 Grund:

1.3 War deswegen eine Krankenhausbehandlung notwendig ?

ja \_1    nein \_0

**2. Wie häufig hatten Sie in den letzten 2 Jahren eine Erkältung und/oder eine akute Bronchitis?**

Nie    1 bis 4 x    5 bis 8 x    9 bis 12 x    > 12 x  
\_1    \_2    \_3    \_4    \_5

**2.1 Husten Sie während mindestens dreier Monate im Jahr?**

ja \_1    nein \_0

2.2 Wenn ja, in welchem Jahr lag der Beginn?

**2.3 Haben Sie Auswurf während mindestens dreier Monate im Jahr?**

ja \_1    nein \_0

2.4 Wenn ja, in welchem Jahr lag der Beginn?

**3. Liegt bei Ihnen eine ernste Erkrankung vor (z.B. Atemwegserkrankung wie Asthma, Lungenentzündung, Tuberkulose...; Herzerkrankung, Bluthochdruck; Gelenkrheumatismus; chronisches Nierenleiden, Krebsleiden, ansteckende Infektionskrankheiten wie Hepatitis, HIV...)?**

ja \_1    nein \_0

3.1 Wenn ja, welche? \_\_\_\_\_

**3.2 Nehmen Sie z. Zt. regelmäßig Medikamente ein?**

ja \_1    nein \_0

29.1 Wenn ja, welche?	Dosis?	seit wann?	Grund?
		<input type="text"/> / <input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/>	
		<input type="text"/> / <input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/>	

4. **Sind Sie Raucher?** ja <sub>1</sub> nein <sub>0</sub>
- 4.1 Wenn ja, <sub>1</sub> Zigarette <sub>0</sub> Zigarre <sub>2</sub> Pfeife
- 4.2 **Haben Sie jemals geraucht?** ja <sub>1</sub> nein <sub>0</sub>
- 4.3 Wenn ja, <sub>1</sub> Zigarette <sub>0</sub> Zigarre <sub>2</sub> Pfeife
- 4.4 In welchem Zeitraum?  4.4.1 Von  bis  4.4.2 Von  bis   
(ggf. Zeiträume) 4.4.3 Von  bis  4.4.4 Von  bis
- 4.5 Die durchschnittliche Anzahl pro Tag: <sub>1</sub> <sub>2</sub> <sub>3</sub> <sub>4</sub>  
bis 10 11-20 21-40 > 40

5. **Hier sind Reihe von Beschwerden aufgelistet, unter denen jeder einmal leiden kann. Bitte kreuzen Sie an, ob Sie zur Zeit unter diesen Beschwerden leiden und wenn ja, wie lange dauern diese Beschwerden an?**

	nein	ja	Dauer in Monaten
5.1 Müdigkeit/Antriebsstörung	<input type="checkbox"/> <sub>0</sub>	<input type="checkbox"/> <sub>1</sub>	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
5.2 Innere Unruhe/Reizbarkeit	<input type="checkbox"/> <sub>0</sub>	<input type="checkbox"/> <sub>1</sub>	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
5.3 Leistungsknick	<input type="checkbox"/> <sub>0</sub>	<input type="checkbox"/> <sub>1</sub>	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
5.4 Infektanfälligkeit	<input type="checkbox"/> <sub>0</sub>	<input type="checkbox"/> <sub>1</sub>	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
5.5 Augenprobleme	<input type="checkbox"/> <sub>0</sub>	<input type="checkbox"/> <sub>1</sub>	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
5.6 Knochen-Muskelschmerzen	<input type="checkbox"/> <sub>0</sub>	<input type="checkbox"/> <sub>1</sub>	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
5.7 Magen-Darm-Beschwerden	<input type="checkbox"/> <sub>0</sub>	<input type="checkbox"/> <sub>1</sub>	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
5.8 Untere Atemwege	<input type="checkbox"/> <sub>0</sub>	<input type="checkbox"/> <sub>1</sub>	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
5.9 Obere Atemwege	<input type="checkbox"/> <sub>0</sub>	<input type="checkbox"/> <sub>1</sub>	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
5.10 Konzentrationsstörung	<input type="checkbox"/> <sub>0</sub>	<input type="checkbox"/> <sub>1</sub>	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
5.11 Schlafstörung	<input type="checkbox"/> <sub>0</sub>	<input type="checkbox"/> <sub>1</sub>	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
5.12 Kopfschmerzen oder Migräne	<input type="checkbox"/> <sub>0</sub>	<input type="checkbox"/> <sub>1</sub>	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
5.13 Lärmbelästigung	<input type="checkbox"/> <sub>0</sub>	<input type="checkbox"/> <sub>1</sub>	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
5.14 Hautprobleme	<input type="checkbox"/> <sub>0</sub>	<input type="checkbox"/> <sub>1</sub>	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
5.15 Nerven- u. Empfindungsstörungen	<input type="checkbox"/> <sub>0</sub>	<input type="checkbox"/> <sub>1</sub>	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
5.17 Schwindel	<input type="checkbox"/> <sub>0</sub>	<input type="checkbox"/> <sub>1</sub>	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
5.18 Geruchsbelästigung	<input type="checkbox"/> <sub>0</sub>	<input type="checkbox"/> <sub>1</sub>	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
5.18 Sonstige	<input type="checkbox"/> <sub>0</sub>	<input type="checkbox"/> <sub>1</sub>	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>

Dieser Fragebogen wurde ausgefüllt am: ..

**A<sub>2</sub> Laufzettel mit Ablauf der Untersuchung für die Kameraden**

## Laufzettel (Rennen- und Soldatenbezogen)

ID- Nr.:   |   |   |   |   |

1. | 2. | 3. | 4. | 5. | 6.

Ladeschütze  Richtschütze   
 U-Ras-Träger  Ergo- Spirometer- Träger

Tag: Di Mi Do Fr

Rennen: 1 2 3

Legende für Id-Nr.:

1. Soldat\_id                    01-32  
 2. Lade/Richtschütze        L, R  
 3. Gruppe                        A, B, C, D  
 4. Rennen                        1, 2, 3  
 5. Situation                      Vorher  
    Nachher  
 6. Panzer-Nr.                    H 2 Stunden nachher  
    P1, P2, P3, P4

**Untersuchungsablauf:**

	✓	Nr.	Station	Uhrzeit	Namenskürzel (Untersucher)
		1.	Eingetroffen und Laufzettel bekommen		
		2.	Ohrläppchen eingecremt		
		3.	Kapilläre Blutentnahme ( V )		
		4.	Venöse Blutentnahme ( V )		
		5.	CO- Breath ( V )		
		6.	Fragebogen ( V )		
		7.	Vigilanztest ( V )		
		8.	Maske bekommen (gilt nur für U-Ras-Träger oder Ergospirometer-Träger)		
		9.	Schiessen begonnen		
		10.	Schiessen beendet		
		11.	Ohrläppchen eingecremt ( N )		
		12.	Kapilläre Blutabnahme ( N )		
		13.	Venöse Blutabnahme ( N )		
		14.	CO- Breath ( N )		
		15.	Fragebogen ( N )		
		16.	Vigilanztest ( N )		
		17.	Ohrläppchen eingecremt ( H )		
		18.	Kapilläre Blutentnahme ( H )		
		19.	CO- Breath ( H )		
		20.	Rauchamneuse ( H )		

**A<sub>3</sub> Fragebogen prä (ausgefüllt vor dem Rennen im Lager Ostenholz)**

## Fragebogen (vorher)

ID- Nr.: 1. | 2. | 3. | 4. | 5. | 6.  
  |   |   |   |   |

U-Ras- Träger

Ergo-Spirometer- Träger

Datum:

Uhrzeit:

- 1.1. Haben Sie gestern ein Nachtschiessen durchgeführt? nein 0 ja 1
- 1.2. Falls ja, wann war das Schiessen zu Ende?  Uhrzeit:
- 2.1. Wie viele Stunden haben Sie gestern geschlafen?   Stunden
- 2.2. Wie viele Stunden schlafen Sie normalerweise?   Stunden
- 3.1. Fühlen Sie sich momentan völlig wach? nein 0 eher nein 1 eher ja 2 ja 3
- 3.2. Im Gegensatz zu heute morgen beim Frühstück fühle ich mich: besser 0 schlechter 1 gleich 2
4. Sind Sie zur Zeit erkältet? nein 0 ja 1
- 4.1. Fühlen Sie sich aus einem anderen Grund unwohl? nein 0 ja 1
- 4.2. Wenn ja, geben Sie bitte die Art, Dauer und Stärke Ihrer Beschwerden an (z.B. Kopfschmerzen...):

---



---

### 5. Verspüren Sie momentan: (zutreffendes bitte ankreuzen)

	gar nicht	sehr schwach	schwach	mittel	stark
5.1. Schwindel	<input type="checkbox"/> 0	<input type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 3	<input type="checkbox"/> 4
5.2. Kopfschmerz	<input type="checkbox"/> 0	<input type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 3	<input type="checkbox"/> 4
5.3. Übelkeit	<input type="checkbox"/> 0	<input type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 3	<input type="checkbox"/> 4
5.4. Benommenheit	<input type="checkbox"/> 0	<input type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 3	<input type="checkbox"/> 4
5.5. Müdigkeit	<input type="checkbox"/> 0	<input type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 3	<input type="checkbox"/> 4
5.6. Beklemmungen	<input type="checkbox"/> 0	<input type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 3	<input type="checkbox"/> 4
5.7. Herzklopfen	<input type="checkbox"/> 0	<input type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 3	<input type="checkbox"/> 4
5.8. Schwäche	<input type="checkbox"/> 0	<input type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 3	<input type="checkbox"/> 4
5.9. Zittern	<input type="checkbox"/> 0	<input type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 3	<input type="checkbox"/> 4
5.10 Augenflimmern	<input type="checkbox"/> 0	<input type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 3	<input type="checkbox"/> 4
5.11. Gleichgewichtsstörungen	<input type="checkbox"/> 0	<input type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 3	<input type="checkbox"/> 4
5.12. Atembeschwerden	<input type="checkbox"/> 0	<input type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 3	<input type="checkbox"/> 4
5.13. Störungen der Sehschärfe	<input type="checkbox"/> 0	<input type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 3	<input type="checkbox"/> 4
5.14. Abgeschlagenheit	<input type="checkbox"/> 0	<input type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 3	<input type="checkbox"/> 4
5.15. Muskelschwäche	<input type="checkbox"/> 0	<input type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 3	<input type="checkbox"/> 4
5.16. Erstickungsgefühl	<input type="checkbox"/> 0	<input type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 3	<input type="checkbox"/> 4
5.17. Ohrensausen	<input type="checkbox"/> 0	<input type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 3	<input type="checkbox"/> 4
5.18. Angstgefühl	<input type="checkbox"/> 0	<input type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 3	<input type="checkbox"/> 4
5.19. Kurzatmigkeit	<input type="checkbox"/> 0	<input type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 3	<input type="checkbox"/> 4
5.20. Schmerzen/ Ziehen in der Brust	<input type="checkbox"/> 0	<input type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 3	<input type="checkbox"/> 4
5.21. Konzentrationsschwäche	<input type="checkbox"/> 0	<input type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 3	<input type="checkbox"/> 4
5.22. Sonstige:	<input type="checkbox"/> 0	<input type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 3	<input type="checkbox"/> 4

6. Haben Sie heute seit dem Aufstehen geraucht?                    nein                    ja  
 0                     1

6.1. Wenn ja,                     1 Zigarette     0 Zigarre     2 Pfeife

6.2. und wie viel haben Sie heute geraucht?     Stück

6.3. Wann haben Sie heute die Letzte geraucht?   

7. Haben Sie heute Medikamente eingenommen?    ja  1    nein  0

7.1 Wenn ja, welche?	Dosis?	Grund?	Uhrzeit?

8. Haben Sie **in den letzten 24 Stunden** die folgenden Getränke zu sich genommen?

Kaffee ..... vor  Stunden .....  Tassen

schwarzen Tee ..... vor  Stunden .....  Tassen

Coca-Cola ..... vor  Stunden .....  Gläser

alkoholische Getränke ..... vor  Stunden .....  Gläser

Welche \_\_\_\_\_

9. Hier sind eine Reihe von Beschwerden aufgelistet, unter denen jeder einmal leiden kann. Bitte kreuzen Sie an, ob Sie **zur Zeit** unter diesen Beschwerden leiden?

- |                                       | nein                       | ja                         |
|---------------------------------------|----------------------------|----------------------------|
| 9.1. Müdigkeit/Antriebsstörung        | <input type="checkbox"/> 0 | <input type="checkbox"/> 1 |
| 9.2. Innere Unruhe/Reizbarkeit        | <input type="checkbox"/> 0 | <input type="checkbox"/> 1 |
| 9.3. Leistungsknick                   | <input type="checkbox"/> 0 | <input type="checkbox"/> 1 |
| 9.4. Infektanfälligkeit               | <input type="checkbox"/> 0 | <input type="checkbox"/> 1 |
| 9.5. Augenprobleme                    | <input type="checkbox"/> 0 | <input type="checkbox"/> 1 |
| 9.6. Knochen-Muskelschmerzen          | <input type="checkbox"/> 0 | <input type="checkbox"/> 1 |
| 9.7. Magen-Darm-Beschwerden           | <input type="checkbox"/> 0 | <input type="checkbox"/> 1 |
| 9.8. Untere Atemwege                  | <input type="checkbox"/> 0 | <input type="checkbox"/> 1 |
| 9.9. Obere Atemwege                   | <input type="checkbox"/> 0 | <input type="checkbox"/> 1 |
| 9.10. Konzentrationsstörung           | <input type="checkbox"/> 0 | <input type="checkbox"/> 1 |
| 9.11. Schlafstörung                   | <input type="checkbox"/> 0 | <input type="checkbox"/> 1 |
| 9.12. Kopfschmerzen oder Migräne      | <input type="checkbox"/> 0 | <input type="checkbox"/> 1 |
| 9.13. Lärmbelästigung                 | <input type="checkbox"/> 0 | <input type="checkbox"/> 1 |
| 9.14. Hautprobleme                    | <input type="checkbox"/> 0 | <input type="checkbox"/> 1 |
| 9.15. Nerven- u. Empfindungsstörungen | <input type="checkbox"/> 0 | <input type="checkbox"/> 1 |
| 9.17. Schwindel                       | <input type="checkbox"/> 0 | <input type="checkbox"/> 1 |
| 9.18. Geruchsbelästigung              | <input type="checkbox"/> 0 | <input type="checkbox"/> 1 |
| 9.19. Sonstige                        | <input type="checkbox"/> 0 | <input type="checkbox"/> 1 |

10. Wie schätzen Sie Ihren Gesundheitszustand ein? ausgesprochen schlecht.....1  
weniger gut.....2  
durchschnittlich.....3  
gut.....4  
ausgezeichnet.....5

11. Wie fit fühlen Sie sich körperlich? körperlich außerordentlich fit.....5  
körperlich sehr fit.....4  
körperlich mäßig fit.....3  
körperlich kaum fit.....2  
körperlich gar nicht fit.....1

12. Wie schätzen Sie Ihre Leistungsfähigkeit ein? ausgezeichnet.....5  
gut.....4  
durchschnittlich.....3  
weniger gut.....2  
ausgesprochen schlecht.....1

13. Wie krank macht Sie ihre Arbeit? gar nicht krank.....1  
kaum krank.....2  
mäßig krank.....3  
sehr krank.....4  
ausgesprochen krank.....5

14. Hier sind noch einmal Symptome aufgelistet mit einem Ausprägungsgrad von 0 - 3, bitte beurteilen Sie sich selbst, was bei Ihnen momentan zutrifft und machen ein Kreuz in das entsprechende Feld der grauen Spalte.

Symptom	Ausprägung	Was trifft zu?
14.1. Kopfschmerz	0 keiner	
	1 milder Kopfschmerz	
	2 mäßiger Kopfschmerz	
	3 schwerer Kopfschmerz, behindernd	
14.2. Gastrointestinale Symptome	0 guter Appetit	
	1 Appetitlosigkeit/ Übelkeit	
	2 mäßig schwere Übelkeit/ Erbrechen	
	3 schwere, behindernde Übelkeit und Erbrechen	
14.3. Mattigkeit und/ oder Schwäche	0 keine	
	1 milde Mattigkeit/ Schwäche	
	2 mäßig schwere Mattigkeit/ Schwäche	
	3 schwere Mattigkeit/ Schwäche	
14.4. Schwindel	0 kein Schwindel	
	1 milder Schwindel	
	2 mäßig schwerer Schwindel	
	3 schwerer Schwindel, behindernd	
14.5. 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	

Sie sind jetzt mit dem Fragebogen fertig.

Vielen Dank für das Ausfüllen.

Bitte tragen Sie hier noch die aktuelle Uhrzeit ein.

**A<sub>4</sub> Fragebogen post (ausgefüllt nach dem Rennen im Lager Ostenholz)**

## Fragebogen (nachher)

ID- Nr.: 1. | 2. | 3. | 4. | 5. | 6.  
 |  |  |  |  |

U-Ras- Träger

Ergo-Spirometer- Träger

Datum:

Uhrzeit:

- 3.1. Fühlen Sie sich momentan völlig wach?    nein 0    eher nein 1    eher ja 2    ja 3
- 3.2. Im Gegensatz zu heute morgen (beim Ausfüllen des Fragebogens Vorher) fühle ich mich:    besser 0    schlechter 1    gleich 2
4. Sind Sie zur Zeit erkältet?    nein 0    ja 1
- 4.1. Fühlen Sie sich aus einem anderen Grund unwohl?    nein 0    ja 1
- 4.2. Wenn ja, geben Sie bitte die Art, Dauer und Stärke Ihrer Beschwerden an (z.B. Kopfschmerzen...):
- 
- 

### 5. Verspüren Sie momentan: (zutreffendes bitte ankreuzen)

	gar nicht	sehr schwach	schwach	mittel	stark
5.1. Schwindel	<input type="checkbox"/> 0	<input type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 3	<input type="checkbox"/> 4
5.2. Kopfschmerz	<input type="checkbox"/> 0	<input type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 3	<input type="checkbox"/> 4
5.3. Übelkeit	<input type="checkbox"/> 0	<input type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 3	<input type="checkbox"/> 4
5.4. Benommenheit	<input type="checkbox"/> 0	<input type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 3	<input type="checkbox"/> 4
5.5. Müdigkeit	<input type="checkbox"/> 0	<input type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 3	<input type="checkbox"/> 4
5.6. Beklemmungen	<input type="checkbox"/> 0	<input type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 3	<input type="checkbox"/> 4
5.7. Herzklopfen	<input type="checkbox"/> 0	<input type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 3	<input type="checkbox"/> 4
5.8. Schwäche	<input type="checkbox"/> 0	<input type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 3	<input type="checkbox"/> 4
5.9. Zittern	<input type="checkbox"/> 0	<input type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 3	<input type="checkbox"/> 4
5.10. Augenflimmern	<input type="checkbox"/> 0	<input type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 3	<input type="checkbox"/> 4
5.11. Gleichgewichtsstörungen	<input type="checkbox"/> 0	<input type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 3	<input type="checkbox"/> 4
5.12. Atembeschwerden	<input type="checkbox"/> 0	<input type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 3	<input type="checkbox"/> 4
5.13. Störungen der Sehschärfe	<input type="checkbox"/> 0	<input type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 3	<input type="checkbox"/> 4
5.14. Abgeschlagenheit	<input type="checkbox"/> 0	<input type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 3	<input type="checkbox"/> 4
5.15. Muskelschwäche	<input type="checkbox"/> 0	<input type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 3	<input type="checkbox"/> 4
5.16. Erstickungsgefühl	<input type="checkbox"/> 0	<input type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 3	<input type="checkbox"/> 4
5.17. Ohrensausen	<input type="checkbox"/> 0	<input type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 3	<input type="checkbox"/> 4
5.18. Angstgefühl	<input type="checkbox"/> 0	<input type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 3	<input type="checkbox"/> 4
5.19. Kurzatmigkeit	<input type="checkbox"/> 0	<input type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 3	<input type="checkbox"/> 4
5.20. Schmerzen/ Ziehen in der Brust	<input type="checkbox"/> 0	<input type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 3	<input type="checkbox"/> 4
5.21. Konzentrationsschwäche	<input type="checkbox"/> 0	<input type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 3	<input type="checkbox"/> 4
5.22. Sonstige:	<input type="checkbox"/> 0	<input type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 3	<input type="checkbox"/> 4

6. Haben Sie heute seit der Voruntersuchung geraucht?    nein 0    ja 1
- 6.1. Wenn ja,    1 Zigarette    0 Zigarre    2 Pfeife
- 6.2. und wie viel haben Sie geraucht?     Stück
- 6.3. Wann haben Sie die Letzte geraucht?    Uhrzeit:

7. Haben Sie heute seit der Voruntersuchung Medikamente eingenommen? ja <sub>1</sub> nein <sub>0</sub>

7.1 Wenn ja, welche?	Dosis?	Grund?	Uhrzeit?

8. Haben Sie **heute seit der Voruntersuchung** die folgenden Getränke zu sich genommen?

Kaffee ..... vor  Minuten.....  Tassen

schwarzen Tee ..... vor  Minuten.....  Tassen

Coca-Cola ..... vor  Minuten.....  Gläser

alkoholische Getränke ..... vor  Minuten.....  Gläser

Welche \_\_\_\_\_

9. Hier sind eine Reihe von Beschwerden aufgelistet, unter denen jeder einmal leiden kann. Bitte kreuzen Sie an, ob Sie **zur Zeit** unter diesen Beschwerden leiden?

	nein	ja
9.1. Müdigkeit/Antriebsstörung	<input type="checkbox"/> <sub>0</sub>	<input type="checkbox"/> <sub>1</sub>
9.2. Innere Unruhe/Reizbarkeit	<input type="checkbox"/> <sub>0</sub>	<input type="checkbox"/> <sub>1</sub>
9.3. Leistungsknick	<input type="checkbox"/> <sub>0</sub>	<input type="checkbox"/> <sub>1</sub>
9.4. Infektanfälligkeit	<input type="checkbox"/> <sub>0</sub>	<input type="checkbox"/> <sub>1</sub>
9.5. Augenprobleme	<input type="checkbox"/> <sub>0</sub>	<input type="checkbox"/> <sub>1</sub>
9.6. Knochen-Muskelschmerzen	<input type="checkbox"/> <sub>0</sub>	<input type="checkbox"/> <sub>1</sub>
9.7. Magen-Darm-Beschwerden	<input type="checkbox"/> <sub>0</sub>	<input type="checkbox"/> <sub>1</sub>
9.8. Untere Atemwege	<input type="checkbox"/> <sub>0</sub>	<input type="checkbox"/> <sub>1</sub>
9.9. Obere Atemwege	<input type="checkbox"/> <sub>0</sub>	<input type="checkbox"/> <sub>1</sub>
9.10. Konzentrationsstörung	<input type="checkbox"/> <sub>0</sub>	<input type="checkbox"/> <sub>1</sub>
9.11. Schlafstörung	<input type="checkbox"/> <sub>0</sub>	<input type="checkbox"/> <sub>1</sub>
9.12. Kopfschmerzen oder Migräne	<input type="checkbox"/> <sub>0</sub>	<input type="checkbox"/> <sub>1</sub>
9.13. Lärmbelästigung	<input type="checkbox"/> <sub>0</sub>	<input type="checkbox"/> <sub>1</sub>
9.14. Hautprobleme	<input type="checkbox"/> <sub>0</sub>	<input type="checkbox"/> <sub>1</sub>
9.15. Nerven- u. Empfindungsstörungen	<input type="checkbox"/> <sub>0</sub>	<input type="checkbox"/> <sub>1</sub>
9.17. Schwindel	<input type="checkbox"/> <sub>0</sub>	<input type="checkbox"/> <sub>1</sub>
9.18. Geruchsbelästigung	<input type="checkbox"/> <sub>0</sub>	<input type="checkbox"/> <sub>1</sub>
9.19. Sonstige	<input type="checkbox"/> <sub>0</sub>	<input type="checkbox"/> <sub>1</sub>

10. Wie schätzen Sie Ihren Gesundheitszustand ein? ausgesprochen schlecht ..... <sub>1</sub>  
weniger gut ..... <sub>2</sub>  
durchschnittlich ..... <sub>3</sub>  
gut ..... <sub>4</sub>  
ausgezeichnet ..... <sub>5</sub>

11. Wie fit fühlen Sie sich körperlich? körperlich außerordentlich fit ..... <sub>5</sub>  
körperlich sehr fit ..... <sub>4</sub>  
körperlich mäßig fit ..... <sub>3</sub>  
körperlich kaum fit ..... <sub>2</sub>  
körperlich gar nicht fit ..... <sub>1</sub>

12. Wie schätzen Sie Ihre Leistungsfähigkeit ein? ausgezeichnet ..... <sub>5</sub>  
gut ..... <sub>4</sub>  
durchschnittlich ..... <sub>3</sub>  
weniger gut ..... <sub>2</sub>  
ausgesprochen schlecht ..... <sub>1</sub>

13. Wie krank macht Sie ihre Arbeit? gar nicht krank ..... <sub>1</sub>  
kaum krank ..... <sub>2</sub>  
mäßig krank ..... <sub>3</sub>  
sehr krank ..... <sub>4</sub>  
ausgesprochen krank ..... <sub>5</sub>

14. Hier sind noch einmal Symptome aufgelistet mit einem Ausprägungsgrad von 0 - 3, bitte beurteilen Sie sich selbst, was bei Ihnen momentan zutrifft und machen ein Kreuz in das entsprechende Feld der grauen Spalte.

Symptom	Ausprägung	Was trifft zu?
14.1. Kopfschmerz	0 keiner	
	1 milder Kopfschmerz	
	2 mäßiger Kopfschmerz	
	3 schwerer Kopfschmerz, behindernd	
14.2. Gastrointestinale Symptome	0 guter Appetit	
	1 Appetitlosigkeit/ Übelkeit	
	2 mäßig schwere Übelkeit/ Erbrechen	
	3 schwere, behindernde Übelkeit und Erbrechen	
14.3. Mattigkeit und/ oder Schwäche	0 keine	
	1 milde Mattigkeit/ Schwäche	
	2 mäßig schwere Mattigkeit/ Schwäche	
	3 schwere Mattigkeit/ Schwäche	
14.4. Schwindel	0 kein Schwindel	
	1 milder Schwindel	
	2 mäßig schwerer Schwindel	
	3 schwerer Schwindel, behindernd	
14.5. 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	

Sie sind jetzt mit dem Fragebogen fertig.

Vielen Dank für das Ausfüllen.

Bitte tragen Sie hier noch die aktuelle Uhrzeit ein.

**A<sub>5</sub> Fragebogen post 2 h (ausgefüllt 2 Stunden nach dem Rennen im Lager  
Ostenholz)**

## Fragebogen (H = 2 Stunden nachher)

ID- Nr.:    1.    2.    3.    4.    5.    6.  
                        

U-Ras- Träger       Ergo-Spirometer- Träger

Datum:       Uhrzeit:

3.1. Fühlen Sie sich momentan völlig wach?    nein    eher nein    eher ja    ja  
0      1      2      3

6. Haben Sie heute seit der letzten Untersuchung geraucht?

6.1. Wenn ja,      1 Zigarette    0 Zigarre    2 Pfeife

6.2. und wie viel haben Sie geraucht?      Stück

6.3. Wann haben Sie die Letzte geraucht?       Uhrzeit:

14. Hier sind noch einmal Symptome aufgelistet mit einem Ausprägungsgrad von 0 - 3, bitte beurteilen Sie sich selbst, was bei Ihnen momentan zutrifft und machen ein Kreuz in das entsprechende Feld der grauen Spalte.

Symptom	Ausprägung	Was trifft zu?
14.1. Kopfschmerz	0 keiner	
	1 milder Kopfschmerz	
	2 mäßiger Kopfschmerz	
	3 schwerer Kopfschmerz, behindernd	
14.2. Gastrointestinale Symptome	0 guter Appetit	
	1 Appetitlosigkeit/ Übelkeit	
	2 mäßig schwere Übelkeit/ Erbrechen	
	3 schwere, behindernde Übelkeit und Erbrechen	
14.3. Mattigkeit und/ oder Schwäche	0 keine	
	1 milde Mattigkeit/ Schwäche	
	2 mäßig schwere Mattigkeit/ Schwäche	
	3 schwere Mattigkeit/ Schwäche	
14.4. Schwindel	0 kein Schwindel	
	1 milder Schwindel	
	2 mäßig schwerer Schwindel	
	3 schwerer Schwindel, behindernd	
14.5. 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	

Sie sind jetzt mit dem Fragebogen fertig.

Vielen Dank für das Ausfüllen

Bitte tragen Sie hier noch die aktuelle Uhrzeit ein.

**A<sub>6</sub> Abstract**

## **Nicht invasive Untersuchungsmethoden zur Gefährdungseinschätzung bei CO-Exposition in Gefechtsfahrzeugen der Bundeswehr**

Tina Kleinfeld

Das beim Waffeneinsatz in Gefechtsfahrzeugen kurzzeitig entstehende Erstickungsgas Kohlenmonoxid (CO) führt auf Grund seiner sauerstoffverdrängenden Eigenschaft bei den Exponierten zur Bildung von Carboxyhämoglobin (COHb) mit entsprechenden Symptomen. Aus Sicherheitsgründen kann das COHb im Blut aber während der Gefechtsübung nicht bestimmt werden. Das Ziel der vorliegenden Arbeit besteht in der arbeitsmedizinischen Bewertung und Gefährdungseinschätzung der CO-Exposition in Gefechtsfahrzeugen der Bundeswehr mittels nicht invasiver Untersuchungsmethoden.

An 4 Tagen nahmen 34 Freiwillige unter gefechtsähnlichen Bedingungen mehrfach an Durchläufen (Rennen genannt) teil und wurden vor und mehrfach nach der CO-Exposition mittels nicht invasiver Methoden untersucht. Hierbei handelt es sich um die Messung der CO-Konzentration in der Ausatemluft (CO-Breath) mit Umrechnung in COHb und die Erfassung der Aufmerksamkeit und Konzentration mittels d2-Test sowie möglicher Beschwerden mittels Fragebogen und Lake-Louise-Score. Zur Validierung der CO-Breath-Werte wurden zusätzlich vor und nach den Rennen auch COHb-Messungen (Radiometer ABL 725) vorgenommen.

Die COHb-Gehalte liegen im Mittel deutlich unterhalb des BGW-Wertes (Biologischer Grenzwert) von 5 %. Raucher (R) zeigen vor und nach den Rennen höhere COHb-Gehalte als (NR) Nichtraucher (z.B. MW prä NR 0,80 % versus R 3,02 %;  $t = -9,93$ ;  $df = 86$ ;  $p < 0,001$ ). Während bei den NR nach dem Schießen im Vergleich zu vorher eine mittlere Erhöhung der COHb-Konzentration um 0,33 Einheiten von 0,80 % auf 1,13 % COHb eintritt ( $t = -5,74$ ;  $df = 29$ ;  $p < 0,001$ ), zeigt sich bei den R eine leichte Verringerung nach dem Schießen im Mittel um 0,08 Einheiten von 3,02 % auf 2,94 % COHb. Dieser für Raucher und Nichtraucher typische Verlauf findet sich auch bei den CO-Breath-Werten und hieraus berechneten COHb-Werten wieder. Beim Vergleich dieser mittels CO-Breath bestimmten und den gemessenen COHb-Werten zeigt sich eine hohe Korrelation nach Pearson (z.B. post-Werte:  $r = 0,97$ ;  $p < 0,001$ ) sowie eine relativ geringe Differenz der entsprechenden Wertepaare. Dies spricht für die Validität der ubiquitär einsetzbaren nicht invasiven CO-Breath-Methode. Im d2-Test zeigt sich im Vergleich zur Normstichprobe bei den Teilnehmern in 3 von 4 Parametern ein wesentlich besseres Ergebnis. Die relevanten Parameter des d2-Tests Erkennen der Gesamtzeichen, Gesamt- und Konzentrationsleistung sind bei den Teilnehmern nach dem Rennen im Vergleich zu vorher deutlich erhöht (z.B. Gesamtleistung: gepaarte Differenz für den MW = -23,9;  $t = -7,2$ ;  $df = 86$ ;  $p < 0,01$ ), während Schwankungsbreite und Fehlerzahl fast konstant bleiben. Die Mehrheit der Teilnehmer gibt an, weder vor einem Rennen noch nachher an einem der typischen Symptome einer CO-Intoxikation wie z.B. Schwindel oder Augenflimmern gelitten zu haben. Auch eine Auswertung der Symptome mittels Lake-Louise-Score ergibt kaum Unterschiede zwischen vor und nach dem Rennen.

Eine gewisse CO-Belastung der Soldaten lässt sich valide und nicht invasiv nachweisen, diese scheint aber nicht zu einer Minderung der geistigen Leistung zu führen. Ganz im Gegenteil führt das „Gesamtereignis-Gefechtsübung“ bei den Kameraden auf hohem Ausgangsniveau überwiegend sogar zu einer Zunahme der Konzentrationsleistung im d2-Test.

