



Institut für Prävention und Arbeitsmedizin
der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung
Institut der Ruhr-Universität Bochum



Kohlendioxid

Neues von einem alten Grenzwert

Broding H.C., Jettkant B., Monsé C., Sucker K., Bünger J., Brüning T.

Symposium Gefahrstoffe „Schlema VII“, Weimar 2.-4. Mai 2012

Ausgangslage

Im Kalibergbau unter Tage treten
Überschreitungen des AGW_{CO₂} auf:

MAK-Wert :**0,5 Vol.-% (5000 ppm) (Begründung: 1958, 1961)**
(Überschr.-faktor 4→2, 2002)

AGW: **0,5 Vol.-% (Überschr.-faktor 2, 2006)**

Sonderbetriebsplan Nr. 15/07 „CO₂-Schutz“,
lässt folgendes zu:

- » AGW-Überschreitungen von 0,5 bis 0,99 Vol.-% (Stufe 1) bis max. 4h
- » AGW-Überschreitungen von 1,0 bis 1,5 Vol.-% (Stufe 2) bis max. 2h

Ausgangslage

MAK- Werte für CO₂ im internationalen Vergleich

Land	Time Weighted Average (TWA)	Short Term Exposure Limit (STEL)	Quelle
Australien	5.000 ppm 12.500 ppm (in coal mines)	30.000 ppm 30.000 (in coal mines)	National Exposure Standards For Atmospheric Contaminants; The Occupational Environment [NOHSC: 1003 (1995)] Coal Mine Health and Safety Regulation 2006
Belgien	5.000 ppm	30.000 ppm	"Valeurs Limites d'Exposition Professionnelle" (VLEP) / "Grenswaarden voor Beroepsmatige Blootstelling" (GWBB)
Großbritannien	5.000 ppm	15.000 ppm	EH 49/2005 Workplace exposure limits
Niederlande	5.000 ppm	30.000 ppm	Dutch Expert Committee on Occupational Standards (DECOS) of the Health Council
Kanada	5.000 ppm	30.000 ppm	Regulation respecting Control of Exposures to Biological or Chemical Agents – made under the occupational health and safety act (aligns with ACGIH TLV's)
U.S.A.	5.000 ppm 5.000 ppm 5.000 ppm	30.000 ppm 30.000 ppm	American Conference of Industrial Hygienists (ACGIH 2006), TLV Occupational Safety and Health Administration (OSHA), PEL National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH). REL

Fragstellung / Ziel der Studie

Sind bei bergmännischen Gewinnungsarbeiten unter
Überschreitung des aktuellen AGW_{CO₂} adverse
Gesundheitseffekte detektierbar?

Studiendesign

Zielgrößen / Instrumente	Feldstudienteil (n=119)	Expo-Lab, Normalkollektiv (n=16)	Expo-Lab, Bergleute, Revier 3 (n=8)
CO₂ – Exposition und Monitoring Standardisierte arbeitsmedizinische fachärztl. Unters. u.T./ im IPA (Poliklinik) kapilläre BGA, Oxymetrie, Langzeit-EKG, Biosignalrecording, Kontrastometer, neuropsychologische Testbatterie Fraktioniertes exhalierendes NO (FeNO)	Personal sampler Dräger PAC 7000 <ul style="list-style-type: none"> • individuelle Befindlichkeit (z.B. Kopfschmerzen, Atemnot, Herzrasen), • Herzfrequenz und Blutdruck, • statische und dynamische Lungenfunktion, • Säure-Basen-Haushalt und Stoffwechselfparameter, • Kontrastsehvermögen, • Aufmerksamkeit und Konzentration. 	Standardisierte, kontrollierte Exposition mit 0, 0,5, 1 und 2 Vol.-%CO ₂ vor / nach Exposition	Standardisierte, kontrollierte Exposition mit 0 und 2 Vol.-% CO ₂ vor / nach Exposition
Beurteilung von: Langzeiteffekten Kurzzeiteffekten Gruppeneffekten	X X	X X	X X



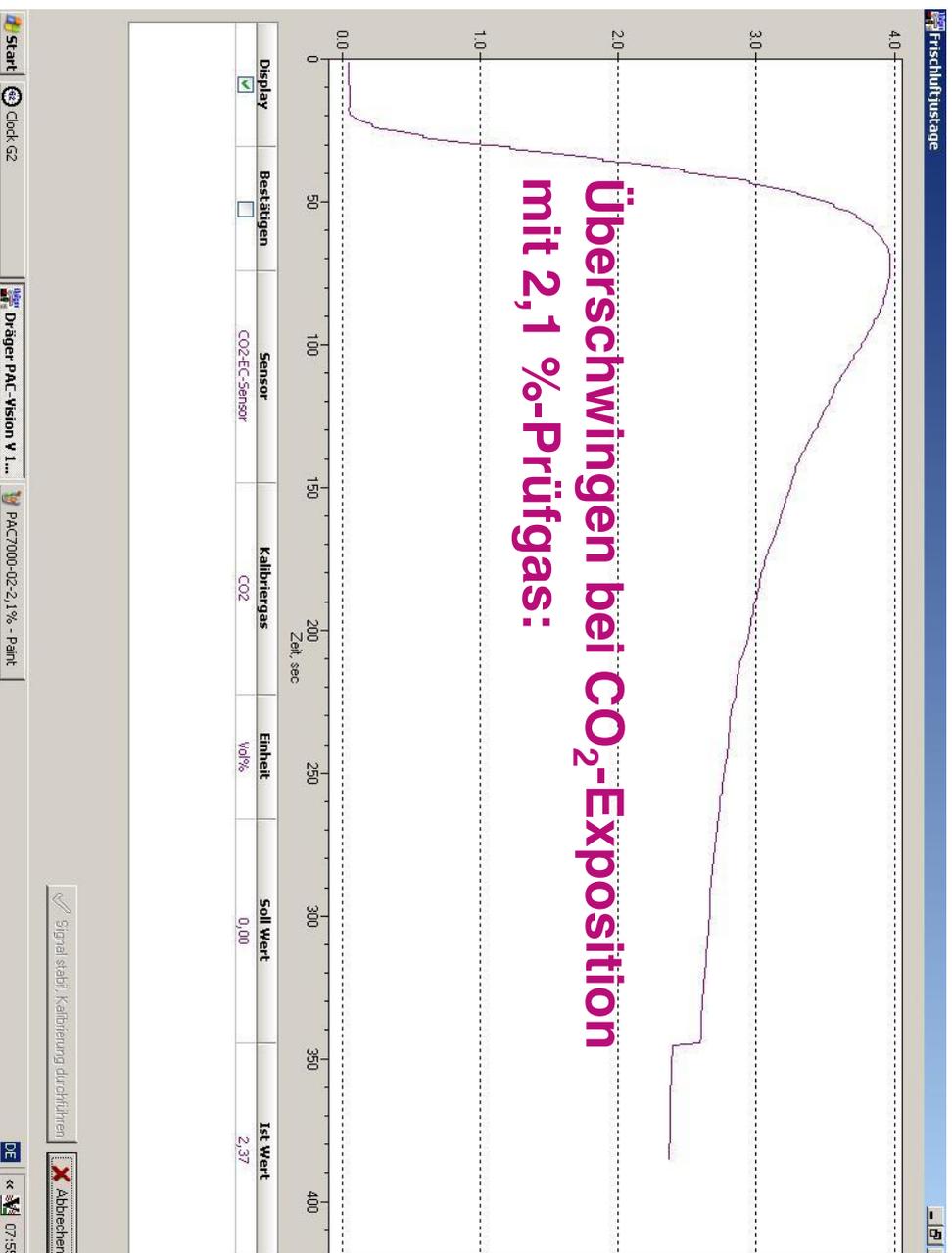
Institut für Prävention und Arbeitsmedizin
der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung
Institut der Ruhr-Universität Bochum

Technische Details und Ergebnisse der Expositionsermittlung in der Feldstudie

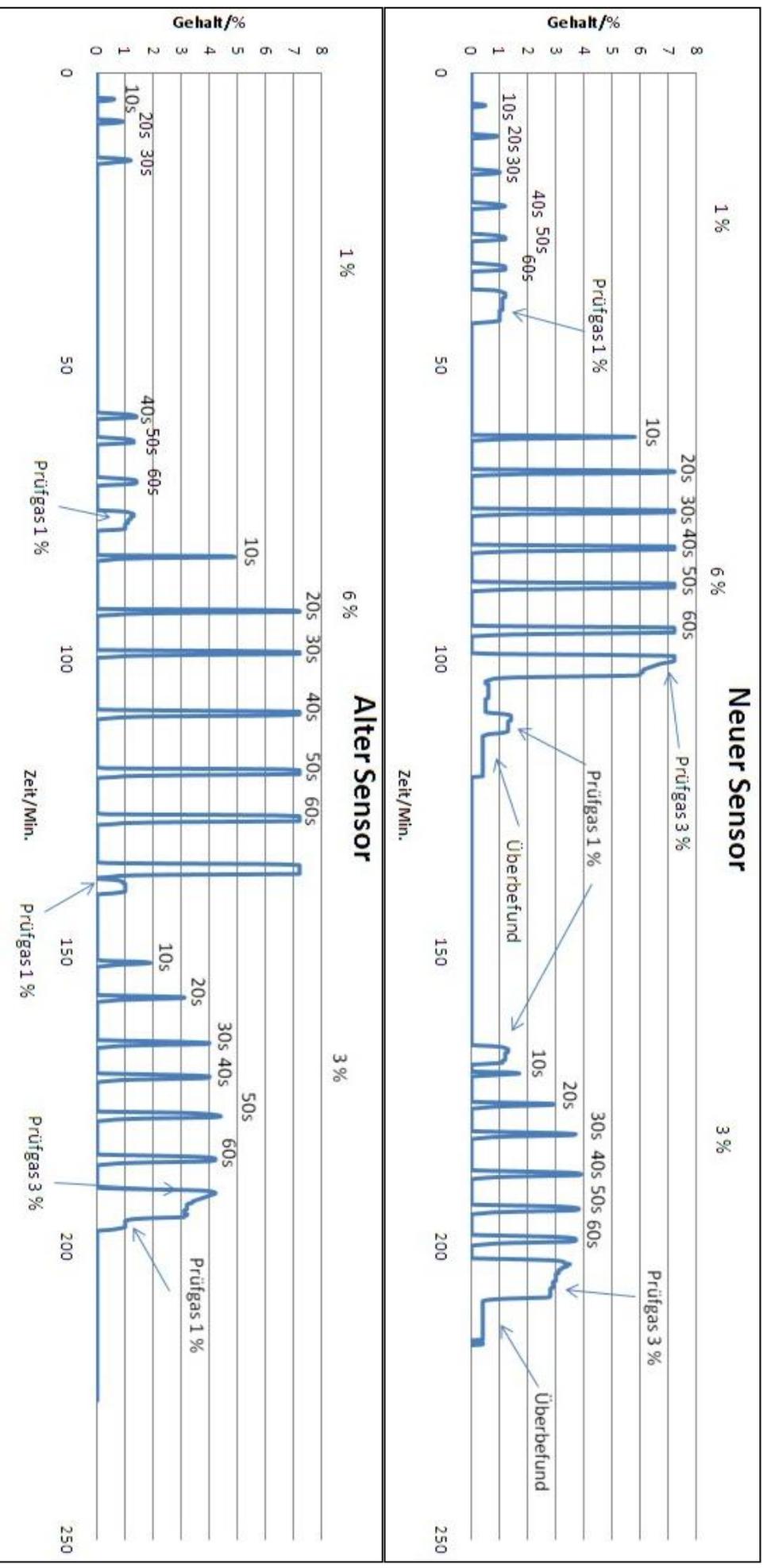
RUHR
UNIVERSITÄT
BOCHUM

RUB

Feldstudienteil: Verhalten der CO₂-Detektoren beim Kalibrieren:



Feldstudienteil: Verhalten der CO₂-Detektoren im normalen Messbetrieb (verschiedene Prüfgasse):



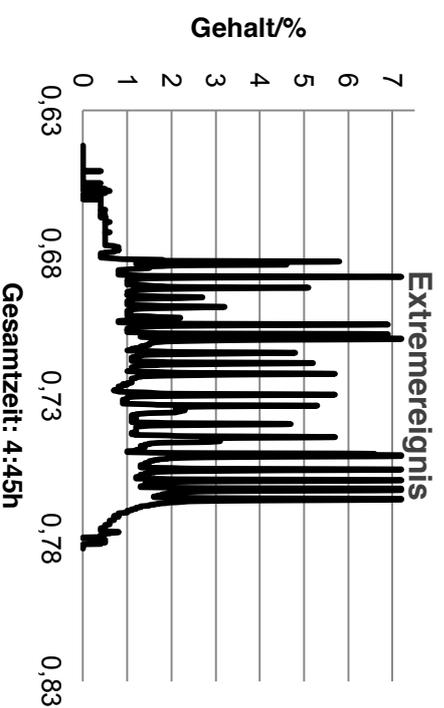
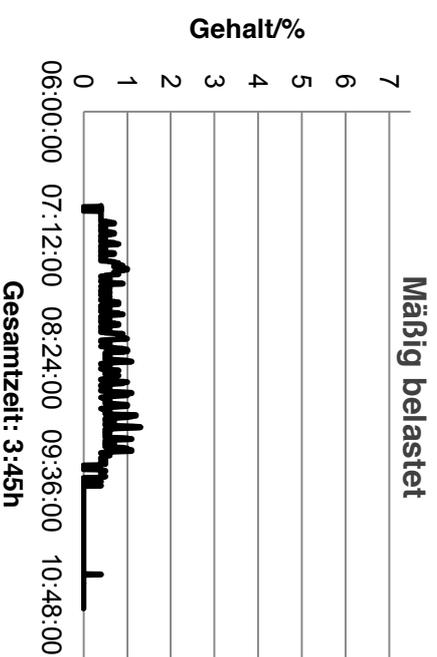
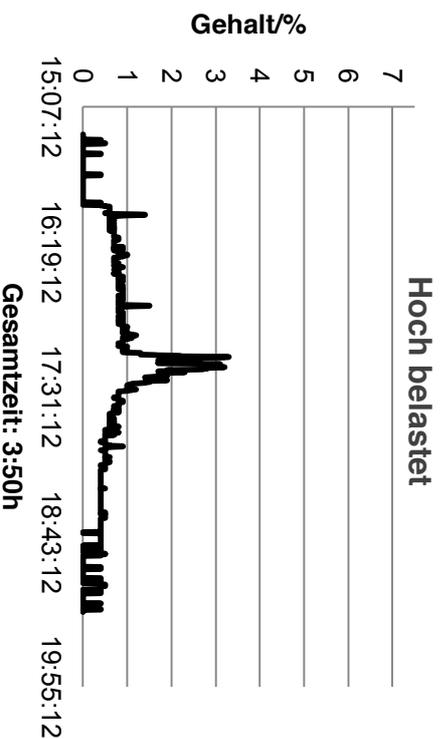
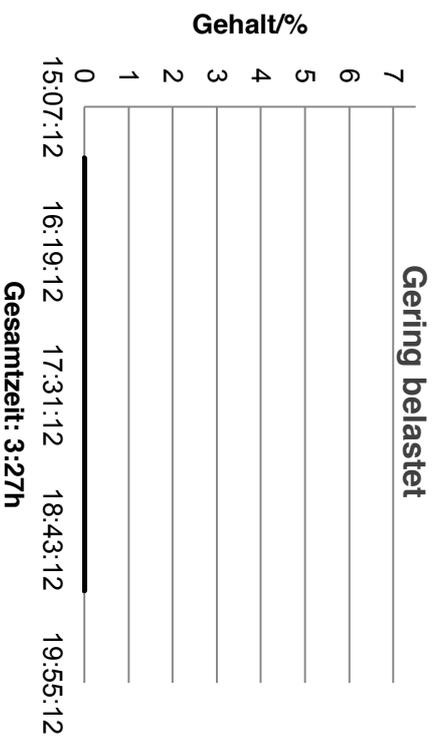
Material & Methoden

Feldstudie:

- » 119 Bergleute im Kalibergwerk unter Tage
- » Personal Monitoring: (PAC 7000)
- » **Untersuchungen vor & nach der Schicht im Untertage-Untersuchungssunit:**
Fragebogen + ärztl. Examination,
Oxymetrie, Lungenfunktion, Langzeit-EKG
- » **Neuropsychologisches Methodeninventar:**
Discomfort Intolerance Scale (DIS)
Nijmegen Questionnaire Hypersensitivity
Diagnostic Symptom Questionnaire (DSQ)
Symptom-Check-List (SCL)



Ergebnisse: Beispielexpositionen des Personal monitoring

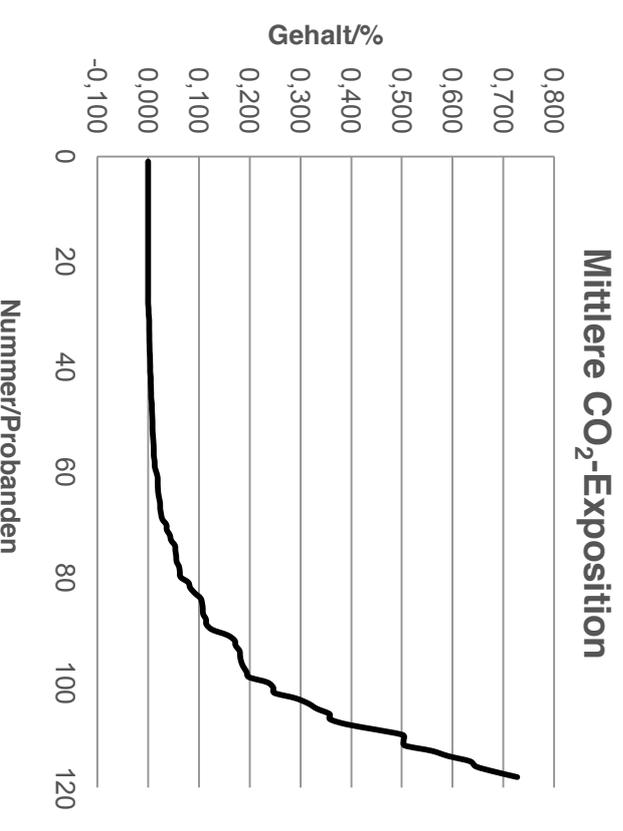


Ergebnisse:

- » $\Sigma = 119$ Expositionsmessungen unter Tage:
- » Nach klassischen MAK-Kriterien 22 Grenzwertüberschreitungen (> 1 Vol.-% CO₂ oder mehr als zwei Überschreitungen > 0,5 Vol.-% CO₂ pro Stunde)

» Gruppeneinteilung:

Gering belastet: 0,0 – 0,1 Vol. % CO₂ (n = 83)
Mäßig belastet: 0,1 – 0,5 Vol. % CO₂ (n = 26)
Hoch belastet: 0,5 – 1,4 Vol. % CO₂ (n = 10)



Blut- und Urindiagnostik

Auswertung von:

Vor-Schicht: $88 * 119 = 10472$ Messwerten

Nach-Schicht: $65 * 119 = 7735$ Messwerten



Ergebnisse:

Gruppierung & Allgemeine Untersuchung

Parameter/Gruppe	niedrig exponiert	mäßig exponiert	hoch exponiert
CO ₂ (Vol.%)	0,0-0,10	0,101-0,50	0,501-1,5
Anzahl	83	26	10
Alter	41	42	40
Raucher / Zigaretten	36 (43%) / 6	12 (46%) / 6	3 (30%) / 17
Husten	9 (11%)	4 (15%)	1 (10%)
Auswurf	6 (7%)	3 (12%)	2 (20%)
Körpergewicht (v)	90,1	92,1	95,1
Körpergewicht (n)	89,9	91,9	94,6
BMI (18,5-25)	28,0	28,7	29,3
Erhöhtes Cholesterin	27 (33%)	10 (38%)	0 (0%)

Blut- und Urindiagnostik

Auswertung von:

Vor-Schicht: $88 * 119 = 10472$ Messwerten

Nach-Schicht: $65 * 119 = 7735$ Messwerten



Material & Methoden

Blutgasanalysator

Radiometer ABL 825



14 Messparameter

	pH							
pH	pH	pH						
Blutgase	pCO ₂	PO ₂						
Elektrolyte	cCl ⁻	cCa ⁺⁺	cK ⁺					
Metaboliten	cGlu	cLac						
Oxymetrie	cHb	SO ₂	FO ₂ Hb	FCOHb	FMethb			

Auswertung von 2 * 14 * 119 = 3332 Messwerten

Ergebnisse:

Blutdruckmessung (vor vs. nach Schicht)

Messparameter	Blutdruck systolisch 120 mm Hg		Blutdruck diastolisch 80 mm Hg		Körpergewicht kg	
Zeitpunkt	V	N	V	N	V	N
CO₂: 0,000-0,100 %, Vergleich Vor-Schicht – Nach-Schicht						
Mittelwert	146	140	93	88	90,1	89,9
Standardabweichung	16,1	15,0	12,0	11,2	14,4	14,4
p-Wert	0,0009		0,0001		0,8958	
CO₂: 0,101-0,500 %, Vergleich Vor-Schicht – Nach-Schicht						
Mittelwert	141	131	90	84	92,1	91,9
Standardabweichung	20,0	19,1	13,2	12,6	18,2	18,0
p-Wert	0,0003		0,0053		0,4638	
CO₂: 0,501-1,500 %, Vergleich Vor-Schicht – Nach-Schicht						
Mittelwert	148	137	95	88	95,4	94,6
Standardabweichung	16,0	13,6	8,0	7,2	16,2	16,1
p-Wert	0,0807		0,0392		0,0258	

Blutdruck, Körpergewicht

Fazit:

- » Die verschiedenen hohen CO₂-Expositionen haben keinen Einfluss auf die Nach-Schicht-Blutdruckwerte(syst./diast.).
- » Die gefundenen signifikanten Veränderungen (Vor-Schicht Nach-Schicht) müssen anders erklärt werden, z.B. durch Gewöhnung an Untersuchungsbedingungen oder Arbeitsbedingungen.

Blut- und Urindiagnostik

Auswertung von:

Vor-Schicht: 88 * 119 = 10472 Messwerten

Nach-Schicht: 65* 119 = 7735 Messwerten

**Hinweise auf: Ig-G Mangel,
Isolierte Banden, Eiweißmangel
SD: unter SD Medikation
Fettstoffwechselstörungen/Übergewicht**



CO ₂ (Vol. %)	n	Immun- Elektrophorese	SD- Werte	Eiweiß Urin	Cholesterin
0,000-0,100	83	16 (19%)	1	12	27 (33%)
0,101-0,500	26	6 (23%)	1	0	10 (38%)
0,501-1,500	10	0 (0%)	2	0	0 (0%)

Blut- und Urindiagnostik

Fazit:

- » Auffälligkeiten im **Routinelabor** beschränken sich auf vereinzelte Immuneiweißveränderungen, Schilddrüsenwerte, Fettstoffwechsellstörungen. Akut kontroll- bzw. therapiebedürftige Abweichungen liegen **zum gegenwärtigen Auswertzeitpunkt** nicht vor.

Ergebnisse: Oxymetrie (vor vs. nach Schicht)

Normwerte	Vor(V) / Nach(N)- Schicht	Mittelwert CO ₂ (%)	pH 7,35 -7,45	pCO ₂ (mmHg) 35 -48	SBC (mmol/L) 21 -26	HCO ₃ ⁻ (mmol/L) 22 -27	ABE (mmol/L) [-2 bis 3]
MW	V	0,000-0,100	7,43	37,30	24,82	24,03	0,45
SD			0,02	3,14	1,32	1,81	1,57
MW	N	0,000-0,100	7,43	36,95	24,71	23,85	0,29
SD			0,03	2,77	1,68	1,94	2,06
p Vor - Nach			0,8453	0,2295	0,9018	0,7362	0,9641
MW	V	0,101-0,500	7,43	37,72	25,25	24,56	0,94
SD			0,02	3,03	1,29	1,74	1,46
MW	N	0,101-0,500	7,43	36,51	24,90	23,93	0,53
SD			0,02	3,33	1,39	1,93	1,64
p Vor - Nach			0,3299	0,1736	0,4464	0,3127	0,4462
MW	V	0,501-1,500	7,43	37,27	25,16	24,36	0,84
SD			0,03	4,61	1,43	2,15	1,68
MW	N	0,501-1,500	7,44	35,58	24,96	23,86	0,58
SD			0,02	4,43	1,66	2,40	1,96
p Vor - Nach			0,4560	0,2200	0,7491	0,5042	0,7245

Blutgasanalytik

Fazit:

- » Die verschiedenen hohen CO₂-Expositionen haben keinen Einfluss auf die Nach-Schicht-Blutgasanalysen.
- » Die weiteren Veränderungen müssen anders erklärt werden, z.B. durch Gewichtsabnahme, Salzaufnahme (Na⁺, Cl⁻) und körperliche Belastung (Laktat).

Langzeit-EKG

Institut für Prävention und Abteilmedizin
der Deutschen Gesellschaft für Hämatologie und
Onkologie
Institut für Natur-Umweltforschung

Patientendaten

Name: Adhama, Datum: 21.06.2010 06:43:12
ID: C02_018 Zweite ID: Analysezeit: 21.06.2010
Geburtsdatum: 19.06.1978, Alter: Geschlecht: Unbekannt, Aufnahmezeitpunkt: 21.06.2010
Behandlung: Keine, Referenz: H2C01314
Diagnose: Keine, Rekorder-Nr.:
Analyse durch: Anja durch: Sahlo, Daniela

Analyse Kriterien

SVES Vorkriterien: 56%
ST-Abw. > 200 µV
ST-Steilung: 100 µV
Keine Pause in mT: HF: Nein
Tachykardie: 120 BPM
Bradykardie: 50 BPM
Minimale P-Q-T-Int: 3 Min, 0 sek

Zusammenfassung

Total QRS: 21098 Aufnahmearbeit: 4 Std., 46 Min. Analysierbare Dauer: 4 Std., 39 Min.

Herzfrequenz: 16 um 07:06:16
Tachykardie Bradykardie Episoden:
Min. HF: 116 um 07:40:29
Max. HF: 78
Schwache Bradykardie
Längste Bradykardie:
Niedrige Bradykardie

Supraventrikulär: (0%) 0 BPM
AF (Zellen)/Max. Herzf. (0%) 0 BPM
Couplette: 1
Schwache Sinusbr. 189 BPM um 07:37:13
Längste Sinusbr. 4 um 07:37:01
Total: 21

RR-Verhältnis: 4%
m-SD: 27 ms
M-SD: 54 ms
Klasse: 59 ms

ST-Abweichung:
Max. Steigung (µV): 187 / 07:28:12
112 / 08:13:12

Prägnanz:
Längste RR-Intervalle: 3,54 Sek. um 07:06:11
RRS > 20 Sek.: 3

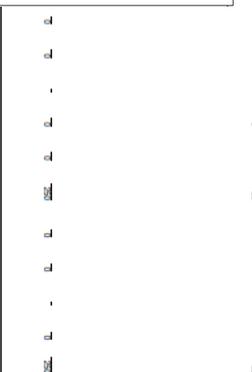
Dieses Langzeit-EKG wurde um 06:43:12 angelegt und erfolgte über eine Zeiteinheit von 4 Std., 46 Min. Die
mT- und m-SD-Werte sind 116 bzw. 27 ms, die m-SD-Werte sind 54 ms und die Klassen sind 59 ms.
Es sind keine Bradykardie-Episoden aufgetreten, die dem Analysierenden entgingen.
In 0% der Überwachungszeit wurde Vorhofflimmern erkannt, wobei die max. HF in dieser Periode 0 BPM
betrug. Insgesamt wurden 21 Supraventrikuläre Ereignisse gezählt, wobei davon 6 SVES, 1 Couplette und 4 Sinus mit
3 oder mehr Komplexen erkannt wurden. 1 V-Intervalle (Klasse) beobachtet, die sich aus 0 Einzelnen VES, 0
Coupletten und 0 Sinus mit 3 oder mehr VES und 0 auf T-Episoden zusammensetzen.
Die schwache Ventrikuläre Sinusbr. -BPM wurde un- festgestellt, die längste Ventrikuläre Sinusbr. mit
Keine. Das längste RR-Intervalle mit 3,54 Sek. ist um 07:06:11 aufgetreten, insgesamt sind 3 RR-Intervalle mit mehr
als 2,0 Sek. aufgetreten.

Medical Instrument, Inc. N-52309

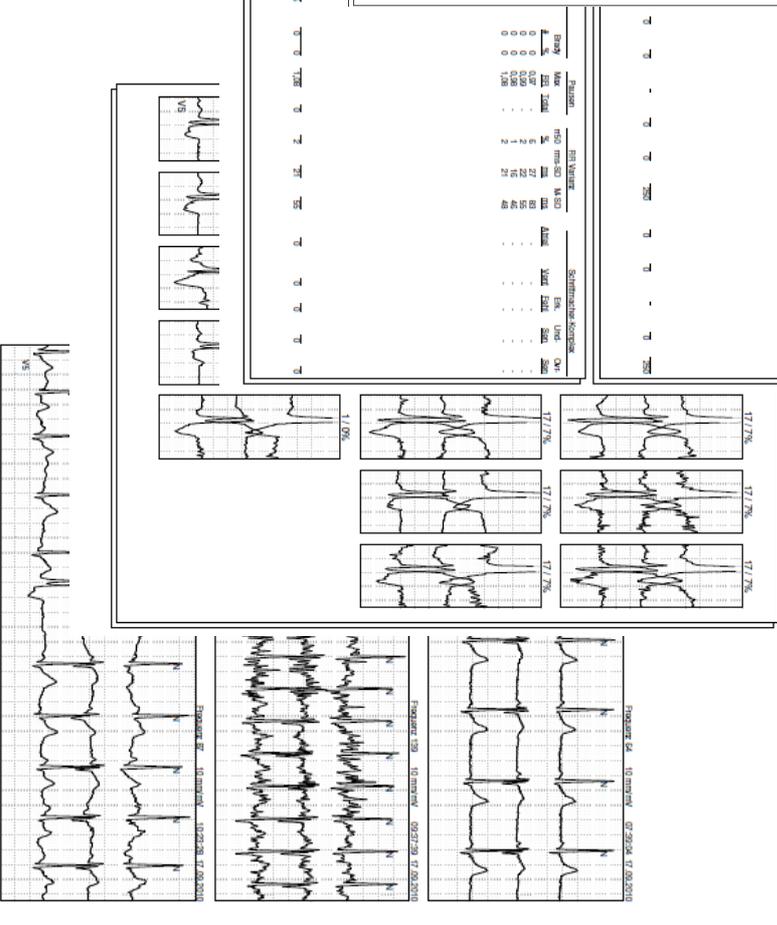
Edwards Lifesciences 432177

Rhythmus-Übersicht

in Folge	Supraventrikulär		Ventrikulär	
	Min	Max	Min	Max
2	0	1	0	0
1	0	4	0	4
0	0	188	0	188
0	0	69	0	69



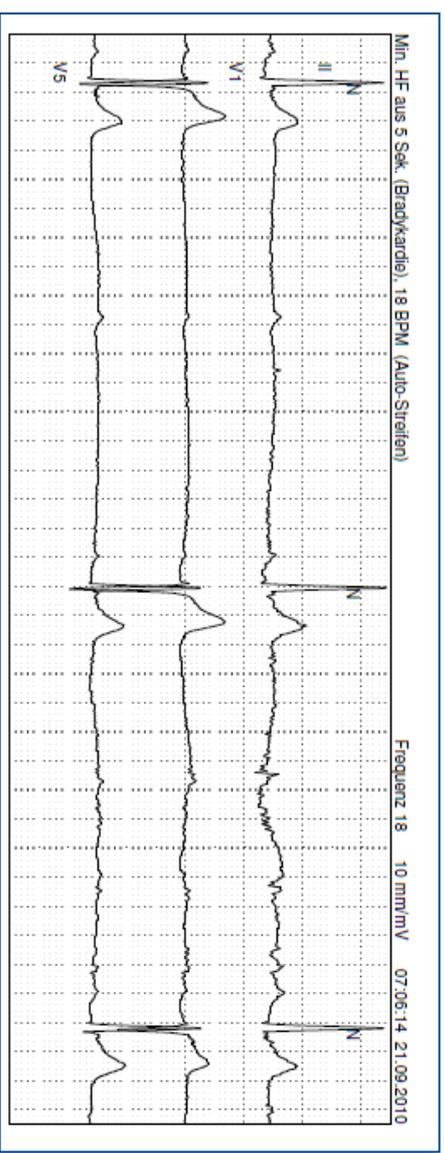
ites



Langzeit-EKG

4 Bergleute mit auffälligen Befunde im Langzeit EKG.

1 Fall eines kompletten AV-Blocks:



3 Fälle mit ventrikuläre Extrasystolen nach Lown-Grad II.

- » Gelegentliche Kontrollen der Befunde wurden den Betroffenen angeraten.
- » Betroffenen Bergleute äußerten im ärztlichen Anamnesegespräch der Studie keine Beschwerden.
- » Alle übrigen Langzeit-EKG-Befunde ohne pathologischen Auffälligkeiten.

Spirometrie: „Lungenfunktionsprüfung“

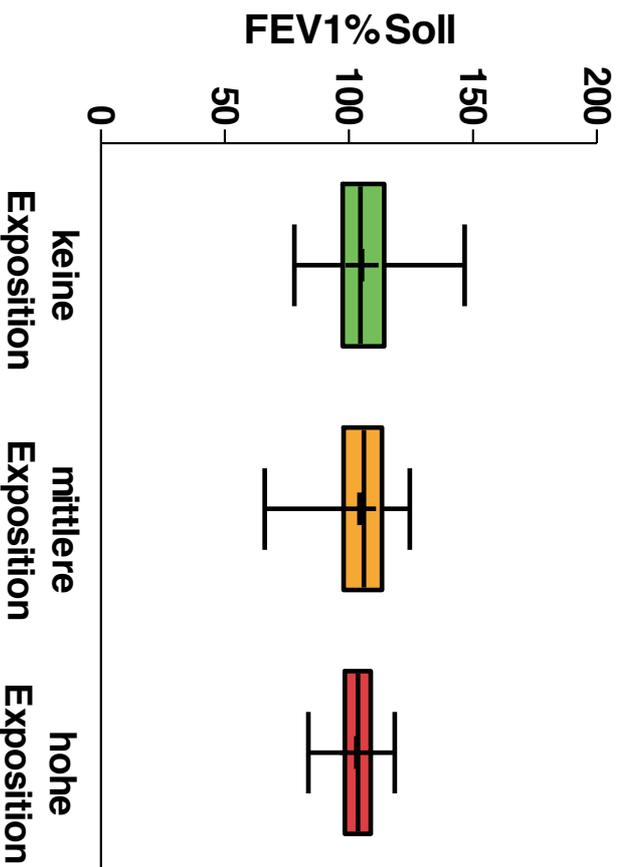
...Sie atmen mit einer Nasenklemme auf ein bestimmtes Kommando durch ein Mundstück ein- und aus...

...die Assistentin zeichnet am PC den Verlauf und die Tiefe der Atemzüge auf...

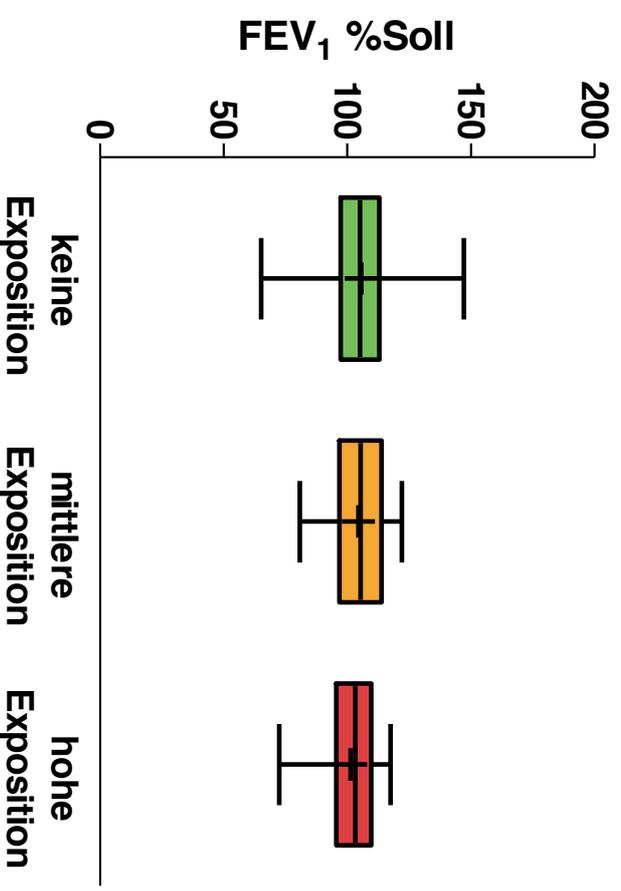


Lungenfunktion

**FEV₁%Soll Gruppeneinteilung
Vorsicht**



**FEV₁%Soll Gruppeneinteilung
NachSchicht**



1. Zwischenergebnis

Blutgase: Keine Übersäuerung des Blutes (pH, pCO₂)

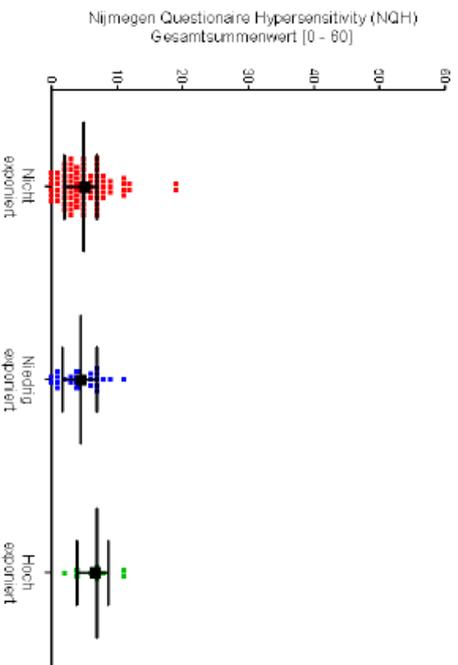
Blutdruck: Abnahme in allen drei Expositionsgruppen

Laborwerte: Einzelne Befunde bei Blutfetten,
Zuckerspiegeln und Schilddrüsenhormonen
ohne Bezug zu CO₂ und seltener als in der
Allgemeinbevölkerung

**Oxymetrie, Lungenfunktion, Langzeit-EKG,
ohne CO₂ – bedingte Auffälligkeiten**

Neuropsychologische Ergebnisse

Nijmegen Questionnaire Hypersensitivity (NQH)



- » Gibt Hinweise auf das Vorliegen einer **habituellen Neigung zum Hyperventilieren**
- » **Diagnoseinstrument für ein Hyperventilationssyndrom**
- » Ein Gesamtsummenwert von ≥ 23 (Diagnose eines Hyperventilationssyndroms) **wurde in keiner Gruppe erreicht.**

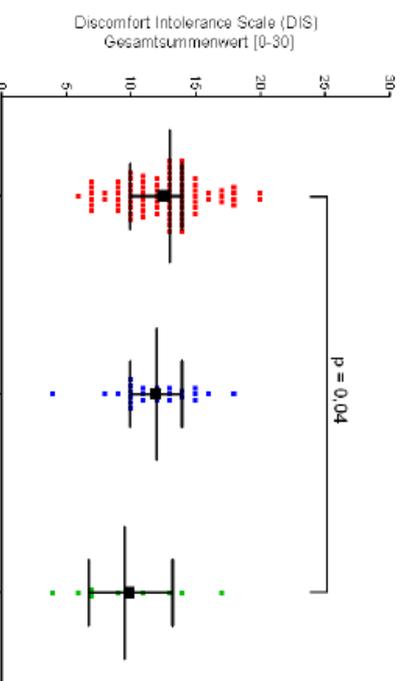
Nijmegen Questionnaire Hypersensitivity (NQH) Gesamtsummenwert [0-60]	Nicht-Exponiert (1) 5,0 (2,0 – 7,0)	Niedrig-Exponiert (2) 4,5 (1,8 – 7,0)	Hoch-Exponiert (3) 7,0 (4,0 – 8,8)
---	---	---	--

*Mann-Whitney-U-Test zum Vergleich der Gruppen 1 & 2 ($p = 0.75$), der Gruppe 1 & 3 ($p = 0.09$) und der Gruppe 2 & 3 ($p = 0.07$).

Neuropsychologische Ergebnisse

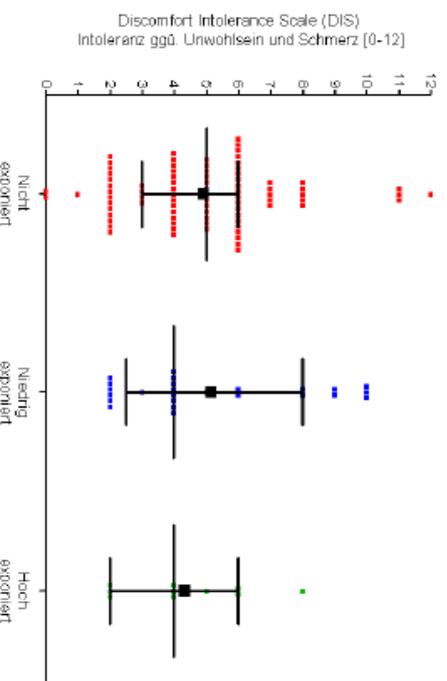
Discomfort Intolerance Scale (DIS), I

- » Die Discomfort Intolerance Scale (DIS) erfasst das Ausmaß, **unangenehme körperlichen Empfindungen** "ertragen" zu können/wollen.



Discomfort Intolerance Scale (DIS)	Nicht-Exponiert	Niedrig-Exponiert	Hoch-Exponiert
Gesamtschwermetriert [0-30]	9,0 (7,0 – 11,0)	8,0 (5,0 – 9,0)	5,5 (4,0 – 7,5)

*Mann-Whitney-U-Test zum Gruppenvergleich 1 & 2 (p = 0,47), Gruppe 1 & 3 (p = 0,04) und dGruppe 2 & 3 (p = 0,12).



Discomfort Intolerance Scale (DIS)	Nicht-Exponiert	Niedrig-Exponiert	Hoch-Exponiert
Intoleranz gegenüber Unwohlsein oder Schmerz [0-12]	5,0 (3,0 – 6,0)	4,0 (2,5 – 8,0)	4,0 (2,0 – 6,0)

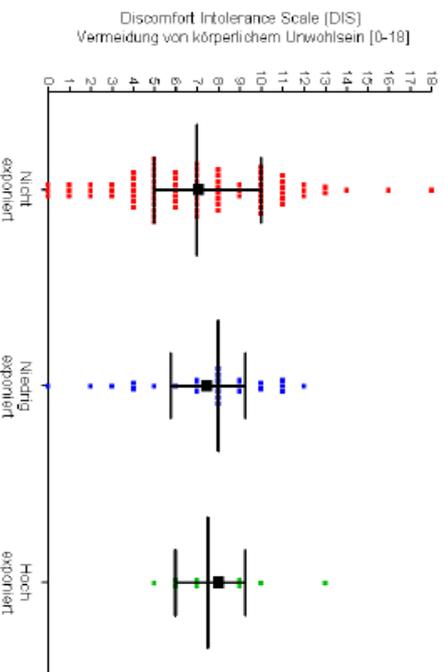
*Mann-Whitney-U-Test zum Vergleich der Gruppen 1 & 2 (p = 0,87), der Gruppe 1 & 3 (p = 0,43) und der Gruppe 2 & 3 (p = 0,60).

- » Überprüfung der Summenwerte zur Intoleranz gegenüber **Unwohlsein oder Schmerz**.

Neuropsychologische Ergebnisse

Discomfort Intolerance Scale (DIS), II

» Überprüfung der Summenwerte zur Intoleranz gegenüber und **Vermeidung von körperlichem Unwohlsein**.

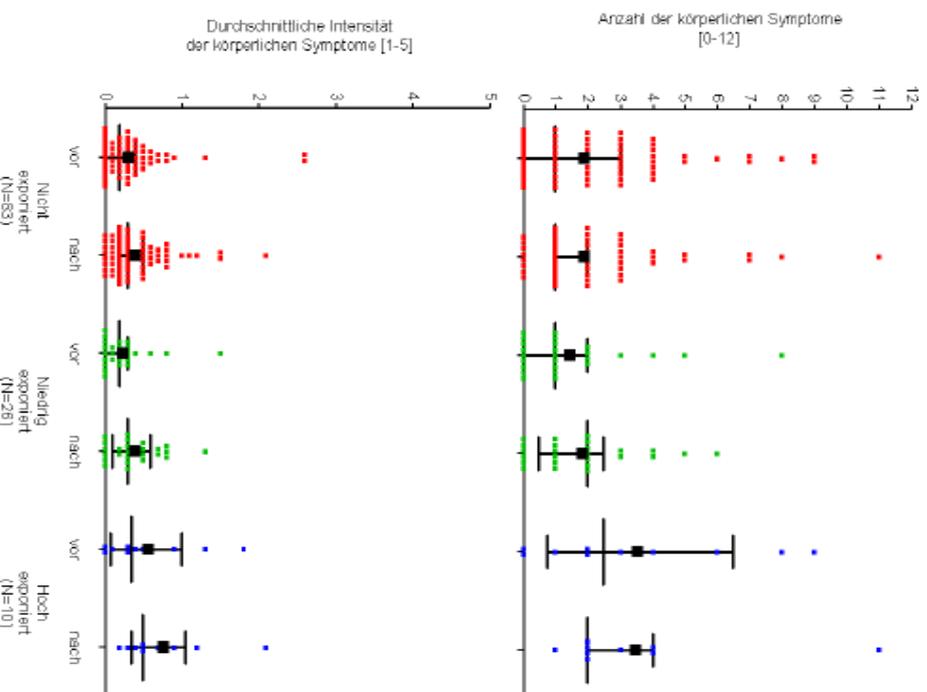


Discomfort Intolerance Scale (DIS)	Nicht-Exponiert	Niedrig-Exponiert	Hoch-Exponiert
Vermeidung von körperlichem Unwohlsein [0-18]	7,0 (5,0 – 10,0)	8,0 (5,8 – 9,3)	7,5 (6,0 – 9,3)

*Mann-Whitney-U-Test zum Vergleich der Gruppen 1 & 2 (p = 0.37), der Gruppe 1 & 3 (p = 0.33) und der Gruppe 2 & 3 (p = 0.93).

Neuropsychologische Ergebnisse

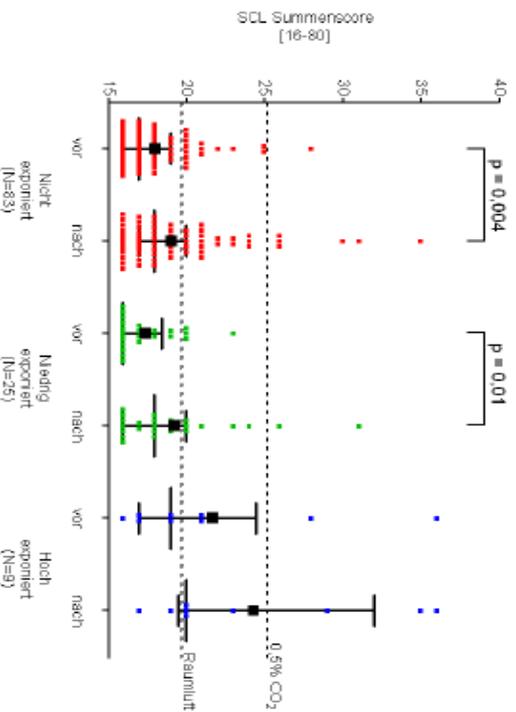
Diagnostic Symptom Questionnaire (DSQ)



- » Erfasst **Veränderung körperlicher Symptome**.
- » Wird als **Kurzfragebogen bei CO₂-Provokationsstudien** zur Erforschung von Panik-Störungen eingesetzt.
- » Hier: Einsatz von Fragen zu körperlichen CO₂ assoziierten Symptomen: Atemnot, Herzklopfen, Schwitzen, Schwindel

DSQ	Nicht-Exponiert	Niedrig-Exponiert	Hoch-Exponiert
Anzahl [0-12]			
vorher	1,0 (0,0-3,0)	1,0 (0,0-2,0)	2,5 (0,8-6,5)
nachher	1,0 (1,0-2,0)	2,0 (0,5-2,5)	2,0 (2,0-4,0)
Signifikanzniveau	0,58	0,26	0,45
Intensität [1-5]			
vorher	0 (0-0)	0 (0-0)	0,0 (0,0-1,0)
nachher	0 (0-0)	0 (0-0)	0,0 (0,0-0,5)
Signifikanzniveau	0,48	0,10	0,85

Neuropsychologische Ergebnisse Symptom Check List (SCL), I



($p = 0.004$), d.h. **nach der Schicht mehr körperliche Symptome** als vorher.
 ($p = 0.01$), d.h. **nach der Schicht werden mehr körperliche Symptome** genannt als vorher.

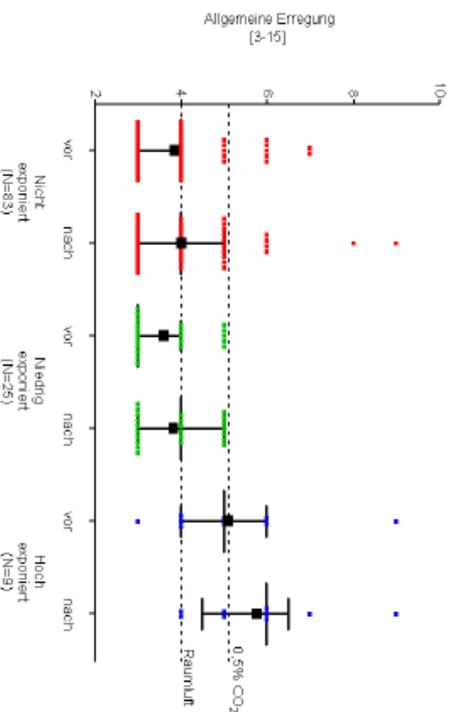
» Erfasst **Symptome**, die sich in CO₂-Provokationsstudien als sensitive Marker für CO₂ Inhalationseffekte gezeigt haben:

» Veränderungen **körperlicher Symptome (allgemeine Erregung, Schwitzen, Herzklappen)**

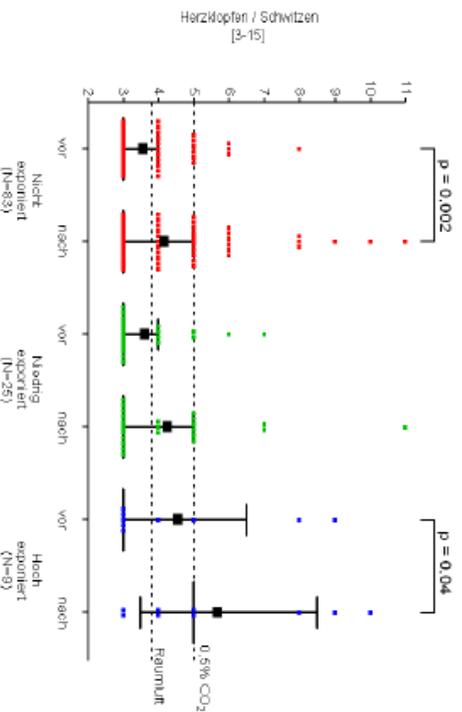
SCL	Nicht-Exponiert	Niedrig-Exponiert	Hoch-Exponiert
Gesamtwert [16-80]	17 (16-19)	17 (16-19)	20 (17-24)
vorher	18 (17-20)	18 (16-20)	20 (20-32)
nachher	0,004	0,01	0,06
Signifikanzniveau			
Erregung [3-15]	4 (3-4)	3 (3-4)	5 (4-6)
vorher	4 (3-5)	4 (3-5)	6 (4,5-6,5)
nachher	0,36	0,27	0,29
Signifikanzniveau			
Herzklappen/Schwitzen [3-15]	3 (3-4)	3 (3-4)	3 (3,5-5,8)
vorher	4 (3-5)	3 (3-5)	3,5 (5-8,5)
nachher	0,002	0,08	0,04
Signifikanzniveau			

Neuropsychologische Ergebnisse Symptom Check List (SCL), II

» Allgemeine Erregung:
keine statistisch bedeutsame Veränderung



» Herzklopfen / Schwitzen:
nach der Schicht vermehrt Herzklopfen bzw.
Schwitzen





Institut für Prävention und Arbeitsmedizin
der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung
Institut der Ruhr-Universität Bochum

Technische Details und Ergebnisse der Expositionsermittlung im ExpOLab

RUHR
UNIVERSITÄT
BOCHUM

RUB

Anthropometrische Daten

Bergleute vs. Allgemeinbevölkerung

Bergleute

Alter: 26-58 Jahre (MW: 39 Jahre)

Größe: 173-187 cm (MW: 181 cm)

Gewicht 76-121 kg (MW: 92,5 kg)

Probanden

Alter: 20-56 Jahre (MW 36,7 Jahre)

Größe: 163-193cm (MW 176 cm)

Gewicht: 58-100kg (MW 76,3Kg)

Bergleute

- » Kohorte acht freiwilliger Bergleute
- » Gleiche standardisierte CO₂-Expositionsbedingungen wie „gesunde Probanden“
- » Versuch, mögliche Adaptationseffekte durch eine langjährige berufliche CO₂-Exposition bei den Bergleuten zu identifizieren.
- » Gleiches Studiendesign wie im Teil Allgemeinbevölkerung
- » 4 Stunden unter einer 2maligen körperlichen Belastungssimulation
- » Raumluft als Kontrollbedingung vs. Maximalkonzentration von 2 Vol.-% CO₂
- » Einfach verblindetes Studiendesign

Expositionsbedingungen im Expolab:

- » Exposition: 4,0 h
- » Temperatur: 23 - 24 ° C
- » Feuchtigkeit: 40 - 50 % rel.
- » Luftaustausch: 360 m³/h
- » 4 Probanden gleichzeitig

CO₂-Konzentrationen (in Vol.-%): „gesunde Probanden“

Montagsgruppe:

0,5 1,0 0,0 2,0

Profil:
2,0 - 0,0 - 2,0

Dienstagsgruppe:

2,0 0,0 1,0 0,5

(15 Min. - 10 Min. - 15. Min.),
immer im Wechsel

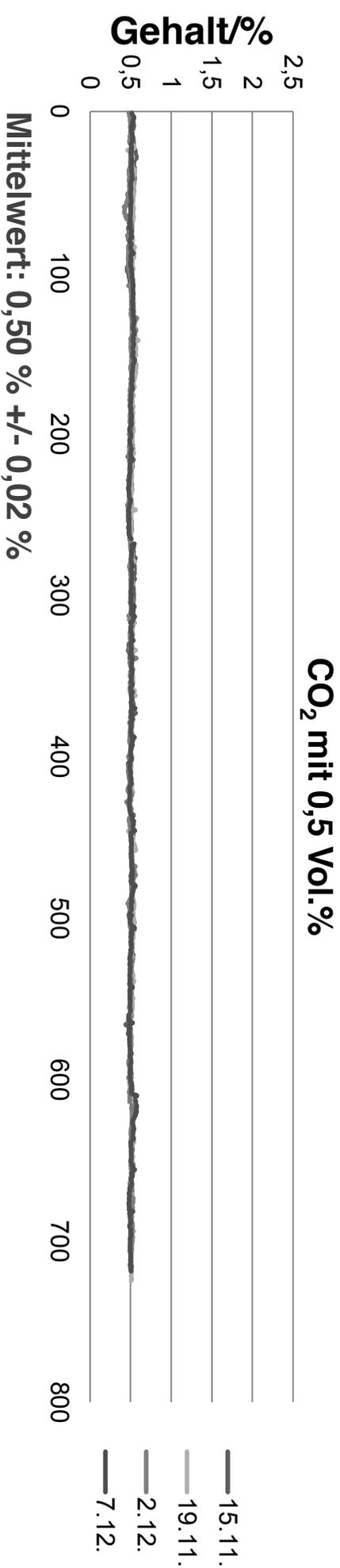
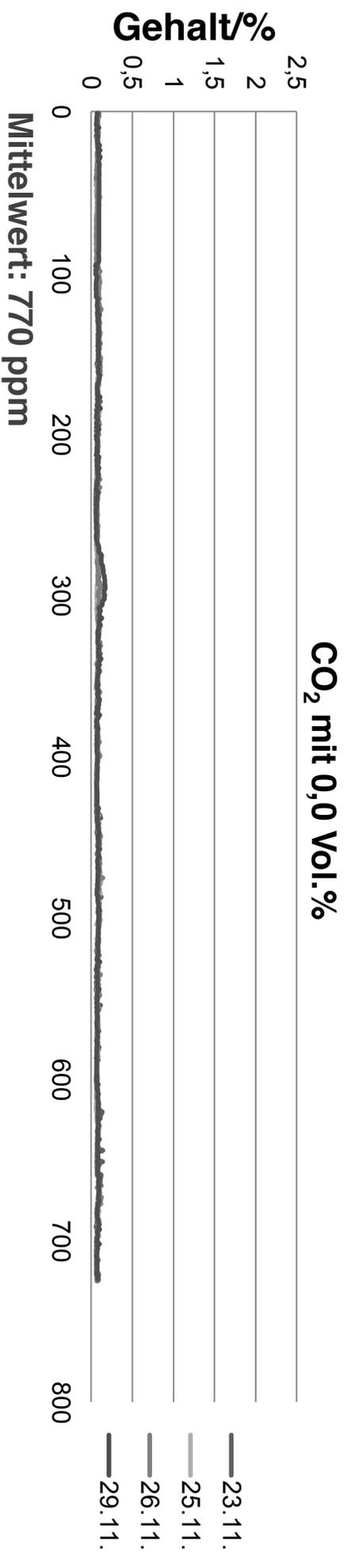
Donnerstagsgruppe:

1,0 0,0 0,5 2,0

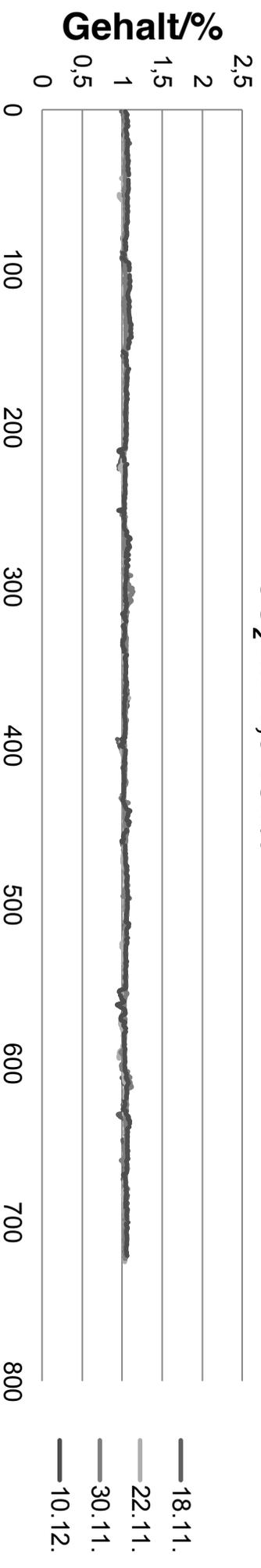
Nachholtag:
1,0

Freitagsgruppe:

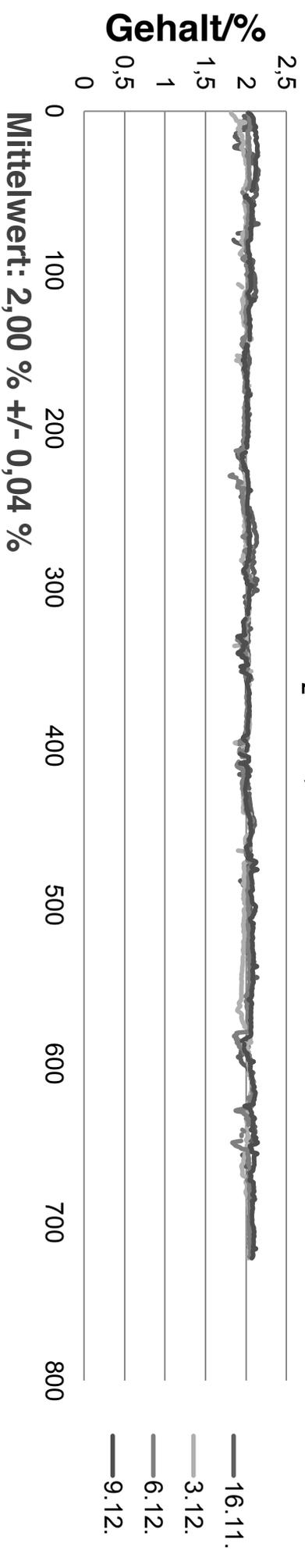
0,5 0,0 2,0 1,0



CO₂ mit 1,0 Vol.-%



CO₂ mit 2,0 Vol.-%



Blutgasanalytik

Resultate weibliche Probanden im Expolab

Stellgröße	Beobachtung
nach 20 minütiger Belastung mit 0 bzw. 2% CO ₂	Veränderung des pH-Wertes nach zweiter ergonomischer Belastung
pH-Wert	sank von 7,44 bei 0 % CO ₂ auf 7,42 bei 2 % CO ₂ Exposition.
pCO ₂	31,18 vs. 36,35 mm Hg
pO ₂	sinkt auf 94,38 vs. 100,47 mm Hg
vor der zweiten Belastung Ausgangsunterschiede	0% CO ₂ von pH 7,43 gegenüber pH 7,41 bei 2% CO ₂ Exposition.
Untersuchungsabschnitt nach 7 Minuten als auch nach 20 min der körperlichen Belastungssimulation	Gleiche Veränderungen wie zuvor

Resultate männliche Probanden im Expolab

Stellgröße	Beobachtung
<p>pH, pCO₂ und pO₂ im Vergleich zwischen Exposition von 0 % und 2 %</p> <p>blutgasanalytischen Untersuchung für pH-Wert, pCO₂ und pO₂ 7min nach ergometrischer Belastung</p>	<p>-pH-Wert reduzierte sich von 7,418 auf 7,398</p> <p>-pCO₂ stieg bei 0 % CO₂ von 38,6 mm Hg auf 40,5 mmHg bei 2 % CO₂ an,</p> <p>-pO₂ veränderte sich bei 0 % CO₂ von 79,3 mm Hg auf 88,5 mm Hg bei 2 % CO₂.</p> <p>Gleiche Tendenz (statistisch signifikant: p-Werte: pH = 0,0001; pCO₂ = 0,0001; pO₂ = 0,0002)</p>

Blutgasanalytik

- » Sämtliche Blutgasanalysen im physiologischen Bereich, keine pathologische Messwerte.
- » Ohne ergometrische Belastung und nach ergometrischer Belastung physiologisches, leichtgradiges Absinken des pH-Wertes unter 2%-iger CO₂-Exposition.
- » Unter 2% CO₂ im Vergleich zu Raumluft geringfügiges Absinken des pH-Wertes im physiologischen Bereich von pH 7,42 auf pH 7,40.
- » Nach 7´ und 20´ unter definierter ergometrischer Belastung gleichartig gerichteter Effekt auf pH-Wert, pCO₂ und pO₂.

Messparameter	pH 7,35-7,45	pCO ₂ 35-48mm Hg	pO ₂ 83-108 mm Hg
1. Zeitpunkt: vor erster ergometrischer Belastung			
Konzentration CO ₂	0%	0%	0%
Mittelwert	7,42	37,66	39,08
Standardabweichung	0,02	0,03	3,17
p-Wert	0,015	0,0163	0,0007
2. Zeitpunkt: 7 min nach erster ergometrischer Belastung			
Konzentration CO ₂	0%	0%	0%
Mittelwert	7,39	7,36	41,12
Standardabweichung	0,03	0,02	12,61
p-Wert	0,01	0,46	0,0005
3. Zeitpunkt: 20 min nach erster ergometrischer Belastung			
Konzentration CO ₂	0%	2%	0%
Mittelwert	7,39	7,38	37,28
Standardabweichung	0,04	0,03	7,55
p-Wert	0,564	0,4726	0,0001
4. Zeitpunkt: vor zweiter ergometrischer Belastung			
Konzentration CO ₂	0%	2%	0%
Mittelwert	7,42	7,41	35,68
Standardabweichung	0,02	0,02	3,97
p-Wert	0,0192	0,0351	0,0005
5. Zeitpunkt: 7 min nach erster ergometrischer Belastung			
Konzentration CO ₂	0%	2%	0%
Mittelwert	7,40	7,37	34,61
Standardabweichung	0,02	0,03	2,72
p-Wert	0,0001	0,0001	0,0405
6. Zeitpunkt: 20 min nach erster ergometrischer Belastung			
Konzentration CO ₂	0%	2%	0%
Mittelwert	7,43	7,39	34,57
Standardabweichung	0,02	0,03	5,84
p-Wert	0,0016	0,0582	0,0144

Zusammenfassung

- » Im Studienzeitraum von 5 Wochen traten unter Tage Expositionen bis zu 1,4 Vol.-% CO₂ auf.
- » Die medizinischen und neuropsychologischen Untersuchungen ergaben bisher keine signifikanten akuten oder chronischen Gesundheitsstörungen durch diese Exposition.
- » Auch die im Expolab des IPA unter kontrollierten Bedingungen gewonnenen und im Umfang erweiterten Messdaten ergaben nach dem jetzigen Stand der Auswertungen weder bei den Personen der Allgemeinbevölkerung noch bei den Bergleuten signifikante Resultate, die ursächlich auf die CO₂-Exposition zurückzuführen waren.
- » Die gemessenen Veränderungen sind als physiologisch und voll reversibel anzusehen.