

Eiskalter Killer Trockeneis?

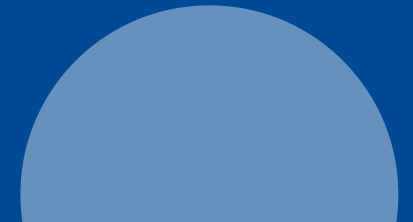
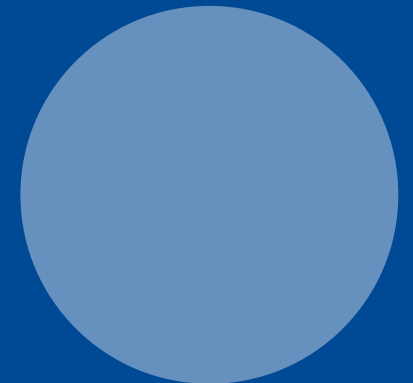
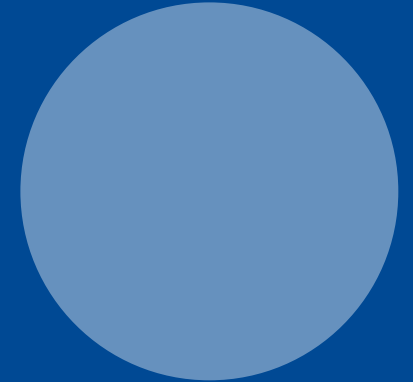
Gefährdung durch Kohlendioxid

Erfahrungsaustausch der Gefahrstoffmessstellen

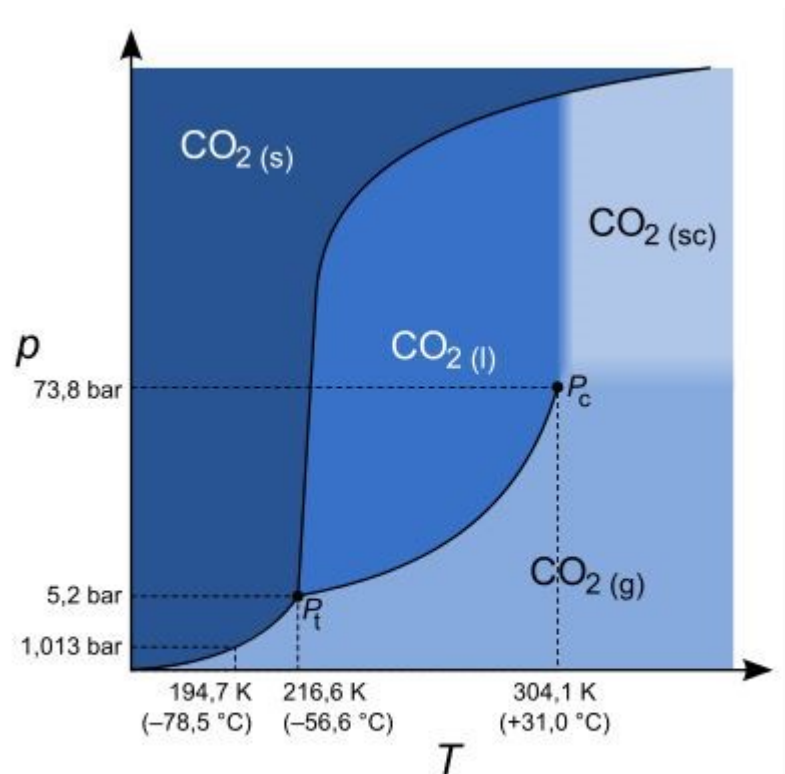
27. September 2023 Hamburg

Messstelle Gefahrstoffe, Zentrallabor

Dr. Theresa Wiesemeier



Was ist Trockeneis?



Phasendiagramm von Kohlenstoffdioxid (nicht maßstabsgerecht), P_t ist der Tripelpunkt und P_c der kritische Punkt.

Quelle: https://de.wikipedia.org/wiki/%C3%9Cberkritisches_Kohlenstoffdioxid

- weißer, wassereisähnlicher Feststoff
- („gefrorenes Kohlendioxid“)
- sublimiert bei Normaldruck bei $-78,48\text{ °C}$
 - bei 5,2 bar ab weniger als $-56,6\text{ °C}$ flüssig
- Volumenvergrößerung auf das 760fache

Woher kommt Trockeneis?

Herstellung:

- durch Entspannung von unter Druck verflüssigtes Kohlendioxid entsteht sogenannter Kohlendioxidschnee
- prinzipiell Funktionsweise von CO₂-Löschern

Anbieter:

- jederzeit und überall und in jeder Größe
- Amazon, Ebay, Linde, ...

Trockeneis Pellets 3 mm



Trockeneis Nuggets



Trockeneis Micropellets 1,5 mm



Trockeneis Scheiben- & Blöcke



Trockeneis Cryobags (verpackt)



Gastronomie & Events



Quelle: <http://trockeneis-shop.de>

Verwendung von Trockeneis

Einsatz von Trockeneis als Kühlmittel in unterschiedlichen Bereichen,

- bei Lebensmittellagerung und -transport,
- im Gesundheitswesen (z. B. Transport von Impfseren),
- im Gastgewerbe,
- zu Reinigungszwecken (Trockeneis-Strahlen),
- in der Unterhaltungsbranche (Nebeleffekte)

Insbesondere beim Transport von Lebensmitteln sind in den letzten Jahren deutliche Steigerungen beim Einsatz von Trockeneis zu verzeichnen.

- Internetbestellungen von Lebensmitteln (TK-Ware), Tierfutter sowie Arzneimittel

Wirkung von Kohlendioxid

CO ₂ –Anteil in der Atemluft	Gefährdung und Auswirkung bei zunehmender CO ₂ - Einwirkung
ca. 0,5 bis 1 Vol.-%	Bei nur kurzzeitiger Einatmung generell noch keine besonderen Beeinträchtigungen der Körperfunktionen.
ca. 2 bis 3 Vol.-%	Zunehmende Reizung des Atemzentrums mit Aktivierung der Atmung und Erhöhung der Pulsfrequenz.
ca. 4 bis 7 Vol.-%	Verstärkung der vorgenannten Beschwerden; zusätzlich Durchblutungsprobleme im Gehirn, Aufkommen von Schwindelgefühl, Brechreiz und Ohrensausen.
ca. 8 bis 10 Vol.-%	Verstärkung der vorgenannten Beschwerden bis zu Krämpfen und Bewusstlosigkeit mit kurzfristig folgendem Tod.
über 10 Vol.-%	Tod tritt kurzfristig ein.

Quelle: Sicherer Betrieb von Getränkeschankanlagen, Arbeitssicherheitsinformation (ASI) 6.80

Unfallgeschehen - Transport

Unfallbericht aus dem BGN / Report 2/2014

Tod durch Trockeneis



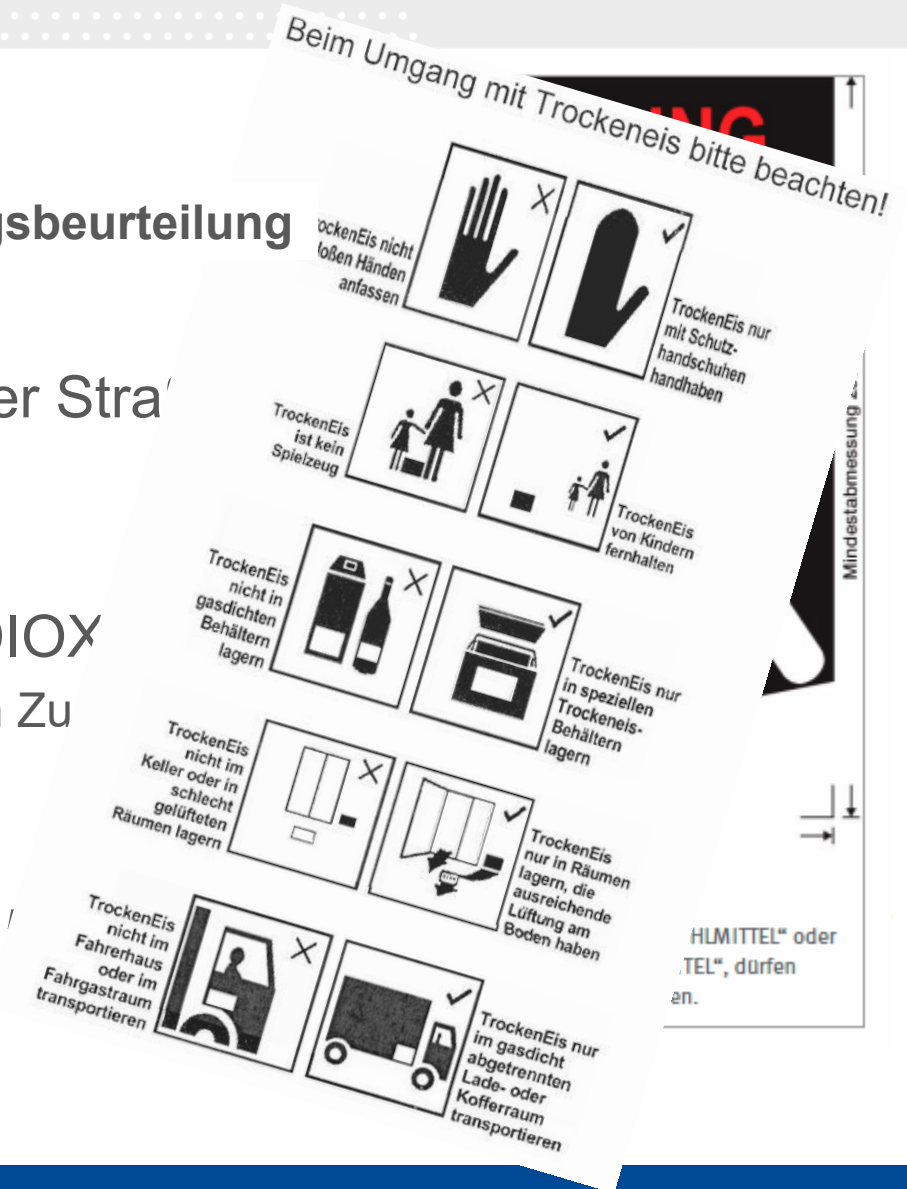
Im Auto erstickt / Restaurant-Geschäftsführer unterschätzt Gefährlichkeit von Trockeneis und kommt ums Leben.

Gefahrgutvorschriften

Gefahrgut-Einstufung: Trockeneis

Gefährdungsbeurteilung

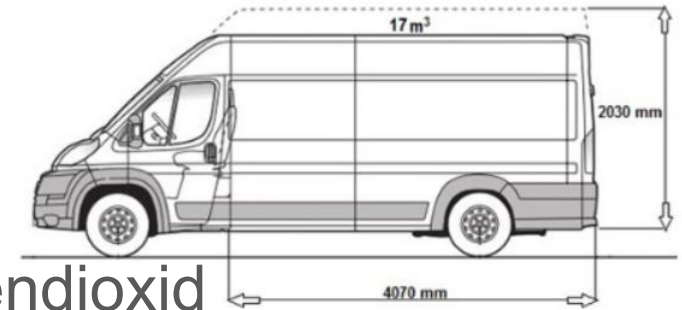
- nach dem Europäischen Übereinkommen über die internationale Beförderung gefährlicher Güter auf der Straße (ADR) als UN 1845 aufgeführt
- Versandstück mit Trockeneis Schriftzug „KOHLENDIOX FEST“ oder „TROCKENEIS“ und, sofern zutreffend, dem Zu KÜHLMITTEL“ bzw. „ALS KONDITIONIERUNGSMITTEL“
- in gut belüfteten Fahrzeugen und Containern
 - „Gut belüftet“ nach ADR = CO₂-Konzentration unter 0,1



CO₂-Konzentration beim Transport von TK-Ware Trockeneis im Backbetrieb

Theoretische Betrachtung der Kohlendioxidkonzentration:

- 1 kg Trockeneis sublimiert vollständig zu 0,541 m³ Kohlendioxid
 - vollständige Sublimation von 1 kg Trockeneis ergibt rechnerisch eine max. Kohlendioxidkonzentration von 4,5 Vol.-% CO₂ bei Laderaumvolumen von 12 m³
- Sublimationsrate aus der Praxis: ca. 8 Liter pro Stunde pro kg Trockeneis
 - Quelle: www.gefahrgut-online.de/trockeneisrechner
 - bei Beladung von 50% des Laderaumes, Zeitdauer 2 Stunden und Verwendung von 13 kg Trockeneis: 3,5 Vol.-% Kohlendioxidkonzentration

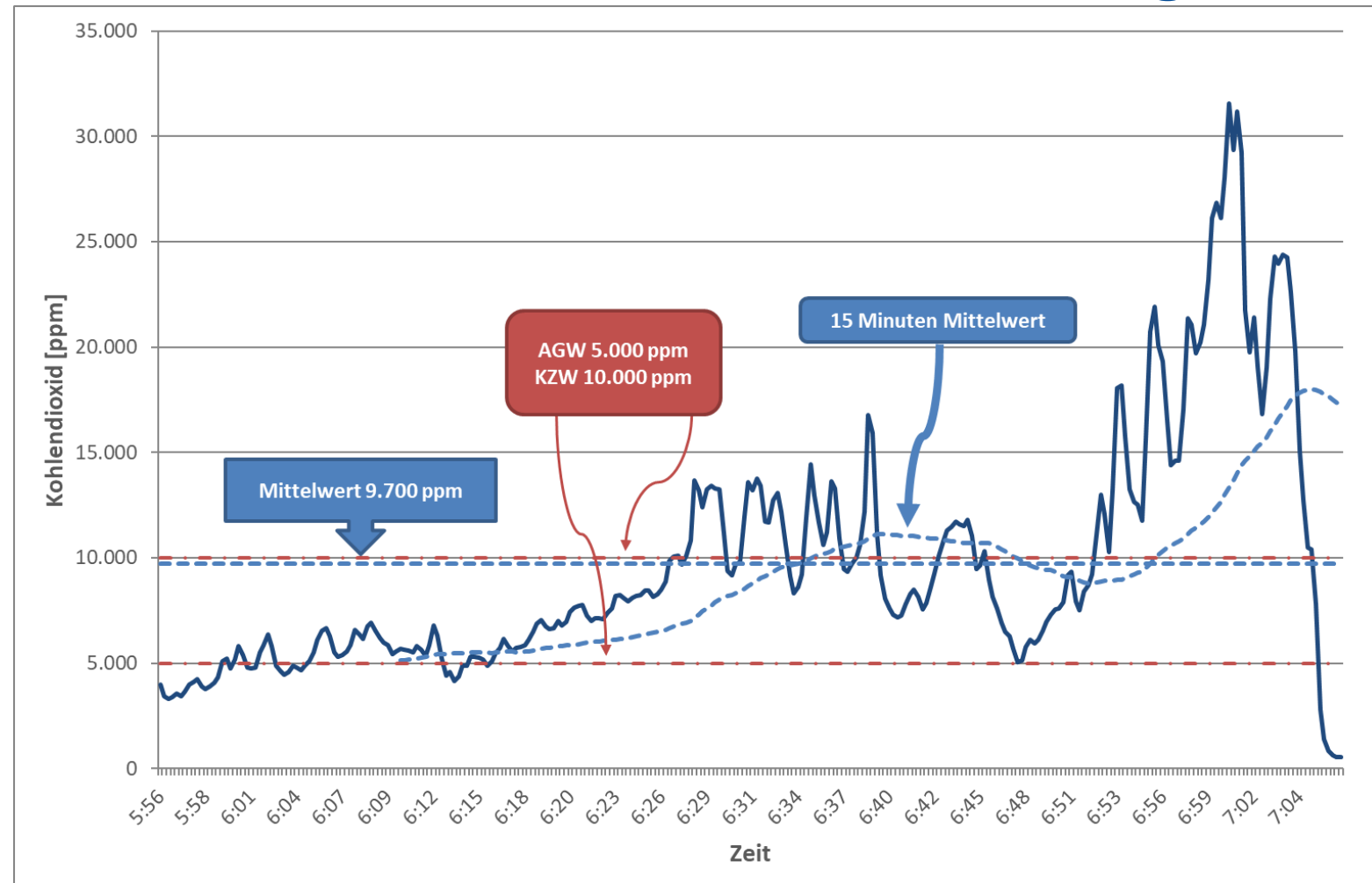


Trockeneis im Backbetrieb - Lieferfahrzeug

- Abbildung typisches Sommer-Szenario
- zusätzlich zur Kühlbox mit Tiefkühlbrezeln und einem Trockeneis-Cryobag à 1 kg weitere 6 Kühlboxen à 2 kg verpacktes, gefrorenes CO₂ im Laderaum des Lieferfahrzeuges verstaut
- CO₂-Konzentration in Fahrerkabine bei räumlicher Trennung zum Laderaum: **630 ppm**

Trockeneis im Backbetrieb - Befund: Lieferfahrzeug

Laderaum:



Rückblick: Impfstofftransport BioNTec

Anfrage Unfallkasse Berlin
per Mail am 18.12.2020

Beschaffenheit eines gut belüfteten
Raumes bei Containerlösungen oder
Nachrüstung von Absaugung in
vorhandenen Räumlichkeiten
(Altenheime)?

Veröffentlichung 23.12.2020



Mit Trockeneis gekühlte Impfstoffe sicher transportieren
Handlungshilfe für Verpacker/innen, Fahrer/innen

Gefährdungen:

- > **Kälteverbrennungen** bei direktem Hautkontakt
- > **Bersten dicht verschlossener Verpackungen** grund Umwandlung in gasförmiges CO₂
- > **Körperliche Beeinträchtigungen bis hin zur** Erstickung in der Atemluft.

Arbeitsplatzgrenzwert 0,5 Vol.-% CO₂ – darüber können ab 4 Vol.-% ist u. a. mit Schwindel zu rechnen und Kontakt mit schnell folgendem Tod.

Schutzmaßnahmen:

- > Ausreichende **Belüftung** sicherstellen, z. B. durch Lüftungsausrüstung
- > **Persönliche Schutzausrüstungen** trage Handschuhe, ggf. Schutzbrille.
- > **Keine gasdichten** Transportboxen und Transportboxen und Vorratsbehälter **nicht** unter Erdgleiche stellen.
- > **Nicht in Behälter mit Trockeneis hinein** werfen
- > Fahrzeuge und Transportboxen nach unbeschädigte Behälter und Verpackung
- > Ausschließlich Fahrzeuge mit **gasdicht** verschlossener Verpackung verwenden. Oder durch Belüftung ersetzen. Vorzugsweise durch Messverfahren
- > **Laderäume vor Betreten unbedingt** belüften
- > Trockeneis bzw. Behältnisse mit **Trockeneis** in Fahrzeug verladen und am Ziel
- > Retour-Behälter, inkl. Trockeneis **zurückführen** und im Freien **entsorgen**
- > **Rückgeführtes bzw. überschüssiges** Trockeneis entfernen und im Freien **entsorgen**, dass es abgibt, tieferliegenden Bereichen

Eigenschaften Trockeneis
Trockeneis ist festes Kohlendioxid (CO₂) mit einer Temperatur von -78,5 °C. Seine Kühlwirkung beruht vor allem auf der Umwandlung in gasförmiges CO₂, wobei sein Volumen sehr stark zunimmt und die Umgebung mit CO₂ angereichert werden kann. Aus einem Kilogramm Trockeneis entstehen so über 500 Liter gasförmiges CO₂, welches außerdem schwerer als Luft ist und sich daher am Boden und in tiefergelegenen Bereichen ansammeln kann.

Hieraus ergeben sich folgende Gefährdungen:

- Durch seine niedrige Temperatur von ca. -78,5 °C führt direkter Hautkontakt in kurzer Zeit zu **Kälteverbrennungen**.
- Durch den Übergang in die Gasphase kann Trockeneis einen sehr großen Druck aufbauen, der zum **Bersten dicht verschlossener Verpackung** führen kann.
- Durch die Erhöhung der CO₂-Konzentration in der Atemluft kann es zu **körperlichen Beeinträchtigungen bis hin zum Tod** führen. Ab Überschreiten des Arbeitsplatzgrenzwertes von 0,5 Vol.-% CO₂ in der Atemluft können u. a. Kopfdruck und Kopfschmerzen auftreten, ab 4 Vol.-% ist u. a. mit Schwindel zu rechnen und Konzentrationen über 8 Vol.-% führen zu Bewusstlosigkeit mit schnell folgendem Tod.

Hieraus ergeben sich folgende Schutzmaßnahmen:

- Prüfen, ob der Einsatz von Trockeneis durch ungefährlichere Kühlmittel, Kühlsysteme oder Kühlverfahren **ersetzt** werden kann.
- Für eine ausreichende **Belüftung** sowohl **beim Transport im Fahrzeug** als auch **bei der Lagerung** sorgen. Die Belüftung muss auch in Bodennähe wirksam sein. Ladung so verstauen, dass die Lüftungsöffnungen nicht verdeckt werden.
- Beschäftigte **müssen vor Aufnahme der Tätigkeit entsprechend unterwiesen werden** und während der Tätigkeit geeignete persönliche Schutzausrüstungen (z. B. Kälteschutzhandschuhe, ggf. Schutzbrille) tragen.
- Kontakt mit Wasser vermeiden, da es zu einer stark beschleunigten Freisetzung von CO₂ führen würde (Theaternebel-Effekt).

Quelle der Handlungshilfe: downloadcenter.bgr
Für weitere Informationen siehe FBRCI-102 (publ...)

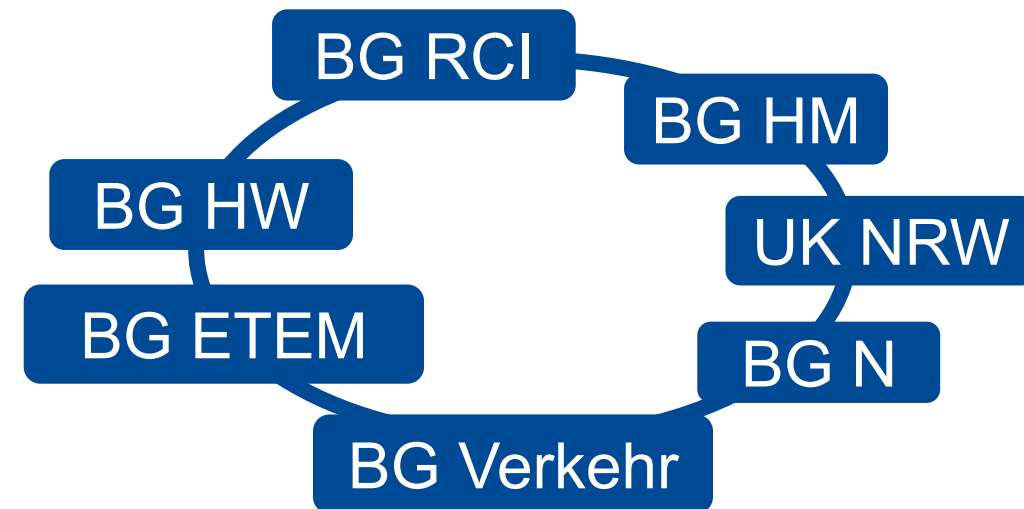
30.10.2023

DGUV Information „Trockeneis“

Inhaltlicher Rahmen:

Thema „Trockeneis“ liefert Stoff genug für eine eigene DGUV-Information

- Herstellung von Trockeneis
- Trockeneisstrahlen/Reinigen
- Nebелеffekte
- Messtechnik
- Berechnung der Kohlendioxidkonzentration
 - Berechnung gemäß BIA-Report 3/2001 unter Zuhilfenahme eines Excel-Tools von Linde zur Berechnung des Verdampfungsverlustes von Trockeneis



Experimentelle Untersuchungen und Messtätigkeiten

Evaluation der Sublimationsrate von Trockeneis in Styroporboxen

Berechnung der CO₂-Konzentration im Laderaum nach BIA-Report 3/2001

Praxisvergleiche – Trockeneistransport im PKW

Herstellung von Trockeneis

Berechnungsgrundlagen „excel-tool“

Trockeneisverlust durch Verdampfung beim Lagern!

Isolierbehälter:

Material: Polystyrol EPS (z.B. Styropor)

Innen-Mass / L: 270 mm
 Innen-Mass / B: 460 mm
 Innen-Mass / H: 260 mm

Isolation- Stärke: 48 mm

Aussen- / Umgebungstemperatur: 20,00 °C
 Trockeneistemperatur: -78,00 °C ΔT

Wärmeleitfähigkeit: 0,022 W/(m·K)
 Wärmedurchgangskoeffizient: 0,458 W/(m²·K) U

Transport- bzw. Lagerzeit: 1,00 Std. t
 Sicherheitsfaktor: 1,20 - S
 (Ein 20%iger Sicherheitsfaktor ist empfohlen.)

Verlust durch Verdampfung ~ **0,190 kg M**

$$M = \frac{U * A * \Delta T * t * S}{h}$$

wobei

$$U = \frac{\lambda}{d}$$

- M = benötigte Menge Trockeneis [kg]
- A = Innen-Oberfläche-Isolierbehälter [m²]
- ΔT = Temperaturdifferenz zwischen Aussen- und Innentemperatur [K]
- t = Lager - bzw. Transportzeit [Std.]
- S = Sicherheitsfaktor [-]
- h = Kälteleistung pro kg Trockeneis [640 kJ/kg]
- U = Wärmedurchgangskoeffizient-Isolierbehälter (U-Wert) [W/(m²·K)]
- λ = Wärmeleitfähigkeit-Isolierbehälter [W/(m·K)]
- d = Wandstärke-Isolierbehälter [m]

Wärmeleitfähigkeit-Isolierbehälter bei -78°C :

λ	= 0,022	Polystyrol EPS (z.B. Styropor)	Rohdichte: 20 kg/m ³
λ	= 0,024	Polyurethan PUR - Hartschaum	Rohdichte 45 bis 60 kg/m ³

Achtung: Verlust ist unabhängig von Trockeneismenge !!!!

Berechnungsformel :

Die Formel gilt bei homogener Verpackung. Wärmeeinfall durch defekte Isolation und undichte Deckeldichtungen sind nicht berücksichtigt.

https://www.pangas.ch/de/images/Berechnungsprogramm_Trockeneis_tcm553-114274.xls

Trockeneisverlust durch Verdampfen beim Lagern

- Temperaturdifferenz relativ konstant: Winter 0°C bis Sommer 30°C bedeutet ein ΔT in Formel von 78 – 108 K \longrightarrow Einfluss auf Verlust gering
- ordnungsgemäß verschlossene, dafür vorgesehene Transportboxen aus Styropor usw.
 - Druckausgleich!
- Volumen der Stauräume der Transporter sind recherchierbar
 - Anzahl der Transportboxen?
 - Raumvolumen des Laderaumes?
 - Anteil des Eigenvolumens der Transportboxen?

Berechnung: Wie hoch ist die Kohlendioxidkonzentration nach x Stunden beim Entladen?

Evaluation - Literatur

- BG RCI Veröffentlichung (Telgmann; Ermittlung des Gewichtsverlust bei Lagerung)
 - Styroporbox (6,9 Liter Innenvolumen, 4,35 kg Trockeneis)
 - Ergebnis Experiment: **60g/h** Trockeneis sublimieren;
 - excel-Tabelle: **70g/h** Verlust durch Verdampfung
- Sublimation Rate of Dry Ice Packaged in Commonly Used Quantities by the Air Cargo Industry (Technical report, 08/2006)
 - Jeweils 5 lb = **2,27kg** (Trockeneis Pellets) wurden in 20 TheromoSafe model 318 (Innenvolumen 3,3 Liter) gegeben und ein Flug in einer Unterdruckkammer simuliert, nach 6,25 h wurde erneut gewogen.
 - Ergebnis: Sublimationsrate (= Gewichtsverlust) von 2,0 % pro Stunde (~**46g/h**)
 - excel-Tabelle: **55g/h**;

Trockeneisverbrauch / Emissionsraten

	Innen- volumen [L]	Isolations- stärke [mm]	Temperatur	Versuchsdauer [h]	berechneter Trockeneisverlust [g/h]	tatsächlicher Trockeneisverlust [g/h]	Anteil [%]
Box A	12,4	52	21°C	20 ¼ *	91	62	68
			max. 24°C	3	94	83	88
			max. 34°C	5	103	85	83
Box B	6,4	45	21°C	20 ¼ *	69	49	71
			max. 24°C	3	71	62	87
Box C (Gastronomiebedarf)	34,8	41	max. 34°C	5	275	122	44
Box D (Gastronomiebedarf)	44,1	30	21°C	3	387	216	56
			max. 31°C	16 ½ *	426	284	67

* Diese Versuche wurden über Nacht in den Laborräumen, ohne Transport im PKW, durchgeführt.

Experimentelle Untersuchungen und Messtätigkeiten

Evaluation der Sublimationsrate von Trockeneis in Styroporboxen

- die experimentell ermittelten Emissionsraten liegen weit unter den berechneten Emissionsraten ✓

Berechnung der CO₂-Konzentration im Laderaum nach BIA-Report 3/2001

Praxisvergleiche – Trockeneistransport im PKW

Herstellung von Trockeneis

Berechnungsgrundlagen

Die gesamte Emissionsrate CO₂ (transportiertes Trockeneis (Pan-Gas Excel-Tool) + Fahrer) kann mit der mittleren CO₂-Konzentration im Raum nach BIA-Report 3/2001 verknüpft werden.

Trockeneisverlust durch Verdampfung beim Lagern!

Isolierbehälter:		Polystyrol EPS (z.B. Styropor)	
Material		600 mm	
Innen-Mass / L		310 mm	
Innen-Mass / B		220 mm	
Innen-Mass / H		41 mm	
Isolation- Stärke		17,00 °C	
Aussen- / Umgebungstemperatur		-78,00 °C	
Trockeneistemperatur		0,022 W/(m·K)	
Wärmeleitfähigkeit		0,537 W/(m ² ·K)	
Wärmedurchgangskoeffizient		1,00 Std.	
Transport- bzw. Lagerzeit		1,20	
Sicherheitsfaktor (Ein 20%iger Sicherheitsfaktor ist empfohlen.)		~ 0,266 kg	
Verlust durch Verdampfung			

Berechnungsformel:
Die Formel gilt bei homogener Verpackung. Wärmeinfall durch defekte Isolation und undichte Deckeldichtungen sind nicht berücksichtigt.

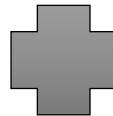
$$M = \frac{U \cdot A \cdot \Delta T \cdot t \cdot S}{h}$$

wobei

$U = \frac{\lambda}{d}$

M = benötigte Menge Trockeneis [kg]
A = Innen-Oberfläche-Isolierbehälter [m²]
ΔT = Temperaturdifferenz zwischen Aussen- und Innentemperatur [K]
t = Lager- bzw. Transportzeit [Std.]
S = Sicherheitsfaktor [-]
h = Kälteleistung pro kg Trockeneis [640 kJ/kg]
U = Wärmedurchgangskoeffizient-Isolierbehälter (U-Wert) [W/(m²·K)]
λ = Wärmeleitfähigkeit-Isolierbehälter [W/(m·K)]
d = Wandstärke-Isolierbehälter [m]

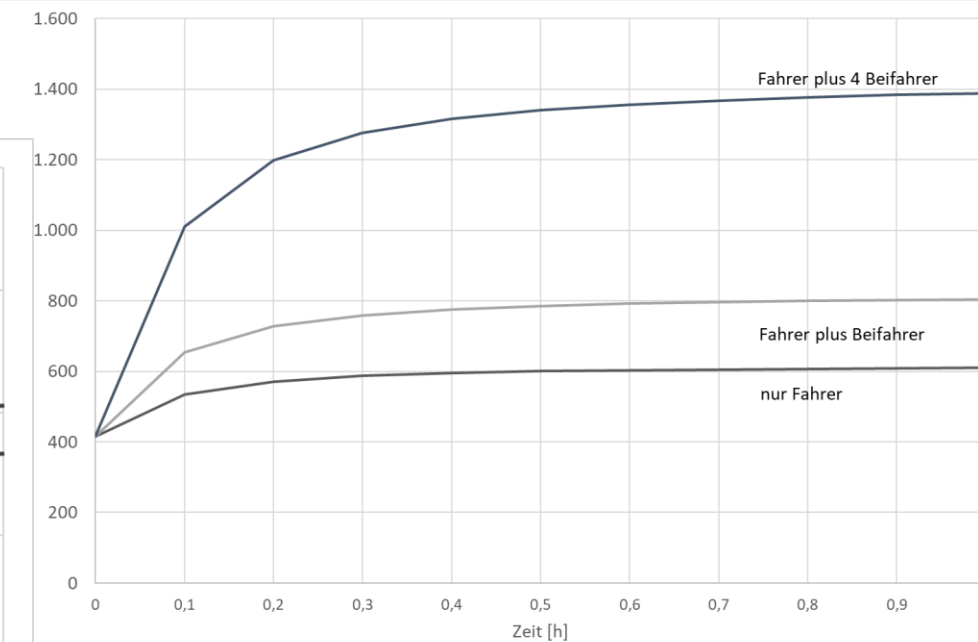
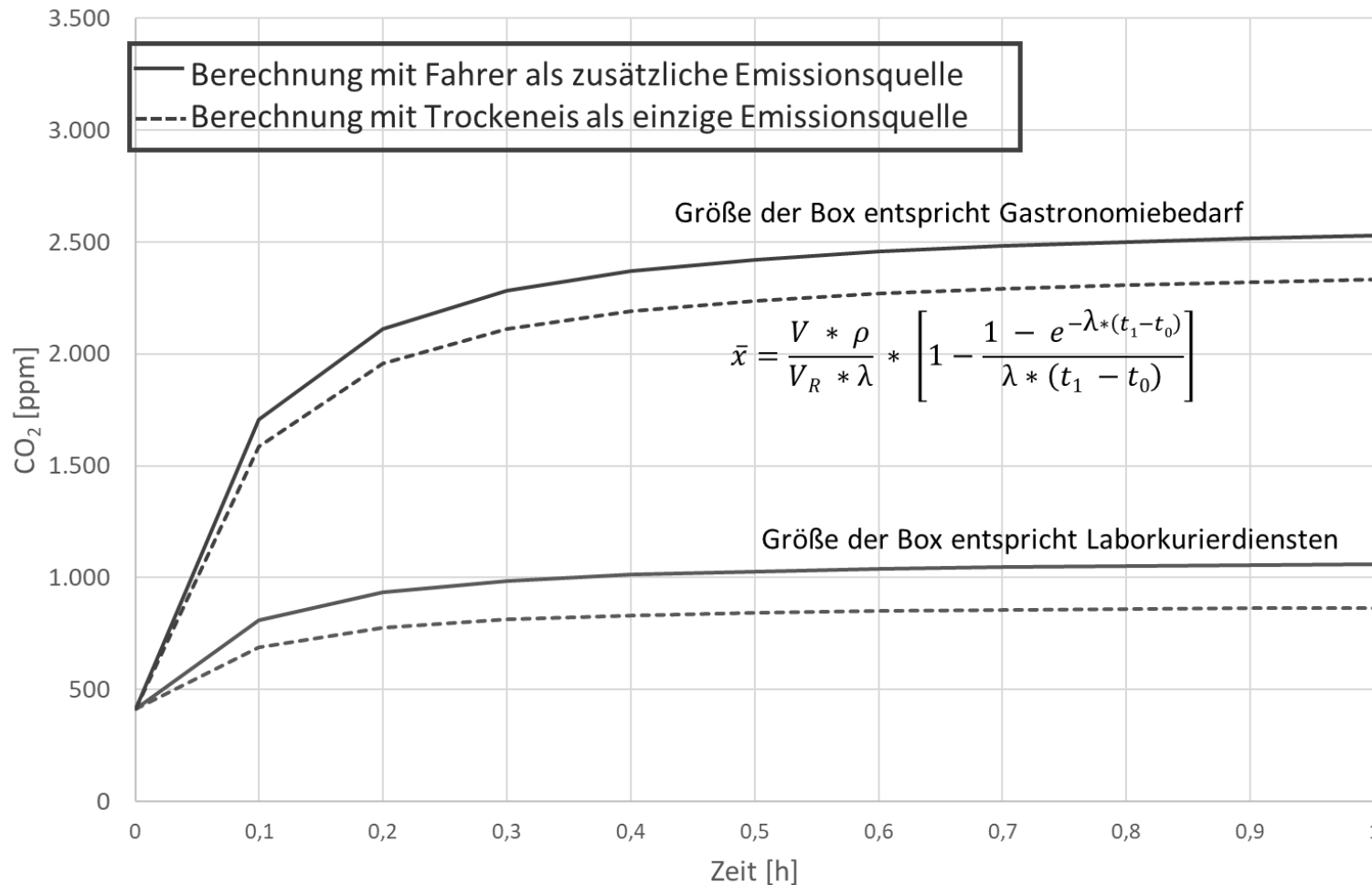
Wärmeleitfähigkeit-Isolierbehälter bei -78°C:
= 0,022 Polystyrol EPS (z.B. Styropor) Rohdichte: 20 kg/m³
= 0,024 Polurethan PUR - Matschaum Rohdichte 45 bis 60 kg/m³



$$\bar{x} = \frac{V * \rho}{V_R * \lambda} * \left[1 - \frac{1 - e^{-\lambda * (t_1 - t_0)}}{\lambda * (t_1 - t_0)} \right]$$

- \bar{x} = Konzentration [mg/m³]
- V^*p = Emissionsrate [g/h]
- V_R = Raumvolumen [m³]
- λ = angenommene Luftwechselzahl [h⁻¹]
- $(t_1 - t_0)$ = Anfang/Ende Berechnungsintervall [h]

Berechnungen – mit Frischluftzufuhr



Nach Rietschel liegt der CO₂-Ausstoß eines Menschen bei einer leichten, überwiegend sitzenden Tätigkeit (Fahrer) bei **20 l/h**. Nach dem idealen Gasgesetz entspricht das unter Normbedingungen einer Emissionsrate durch den Fahrer von **39,3 g/h**.

Berechnungen – ohne Frischluftzufuhr

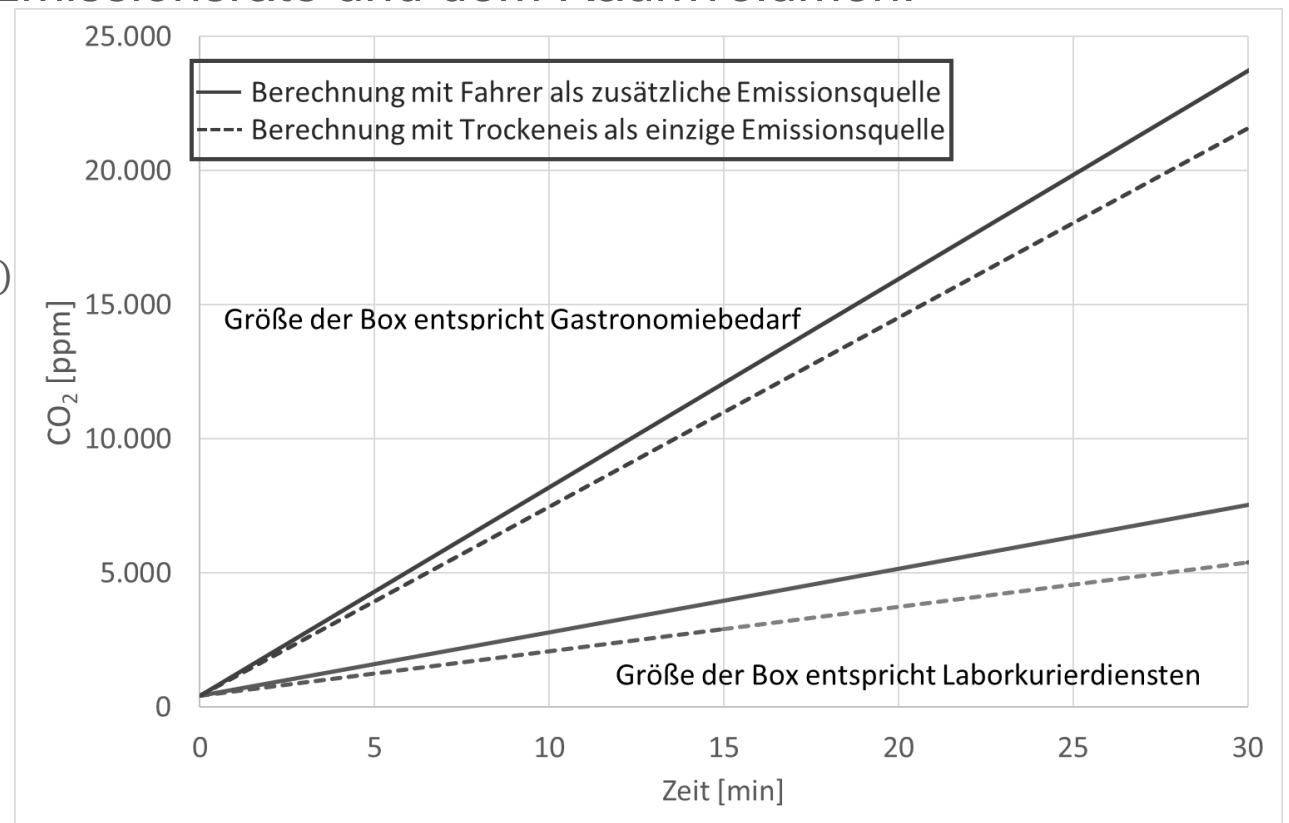
Ermittlung des momentanen Kohlendioxidgehaltes im stehenden Fahrzeug, d.h. keine Frischluftzufuhr im Fahrgastraum, aus der Emissionsrate und dem Raumvolumen:

$$CO_2 [Vol. -\%] = \frac{V * p}{V_R * 18,3} * (t_1 - t_0) + CO_{2(Au\ss en)}$$

$V * p$ = Emissionsrate [g/h]

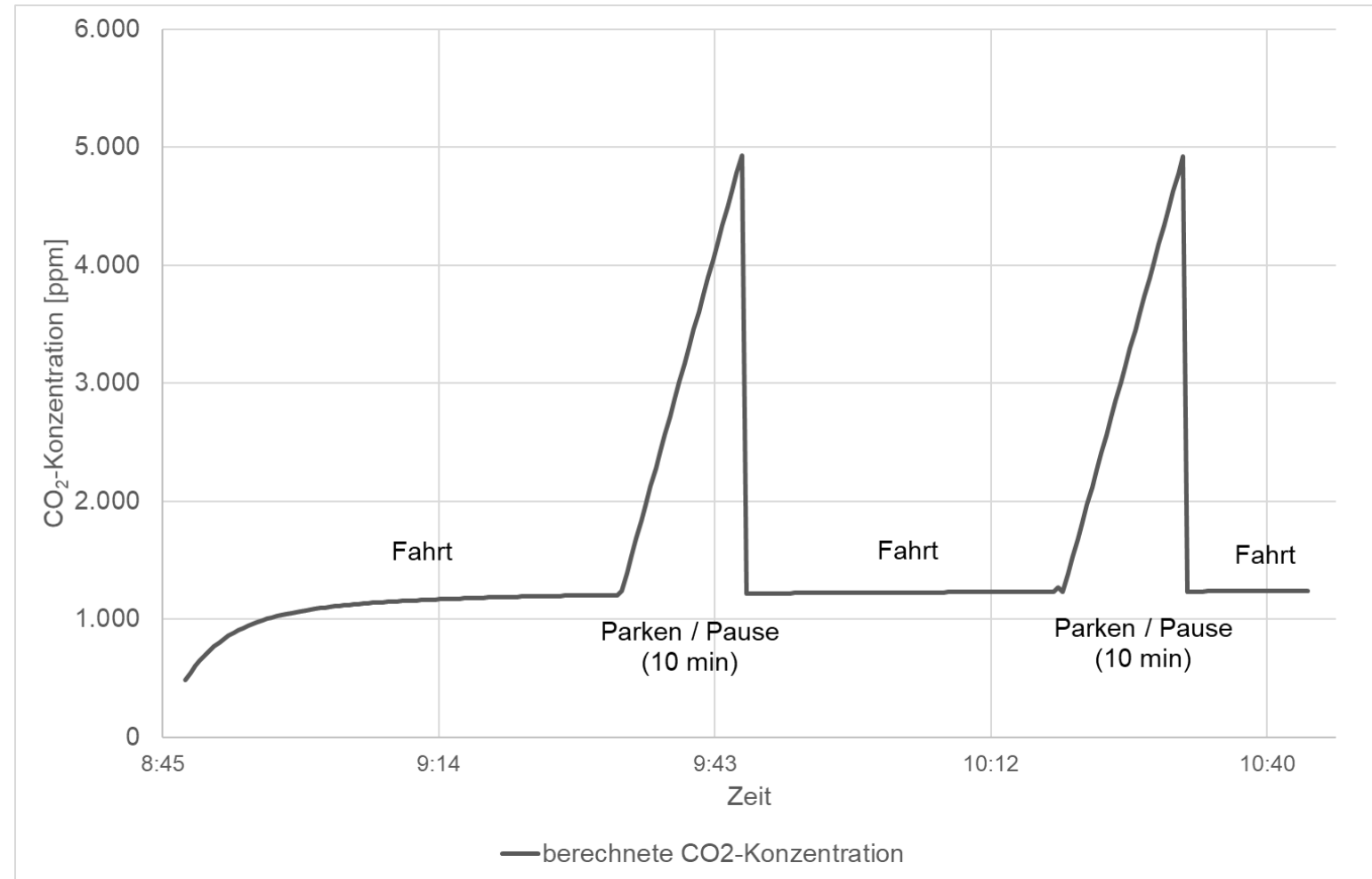
V_R = Raumvolumen [m³]

$(t_1 - t_0)$ = Anfang/Ende Berechnungsintervall [h]



Berechnung der CO₂-Momentankonzentration einer Fahrt

Berechnung und Darstellung:
theoretische Verlauf der CO₂-
Momentankonzentration für jede
Versuchsreihe (Fahrt inklusive
Unterbrechungen)



Experimentelle Untersuchungen und Messtätigkeiten

Evaluation der Sublimationsrate von Trockeneis in Styroporboxen

- die experimentell ermittelten Emissionsraten liegen weit unter den berechneten Emissionsraten ✓

Berechnung der CO₂-Konzentration im Laderaum nach BIA-Report 3/2001 ✓

Praxisvergleiche – Trockeneistransport im PKW

Herstellung von Trockeneis

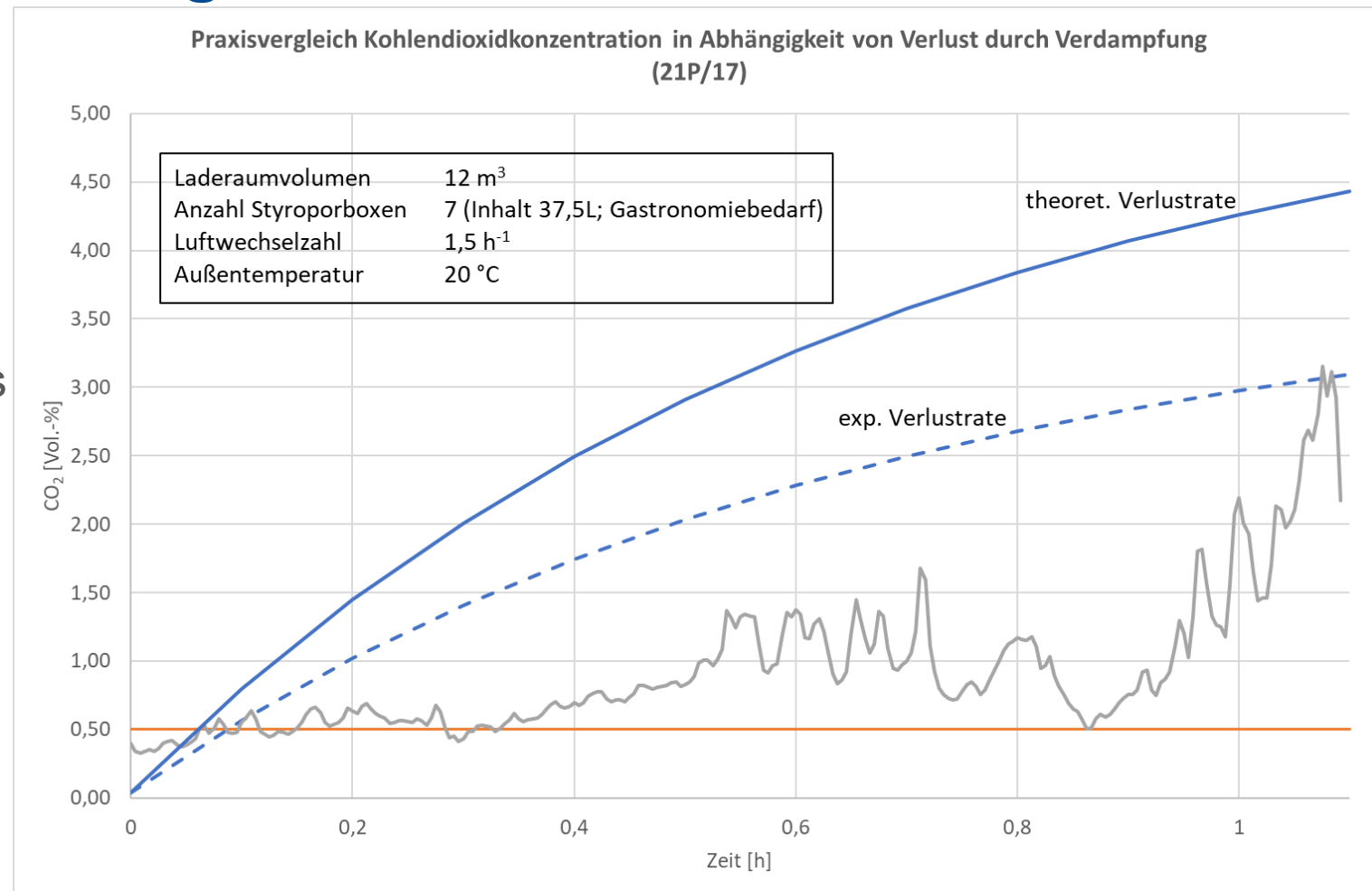
Experimentelle Untersuchungen

Praxisvergleich

Berechnungsbeispiel 21P/17

(Auslieferung TK-Ware Bäckerei)

- keine homogene Verteilung des CO₂
- Belüftung über Dachventilator
- Be- und Entladetätigkeiten
- Undichtigkeiten, Leckagen u.a.



Experimentelle Untersuchungen

Trockeneistransport im PKW (Laborfahrdienste - Ausnahme)

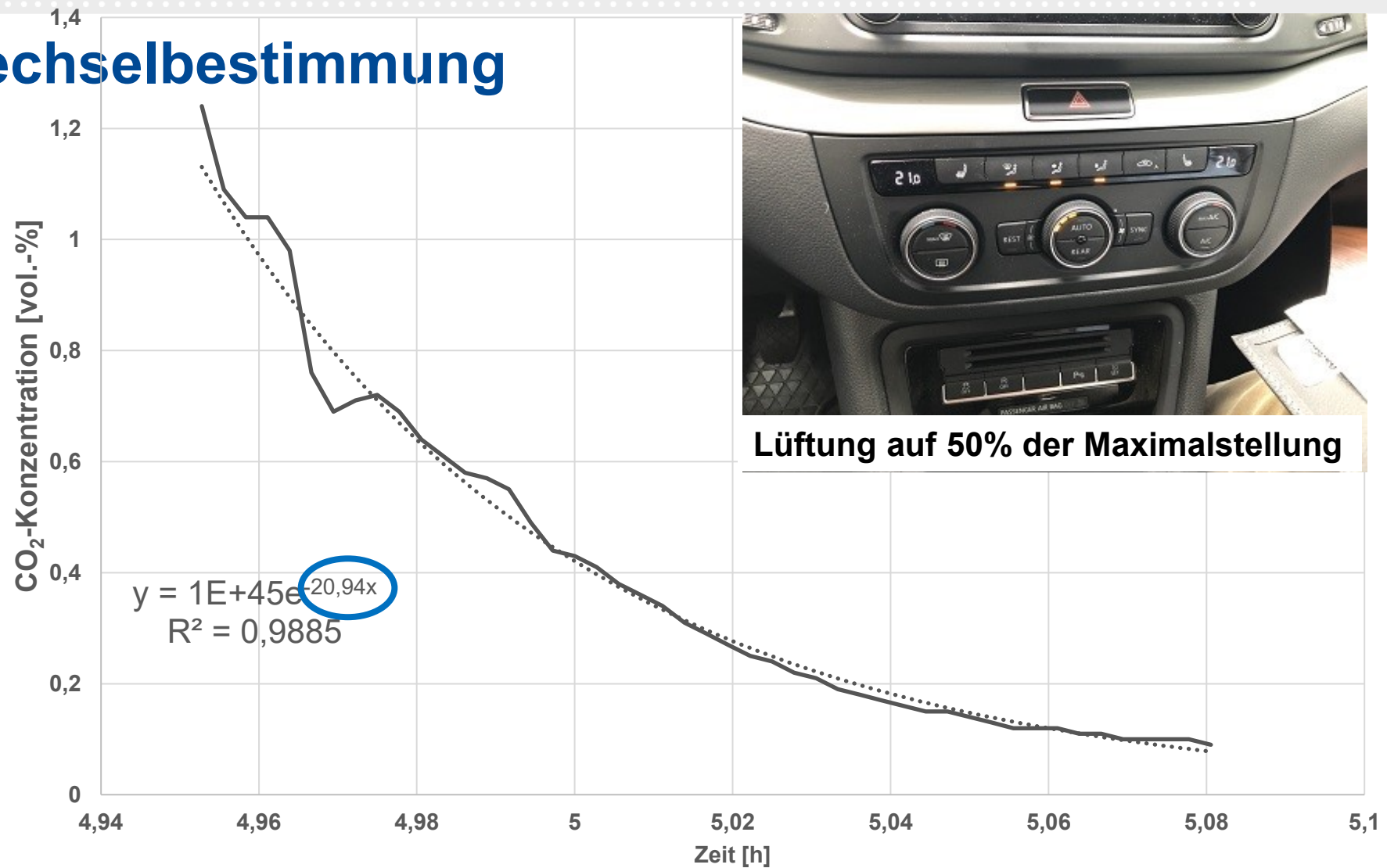
Entwurf DGUV-Info „Umgang mit Trockeneis“:

„Der Transport geringer Mengen Trockeneis kann unter bestimmten Bedingungen einen Sonderfall darstellen, bei dem auch ein Fahrzeug ohne Trennung von Fahrerhaus und Laderaum verwendet werden kann.“

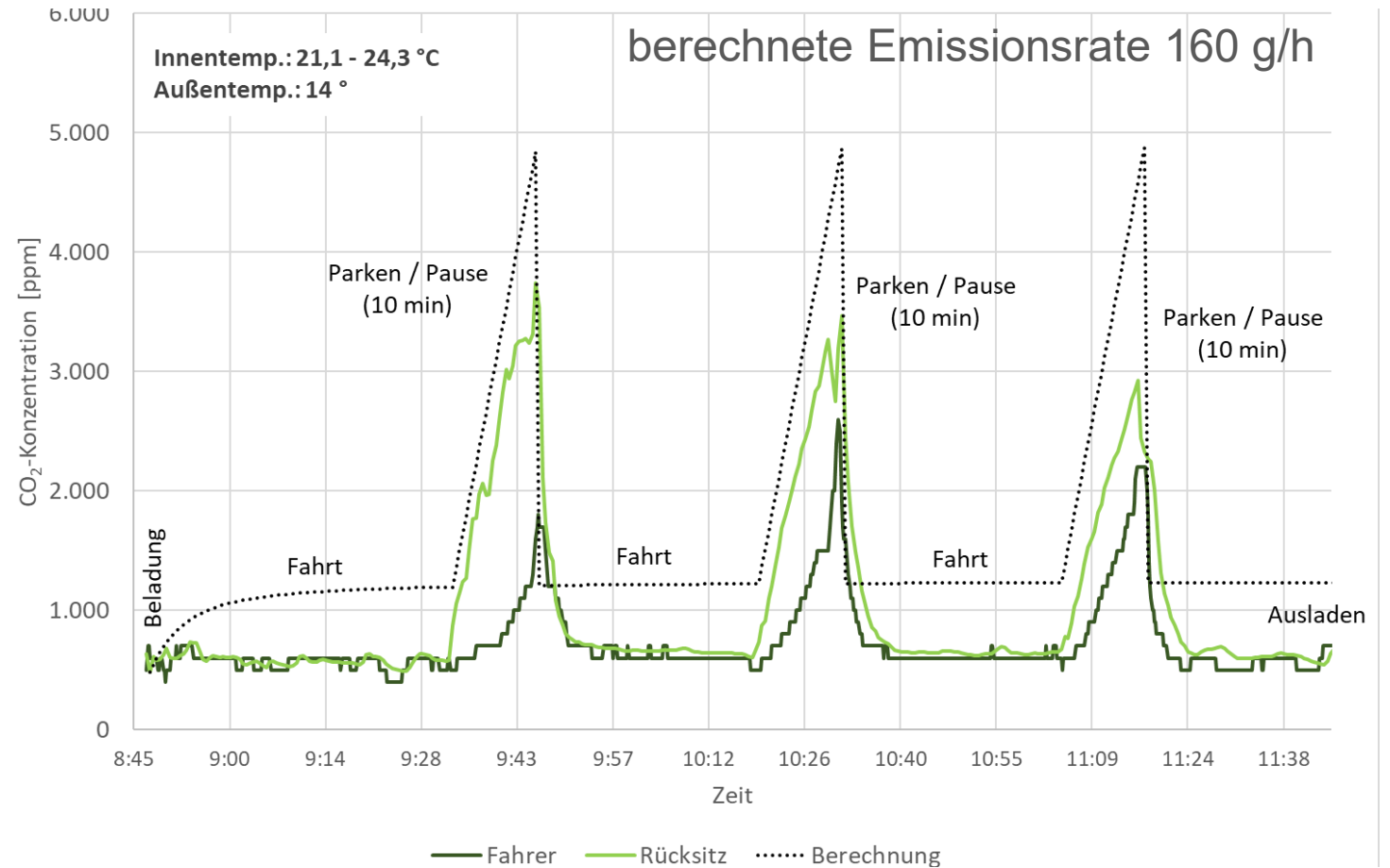
Versuchsbeschreibung: Die Versuche wurden im fahrenden Auto auf einer, an eine reale Labordienstfahrt oder Catererfahrt angelehnte, „Modellroute“ und im stehenden Auto mit und ohne Person („Fahrer“) durchgeführt.

- verschiedene PKW (Lüftung 50%, ohne Klimatisierung) **LWZ ~ 20 bis 48 h⁻¹**
- Trockeneis in Form kleiner Pellets (große Oberfläche) in verschiedenen Styroporboxen
- Maximalmenge an Trockeneis 5kg
- Versuchsdauer 2 bis 4 Stunden, bei einer Außentemperatur von 13 – 19°C (Innen bis 33,8°C)

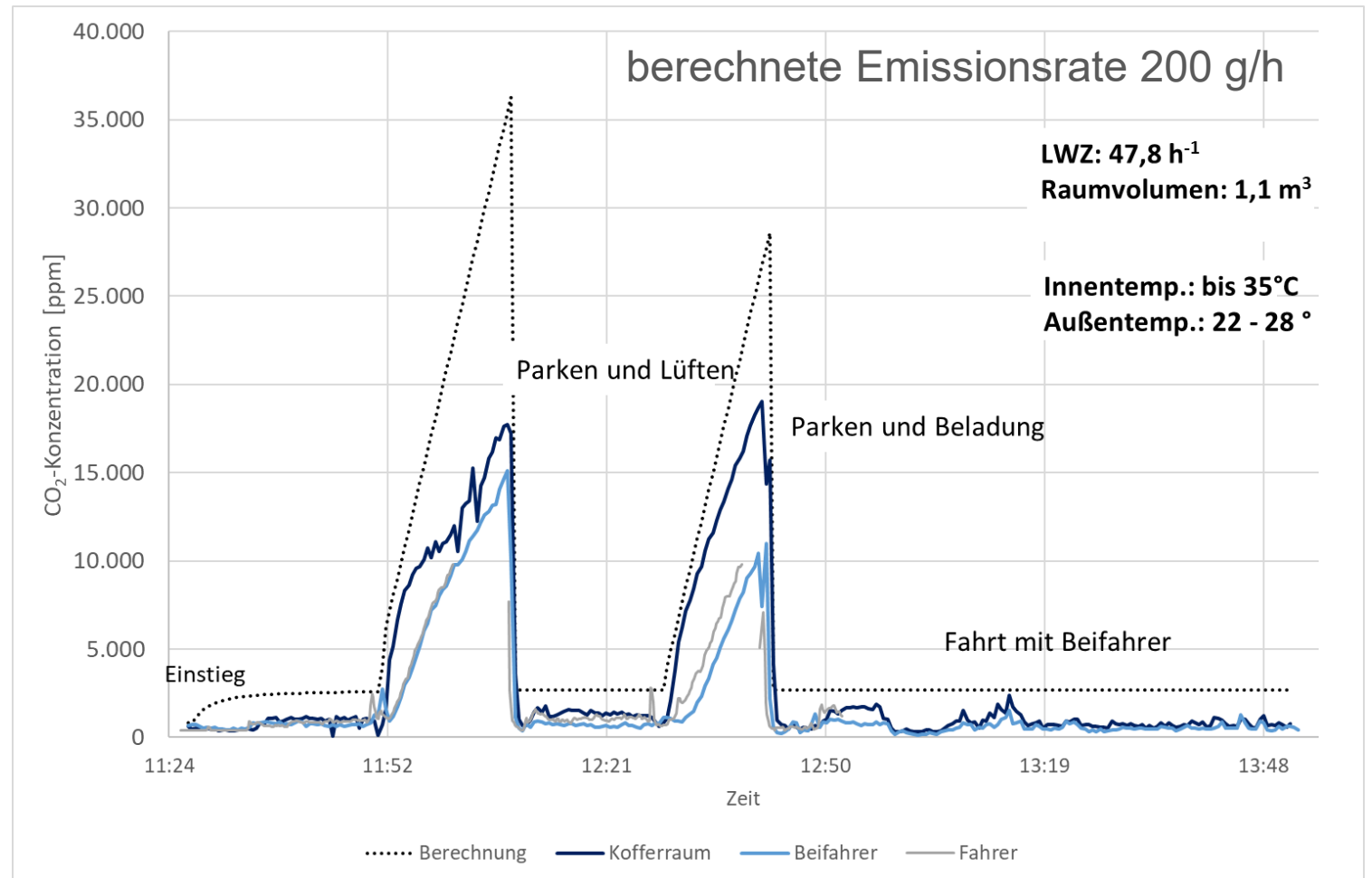
Luftwechselbestimmung



CO₂ – Simulation einer Laborkurierfahrt



CO₂ – Simulation einer Catererfahrt



Ergebnisse / Fazit

	Smart	Toyota	
Innenraumvolumen	1,1 m ³	6,7 m ³	6,7 m ³
LWZ	50	36	36
<i>berechnete Emissionsrate</i>	<i>342 g/h</i>	<i>342 g/h</i>	<i>293 g/h</i>
<i>berechnete CO₂-Konzentration</i>	<i>4.700 ppm</i>	<i>1.400 ppm</i>	<i>1.100 ppm</i>
ermittelte Emissionsrate	250 g/h	250 g/h	125 g/h
berechnete CO ₂ -Konzentration	3.200 ppm	1.100 ppm	800 ppm
ermittelte CO₂-Konzentration	940 ppm	860 ppm	810 ppm

Experimentelle Untersuchungen - Fazit

Die Versuche konnten folgendes zeigen:

- bei 50% der Lüftungsleistung (21facher Luftwechsel) ändert sich der Verlauf der Kohlendioxidkonzentration während der Fahrt kaum
- die Verteilung von Kohlendioxid im Fahrinnenraum ist bei eingeschalteter Lüftung nahezu homogen
- je nach Größe der Transportboxen werden maximal 1.200 ppm CO₂ beim Fahrer während der Fahrt gemessen
- das Öffnen, Be- und Entladen der Trockeneiskisten hat nur geringen bis keinen Einfluss auf CO₂-Konzentration im Innenraum
- in Pausen mit ausgeschalteter Lüftung steigt die Kohlendioxidkonzentration in Abhängigkeit der Pausenzeit, Menge des freigesetzten Kohlendioxids und Temperaturdifferenz rasch an

Die Ergebnisse zeigen, dass unter den vorgefundenen Randbedingungen bei kontrollierter Außenluftzufuhr (hier: 50% der Lüftungseinstellung) keine inhalative Gefährdung durch entweichendes Kohlendioxid besteht.

Experimentelle Untersuchungen - Benefit

Für die Gefährdungsbeurteilung muss die Gefahr durch austretendes Kohlendioxid berücksichtigt werden.

- Mit den Excel-Vorlagen besteht die Möglichkeit die momentane bzw. die mittlere Kohlendioxidkonzentration im Fahrgastraum in Abhängigkeit zurzeit, zum Innenraumvolumen des jeweiligen PKW, zur Emissionsrate der verwendeten Trockeneisboxen und zur Temperatur beurteilen zu können.
- Die Versuche konnten zeigen, dass man rechnerisch auf der sicheren Seite ist, d.h. es wird für die jeweils geltenden Randbedingungen das Worst-Case-Szenario berechnet.

Experimentelle Untersuchungen und Messtätigkeiten

Evaluation der Sublimationsrate von Trockeneis in Styroporboxen

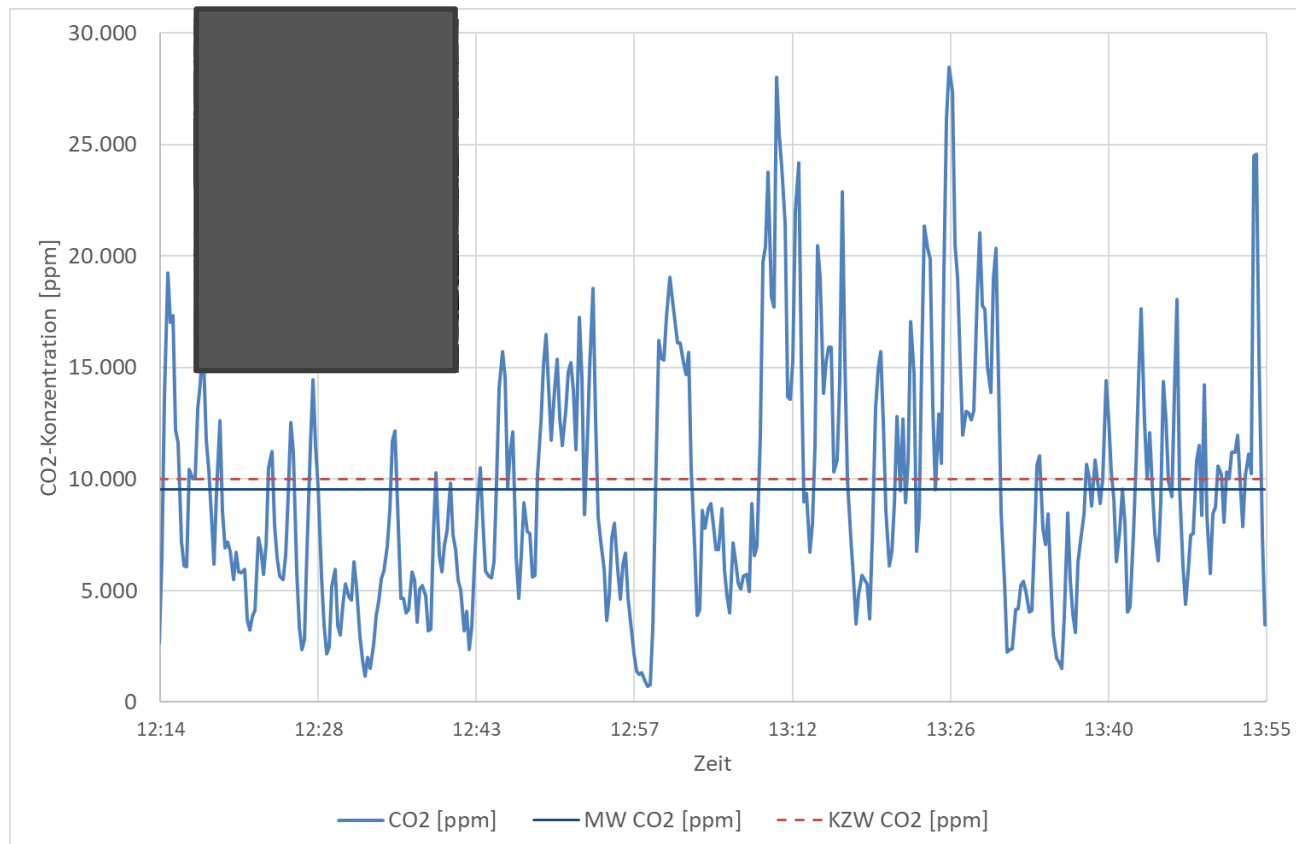
- die experimentell ermittelten Emissionsraten liegen weit unter den berechneten Emissionsraten ✓

Berechnung der CO₂-Konzentration im Laderaum nach BIA-Report 3/2001 ✓

Praxisvergleiche – Trockeneistransport im PKW ✓

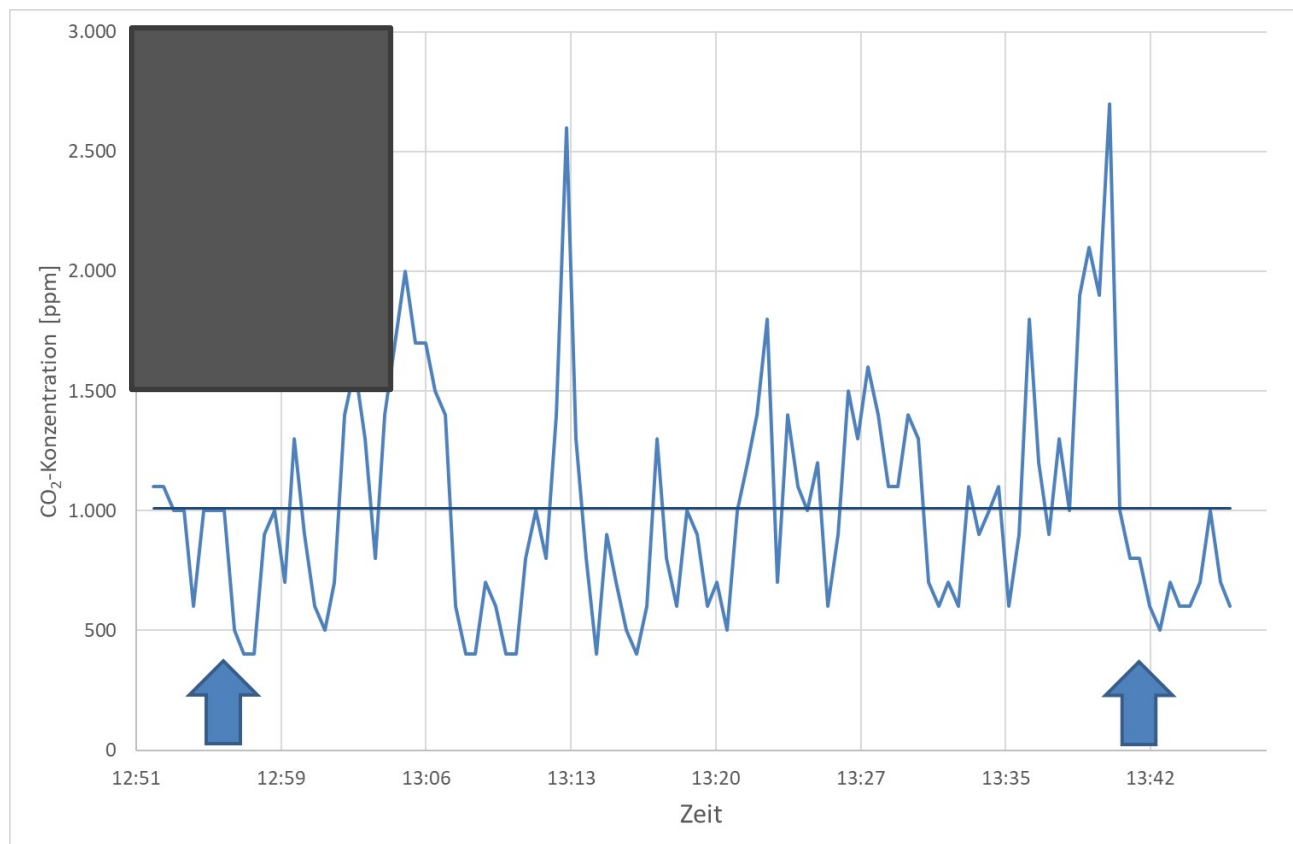
Herstellung von Trockeneis

Trockeneis - Herstellung - Eigenbedarf



- Kohlendioxidkonzentrationen schwanken zwischen 700 und 28.000 ppm, im Mittel bei 9.500 ppm
- diskontinuierlicher Auswurf der Trockeneispellets sowie leichte Windstöße führen zu einer schnellen Verdünnung
- nahe des KZW von CO₂ von 10.000 ppm, aber nicht repräsentativ für den Aufenthaltsort des Beschäftigten und überschätzt somit seine Exposition
- Aufenthaltsdauer des Beschäftigten direkt am Trockeneispelletizer max. 4 x < 30 sec

Trockeneis - Herstellung - Eigenbedarf



- Messung inklusive zweier Wechsel der Container zum Auffangen der Trockeneispellets
- mittlere Kohlendioxidkonzentration 1.000 ppm
- Wechsel des Auffangbehälters für die Trockeneispellets unterhalb der Ansprechzeit des direktanzeigenden Messgerätes
 - Messwerteinstellzeit bei metrologischer Rückführung mit einem zertifiziertem Prüfgas: CO₂-Messgerät der Fa. Vaisala 45 sec und Dräger X-am 5600 ca. 20 sec
- Schutzmaßnahmen ausreichend (im Freien)

ASCO CO₂ Rückgewinnungsanlagen (RRS)



ASCO CO₂ Rückgewinnungsanlagen sind dazu ausgelegt, das von den ASCO Trockeneis-Pellet- und Blockmaschinen zurückkehrende CO₂ Gas zurückzugewinnen, welches ansonsten als zurückgeführtes Gas in die Atmosphäre abgegeben wird.

Vorteile der ASCO CO₂ Rückgewinnungsanlagen:

- Reduziert die Trockeneiskosten um bis zu 50 % durch Rückgewinnung des CO₂ Gases, welches bei der Entlüftung verloren gehen würde.
- Vollautomatische Funktion mittels SPS
- Strapazierfähiges, kompaktes und effizientes Design
- Für die schnelle Installation verpackt, vorverrohrt und vorverdrahtet.

Bei der Trockeneisproduktion beträgt die Umwandlungsrate von CO₂ in Trockeneis nur ca. 40 - 45 Prozent. D.h. 55 - 60 % des CO₂ gehen dabei verloren. **Mit einer ASCO CO₂-Rückgewinnungsanlage (RRS) kann der grösste Teil des CO₂ zurückgewonnen werden.** Dies führt schlussendlich zu einer Umwandlungsrate von 90 - 95 Prozent.

1 kg Trockeneis entsprechen 0,5 m³ CO₂

rechnerisch bei Produktion von 100 kg pro Stunde

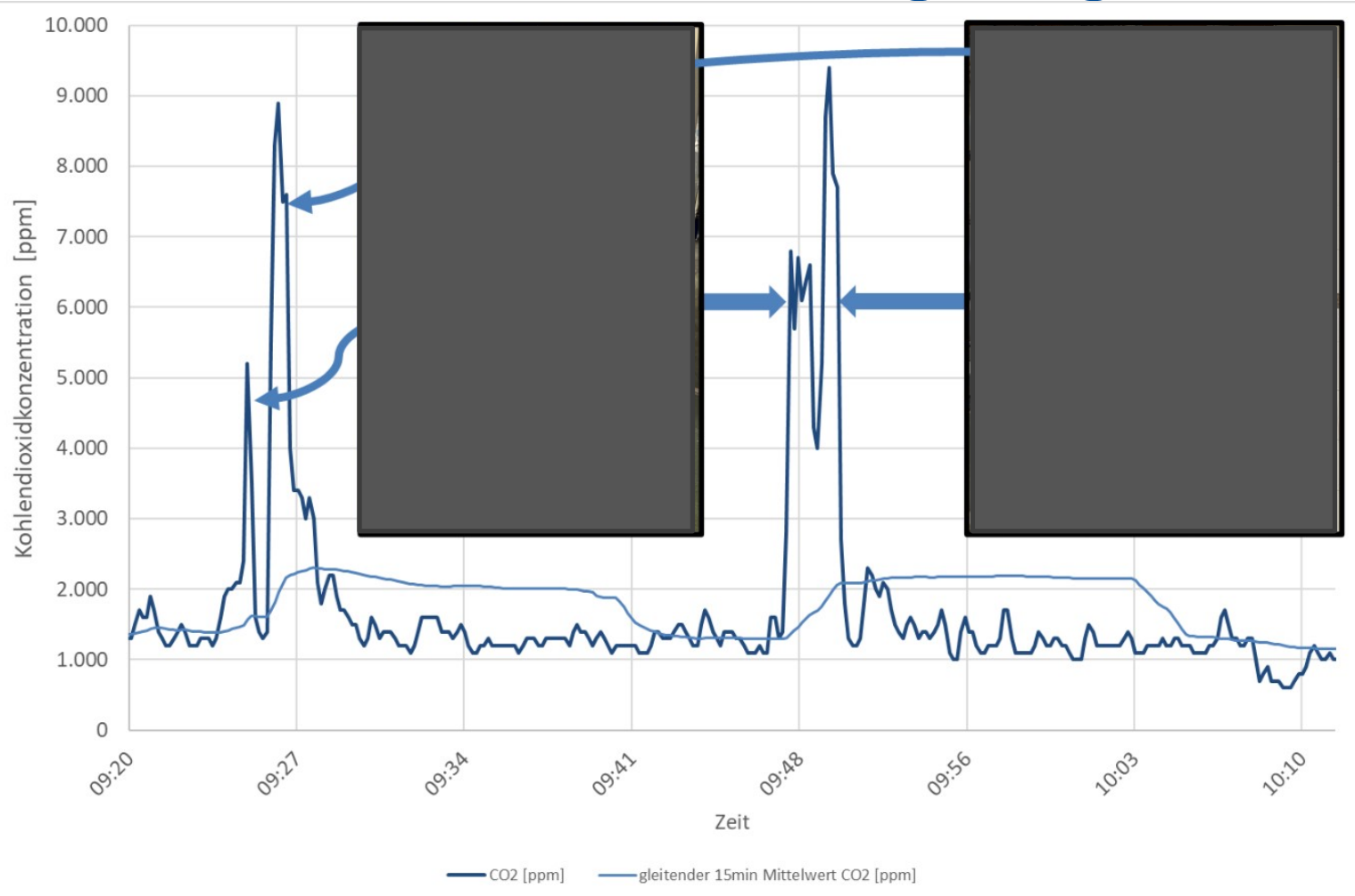
55 bis 60 kg Verlust 27,5 bis **30 m³ CO₂** pro Stunde

mit Rückgewinnung: immer noch bis 5 m³ pro Stunde!

ASCO Produktionskapazität: 30 kg/Stunde bis 750 kg/Stunde

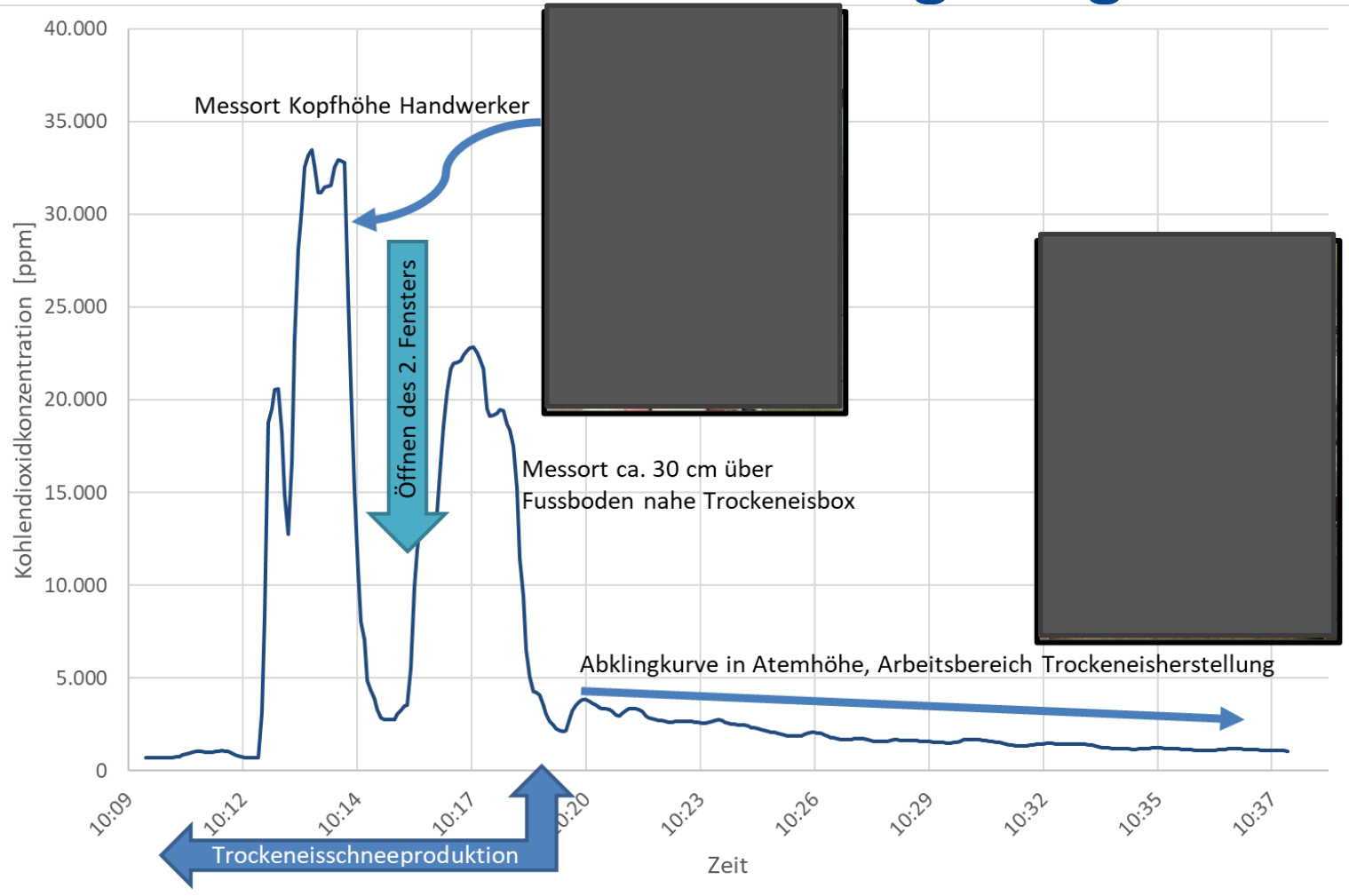


Trockeneis - Herstellung - Eigenbedarf



- Messung inklusive zweier Trockeneiszugaben zum Teigkneteter (Doppelspitze)
- max. CO₂-Konzentration 9.400 ppm
- Mittelung der personenbezogenen ermittelten Konzentration an Kohlendioxid ergibt unter der Voraussetzung, dass alle 25 Minuten ein neuer Teig angesetzt wird, einen Schichtmittelwert von 1.700 ppm

Trockeneis – Herstellung - Eigenbedarf



- Start der Trockeneisproduktion: leichter Anstieg der CO₂-Konzentration in Atemhöhe von ca. 700 ppm auf 1.100 ppm
- deutlicher Anstieg der CO₂-Konzentration über **3 Vol.-%** in Kopfhöhe der Handwerker

Maßnahmen:

- Trockeneisherstellung im Freien
- Gefahrenbereich absperren
- Absaugung
- Betriebsanweisung / Unterweisung

Experimentelle Untersuchungen und M

Evaluation der Sublimationsrate von Trockeneis in

- die experimentell ermittelten Emissionsraten
berechneten Emissionsraten ✓

Berechnung der CO₂-Konzentration im Lader

Praxisvergleiche – Trockeneistransport im

Herstellung von Trockeneis ✓

DGUV-Info 213-115 „Tätigkeiten Lagerung und Verwendung“



**Vielen Dank
für Ihre Aufmerksamkeit.**

