



CO₂ in der Getränkeindustrie

ASI 8.01



Inhalt

1.	Einl	Einleitung				
2.	Vorkommen, Entstehung					
3.	Grenzwerte					
4.	Eigenschaften und Wirkungscharakter von Kohlendioxid					
5.	Gefährdungsbeurteilung					
	5.1	Einsteigen in Behälter (Tanks, Gärbehälter)				
		5.1.1	Einsteigen vermeiden	6		
		5.1.2	Allgemeine Schutzmaßnahmen durchführen	6		
		5.1.3	Wirksamkeit prüfen	7		
		5.1.4	Weiterführende Schutzmaßnahmen durchführen	7		
	5.2 Überströmen von Kohlendioxid aus den Behältern (Tanks, Gärbehälter) in Arbeitsräume					
		5.2.1	Offene Gärbehälter	7		
		5.2.2	Geschlossene Gärbehälter	8		
		5.2.3	Räume mit Behältern zur Lagerung bzw. Reifung	9		
		5.2.4	Vorspannen bzw. Leerdrücken von Behältern mittels Kohlendioxid	9		
		5.2.5	Verwendung von Kohlendioxid zum Vorspannen von Drucktanks	10		
	5.3 Weitere Anwendungsfälle					
		5.3.1	Abströmen von Kohlendioxid in tiefer gelegene Bereiche	10		
		5.3.2	Ausströmen von Kohlendioxid aus Sicherheitsventilen	10		
		5.3.3	Kohlendioxid-Rückgewinnungsanlage	11		
		5.3.4	Sonstige Anwendungsfälle	11		
6.	Schutzmaßnahmen					
	6.1 Ableitung von Kohlendioxid ins Freie					
	6.2	Raum	luftüberwachung	13		
	6.3	Raum	luftüberwachung /stationäre Gaswarnanlage	16		
	6.4	Allger	neine Schutzmaßnahmen vor dem Einsteigen in Behälter	18		
	6.5	Weite	rführende Schutzmaßnahmen bei Arbeiten in Behältern	21		
Δn	hanc	₃. Must	er-Erlauhnisschein für Arheiten in Rehältern	24		

1. Einleitung

In verschiedenen Bereichen der Getränkeindustrie wird Kohlendioxid (CO_2) verwendet oder tritt dort als Reaktionsprodukt auf, so z. B. in Brauereien, Mostereien und Sektkellereien.

Kohlendioxid ist ein Gefahrstoff, dessen Wirkung bei hohen Konzentrationen die Gesundheit der Beschäftigten gefährdet. So reichen bei Konzentrationen von ca. 8-10 Vol.-% wenige Atemzüge his zum Fintreten des Todes.

Untersuchungen von tödlichen Unfällen im Zusammenhang mit Kohlendioxid verdeutlichen, dass die mit einer erhöhten Konzentration verbundene Gefahr selbst von fachkundigen Personen häufig unterschätzt wird.

Zwei Tote in einer Mosterei:

Ein Auszubildender hatte den Auftrag, einen Mischbehälter zu reinigen. Als er in diesen Behälter einstieg, war darin eine CO_2 -Konzentration in gefahrdrohender Menge vorhanden. Er wurde bewusstlos und konnte den Behälter nicht mehr verlassen. Der Chef wollte den Auszubildenden retten. Obwohl dieser die Gefahr von CO_2 kannte, stieg er ebenfalls in den Behälter. Für den Chef und seinen Auszubildenden kam jede Hilfe zu spät. Beide konnten nur noch tot geborgen werden.

Zwei tödliche Unfälle in Brauereien innerhalb eines Jahres

Den Brauereiinhaber hatte man bewusstlos aus einem stehenden Weizenbiermischtank geborgen. Kopf und beide Arme des Mannes steckten bis zum Oberkörper im Tank. Vermutlich hatte der Mann nach Abfüllung und anschließender Reinigung den Zustand des Behälters überprüft und sich tief in den Tank gebeugt.

Nur zehn Monate später fand man einen Brauereimitarbeiter leblos kopfüber im Mannloch eines Drucktanks hängend. Er konnte nur noch tot geborgen werden. Der rekonstruierte Unfallhergang: Beim Umpumpen von Weißbier in einen Drucktank wird ein sogenannter Hefestecker mittels Haken von außen in den Tankauslauf eingesetzt. Nach Reinigung und Vorspannen des Drucktanks sollte das Bier umgepumpt werden. Wahrscheinlich hatte der Mitarbeiter vergessen den Hefestecker einzusetzen und wollte dies nachholen. Nach Ablassen des CO₂-Überdruckes beugte er sich tief in den noch CO₂-haltigen Behälter hinein, um den Hefestecker manuell ohne Benutzung des Hakens einzusetzen. Dabei erlitt er eine tödliche Vergiftung durch CO₂.

Diese ASI soll Betrieben der Getränkeindustrie eine Hilfestellung zur Durchführung der Gefährdungsbeurteilung beim Umgang mit Kohlendioxid bieten.

Wird die Gefährdungsbeurteilung verantwortungsvoll durchgeführt und werden die in dieser ASI beschriebenen Schutzmaßnahmen eingehalten, kann das Restrisiko im Umgang mit Kohlendioxid deutlich verringert werden.

2. Vorkommen, Entstehung

Kohlendioxid ist Bestandteil der natürlichen Atmosphäre. Die CO_2 -Konzentration der atmosphärischen Luft beträgt ca. 0,03 Vol.-% bzw. 300 ppm.

Bei der alkoholischen Gärung wird Zucker durch Hefe in Alkohol und CO_2 umgewandelt. So entstehen beispielsweise aus 1 hl Jungbier mit einem Stammwürzegehalt von 12 % und einem wirklichen Extrakt nach der Gärung von 4,4 % rund 1,77 m³ CO_2 .

Technisch gewonnenes CO_2 wird auch bei der Getränkeherstellung verwendet, z. B. beim Vorspannen und zum Karbonisieren von Getränken.

3. Grenzwerte

Arbeitsplatzgrenzwert (AGW) Kohlendioxid (TRGS 900)

Der AGW ist ein Schichtmittelwert und geht von täglich achtstündiger Exposition an fünf Tagen pro Woche während der Lebensarbeitszeit aus.

Der Arbeitsplatzgrenzwert darf im Schichtmittel nicht überschritten werden. Für CO₂ beträgt er derzeit

5.000 ppm = 0.5 Vol.-%.

Expositionsspitzen Kohlendioxid (TRGS 900)

CO₂ hat einen Überschreitungsfaktor von 2 bezüglich des Arbeitsplatzgrenzwertes, der in keiner 15-Minuten-Periode im Mittel überschritten werden darf.

Innerhalb einer Schicht sind insgesamt vier Kurzzeitwertphasen zulässig.

Der Kurzzeitwert beträgt derzeit

10.000 ppm = 1 Vol.-%.

4. Eigenschaften und Wirkungscharakter von Kohlendioxid

Kohlendioxid ist 1,5-mal schwerer als Luft und dann besonders gefährlich, wenn es sich in geschlossenen Räumen, Behältern und tieferliegenden Bereichen, wie z. B. Kellerräumen ansammeln kann.

Es ist ein nicht brennbares, nicht ätzendes, farb- und in reinem Zustand geruchloses Gas. Der vermeintliche Geruch von CO₂ rührt von den gleichzeitig vorhandenen flüchtigen Gärungsnebenprodukten her.

 ${\rm CO_2}$ ist sehr gut wasserlöslich. Das erklärt die Möglichkeit, mittels fein versprühtem Wasserstrahl ${\rm CO_2}$ gut niederzuschlagen.

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

Die toxische Wirkung ist unabhängig von der Sauerstoff verdrängenden Wirkung des Kohlendioxids. Um die Vergiftungsgefahr durch CO_2 zu erkennen, muss die Konzentration von CO_2 direkt gemessen werden. Die ersatzweise Messung von Sauerstoff kann zu Fehlinterpretationen führen und ist unzulässig. Aus diesem Grund ist auch eine "Überprüfung" der CO_2 -Konzentration durch den sogenannten "Kerzentest" ungeeignet:

Eine Kerze erlischt erst bei CO₂-Konzentrationen im Bereich akuter Lebensgefahr (ca. 8-10 Vol.-%).



5. Gefährdungsbeurteilung

Für alle Tätigkeiten im Betrieb ist eine Gefährdungsbeurteilung nach dem Arbeitsschutzgesetz durchzuführen. Dies gilt insbesondere auch für Arbeiten in Bereichen, in denen mit dem Vorhandensein bzw. mit der Entstehung von Kohlendioxid gerechnet werden muss.

Eine grundlegende Anleitung zur Durchführung einer Gefährdungsbeurteilung ist z. B. der ASI 10.0 "Handlungsanleitung Betriebliche Gefährdungsbeurteilung" zu entnehmen. Die vorliegende ASI gibt eine Hilfestellung, um im Rahmen dieser Beurteilung mögliche Gefährdungen durch Kohlendioxid zu ermitteln und geeignete Schutzmaßnahmen festzulegen.

Jeder der folgenden Unterabschnitte des Kapitels 5 bezieht sich auf einen einzelnen Prozessschritt, Verfahrensablauf oder Arbeitsbereich in der Getränkeherstellung. Abhängig von den im Betrieb vorliegenden Gegebenheiten werden jeweils die grundlegenden Schutzmaßnahmen, die vom Unternehmer zu treffen sind, identifiziert. Weitere Einzelheiten zu den Schutzmaßnahmen enthält das anschließende Kapitel 6.

5.1 Einsteigen in Behälter (Tanks, Gärbehälter)

5.1.1 Einsteigen vermeiden

Primär muss es das Ziel in jedem Unternehmen sein, das Einsteigen in den Behälter durch geeignete technische und organisatorische Maßnahmen entbehrlich zu machen, wie z. B. durch den Einsatz einer CIP-Reinigungsanlage oder eines Zielstrahlreinigungsgerätes.

5.1.2 Allgemeine Schutzmaßnahmen durchführen

Wird in Behälter eingestiegen und ist mit dem Vorhandensein bzw. Entstehen von Kohlendioxid zu rechnen, so müssen vor dem Einsteigen folgende allgemeine Schutzmaßnahmen durchgeführt werden (nachgewiesene sichere Verfahrensweise siehe Ziffer 6.4):

- ausreichende Reinigung vor dem Einsteigen, z.B. durch gründliches Ausspritzen mittels Wasser von außen
- Niederschlagen des CO₂ mittels Wasserstrahl im Behälter
- Lüftung des Behälters
- Überströmen von CO₂ aus Sammelleitung sicher verhindern
- CIP wirksam unterbrechen

- elektrische Betriebsmittel, z. B. bewegliche Tankleuchte, mit Schutzkleinspannung bzw. Schutztrennung
- Betriebsanweisung erstellen
- Unterweisung mit Dokumentation

5.1.3 Wirksamkeit prüfen

Die Wirksamkeit der allgemeinen Schutzmaßnahmen muss grundsätzlich durch eine Messung der CO₂-Konzentration überprüft oder durch eine nachgewiesene sichere Verfahrensweise (siehe Ziffer 6.4) betrieblich geregelt werden.

5.1.4 Weiterführende Schutzmaßnahmen durchführen

Wird nach Durchführung der allgemeinen Schutzmaßnahmen festgestellt, dass das Auftreten von CO₂ in gefahrdrohender Konzentration nicht mit Sicherheit ausgeschlossen werden kann, so müssen folgende weiterführende Schutzmaßnahmen durchgeführt werden (siehe Ziffer 6.5):

- Erlaubnisschein erstellen (siehe Anhang)
- Freimessen mit geeignetem Messgerät bzw. Gaswarngerät an der Person tragen
- Sicherungsposten stellen
- Aufsichtsführenden benennen

5.2 Überströmen von Kohlendioxid aus Behältern (Tanks, Gärbehälter) in Arbeitsräume

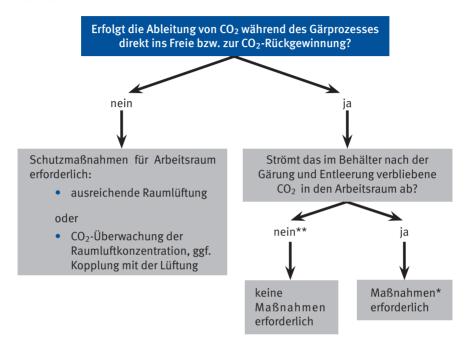
5.2.1 Offene Gärbehälter

Sind in einem Arbeitsraum offene Gärbehälter vorhanden, so strömt entstehendes Kohlendioxid in den Raum ab. Hierfür sind folgende Schutzmaßnahmen erforderlich:

- ausreichende Raumlüftung (z. B. 8-facher Luftwechsel); bei direkter Absaugung von CO₂ aus Behältern und sicherer Ableitung ins Freie kann der Luftwechsel reduziert werden oder
- CO₂-Überwachung der Raumluftkonzentration ggf. Kopplung mit der Lüftung

5.2.2 Geschlossene Gärbehälter

Sind in einem Arbeitsraum geschlossene Gärbehälter vorhanden, so hängt die Kohlendioxidkonzentration im Raum davon ab, ob bzw. wie viel Kohlendioxid in den Arbeitsraum überströmen kann.



* Maßnahmen

Es ist messtechnisch oder rechnerisch zu prüfen, ob CO_2 in gefahrdrohender Konzentration auftreten kann. Dabei ist Folgendes zu berücksichtigen:

- frei werdende CO₂ Menge,
- räumliche Verhältnisse,
- · Belegung mit Behältern.

Gegebenenfalls müssen zusätzliche Lüftungsmaßnahmen durchgeführt werden.

** z. B. durch Niederschlagen von Kohlendioxid mit Wasser und Entfernung des Gelägers bzw. von Heferesten im geschlossenen Behälter

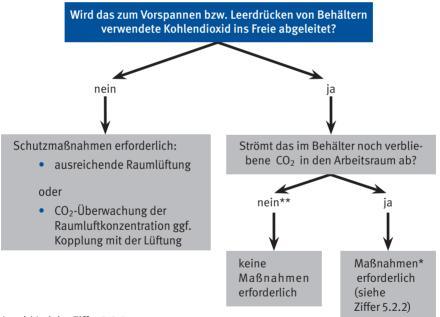
5.2.3 Räume mit Behältern zur Lagerung bzw. Reifung

Strömt das während der Lagerung bzw. Reifung entstehende Kohlendioxid aus den Lagerbehältern in den Raum, ist messtechnisch oder rechnerisch zu prüfen, ob CO₂ in gefahrdrohender Konzentration auftreten kann. Dabei ist Folgendes zu berücksichtigen:

- frei werdende CO₂ Menge,
- räumliche Verhältnisse.
- · Belegung mit Lagerbehältern.

Gegebenenfalls müssen zusätzliche Lüftungsmaßnahmen durchgeführt werden.

5.2.4 Vorspannen bzw. Leerdrücken von Behältern mittels Kohlendioxid



^{*}und ** siehe Ziffer 5.2.2

5.2.5 Verwendung von Kohlendioxid zum Vorspannen von Drucktanks

Durch saure Reinigung unter Druck ist es möglich, eine Entlastung des Drucktanks zu vermeiden.



Durch die saure Reinigung unter Druck werden der CO₂-Bedarf und damit auch die Kosten reduziert.

Erfolgt eine Druckentlastung ins Freie bzw. in den Arbeitsraum, sind Maßnahmen entsprechend Ziffer 5.2.4 zu prüfen und ggf. durchzuführen.

5.3 Weitere Anwendungsfälle

5.3.1 Abströmen von Kohlendioxid in tiefer gelegene Bereiche

Besteht die Gefahr, dass entstehendes oder ausströmendes CO₂ in tiefer gelegene Arbeitsbereiche abströmen kann (z. B. begehbare Schächte, Kanäle, Verbindungsgänge), sind geeignete Maßnahmen zu ergreifen, z. B. CO₂-Überwachung, Lüftung.

5.3.2 Ausströmen von Kohlendioxid aus Sicherheitsventilen

Zum Schutz nachgeordneter Behälter vor unzulässig hohen Betriebsüberdrücken beim Leerdrücken oder Vorspannen mittels CO_2 muss der CO_2 -Druckreduzierung ein ausreichend dimensioniertes Sicherheitsventil nachgeschaltet sein.



Abb. 1: CO₂-Leitung mit Druckminder- und Sicherheitsventil

Es ist zu prüfen, ob im Falle einer Störung der Druckreduzierung das aus dem Sicherheitsventil austretende CO_2 sich in gesundheitsschädlicher Konzentration ansammeln kann und Schutzmaßnahmen notwendig sind.

Schutzmaßnahmen sind z. B. die Installation des Druckminderers und des Sicherheitsventils in einem sicheren Bereich, die Ableitung des aus dem Sicherheitsventil austretenden Kohlendioxids direkt ins Freie (Abblaseleistung des Sicherheitsventils beachten!), ggf. Einbeziehung in die vorhandene Raumlüftung mit CO₂-Überwachung.

5.3.3 Kohlendioxid-Rückgewinnungsanlage

Im Aufstellungsraum der CO_2 -Rückgewinnungsanlage können bei einer Leckage große Mengen an CO_2 freigesetzt werden, z. B. aus einem Sammelballon und einem Verdichter.



Abb. 2: Sammelballon für CO2

Es sind geeignete Maßnahmen zu treffen, wie z. B. CO_2 -Überwachung, Raumlüftung sowie Verhaltensmaßnamen hinsichtlich Räumung und Begehung im Störungs- bzw. Notfall.

5.3.4 Sonstige Anwendungsfälle

Neben den oben genannten Anwendungsfällen wird CO₂ bei der Getränkeherstellung z. B. für folgende weitere Zwecke verwendet:

- als Spann-bzw. Imprägniergas,
- bei der Kieselgurfiltration zum Verdrängen von Luftsauerstoff,
- bei der Neutralisation von Abwasser.

Dafür ist jeweils eine gesonderte Risikobeurteilung erforderlich.

6. Schutzmaßnahmen

6.1 Ableitung von Kohlendioxid ins Freie

Bei geschlossener Bauweise von Gärbehältern (ZKG, liegende Gärtanks) ist es möglich, anfallendes Kohlendioxid erst gar nicht in den Aufstellungsraum abfließen zu lassen, sondern über fest installierte Abluftleitungen direkt ins Freie oder in Auffangbehälter zu führen.



Abb. 3: CO₂-Ableitung ins Freie

Auf zusätzliche Lüftungsmaßnahmen im Aufstellungsraum der Behälter kann nur dann verzichtet werden, wenn die geschlossene Gäranlage auch bei allen Betriebsphasen dicht bleibt.

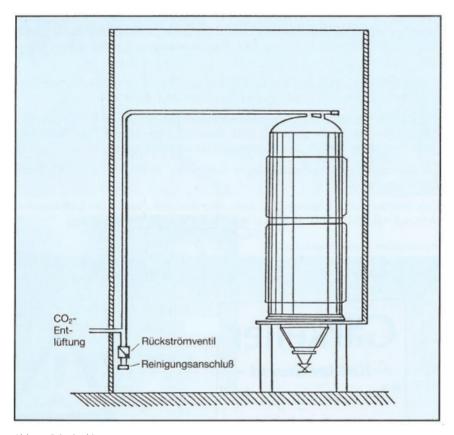


Abb. 4: Prinzipskizze

Abführung von CO_2 aus geschlossenem Gärbehälter in Reinigungs-Luft-Ventilkombination. Das Rückstromventil öffnet nur in Richtung Reinigungsstrom (evtl. anlüftbar zum Ablassen von Restflüssigkeit, mit selbsttätiger Rückstellung).

6.2 Raumlüftung

Ergibt die Gefährdungsbeurteilung, dass CO_2 in gesundheitsschädlicher Konzentration in den Arbeitsraum abströmt, sind raumlufttechnische Maßnahmen (natürliche oder technische Lüftung) notwendig. Das Abströmen und evtl. Ansammeln gefährlicher CO_2 -Konzentration in benachbarte sowie tiefer liegende Räume ist zu verhindern.



Abb. 5: Absaugung der Raumluft im Gärkeller



Abb. 6: Absaugung der Raumluft im Lagerkeller

Die Dimensionierung der Lüftung, d. h. der Luftwechsel (Austausch des Raumvolumens pro Stunde), hat entscheidenden Einfluss auf die CO₂-Raumkonzentration bzw. deren zeitlichen Verlauf.

Schalter für die lüftungstechnischen Anlagen müssen außerhalb der zu belüftenden Räume gut zugänglich und sichtbar angeordnet sein. Sinn und Betriebsstellung der Schalteinrichtungen müssen erkennbar sein.

Die Steuerung von Lüftungsanlagen kann über Zeitrelais oder besser $\text{CO}_2\text{-Messsonden}$ erfolgen.

Eine Störmeldeeinrichtung muss den Ausfall der Lüftungseinrichtung signalisieren (z. B. elektronische Strömungsüberwachung mit optischem oder akustischem Signal).

6.3 Raumluftüberwachung/stationäre Gaswarnanlage

Über eine stationäre Gaswarnanlage kann die CO₂-Konzentration in der Raumluft überwacht werden. Die Kopplung der gemessenen Werte mit der Raumlüftung ist sowohl unter sicherheitstechnischen als auch energetischen Gesichtspunkten sinnvoll. Bei Überschreitung einer Voralarmschwelle sollte die Raumentlüftung aktiviert werden. Bei Überschreitung der Hauptalarmschwelle ist der Arbeitsbereich zu verlassen bzw. darf dieser nicht betreten werden.

Werden Gaswarngeräte installiert, ist darauf zu achten, dass die Installation nur durch fachkundige Personen durchgeführt wird.

Bei der Installation von Gaswarngeräten sind insbesondere folgende Anforderungen zu beachten:

Die Messorte sind so zu wählen, dass die im zu überwachenden Bereich austretenden Gase durch das Gaswarngerät rechtzeitig und sicher erfasst werden, z.B. in der Nähe möglicher Emissionsquellen in 0,3-0,5 m über dem Fußboden.

Bei der bodennahen Anordnung der Sensoren können erhöhte Alarmschwellenwerte eingestellt werden (Voralarm 1,5 Vol.-%, Hauptalarm 3,0 Vol.-%).

Der Arbeitsplatzgrenzwert wird dagegen personenbezogen in 1,60 m Höhe gemessen und ist einzuhalten (siehe Ziffer 3).

Sämtliche Teile eines Gaswarngerätes, insbesondere Sensor und Zentraleinheit, müssen so installiert sein, dass eine mechanische Beschädigung weitgehend ausgeschlossen wird. Schutzeinrichtungen z. B. Schutzbügel, dürfen den Messgaszutritt zum Sensor nicht behindern.

Ein ausreichender Schutz gegen Spritzwasser und Feuchtigkeit ist zu gewährleisten. Ausfall oder Störung der Energieversorgung/Stromzufuhr müssen erkennbar sein, ohne dass der gefährdete Bereich betreten werden muss.

Alarm- und Störungsmeldevorrichtung müssen so angeordnet werden, dass sie im Gefahrenbereich und ohne den gefährdeten Bereich zu betreten, wahrgenommen werden können.



Abb. 7: Gaswarnanlage mit Steuerung zur Absaugung der Raumluft vor dem Eingang zum Gärkeller

Die Instandsetzung von Gaswarngeräten, die über den in der Betriebs- und Wartungsanleitung vorgegebenen Umfang hinausgeht, darf nur durch vom Hersteller beauftragte fachkundige Personen durchgeführt werden.

Gaswarngeräte müssen regelmäßig, in den vom Hersteller der Gaswarngeräte festgelegten Fristen, durch eine fachkundige Person auf Funktionsfähigkeit geprüft werden. Das Ergebnis der Prüfung ist zu dokumentieren.

6.4 Allgemeine Schutzmaßnahmen vor dem Einsteigen in Behälter

Betriebsanweisung

Es müssen geeignete Betriebs- oder Arbeitsanweisungen für Tätigkeiten, wie z. B. Reinigen, Lüften, Entfernen von CO₂ aus dem Behälter, erstellt werden.

Unterweisung mit Dokumentation

Die Beschäftigten sind vor Aufnahme der Arbeit und regelmäßig wiederkehrend entsprechend der Betriebs- oder Arbeitsanweisung über die bei ihren Tätigkeiten auftretenden Gefahren sowie über die erforderlichen Schutzmaßnahmen zu unterweisen. Die Unterweisungen sind mindestens einmal jährlich zu wiederholen, zu dokumentieren und durch die Unterschrift der Beschäftigten zu bestätigen.

Überströmen von CO2 aus Sammelleitung

Sind Behälter über eine Sammelleitung verbunden, so besteht die Gefahr, dass CO_2 über diese Leitung in den zu besteigenden Behälter zurückströmt. Um dies wirksam zu verhindern, muss eine geeignete Absperreinrichtung vorhanden sein (siehe BGR 117-1, Ziffer 4.2.2).

Nachgewiesene sichere Verfahrensweise

Werden Behälter regelmäßig unter gleichen Arbeitsbedingungen und Risiken bestiegen, kann die Wirksamkeitskontrolle auch über eine nachgewiesene sichere Verfahrensweise betrieblich geregelt werden. In dieser Verfahrensweise müssen diejenigen Bedingungen benannt und festgelegt werden, wodurch eine ausreichende Beseitigung von CO₂ aus dem Behälter vor dem Besteigen sichergestellt werden kann. Dabei sind insbesondere folgende Bedingungen bzw. Voraussetzungen zu beachten:

- gründliches Ausspritzen des Behälters von außen (über Mannlochöffnung) mittels Wasser. Die Wirksamkeit hängt von folgenden Faktoren ab:
 - Wasserdruck
 - Wasserstrahlweite
 Ziel sollte sein, die innere Behälteroberfläche von außen möglichst vollständig abzudecken.

- Wasserstrahlvernebelung
 Ein fein verteilter Wasserstrahl kann CO₂ im Behälter niederschlagen bzw. binden und fördert die natürliche Be- und Entlüftung über die Behälteröffnung.
- Zeitdauer des Ausspritzvorganges.
- gründliches Entfernen von Geläger bzw. Heferesten mittles Hefekrücke bzw. durch Ausspritzen von außen
- ausreichende Be- und Entlüftung des Behälters:
 - natürliche Be- und Entlüftung
 Diese erfolgt über die Behälteröffnung (Mannloch) und hängt, zeitlich betrachtet, von Behältergröße bzw. Behältervolumen ab.
 - technische Be- und Entlüftung
 Mittels Absaugung kann CO₂ konzentriert aus dem Behälter bodennah abgesaugt und direkt ins Freie abgeleitet werden. Frischluft strömt über die Behälteröffnungen nach. Die Wirksamkeit hängt von folgenden Faktoren ab:
 - Abluftvolumenstrom
 - Behältervolumen
 - Zeitdauer des Absaugvorganges
 Diese hängt ab vom Abluftvolumenstrom, dem Behältervolumen und der
 inneren Luftzirkulation. Da die nachströmende Luft leichter als das abgesaugte CO₂ ist, wirkt sich eine Luftnachströmung über Öffnungen in der
 Behälteroberseite günstig aus.

Eine Vakuumbildung mit einhergehender Beschädigung des Behälters ist zu vermeiden.



Abb. 8: Absaugung aus einem Lagertank mit Belüftung über Spundapparat und Mannlochöffnung Bei der Festlegung der Bedingungen für die sichere Verfahrensweise kann auf bisherige betriebliche Erfahrungswerte einer sicheren Arbeitsweise zurückgegriffen werden.

Die sichere Verfahrensweise ist in festzulegenden zeitlichen Abständen zu überprüfen, durch

• Überprüfung der festgelegten Bedingungen

oder besser

Messung der CO₂-Konzentration.

Die sichere Verfahrensweise ist zu dokumentieren (Nachweis) und ist Grundlage der Betriebsanweisung und Unterweisung.

6.5 Weiterführende Schutzmaßnahmen bei Arbeiten in Behältern

Behälter (Tanks, Gärbehälter) sind enge Räume. Bei Arbeiten in Behältern ist die BG-Regel 117-1 "Behälter, Silos und enge Räume" zu beachten.

Insbesondere unter dem Aspekt, dass das Auftreten von ${\rm CO_2}$ in gefahrdrohender Konzentration nicht mit Sicherheit ausgeschlossen ist, müssen geeignete Schutzmaßnahmen festgelegt und durchgeführt werden. Die BG-Regel enthält u. a. dazu wichtige Hinweise.

Auf einige wesentliche Punkte wird im Folgenden hingewiesen:

Erlaubnisschein

Vor Beginn der Arbeiten in Behältern hat der Unternehmer oder sein Beauftragter einen Erlaubnisschein auszustellen. Darin sind die erforderlichen Schutzmaßnahmen schriftlich festzulegen (siehe Muster eines Erlaubnisscheins im Anhang).

Der Erlaubnisschein kann durch eine Betriebsanweisung ersetzt werden, wenn immer gleichartige Arbeitsbedingungen bestehen und gleichartige wirksame Schutzmaßnahmen festgelegt sind.

Freimessen/mobiles Gaswarngerät

Vor dem Besteigen von Behältern ist grundsätzlich freizumessen. Freimessen ist nur dann nicht erforderlich, wenn mit Sicherheit die Anwesenheit von CO₂ in gefahrdrohender Menge ausgeschlossen werden kann (siehe Ziffer 5.1).

Der Einsteigende muss ein mobiles Gaswarngerät mit Alarmfunktion mitführen, wenn beim Freimessen von der Mannlochöffnung aus nicht sicher auf die durchgängige CO₂-Konzentration im Behälterinnenraum geschlossen werden kann. Das ist insbesondere bei großen und langen Behältern der Fall. Es wird empfohlen, den Voralarm auf 0,5 Vol.-% und den Hauptalarm auf 1,0 Vol.-% einzustellen.



Abb. 9: Freimessen eines Lagertanks vor dem Einsteigen

Zum Freimessen gibt es mittlerweile eine Reihe von Herstellern für tragbare CO₂-Messgeräte. Bei den Geräten sollte Folgendes beachtet werden:

- ausreichender Schutz gegen Feuchtigkeit (z. B. mindestens IP 54)
- Messbereich von 0 bis mindestens 5 Vol.-%
- Alarmfunktion bei Mitnahme in Behälter.
- Kalibrierung bzw. Austausch des Sensors nach Herstellerangaben

Geeignete Messgeräte arbeiten meist mit Infrarot (IR)-Sensoren. IR-Sensoren sind mindestens fünf Jahre haltbar und müssen danach ausgetauscht werden.

Elektrochemische Sensoren müssen üblicherweise nach einem Jahr ausgetauscht werden.

Aufsichtführender

Ein Aufsichtführender ist zu benennen, der die Schutzmaßnahmen überwacht und in angemessenen Zeitabständen Kontrollen durchführt.

Sicherungsposten

Der Sicherungsposten soll den ständigen Kontakt zum Eingestiegenen herstellen und jederzeit Hilfe herbeiholen können. Er muss mit den geeigneten Rettungsmaßnahmen vertraut sein. Er muss vor allem darüber informiert sein, dass ein Einsteigen in den Behälter zur Bergung eines Verletzten zu einer Eigengefährdung führen kann, z. B. bei Anwesenheit von CO₂.

Sicherungsposten sind nicht erforderlich, wenn sichergestellt worden ist, dass keine Gefährdung durch CO₂ auftritt und der Eingestiegene den Behälter jederzeit ohne fremde Hilfe verlassen kann.

Unterweisung und Dokumentation

Die Beschäftigten sind vor der Aufnahme der Arbeiten und regelmäßig wiederkehrend über die Gefahren sowie die zu treffenden Schutzmaßnahmen zu unterweisen.

Der Einsatz von tragbaren CO₂-Messgeräten erfordert insbesondere die Unterweisung der Beschäftigten

• über die Funktion des Gaswarngerätes

und

• über die bei der Alarmierung und Störmeldung zu treffenden Maßnahmen.

Die Unterweisungen sind mindestens einmal jährlich zu wiederholen und zu dokumentieren.

Anhang: Muster-Erlaubnisschein

Muster-Erlaubnisschein für Arbeiten in Behältern								
Arbeitsstelle: Art der Arbeiten: Aufsichtführende Sicherungspostei								
Schutzmaßnal Objekt ist	entleert: gereinigt: gespült mit:	nein nein	□ ja □ ja					
Freimessen: Sofortanzeigegerät Typ:	abgetrennt durch	n: iga						
Ergebnis: Kohlendioxid: Lüftungsmaßnahm	Vol% e: nein	□ja	Art:					
2. Schutzmaßnahmen gegen Absturz bei Satteltanks:								
3. Maßnahmen zur Rettung von Verunglückten im Behälter:								
4. Schutzmaßnahmen gegen elektrische Gefährdung: ☐ nein ☐ ja welche:								

5. Sonstige Schutzmaßnahmen:							
Festgelegte Schutzmaßnahmen ausgeführt: nein ja Arbeiten freigegeben: Unternehmer oder Aufsichtführender Datum: Uhrzeit: Unterschrift: Festgelegte Maßnahmen zur Kenntnis genommen: Sicherungsposten Datum: Uhrzeit: Unterschrift:							
Verlängerung der Erlaubnis: nein ja Erneutes Freimessen: nein ja Sofortanzeigegerät: nein ja Typ: Sonstige Schutzmaßnahmen wie Nummern 1-5: Freigabe erteilt: Unternehmer oder Aufsichtführender Datum Uhrzeit							
Maßnahmen aufgehoben; Arbeit be Datum: Uhrzeit: Sicherungsposten	eendet: Unternehmer oder Aufsichtführender						