

## 2 Eigenschaften von Kohlenstoffmonoxid

### 2.1 Chemische und physikalische Eigenschaften von Kohlenstoffmonoxid

Kohlenstoffmonoxid ist ein anorganisches farbloses, geruchloses und geschmackloses Gas, das durch die menschlichen Sinnesorgane (Riechen, Hören, Sehen, Schmecken) nicht wahrgenommen werden kann. Es hat eine hochtoxische Wirkung auf das Blut, die Nerven und die Zellen des menschlichen Körpers.

Kohlenstoffmonoxid (engl. Carbon monoxide) wird im Deutschen oft umgangssprachlich mit Kohlenmonoxid oder mit der chemischen Formel CO bezeichnet. Dies bedeutet, dass Kohlenstoffmonoxid eine chemische Verbindung von Kohlenstoff und Sauerstoff ist ( $2\text{ C} + \text{O}_2 \rightarrow 2\text{ CO}$ ). Es gehört zur Gruppe der Kohlenstoffoxide und entsteht bei der unvollständigen Oxidation von kohlenstoffhaltigen Substanzen. Dies erfolgt zum Beispiel beim Verbrennen dieser Stoffe, wenn nicht genügend Sauerstoff zur Verfügung steht oder die Verbrennung bei hohen Temperaturen stattfindet.

Kohlenstoffmonoxid hat ein Molekulargewicht von 28,01 g/mol. Die Dichte (Luft = 1) liegt bei 0,97 g/cm<sup>3</sup>. Dies bedeutet, dass Kohlenstoffmonoxid leichter als die Umgebungsluft ist und nach oben steigt. Durch das geringe Molekulargewicht verfügt Kohlenstoffmonoxid über eine hohe Diffusionsfähigkeit und kann durch Decken und Wände sowie Materialien wie Holz und Beton dringen (siehe auch Kapitel 6). Kohlenstoffmonoxid verteilt sich ungleichmäßig als Gaswolke in Räumen; die Ausbreitung wird stark von Luftströmungen und -verwirbelungen beeinflusst (ThFV/AGBF Thüringen, 2016). Der Stoff ist mit einer Wasserlöslichkeit von 2,23 g/l in die Wassergefährdungsklasse 1 eingestuft.

Besonders zu beachten ist das Brandverhalten von Kohlenstoffmonoxid. Es besteht eine extreme direkte Brandgefahr aufgrund der Siedetemperatur von -192 °C (bei 1013 hPa) und des weiten Explosionsbereiches mit einer Unteren Explosionsgrenze (UEG) – je nach Quelle – zwischen 10,9 und 12,5 Vol.-% (109.000 bzw. 125.000 ppm) sowie einer Oberen Explosionsgrenze (OEG) von 74,0 Vol.-% (740.000 ppm). Die Bildung explosionsfähiger Gasgemische mit einer möglichen Entzündung durch Funken ist möglich. Bei Kohlenstoffmonoxid besteht zudem eine indirekte Brandgefahr, da sich die Verbindung elektrostatisch mit der Gefahr einer Entzündung aufladen kann.

Bei einem Brandprozess mit hohen Temperaturen muss als Gefahr für die Einsatzkräfte vor allem auch die Reaktion von Kohlenstoffdioxid zu Kohlenstoff-

monoxid beachtet werden. Denn zwischen Kohlenstoffmonoxid und Kohlenstoffdioxid stellt sich bei der Umsetzung von Kohlenstoffdioxid und glühendem Kohlenstoff grundsätzlich zunächst das so genannte Boudouard-Gleichgewicht ein. Hohe Verbrennungstemperaturen verschieben dieses Gleichgewicht aufgrund der endothermen Reaktion auf die Produktseite, also zum Kohlenstoffmonoxid.

**Tabelle 1: Technische Daten von Kohlenstoffmonoxid**

	GSBL – Gemeinsamer Stoffdatenpool Bund/länder	Hommel – Handbuch der gefährlichen Güter (nur abweichende/ergänzende Angaben zu GASBL)
Schmelztemperatur	-205 °C	
Siedetemperatur	-192 °C (bei 1013 hPa)	
Flammpunkt	< -191 °C	
Kritische Temperatur	-140 °C	
Zündtemperatur		607 °C
Relative Dichte/Dampfdichteverhältnis (Luft = 1)	0,97 g/cm <sup>3</sup>	
Dampfdruck	30.609 hPa (entspricht: 30,64 bar) bei -143 °C; 400 hPa bei 20 °C	
Molekulargewicht	28,01 g/mol	
UEG	10,9 – 12,5 Vol.-%	11,3 Vol.-%
OEG	74 Vol.-%	75,6 Vol.-%
Wassergefährdungsklasse	1	
Wasserlöslichkeit	0,23 g/l	
Gefahrendiamant	443	240
Gefahrendiamant Resy	240W	
Stoffnummer (UN-Nummer)	1016	
Chemische Formel	CO	
Summenformel	C-O	

Ein Beispiel: Während bei etwa 450 °C (bei Normalluftdruck) das Gleichgewicht aus 98 Prozent CO<sub>2</sub> und zwei Prozent CO besteht, verschiebt sich die Konzentration bei 700 °C auf 42 Prozent CO<sub>2</sub> und 58 Prozent CO. Bei 1000 °C liegen nur noch ein Prozent CO<sub>2</sub> und 99 Prozent CO vor. Steigt jedoch im Verbrennungsraum der Druck, so verschiebt sich das Gleichgewicht wieder zur Seite der Ausgangsstoffe, also des Kohlenstoffdioxids. Dieser Aspekt ist insbesondere bei der Verwendung von Kohlenstoffdioxid als Inertgas bei der Inertisierung (vgl. auch Kapitel 9.8) zu beachten.

**Merke:**

1 Vol.-% sind 10.000 ppm.  
Beispiel: 10,9 Vol.-% = 109.000 ppm

## 2.2 Pathophysiologische Eigenschaften von Kohlenstoffmonoxid

Kohlenstoffmonoxid hat eine 200- bis 300-fach höhere Affinität (bei fetalem Blut sogar eine bis zu 600-fache Affinität) an das sauerstofftransportierende Protein Hämoglobin als Sauerstoff, dies bedeutet, dass sich Kohlenstoffmonoxid sehr gut an Hämoglobin bindet. Dabei entsteht Carboxyhämoglobin (CO-Hb) und der Sauerstofftransport im Gewebe wird unmittelbar blockiert. So kommt es schnell zu einem Sauerstoffmangel mit entsprechenden Auswirkungen im Körper (siehe auch Kapitel 3).

Der Normalwert von CO-Hb liegt beim Menschen etwa bei drei Prozent. Bei starken Rauchern kann dieser Wert deutlich erhöht sein. So können Raucher, die 20 Zigaretten pro Tag konsumieren, einen CO-Hb-Anteil von fünf Prozent, Raucher mit mehr als 30 Zigaretten pro Tag auch bis zu 15 Prozent CO-Hb haben. Der Abbau des im Blut gebundenen Kohlenstoffmonoxids nur einer Zigarette soll bis zu zwölf Stunden dauern.

Mit der Aufnahme (Intoxikation) in den Körper entfaltet Kohlenstoffmonoxid eine akut toxische Wirkung auf Blut, Nerven und Zellen. Entsprechend gilt Kohlenstoffmonoxid als Atemgift mit Wirkung auf Blut, Nerven und Zellen.

**Merke:**

Kohlenstoffmonoxid ist ein Atemgift mit Wirkung auf Blut, Nerven und Zellen.

### 3 Wirkung von Kohlenstoffmonoxid auf den menschlichen Körper

Durch die Blockierung des Sauerstofftransportes im menschlichen Körper durch die Anlagerung von Kohlenstoffmonoxid an das Hämoglobin kommt es zu einer Sauerstoffunterversorgung. Statt Sauerstoff werden durch Hämoglobin Kohlenstoffmonoxid-Moleküle zu den Zellen transportiert; die Verbindung Kohlenstoffmonoxid-Hämoglobin kann nur durch eine hyperbare Sauerstoff-Therapie in einer Druckkammer gelöst werden. Erste Symptome für eine Kohlenstoffmonoxid-Exposition sind Übelkeit, Erbrechen, Kopfschmerzen, Sehstörungen, Konzentrationsschwächen und Schwindel. Atemnot wird jedoch nicht zwangsläufig verspürt. Dies kann dazu führen, dass eine erhöhte CO-Konzentration nicht sofort erkannt wird – auch nicht vom Rettungsdienst.



#### **Merke:**

Eine erhöhte CO-Konzentration wird möglicherweise nicht sofort als solche erkannt, da die Symptome wie Schwindel, Kopfschmerzen oder Übelkeit auch als harmlos eingestuft werden können.

Da die Verflechtung von Hämoglobin und Kohlenstoffmonoxid rosarot erscheint, sind bei einer stärkeren Intoxikation von Kohlenstoffmonoxid – je nach CO-Hb-Anteil (Kohlenstoffmonoxid-Hämoglobin-Wert) – eine rosige bis kirschrote Verfärbung der Haut sowie vor allem der Schleimhäute möglich. Es gibt keine Zyanose wie beispielsweise beim Asthma-Anfall.

Ähnlich wie bei einer Belastung durch radioaktive Strahlung ist auch bei Kohlenstoffmonoxid von einer Akkumulation der aufgenommenen Dosis auszugehen. Dies bedeutet, dass eine hohe Dosis oder eine lange Expositionszeit zu Folgeschäden führen kann.

Mittelbar wirkt sich eine Kohlenstoffmonoxid-Intoxikation auf das Kurzzeitgedächtnis aus, sodass es zu neurologischen Ausfällen kommen kann. Mit einer weiter zunehmenden Konzentration von Kohlenstoffmonoxid im Blut kommt es zu Verwirrtheit, Bewusstlosigkeit, Atem- und Herzrhythmusstörungen und schließlich zum Tod.

Menschen mit einer bestehenden koronaren Herzerkrankung haben ein erhöhtes Risiko durch eine Kohlenstoffmonoxid-Intoxikation Herzrhythmusstörungen oder einen Herzinfarkt zu erleiden. Bei schwangeren Frauen kann eine Kohlenstoff-

monoxid-Intoxikation zu einer erheblichen Schädigung des Fötus führen. Und auch Kinder sowie respiratorisch (vor-)erkrankte Menschen unterliegen einem besonderen Risiko (Fromm, 2020).

**Tabelle 2:** *Symptome in Abhängigkeit von der CO-Konzentration in der Umgebungsluft (in Anlehnung an König/Lipp, 2007 und Geldner, o. A)*

CO-Konzentration in ppm	CO-Konzentration in Vol.-%	Symptome
30	0,003	keine Gesundheitsgefährdung zu erwarten – Aufmerksamkeitsschwelle
100–200	0,01–0,02	Leichte Kopfschmerzen innerhalb von zwei bis drei Stunden
400	0,04	Kopfschmerzen im Stirnbereich innerhalb von ein bis zwei Stunden, breitet sich im ganzen Kopfbereich aus
500	0,05	starke Kopfschmerzen nach mehreren Stunden, Schwindel, Ohnmachtsneigung
800	0,08	Schwindel, Übelkeit, Gliederzucken innerhalb von 45 Minuten; Bewusstlosigkeit innerhalb von zwei Stunden
1000–2000	0,1–0,2	Kopfschmerzen, Übelkeit, Schwindel innerhalb von 20 Minuten, Tod innerhalb 30 Minuten bis zwei Stunden
3200	0,32	Kopfschmerzen, Übelkeit, Schwindel innerhalb von fünf bis zehn Minuten, Tod innerhalb 30 Minuten
6400	0,64	Kopfschmerzen, Übelkeit, Schwindel innerhalb von ein bis zwei Minuten, Tod innerhalb zehn bis 15 Minuten
12800	1,28	Tod innerhalb von ein bis drei Minuten

Bereits geringe Kohlenstoffmonoxid-Konzentrationen in der Atemluft können zu gefährlichen Blockaden des Hämoglobins und damit zu einem erhöhten und behandlungspflichtigem CO-Hb-Wert führen (König/Lipp, 2007):

- 0,03 Vol.-% CO → 20 % CO-Hb
- 0,07 Vol.-% CO → 50 % CO-Hb

**Tabelle 3:** *Symptome in Abhängigkeit des CO-Hb-Wertes (nach König/Lipp, 2007)*

CO-Hb-Wert [%]	Symptome
< 10 %	bei Rauchern und in Großstädten lebenden Menschen meist keine Symptome, sonst leichte Sehstörungen
< 20 %	Erweiterung der Hautkapillaren bei Anstrengung
< 30 %	Ohrensausen, Sehstörungen (Flimmern), Schwindel, rauschartige Zustände, Übelkeit, Erbrechen
< 40 %	rosafarbene Haut, Bewusstseins Einschränkung und -verlust, Erregungs- und Angstzustände, oberflächliche Atmung, Kreislaufdepression, abdominale Symptomatik
40–50 %	periodische Hyperventilation oder so genannte Cheyne-Stokes-Atmung (rhythmisch wechselnder Atemtypus mit zu- und abnehmender Atemfrequenz und -amplitude sowie Atempausen), gesteigerte Reflexe, tetanische Krämpfe, Schocksymptomatik, Körpertemperatur bis zirka 40 °C
50–60 %	finale Hyperthermie, keine Reflexe, kleinste punktförmige Einblutungen und Hautveränderungen
60–80 %	Tod durch zentrale Atemlähmung nach zirka zehn Minuten

## 4 Auftreten von Kohlenstoffmonoxid

Kohlenstoffmonoxid entsteht bei jeder Verbrennung kohlenstoffhaltiger Verbindungen (beispielsweise Erdgas, Erdöl, Kohle, Holz und anderer brennbarer Feststoffe). Unter optimalen Bedingungen entsteht Kohlenstoffdioxid; ist jedoch zu wenig Sauerstoff vorhanden, d. h. es liegt eine unvollständige Verbrennung vor, wird Kohlenstoffmonoxid gebildet. Dabei können schnell große Mengen des Gases freigesetzt werden.

4



### Merke:

Je unvollständiger eine Verbrennung abläuft, desto stärker ist die Bildung von Kohlenstoffmonoxid.

Dies bedeutet, dass Kohlenstoffmonoxid bei jedem Feuer auftritt, wobei jeweils die Konzentration und die Einwirkung auf Menschen, Tiere und Umwelt unterschiedlich und daher situationsbedingt zu bewerten sind. Kohlenstoffmonoxid kann jedoch auch im Haushalt, in Gewerbe- und Gaststättenbetrieben, in Gruben und Zisternen und vor allem im Zusammenhang mit Feuerungsanlagen (Heizungsanlagen) auftreten sowie durch chemische Reaktionen (zum Beispiel in Holzpellets-Lagern) entstehen.

Bei den nachstehenden möglichen Gefährdungspotenzialen im Zusammenhang mit Kohlenstoffmonoxid müssen die Einsatzkräfte grundsätzlich mit dem Auftreten von Kohlenstoffmonoxid rechnen:

- alle Feuer,
- Gebäude:
  - verstopfte oder verlegte Schornsteine,
  - mangelnder Zug am/ im Schornstein,
  - Kamine und Kaminöfen,
  - Schornsteinbrände,
  - unzureichende Abgasabführung von (Heiz-)Thermen,
  - defekte Heizungsanlagen,
  - Rückstau durch Wasserversorgungs-Hochdruckzonen,
  - Unterdruckerzeugung im Gebäude durch technische Geräte wie Klimaanlage, Dunstabzugshauben, Wäschetrockner, integrierte/stationäre Staubsaugsystem),

- Arbeiten am/im Gebäude:
  - Arbeiten an Verbrennungs- und Heizungsanlagen,
  - Arbeiten mit/an Verbrennungsmotoren,
  - Arbeiten mit Geräten mit Antrieb durch einen Verbrennungsmotor (zum Beispiel Motorkettensäge, Laubgebläse, Trocknungsgerät, Stromerzeuger),
- Suizide (v. a. in Fahrzeugen und Gebäuden, beispielsweise durch Holzkohlegrills in Wohnungen),
- Holzkohlegrills (Indoor-Grillen),
- gasbetriebene mobile Heizanlagen (zum Beispiel Propangasflächenheizstrahler, Heizpilze),
- Fahrzeugabgase (Garage, Tiefgarage),
- Holzpellet-Lagerräume,
- (Faul-)Gase aus unterirdischen Gruben, Auffangbecken oder Zisternen,
- Wasserpfeifen (vor allem in Shisha-Bars),
- industrielle Hochöfen (hier wird Gichtgas freigesetzt, welches einen Anteil von bis zu 30 Prozent Kohlenstoffmonoxid hat),
- Einsatz der Feuerwehr (Schadenfeuer, aber auch Abgase von Einsatzfahrzeug, Tragkraftspritze, Stromerzeuger, Motorkettensäge, Druckbelüfter mit Verbrennungsantrieb).

**Merke:**

Die Aufzählung ist nicht abschließend. Immer wieder kommt es in der Einsatzpraxis vor, dass Kohlenstoffmonoxid an Stellen nachgewiesen werden kann, an dem es zunächst nicht vermutet wird. Daher: Seien Sie neugierig bei der Erkundung und hinterfragen Sie Ihre Entscheidungen im Rahmen des Führungskreislaufs!

**Merke:**

Liegen beim Betreten eines Gebäudes oder einer (Tief-)Garage keine gesicherten Erkenntnisse vor, dass KEINE gefährlichen Konzentrationen von Kohlenstoffmonoxid vorhanden sind, so ist grundsätzlich von einer Gefährdung durch das Atemgift CO auszugehen.





**Bild 1:** *Ein CO-Warner sollte zumindest von den Führungskräften immer dort getragen werden, wo die Gefahr einer CO-Exposition besteht.*

Vor allem im Hochsommer kann es in Wohngebäuden zum so genannten Abgasrückstau kommen: An heißen Sommertagen können die Abgase der Warmwasserthermen im Vergleich zur Außenluft kälter sein, sodass sie nicht ausreichend abziehen können und so in die Wohnungen zurückgedrückt werden. Dadurch steigt die Konzentration von Kohlenstoffmonoxid in den Wohnungen entsprechend an. Aber auch eine Dunstabzugshaube oder eine Klimaanlage können ursächlich dafür sein, dass sauerstoffreiche Luft nach außen abgesaugt wird, während die Abgase (inklusive Kohlenstoffmonoxid) aus der Abgasanlage zurückgesaugt werden.

Verschiedene Studien und Untersuchungen haben gezeigt, dass Feuerwehrangehörige im Einsatz einer erhöhten CO-Belastung ausgesetzt sind, auch, wenn diese umluftunabhängigen Atemschutz tragen (Schönemann et al., 2010). Vor allem bei Rauchern war eine grundsätzliche CO-Hb-Belastung festzustellen. Zwar sind die CO-Hb-Werte von Atemschutzgeräteträgern gering und in (Schönemann et al., 2010) wiesen nur 16,4 Prozent der Atemschutzgeräteträger erhöhte CO-Hb-Werte auf, dennoch darf der Aspekt unter dem Gesichtspunkt der Fürsorgepflicht nicht verkannt werden. Sollten daher an Einsatzstellen auch bei Atemschutz-

## 4 Auftreten von Kohlenstoffmonoxid

---

geräteträgern Symptome einer erhöhten Kohlenstoffmonoxid-Konzentration auftreten, sollte der Feuerwehrangehörige vom Rettungsdienst entsprechend untersucht werden.