

# Kohlenmonoxid aus Holzpellets: Ermittlung und Beurteilung von Expositionen in Lagern entlang der Logistikkette

S. Auras, R. Weiß, G. Feihle, T. von der Heyden, S. Gabriel

**Zusammenfassung** Aus frischen Holzpellets entweicht, bedingt durch einen Autoxidationsprozess, Kohlenmonoxid (CO), ein Gas, das zu schweren Vergiftungen führen kann, wenn Beschäftigte für Reparaturen, Kontrollgänge oder Reinigungsarbeiten Lagerstätten von Holzpellets betreten. Die Unfallversicherungsträger führten zusammen mit dem Institut für Arbeitsschutz der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung (IFA) ein Messprogramm durch, um die CO-Konzentrationen entlang der gesamten Logistikkette in Lagern und Silos beim Hersteller, beim Handel und beim Endverbraucher messtechnisch zu ermitteln. Insgesamt erfolgten in 26 Betriebsstätten mehr als 250 Messungen. Die Ergebnisse belegen, dass bei Lagerungen von frischen Holzpellets CO-Konzentrationen oberhalb des Grenzwertes von  $35 \text{ mg/m}^3$  vorliegen können. Die Messwerte in Arbeitsbereichen, die an die Silos angrenzen, und auch bei Lagerungen in loser Schüttung lagen unterhalb des Grenzwertes. Im Vergleich zu den Silos bei Herstellern und im Handel sind die Füllmengen in den Lagerräumen der Endverbraucher deutlich geringer und die eingelagerten Pellets älter. Dies erklärt, dass ein Teil der CO-Messwerte beim Endverbraucher unterhalb der Nachweisgrenze der eingesetzten Messgeräte lag.

## Carbon monoxide from wood pellets: determining and assessing exposure in stores along the logistics chain

**Abstract** Carbon monoxide (CO) is a gas that escapes from fresh wood pellets as a result of an autoxidation process. It can lead to severe poisoning when workers enter wood pellet storage areas in order to carry out repairs, inspections or cleaning work. Together with the Institute for Occupational Safety and Health of the German Social Accident Insurance (IFA), the accident insurance institutions conducted a programme of measurements in order to determine CO concentrations along the entire logistics chain in stores and silos at manufacturers' premises, in trade businesses and at the end users' premises. Altogether, over 250 measurements were performed at 26 sites. The results show that CO concentrations above the limit of  $35 \text{ mg/m}^3$  may arise where fresh wood pellets are stored. The values measured in working areas adjacent to silos and when wood pellets are stored in loose bulk lay below the limit. Compared to silos at manufacturers' premises and in trade businesses, the quantities held in stores at end users' premises are substantially lower, and the pellets stored older. This explains why some of the CO measurements at the end users' premises lay below the detection limit of the instruments used.

**Dr. phil. nat. Stefan Auras,**

Berufsgenossenschaft Handel und Warenlogistik (BGHW), Mannheim.

**Dipl.-Ing. Roman Weiß, Dipl.-Ing. Gert Feihle,**  
Berufsgenossenschaft Holz und Metall (BGHM), Mainz.

**Dipl.-Chem. Thomas von der Heyden, Stefan Gabriel,**

Institut für Arbeitsschutz der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung (IFA), Sankt Augustin.

## 1 Einleitung

Holzpellets haben sich in den letzten Jahren als eine Alternative zu fossilen Energieträgern für das Beheizen von Gebäuden wie Wohn- und Geschäftshäusern, Schulen oder Kliniken etabliert. Die Holzpellets selbst werden in der Regel aus (rindenfreien) Abfällen der Holzproduktion hergestellt. Bei diesem Herstellungsprozess werden Holzspäne in die typische zylindrische Form gepresst. Durch den Druck und die erhöhte Temperatur während dieses Prozessschrittes wird ungewollt ein sogenannter Autoxidationsprozess gestartet. In der Literatur wird immer wieder beschrieben, dass dieser Prozess durch die im Holz enthaltenen Fettsäuren bestimmt wird und dazu führt, dass Kohlenmonoxid (CO) aus den frischen Holzpellets freigesetzt wird. Die Menge des freigesetzten CO ist insbesondere abhängig von der Holzart sowie von der Lagertemperatur und dem Alter der Holzpellets [1]. In der Regel werden die Holzpellets beim Hersteller und auch im Handel so lange gelagert, dass dies am Ende der Logistikkette – beim Endverbraucher – kein Problem darstellt. In Einzelfällen kommt es vor, dass relativ frische Pellets beim Endverbraucher eingelagert und in dessen Lager noch CO freigesetzt wird. Kommt es zu einer Störung, z. B. an der Förder Einheit, müssen Beschäftigte, wie Installateure oder Facility-Manager, das Lager betreten. Auch in der Herstellung und im Handel kann es bei Störungen erforderlich werden, dass Beschäftigte beispielsweise in Silos einfahren müssen. Wurden Lager oder Silos zuvor nicht ausreichend belüftet und erfolgte keine Freimessung, kann der CO-Gehalt in der Luft zu schweren Vergiftungen oder gar zum Tod führen. Für CO gibt es in der Technischen Regel für Gefahrstoffe (TRGS) 900 [2] einen Arbeitsplatzgrenzwert (AGW) in Höhe von  $35 \text{ mg/m}^3$  (entspricht  $30 \text{ ml/m}^3$ ). Dieser gilt für eine achtstündige Schicht. Gleichzeitig gilt ein Kurzzeitwert von  $70 \text{ mg/m}^3$  ( $60 \text{ ml/m}^3$ ), der während vier 15-minütiger Intervalle nicht überschritten werden darf. Diese vier Intervalle sollen mindestens eine Stunde zeitlichen Abstand voneinander haben.

Die Giftwirkung von CO beruht darauf, dass es sich leichter als Sauerstoff an den roten Blutfarbstoff Hämoglobin bindet und das Ablösen von ihm schwerer erfolgt. Somit steht weniger Hämoglobin für den Sauerstofftransport im Körper zur Verfügung, was zu Kopfschmerzen, Schwindel, Übelkeit und in extremen Fällen zu Bewusstlosigkeit und zum Tod führen kann.

Die Unfallversicherungsträger haben sich dieses Problems angenommen und dazu im Mai 2014 eine DGUV Information publiziert. Flankierend hierzu wurde im Jahr 2014 ein gemeinsames Messprogramm gestartet. Ziel dieses Messprogramms war, die CO-Konzentrationen zu ermitteln, die während der gesamten Logistikkette auftreten können, von der Produktion, über den Handel bis hin zum Endverbraucher. Die Ergebnisse dieses Programms und die daraus abgeleiteten Schutzmaßnahmen flossen in eine Aktualisierung der DGUV Information „Kohlenmonoxid bei Transport



Bild 1. Silos zur Pelletlagerung beim Hersteller.



den Außen- und Innensilos wurden daher auch benachbarte Arbeitsbereiche, wie zum Beispiel Schaltwarte, Silowaage oder Elevatorschacht (Elevator: mechanischer Stetigförderer zum Be- und Entladen von Holzpellets) messtechnisch untersucht.

### 2.2.2 Lagerung beim Handel

In der Regel werden Holzpellets vom Hersteller mittels Lkw, ggf. auch mit der Bahn oder mit Schiffen, an den (Groß)Handel geliefert. Im Bereich des Handels erfolgt die Lagerung von Holzpellets

und Lagerung von Holzpellets im gewerblichen Bereich“ [3] ein.

## 2 Ermittlung von Kohlenmonoxidexpositionen

### 2.1 Umfang des MGU-Messprogramms

Im Messsystem Gefährdungsermittlung der UV-Träger (MGU) [4] wurde im Zeitraum von Mai 2014 bis Mai 2016 das Messprogramm „CO aus Holzpellets“ durchgeführt. Messungen im Rahmen von MGU-Messprogrammen zeichnen sich durch eine einheitliche Messstrategie und eine systematische Erhebung und Dokumentation von Betriebs- und Expositionsdaten aus. Die Messungen erfolgten durch die Messtechnischen Dienste der Berufsgenossenschaft Holz und Metall (BGHM) und der Berufsgenossenschaft Handel und Warenlogistik (BGHW). Insgesamt wurden in 26 Betriebsstätten mehr als 250 Messungen durchgeführt. Dokumentiert sind die Expositionsdaten in der Expositionsdatenbank MEGA des Instituts für Arbeitsschutz der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung (IFA) [5].

### 2.2 Untersuchte Arbeitsbereiche

#### 2.2.1 Lagerung bei der Herstellung

Nach dem Herstellungsprozess in den Pelletieranlagen werden die Holzpellets in bis zu 30 m hohen Silos bis zum Weitertransport zum Händler oder Endverbraucher zwischengelagert. Bei den Silotypen kann man zwischen den im Freien stehenden Außensilos und den innerhalb von Gebäuden befindlichen Innensilos unterscheiden. Letztere können in mehrere Schächte unterteilt sein. Die Ein- und Auslagerung der Pellets erfolgt üblicherweise über Band-, Kratz- oder Becherförderer. Viele der Außensilos besitzen als natürliche Belüftungsöffnung einen Ringspalt unterhalb des Silodaches; einige sind zudem mit Dachventilatoren für eine technische Entlüftung ausgestattet. Im Gegensatz dazu war in den betrachteten Innensilos keine Be- oder Entlüftung vorhanden. Da bei der Lagerung der frisch produzierten Holzpellets mit hohen CO-Emissionen zu rechnen ist, fand ein Großteil der messtechnischen Untersuchungen innerhalb dieser Silos statt. **Bild 1** zeigt typische Silos, die im Rahmen des Messprogramms betrachtet wurden.

Die befüllten Silos sind keine Arbeitsbereiche, die leeren Silos werden nur gelegentlich für Kontrollen oder Instandhaltungsarbeiten betreten. Ergänzend zu den Messungen in

dann nicht nur – wie bei der Lagerung beim Hersteller – in Silos (**Bilder 1 und 2**), sondern auch in Lagerhallen auf Halde in loser Schüttung (**Bild 3**) oder als Sackware.

Bei der Lagerung im Silo sind die Arbeitsschritte analog zu denen im Bereich der Hersteller. Nach der Anlieferung werden die Pellets in der Regel über eine Schüttgasse und ein Fördersystem in die einzelnen Silozellen eingelagert. Von dort werden sie über eine Bandanlage und einen Elevator entweder zur Fahrzeugbeladung oder zur Absackung in eine Absackanlage gefördert. In einigen Betrieben erfolgt vor der Fahrzeugbeladung oder der Absackung eine erneute, kurzzeitige Zwischenlagerung in einem kleineren Verladesilo.



Bild 2. Silo im Bereich des (Groß)Handels mit Holzpellets.

Bei Lagerung in loser Schüttung werden die Pellets zur Einlagerung entweder nach dem Abkippen in eine Schüttgasse und nachfolgendem Weitertransport über Elevator- und Rohrsysteme in der Halle über Förder- und Abwurfbänder im Deckenbereich verteilt oder nach der Anlieferung mit einem Kipper in der Lagerhalle mittels Radlader verschoben. Zum Weitertransport an den Kunden werden die Holzpellets aus der losen Schüttung per Radlader in einen Trichter eingekippt und von dort über Stetigförderer entweder in ein Silofahrzeug oder zu einer Absackanlage transportiert (Bild 4).

### 2.2.3 Lagerung beim Endverbraucher

Beim Endverbraucher werden die Holzpellets in Pelletheizungen energetisch verwertet. In der Regel werden die Pellets in der Nähe der Heizungsanlage – z. B. in einem Kellerraum – gelagert. Problematisch sind insbesondere schlecht durchlüftete Räume, in denen sich das CO anreichern kann. Über Mitgliedsbetriebe, die für die Wartung und Instandhaltung von Heizungsanlagen beim Endverbraucher zuständig sind, konnten Messungen in Lageräumen (Lagergrößen von 8 bis 180 m<sup>3</sup>) durchgeführt werden. Zusätzlich fanden CO-Messungen in angrenzenden Nebenräumen statt.



Bild 3. Lagerung von Holzpellets in loser Schüttung sowie als Sackware in Big Bags.

## 3 Messstrategie und eingesetzte Messverfahren

Im Messprogramm „CO aus Holzpellets“ wurde eine einheitliche Messstrategie verfolgt, die vorab in einer Handlungsanleitung fixiert wurde. Die Messungen der CO-Konzentration erfolgten mit mobilen, direkt anzeigenden Gasmesssystemen. Zum Einsatz kamen beispielsweise die



Bild 4. Anlieferung und Abkippen in eine Schüttgasse (links oben), Lagerung in loser Schüttung (rechts oben), Abkippen in Fülltrichter und Transporteinrichtungen (links unten) sowie Vorrichtungen zur Abfüllung (rechts unten).

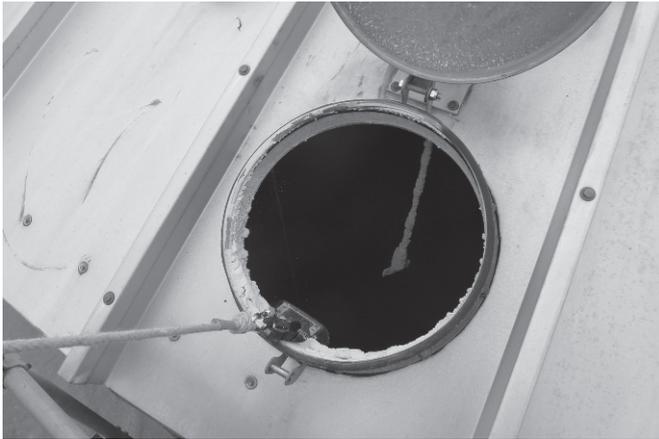


Bild 5. CO-Messung im Silo, Messpunkt: Dachluke.

Systeme X-am® 5600 und X-am® 7000 der Fa. Dräger, die mit elektrochemischen CO-Sensoren bestückt waren. Für den Eigenschutz wurden zudem Warngeräte mitgeführt, um eine kontinuierliche Überwachung der Konzentration in der Umgebungsluft zu gewährleisten. Vor den Messungen wurden die Messgeräte mit CO-Prüfgas auf ihre Funktionsfähigkeit überprüft und eine Zweipunktkalibrierung durchgeführt.

### 3.1 Messstrategie in Silos

Ein befülltes Silo kann nicht betreten werden. Auf dem Silodach, das über eine außen montierte Leiter bestiegen werden kann, befindet sich daher eine kleine zugängliche Dachluke, die den Beschäftigten eine Sichtkontrolle ins Innere ermöglicht – hier lag der Ausgangspunkt der messtechnischen Untersuchungen. Mithilfe eines Seils wurde das Messgerät durch die Dachluke in das Silo eingebracht (Bild 5). Der erste Messpunkt lag in Höhe der Dachluke, danach erfolgten die Messungen – je nach Füllgrad des Silos – schrittweise in unterschiedlichen Höhen und direkt über der Oberfläche der Holzpellets. Je Messpunkt betrug die Messdauer mindestens 5 min bei einem Messintervall von einer Sekunde. Die Messwerte wurden im Messsystem zwischengespeichert, später ausgelesen und ausgewertet. Neben den befüllten Silos wurden auch leere Silos messtechnisch untersucht. Die Messungen folgten mehrheitlich der oben beschriebenen Messstrategie. In einigen leeren Silos wurde nur an einem Messpunkt in Bodenhöhe gemessen.

### 3.2 Messstrategie in Lagerräumen, Nebenräumen und weiteren Arbeitsbereichen

In den Lagerräumen der Händler (z. B. Schüttguthallen) und der Endverbraucher fanden die Messungen stationär in unmittelbarer Nähe der Holzpellets statt. In den Nebenräumen der Endverbraucher und in den angrenzenden Arbeitsbereichen bei Herstellern und Händlern erfolgten die Messungen größtenteils personenbezogen in Höhe des Atembereichs. Die Messdauer betrug für jeden Messpunkt ebenfalls mindestens 5 min.

## 4 Expositionsdaten

Die Erhebung und Dokumentation der expositionsrelevanten Bedingungen entsprachen den Vorgaben der Handlungsanleitung zum Messprogramm. Bei der Auswertung dieser Daten zeigte sich, dass als Ausgangsmaterial für die Herstellung der Holzpellets überwiegend Nadelhölzer (Tanne, Fichte, Kiefer) eingesetzt wurden. In den untersuchten Silos variierte das Alter der Holzpellets von „frisch hergestellt“ bis zu „mehreren Wochen“. Beim Endverbraucher war das genaue Alter oftmals nicht bekannt, die Einlagerung lag in der Regel jedoch schon mehrere Monate zurück. Nachfolgend sind die wichtigsten Randbedingungen in den Silos aufgelistet:

- verwendetes Holz: überwiegend Tanne, Fichte, Kiefer,
- Alter der Pellets: 0 bis 195 Tage,
- Außentemperatur: 2 bis 30 °C,
- Typ: Innensilos, Außensilos, Stahl, Beton,
- Größe: 19 bis 8 800 m<sup>3</sup>,
- Entlüftung: mit/ohne Ringspalt, mit/ohne technische Entlüftung,
- Füllgrad: 0 bis 100 %.

### 4.1 Expositionsdaten zur Lagerung bei der Herstellung

Die Messergebnisse in den einzelnen Messhöhen zeigen, dass sich das CO annähernd gleichmäßig im Silo verteilt – ein Konzentrationsgradient ist nicht festzustellen. Nur am Messpunkt direkt unterhalb der geöffneten Dachluke liegt die Konzentration etwas niedriger, was auf den Einfluss der Umgebungsluft zurückzuführen ist. Für die Auswertung und Darstellung der Messergebnisse wurde daher für jedes Silo die CO-Konzentration über die einzelnen Messhöhen arithmetisch gemittelt.

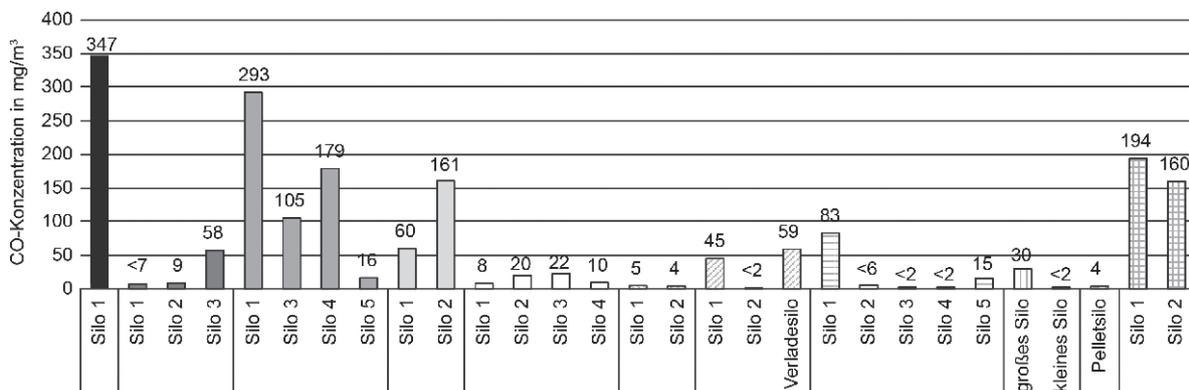


Bild 6. Messergebnisse: Pellethersteller, Außensilos befüllt (Betriebe in diesem und den folgenden Bildern durch Farbe, Schraffur sowie die vertikalen Linien an der x-Achse gekennzeichnet).

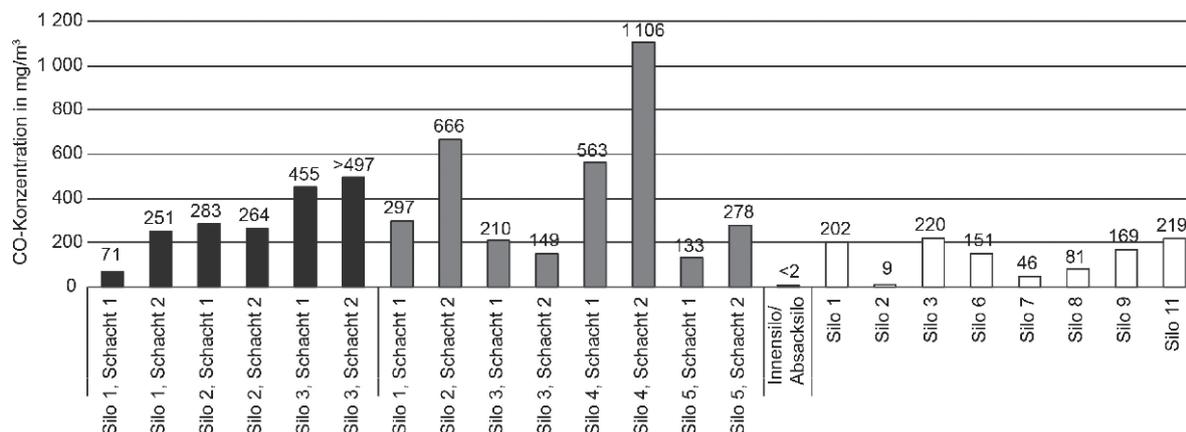


Bild 7. Messergebnisse: Pellehersteller, Innensilos befüllt.

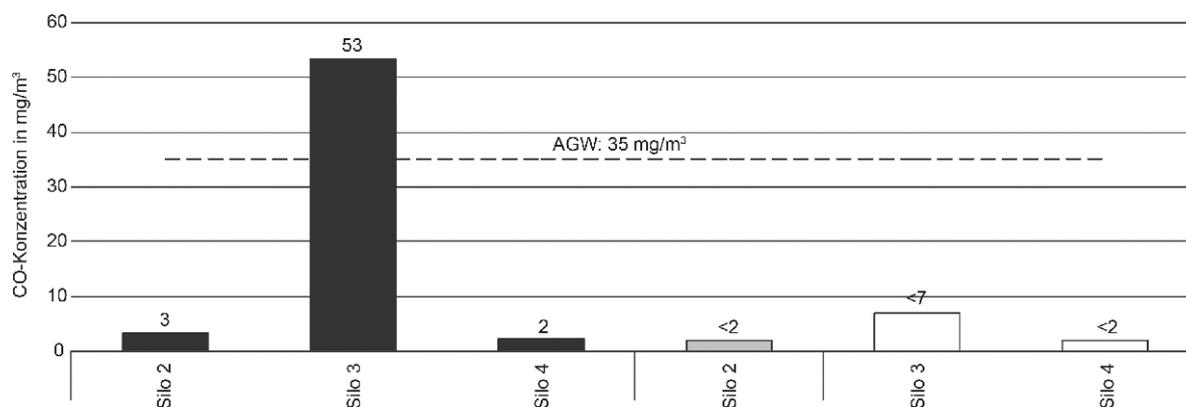


Bild 8. Messergebnisse: Pellehersteller, Außensilos leer.

#### 4.1.1 Außensilos befüllt

Die CO-Bildungsrate ist hauptsächlich von der Holzart (Fettsäuregehalt), der Lagertemperatur sowie dem Alter der Pellets abhängig [1]. Die resultierende CO-Konzentration hängt von der Größe des Lagers und dessen Belüftung sowie vom Füllgrad ab. Der Einfluss dieser Faktoren spiegelt sich auch in den Messergebnissen wider. Die höchste CO-Konzentration wurde mit  $347 \text{ mg/m}^3$  in einem Außensilo ermittelt, das zu etwa einem Drittel befüllt war. Die Pellets waren aus Fichtenholz hergestellt und ca. 30 Tage alt. Mehrere Messwerte lagen unterhalb der Nachweisgrenze der Messgeräte. Die untersuchten Silos waren nur zum Teil befüllt (10 bis 15 %) und die Pellets schon mehrere Monate eingelagert. In **Bild 6** ist für jedes befüllte Außensilo die gemittelte CO-Konzentration dargestellt.

#### 4.1.2 Innensilos befüllt

In einigen Herstellerbetrieben werden die Holzpellets in Innensilos zwischengelagert. Die gemessene CO-Konzentration lag hier größtenteils über der in den Außensilos. Bei einer Untersuchung wurde sogar die Grenze des oberen Messbereichs des verwendeten Messsystems überschritten; hier fanden zu einem späteren Zeitpunkt Nachmessungen mit einem anderen Messsystem statt. Dabei wurde dann – in einem benachbarten Silo – ein Höchstwert von  $1106 \text{ mg/m}^3$  nachgewiesen. **Bild 7** zeigt die Messergebnisse in den befüllten Innensilos.

#### 4.1.3 Silos leer (Außen- und Innensilos)

An fast allen Messpunkten in leeren Silos wurde kein CO oder nur eine sehr geringe Konzentration nachgewiesen. Lediglich in einem leeren Außensilo wurde eine CO-Konzentration von  $53 \text{ mg/m}^3$  gemessen. Ob das Silo kurz vorher noch befüllt war, konnte im Nachhinein nicht mehr ermittelt werden. Eine Verbindung zu einem anderen Silo lag nicht vor.

Bei den Messungen in den Innensilos konnte in zwei leeren Schächten eine höhere CO-Konzentration festgestellt werden. Ein Messwert lag mit  $351 \text{ mg/m}^3$  deutlich oberhalb des AGW für CO von  $35 \text{ mg/m}^3$ . Diese Innensilos bestehen aus zwei Schächten, die im oberen Bereich miteinander verbunden sind. Der angrenzende Schacht war befüllt, sodass das hier freigesetzte CO in den leeren Schacht strömen konnte. Eine Entlüftung der Schächte ist nicht vorhanden. In den **Bildern 8** und **9** sind die Messergebnisse in den untersuchten leeren Außen- und Innensilos abgebildet.

#### 4.1.4 Angrenzende Arbeitsbereiche

**Bild 10** zeigt, dass die Beschäftigten in den angrenzenden Arbeitsbereichen nicht gegenüber CO exponiert waren. Bis auf zwei Messungen lagen alle Messwerte unterhalb der Nachweisgrenze der eingesetzten Messgeräte.

#### 4.2 Expositionsdaten zur Lagerung beim Handel

Im Rahmen des Messprogramms erfolgten im (Groß)Handel Messungen von CO sowohl im Inneren von Silos als auch bei der Lagerung in loser Schüttung. Im Inneren von Silos wurden in drei Betrieben insgesamt 15 Messwerte für

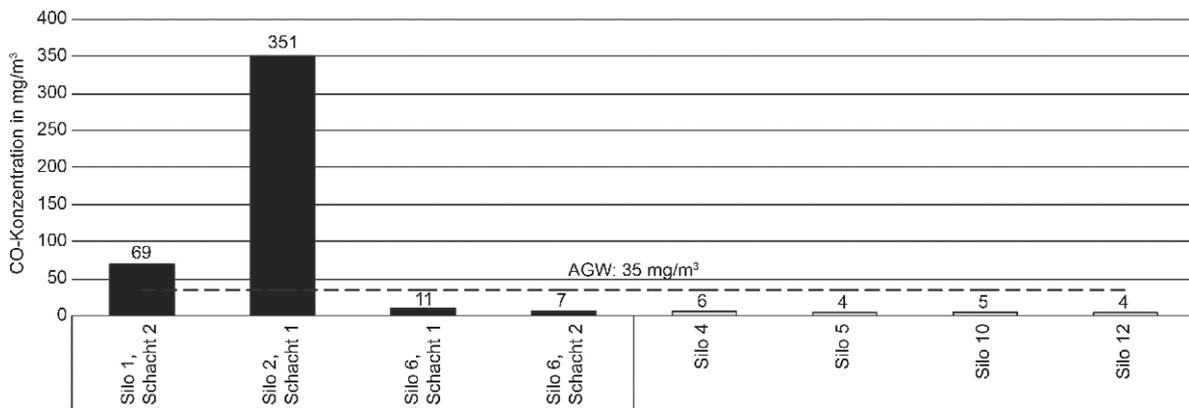


Bild 9. Messergebnisse: Pellethersteller, Innensilos leer.

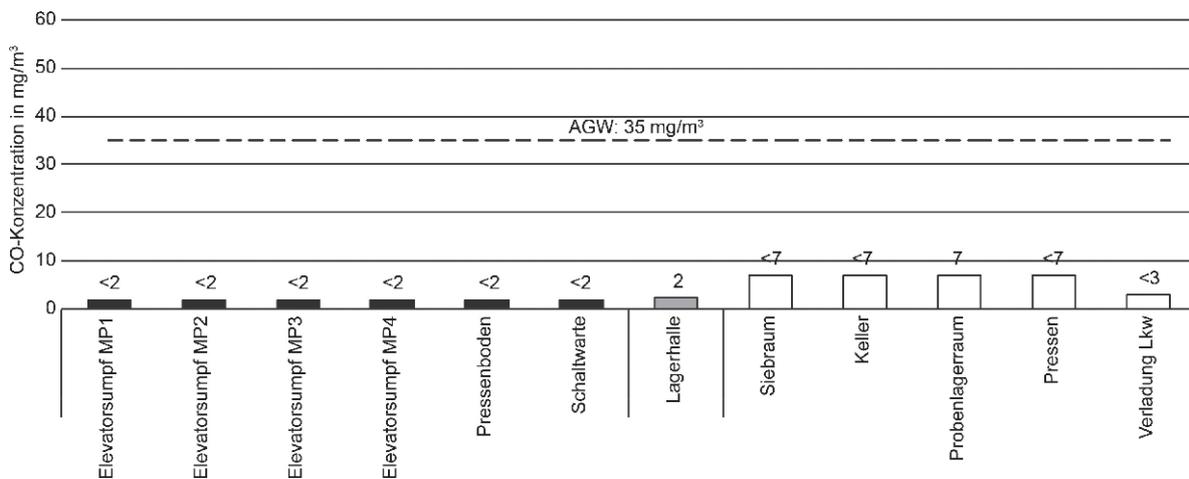


Bild 10. Messergebnisse: Pellethersteller, angrenzende Arbeitsbereiche.

CO ermittelt. Die CO-Expositionssituation bei der Lagerung in loser Schüttung wurde in sechs Betrieben messtechnisch erfasst (insgesamt 19 Messwerte).

**Bild 11** zeigt eine schematische Zusammenfassung der Messergebnisse für die im Bereich des (Groß)Handels durchgeführten CO-Messungen bei der Lagerung von Holzpellets in Silos. Die Messergebnisse werden getrennt in separaten Balken für die jeweiligen Silos in den drei bemessenen Betrieben dargestellt. Ebenso wie bei der Lagerung in Silos beim Hersteller wurden für die Auswertung und Darstellung der Messergebnisse für jedes Silo die CO-Konzentrationen über die einzelnen Messhöhen arithmetisch gemittelt.

**Bild 12** zeigt die Messergebnisse für die Lagerung von Holzpellets in loser Schüttung.

Hinsichtlich der Lagerung in Silos ist bei den im Bereich des (Groß)Handels ermittelten CO-Messwerten festzustellen, dass die CO-Konzentrationen im Vergleich zu den Ergebnissen aus den Messungen in Silos bei den Herstellern (siehe oben) deutlich niedriger liegen. Im Handel liegen die CO-Konzentrationen bei der Lagerung von Holzpellets in Silos in den meisten Fällen unterhalb des AGW für CO (Messwerte bis zu 9 mg/m³). Dennoch sind auch im Bereich des Handels bei der Lagerung von Holzpellets in Silos Überschreitungen des AGW nicht sicher auszuschließen und müssen somit bei der Gefährdungsbeurteilung in

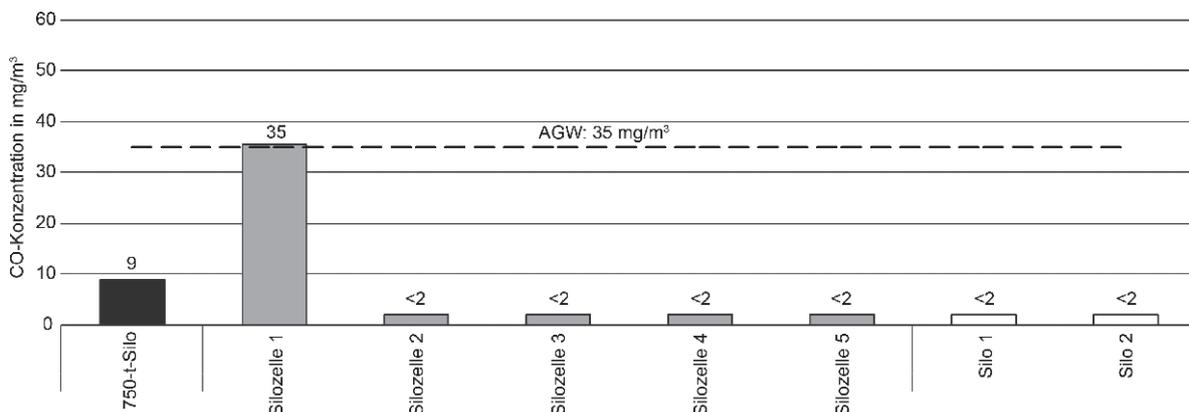


Bild 11. Messergebnisse: Händler, Silos.

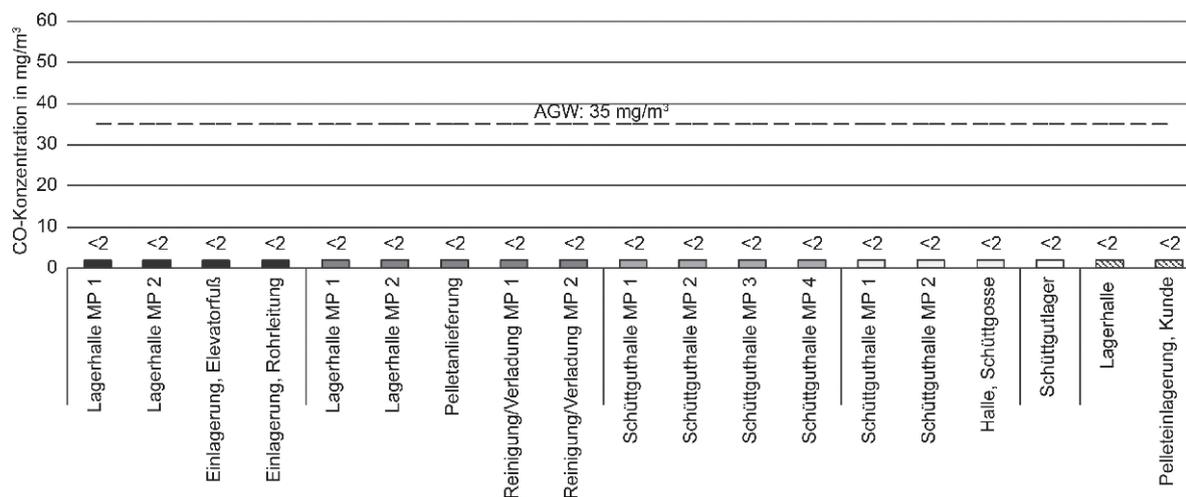


Bild 12. Messergebnisse: Händler, lose Schüttungen.

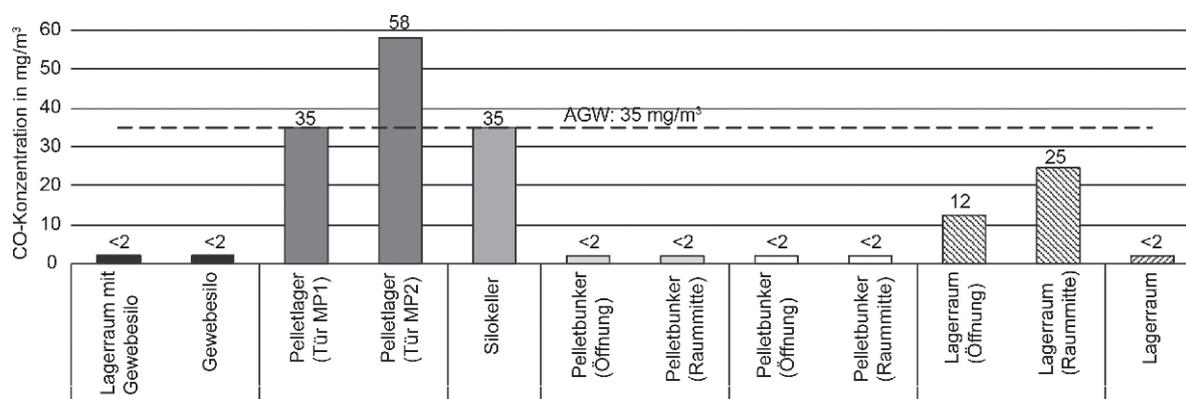


Bild 13. Messergebnisse: Endverbraucher, Lagerung.

Betracht gezogen werden. So wurde bei einer Messung in einem zu etwa 75 % mit Holzpellets gefüllten Silo für CO mit  $35,4 \text{ mg/m}^3$  ein Messwert knapp oberhalb des AGW ermittelt (Bild 11).

Bei der Lagerung von Holzpellets in loser Schüttung lagen die Messwerte für CO durchgängig im unkritischen Bereich unterhalb eines Zehntels des AGW (Bild 12). Dies gilt sowohl für die Pelletanlieferung, die eigentliche Lagerung der Pellets als auch für die Arbeitsschritte zum Weitertransport der Pellets an den Kunden (Verschieben, Transport mit Radlader, Aufgabe auf Stetigförderer, Abfüllung zum Transport).

Auch wenn eine relevante Exposition gegenüber CO bei der Lagerung von Holzpellets in loser Schüttung insgesamt nicht ermittelt werden konnte, ist zu beachten, dass es bei der Ein- und Auslagerung von Holzpellets und den damit verbundenen Arbeitsschritten zu einer Staubentwicklung kommt. Dies wurde bei ergänzenden stationären Messungen der Einatembaren Staubfraktion (Messwert:  $10,5 \text{ mg/m}^3$ , AGW:  $10 \text{ mg/m}^3$ ) und der Alveolengängigen Staubfraktion (Messwert:  $0,51 \text{ mg/m}^3$ , AGW:  $1,25 \text{ mg/m}^3$ ) festgestellt, die während des Messprogramms in einem Betrieb durchgeführt wurden. Die Staubbelastung ist im Rahmen der Gefährdungsbeurteilung für die Lagerung von Holzpellets in loser Schüttung somit ebenfalls zu berücksichtigen.

#### 4.3 Expositionsdaten zur Lagerung beim Endverbraucher

Im Vergleich zu den Silos bei Herstellern und im Handel sind die Füllmengen in den Lagerräumen der Endverbraucher deutlich geringer. Bei der Mehrzahl der Untersuchungen waren die Pellets zudem schon mehrere Monate eingelagert. Dies erklärt, dass die CO-Konzentration in mehr als der Hälfte der Messungen unterhalb der Nachweisgrenze der eingesetzten Messgeräte lag.

Gleichwohl wurde an einem Messpunkt der AGW für CO überschritten (Messwert:  $58 \text{ mg/m}^3$ ). Das Lager war mit 25 t zu etwa 70 % mit Pellets befüllt, deren genaues Alter nicht feststellbar war. An zwei weiteren Messpunkten lagen die Messwerte mit  $35 \text{ mg/m}^3$  genau auf der Höhe des AGW (Bild 15).

In den angrenzenden Nebenräumen wurde keine CO-Belastung durch die Einlagerung der Holzpellets festgestellt (Bild 14). Allerdings ergab eine Messung an einer Pellet-Heizungsanlage am Abgasrohr eine CO-Konzentration von  $188 \text{ mg/m}^3$ . Die für die Abgasmessung vorhandene Öffnung war hier nicht abgeklebt, sodass CO – das durch die Verbrennung entsteht – in den Heizungsraum gelangen konnte. Der Messwert wurde für das Messprogramm nicht berücksichtigt. Der Sachverhalt zeigt jedoch, dass es unabhängig von Autoxidationsprozessen bei der Pelletlagerung durch Undichtigkeiten, Funktionsstörungen oder mangelhafte Wartung der Heizungsanlage zu Rückströmungen von Rauchgasen und damit zu einem massiven CO-Eintrag kommen kann.

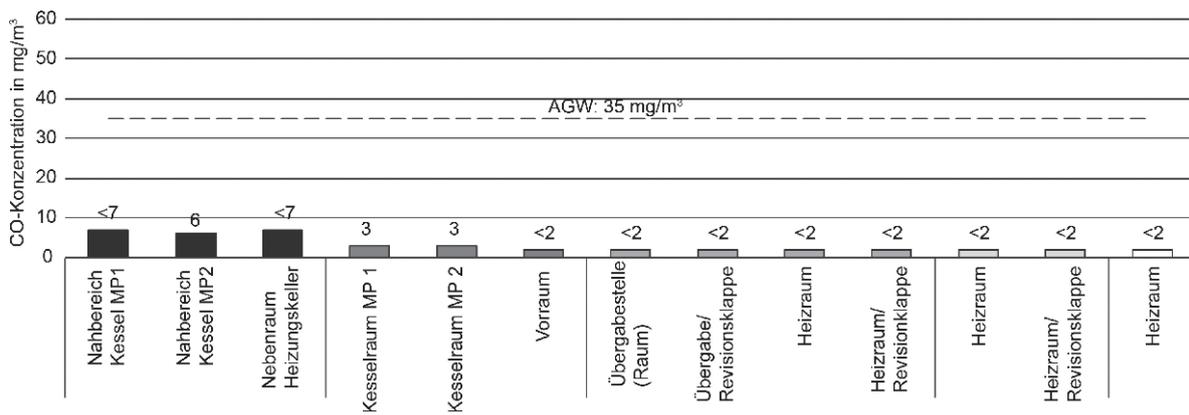


Bild 14. Messergebnisse: Endverbraucher, Nebenräume.

Übersicht der Messwerte.

		Anzahl Betriebe	Anzahl Einzelmessungen	Einzelmesswerte in mg/m³	Median in mg/m³
Hersteller (n = 12)	Außensilo befüllt	11	86	< 2,32 bis 357,4	9,7
	Außensilo leer	3	26	2,30 bis 61,7	3,4
	Innensilo befüllt	4	46	< 2,32 bis 1 105,7	208,4
	Innensilo leer	2	24	3,39 bis 352,0	6,4
	andere Arbeitsbereiche	3	12	< 2,32 bis 7,0	2,3
Handel (n = 8)	Silo befüllt	3	15	< 2,32 bis 35,4	< 2,32
	lose Schüttung	6	19	< 2,32	< 2,32
Endverbraucher (n = 6)	Lagerung	7	12	< 2,32 bis 58,0	< 2,32
	Nebenräume	5	13	< 2,32 bis 6,70	< 2,32

4.4 Zusammenfassung der Messwerte

Die in den Abschn. 4.1 bis 4.3 vorgestellten Ergebnisse sind, ergänzt um den Median, in der Tabelle zusammengefasst.

5 Diskussion der Ergebnisse und Fazit

Die Ergebnisse des Messprogramms zeigen, dass bei der Lagerung großer Mengen von frischen Holzpellets in Silos aufgrund von Autoxidationsprozessen eine hohe CO-Konzentration entstehen kann. Diese kann um ein Vielfaches oberhalb des AGW von 35 mg/m³ liegen. Bei den in befüllten Außensilos ermittelten CO-Konzentrationen von bis zu 360 mg/m³ und in befüllten Innensilos ermittelten CO-Konzentrationen von bis zu 1 100 mg/m³ handelt es sich um sehr hohe Werte. Die befüllten Silos sind jedoch keine Arbeitsbereiche, in denen sich Beschäftigte aufhalten oder exponiert sind. Mit zunehmendem Alter der Holzpellets nehmen die CO-Konzentrationen ab, jedoch konnten auch in den Lagerräumen von Endverbrauchern teilweise noch erhöhte CO-Konzentrationen nachgewiesen werden. Dies betrifft insbesondere Wartungspersonal wie Hausmeister, Heizungsinstallateure oder Elektriker. Bei Funktionsstörungen, Undichtigkeiten oder mangelhafter Wartung der Heizungsanlage kann es zudem durch Rückströmungen von Rauchgasen in Lagerräume bei Endverbrauchern zu einem zusätzlichen massiven CO-Eintrag kommen.

Die Messwerte in Arbeitsbereichen, die an die Silos angrenzen, wie zum Beispiel Elevatorschächte oder Schaltwarten, lagen durchgängig unterhalb des AGW. Auch bei der Lagerung in loser Schüttung lagen alle Messwerte im unkritischen Bereich unterhalb eines Zehntels des AGW.

Die Messergebnisse verdeutlichen, dass die Beschäftigten bei der Lagerung von Holzpellets einer gefährlichen CO-Konzentration ausgesetzt sein können. Im Rahmen der Gefährdungsbeurteilung sind daher Bereiche mit erhöhter CO-Konzentration zu identifizieren und entsprechend zu kennzeichnen [3]. Müssen derartige Bereiche, z. B. für Reparaturen, Kontrollgänge oder Reinigungsarbeiten, betreten werden, so ist ein betriebliches Freigabeverfahren entsprechend der DGUV Information „Kohlenmonoxid bei Transport und Lagerung von Holzpellets im gewerblichen Bereich“ [3] zu etablieren. Dieses sollte – je nach örtlichen Gegebenheiten – Lüftungsmaßnahmen einschließlich Freimessung, Mitnahme tragbarer Personenwarngeräte sowie Sicherungsposten umfassen.

Literatur

- [1] Emhofer, W.: Emissions from wood pellets during storage. Doctoral Thesis; Technische Universität Wien, Österreich.
- [2] Technische Regeln für Gefahrstoffe: Arbeitsplatzgrenzwerte (TRGS 900). B ArbBl. (2001) Nr. 1, S. 41-55; zul. geänd. GMBL (2017) Nr. 20, S. 368-370.
- [3] DGUV Information: Kohlenmonoxid bei Transport und Lagerung von Holzpellets im gewerblichen Bereich (im Druck).
- [4] Das Messsystem Gefährdungsermittlung der UV-Träger (MGU). 7. Aufl. Hrsg.: Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung (DGUV). Berlin 2013.
- [5] Gabriel, S.; Van Gelder, R.; Stamm, R.; Koppisch, D.; Arnone, M.; Koch, U.: Drei Millionen Datensätze in der Expositionsdatenbank MEGA. Gefahrstoffe – Reinhalt. Luft 76 (2016) Nr. 11/12, S. 422-424.