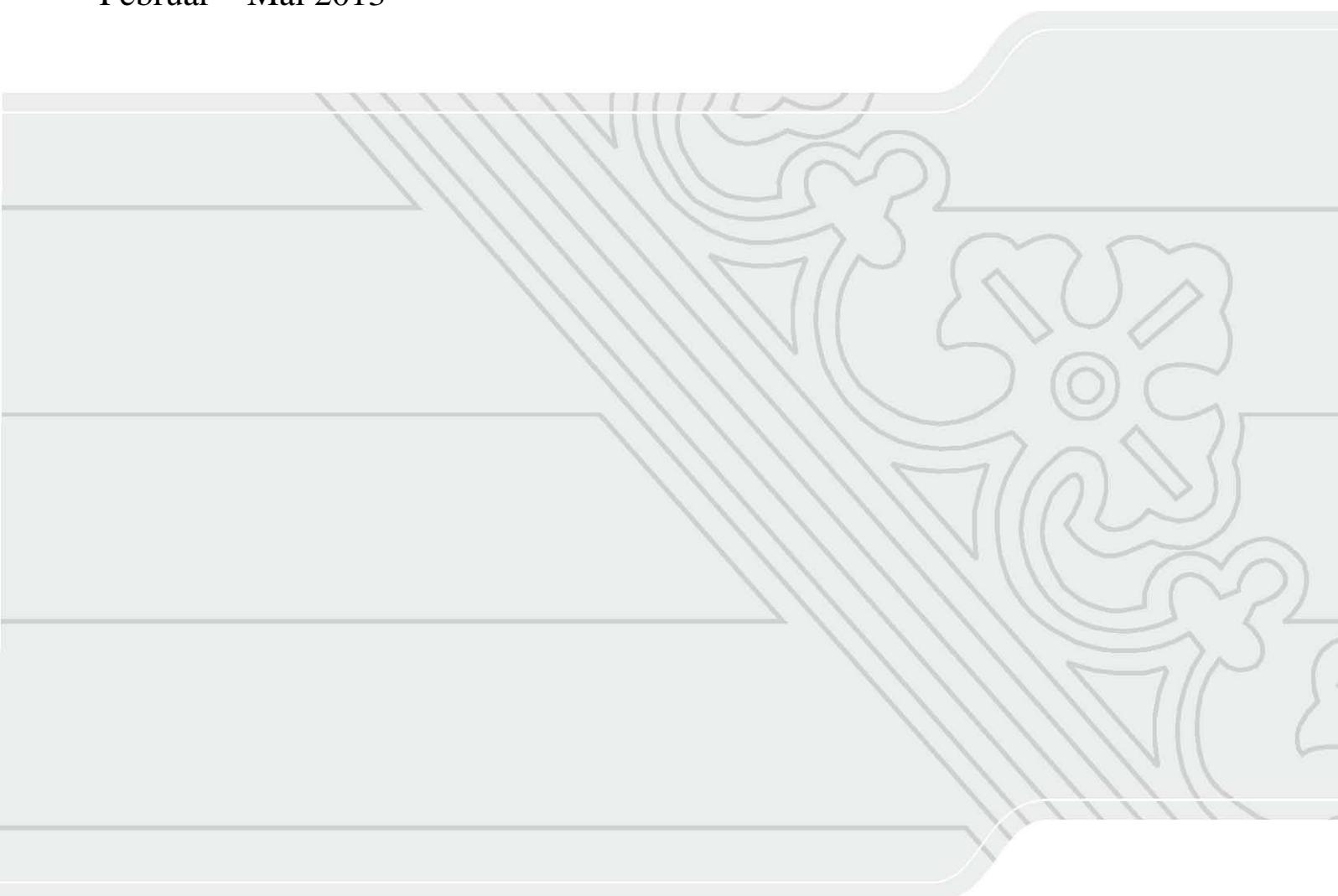




Abschlussbericht zur Sonderaktion „Lagerung von Holzpellets“

Februar – Mai 2013



Inhaltsverzeichnis

1. Anlass und Aufgabenstellung	3
2. Durchführung	3
3. Kontrollergebnisse	4
3.1 Lagertypen	4
3.2 Heizkessel	6
3.3 Fördersysteme	7
3.4 Bewertung	8
4. Eingeleitete Maßnahmen	11
5. Empfehlungen	11
Anhang	12
Anlage 1 Freisetzung von Kohlenmonoxid in Lagerräumen - Rechnerische Ermittlung	12
Anlage 2 Freisetzung von Kohlenmonoxid in Lagerräumen - Beispiele, berechnet	13
Anlage 3 Hinweise zur Lagerung von Holzpellets	15
Anlage 4 Checkliste - Revision von Holzpellettheizungen	17
Quellen	19

1. Anlass und Aufgabenstellung

Im Oktober 2012 erlitt ein Beschäftigter einer Heizungsfirma während der Inbetriebnahme einer Holzpelletheizung eine Kohlenmonoxidvergiftung. Nach einer notfallmedizinischen Versorgung war der Verunfallte wieder außer Lebensgefahr.

Nach dem derzeitigen Kenntnisstand können als Ursachen für die CO-Freisetzung der Heizkessel (Logikfehler der Steuerungs-Software) wie auch das Holzpelletlager in Betracht gezogen werden. In einer vergleichbaren Anlage mit ca. 50t Holzpellets konnte eine Konzentration von ca. 600 ppm Kohlenmonoxid im Pelletlagerraum nachgewiesen werden.

Im Zeitraum 2002-2011 traten 14 tödliche CO-Vergiftungen im Umgang mit Holzfasern (hauptsächlich Holzpellets) in den Ländern Schweden, Finnland, USA, Niederlande, Deutschland, Schweiz, Dänemark und Irland auf.¹

Bei der Pelletherstellung werden technologiebedingt (Zerkleinerung, Erwärmung, Trocknung) Autoxidationsvorgänge in Holzbestandteilen (ungesättigte Fettsäuren) in Gang gesetzt, die noch Monate nach Herstellung der Pellets zur Freisetzung von Kohlenmonoxid und von Aldehyden führen.² Unter Laborbedingungen wurden bei der Lagerung im Gleichgewichtszustand über 3000 ppm CO gemessen.³

Die Freisetzungsrates erhöht sich mit der Lagertemperatur.⁴

Bei Schiffstransporten sind Konzentrationen im Lagerraum von über 10 000 ppm gemessen worden.⁵

Ab einem Aufenthalt von 10 min in einer solchen Atmosphäre besteht für die Person Lebensgefahr.

Das hohe Gefährdungspotential ist in vielen Unternehmen und bei privaten Betreibern nicht bekannt oder wird unterschätzt.

Eine Gefährdung von Betreibern kleinerer Anlagen kann nicht ausgeschlossen werden.⁶

Eine Weitergabe von ausreichenden Informationen zur CO-Freisetzung von Holzpellets über den Vertriebsweg erfolgt zurzeit nicht. Sicherheitsdatenblätter sind in diesem Zusammenhang nach der REACH-Verordnung nicht zwingend notwendig. Ausgelöst durch tödliche Unfälle in Pelletfrachträumen im Seeverkehr wurde von der Wood Pellet Association of Canada 2010 die Schaffung eines Sicherheitsdatenblattes angeregt.^{7,8,9}

Derzeit existieren als technische Regeln die „Empfehlungen zur Lagerung von Holzpellets“ des DEPV, Stand 02/2012¹⁰ sowie die Richtlinie VDI 3464, September 2012 (Entwurf).

Mit der Durchführung der Sonderaktion sollten insbesondere das Expositions-niveau von Kohlenmonoxid bei der Lagerung von Holzpellets bewertet, die Nutzer informiert und auf eine Reduzierung festgestellter Gefährdungspotentiale hingewirkt werden.

2. Durchführung

Die Revisionen wurden durch Mitarbeiter der Dienststellen Dresden, Leipzig und Chemnitz der Landesdirektion Sachsen (LDS) mittels Checkliste (Anlage 4) durchgeführt.

Die Adressen der gewerblich betriebenen Holzpelletheizungen wurden von den Bezirksschornsteinfegern sehr zeitnah übermittelt.

Vom Thüringer Landesbetrieb für Arbeitsschutz und technischen Verbraucherschutz (TLAtV) wurde für die Durchführung der Sonderaktion ab Februar dankenswerterweise ein Messgerät G 750 Polytector II zur Bestimmung der Kohlenmonoxidkonzentration zur Verfügung gestellt.

Insgesamt wurden 42 Betriebe, davon in den Dienststellen Dresden 20, Leipzig 5 und Chemnitz 17 aufgesucht. Dabei waren 39 Betriebe Betreiber von Pelletheizungen und drei Firmen Pellethersteller.

Folgende Informationen wurden dabei hauptsächlich erfasst:

- Pellets: Hersteller, Anlieferfirma, Qualität.
- Heizkessel: Nennwärmeleistung, Baujahr, techn. Unterlagen, Beschickungsart.
- Heizraum: Größe, Lüftungsbedingungen, CO-Konzentration.
- Lagerraum: Größe, Typ, Lüftungsbedingungen, CO-Konzentration (in 28 Anlagen), Temperatur, Füllstand (Max, Ist), Kennzeichnung.
- Betrieb: Gefährdungsbeurteilung, Informationsstand, Freigabesystem nach BGR 117.

Von acht Pelletproben wurde das Freisetzungsvermögen von Kohlenmonoxid bewertet.

3. Kontrollergebnisse

3.1 Lagertypen

Die Betreiber der Anlagen errichteten je nach Größe der Heizungsanlage und vorhandener Gebäudestruktur unterschiedliche Lagersysteme. Nachfolgend wurden vier häufig anzutreffende Lager dargestellt.



Abbildung 1: Gewebesilo



Abbildung 2: Hochsilo



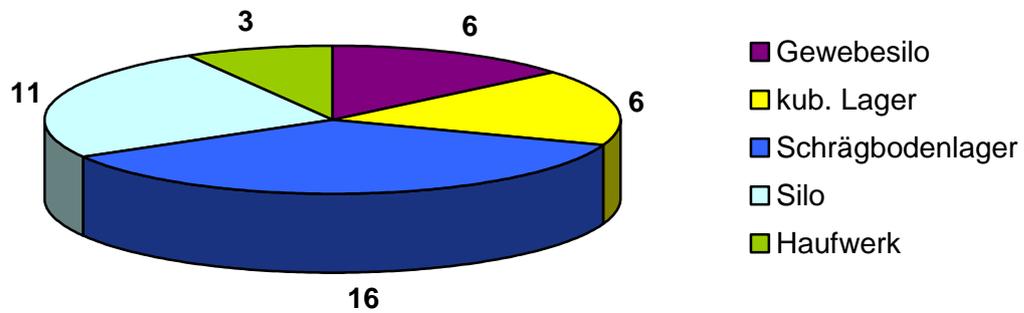
Abbildung 3: Schrägbodenlager; Außen- und Innenansicht



Abbildung 4: kubisches Lager

Der am häufigsten vorkommende Lagertyp war das Schrägbodenlager (Diagramm 1).

Diagramm 1: Kontrollzahl nach Lagertyp



3.2 Heizkessel

Es wurden Heizkessel von 48 kW bis max. 1250 kW Nennleistung mit Baujahren ab 1996 vorgefunden. In nur einem Heizraum war Kohlenmonoxid messtechnisch nachzuweisen (6 ppm).



Abbildung 5: Heizkessel, 48 kW

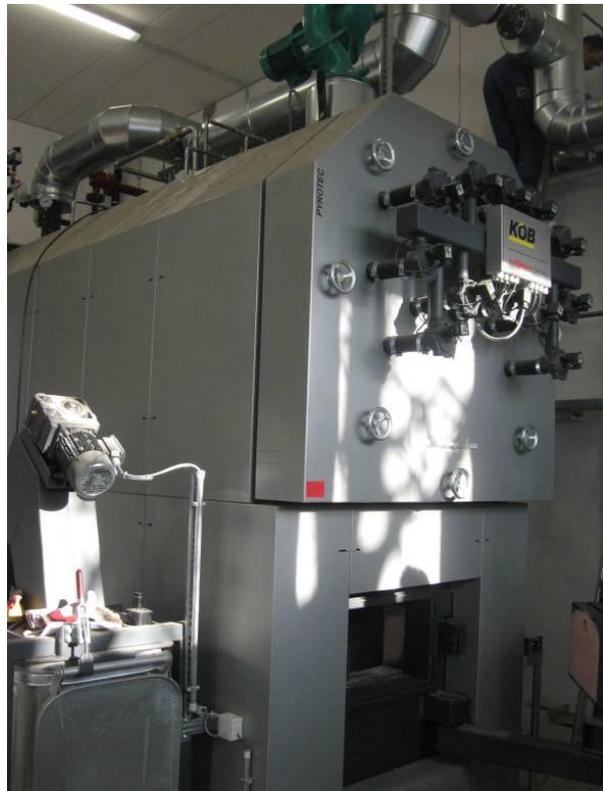


Abbildung 6: Heizkessel, 1250 kW

3.3 Fördersysteme

Je nach Größenordnung der Anlage, kommen verschiedene Systeme zum Einsatz (Abb. 7, 8).

Die Gestaltung der Fördersysteme muss einen Rückbrand aus dem Heizkessel in die Pelletzuführung wirksam verhindern (Abb. 9).



Abbildung 7: Schneckenförderung



Abbildung 8: pneumatische Förderung

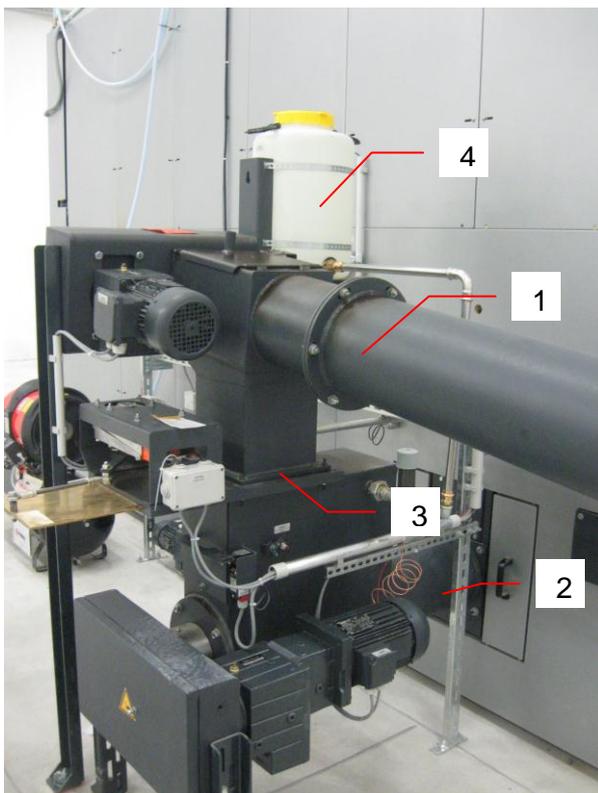


Abbildung 9:
Pelletübergabe eines 1250 kW-
Heizkessels;
Austragsschnecke, Schrägbodenlager(1),
Zufuhrschnecke Heizkessel(2),
Absperrschieber (3), Löscheinrichtung (4)

3.4 Bewertung

Eine Kennzeichnung der Lagerräume nach den Empfehlungen des Deutschen Energieholz- und Pelletverbandes (DEPV) war in ca. 30% der Anlagen vorzufinden. Durch die Form dieser „Sicherheitshinweise für Pellet-Großlager > 10 Tonnen“ ist eine ausreichende Warnung vor Kohlenmonoxid aus Sicht der Landesdirektion nicht gegeben. Diese Kennzeichnungsform wurde daher als mangelhaft bewertet. Viele Lagerkennzeichnungen enthielten keinen Hinweis auf eine Gefährdung durch Kohlenmonoxid (Abb. 11).



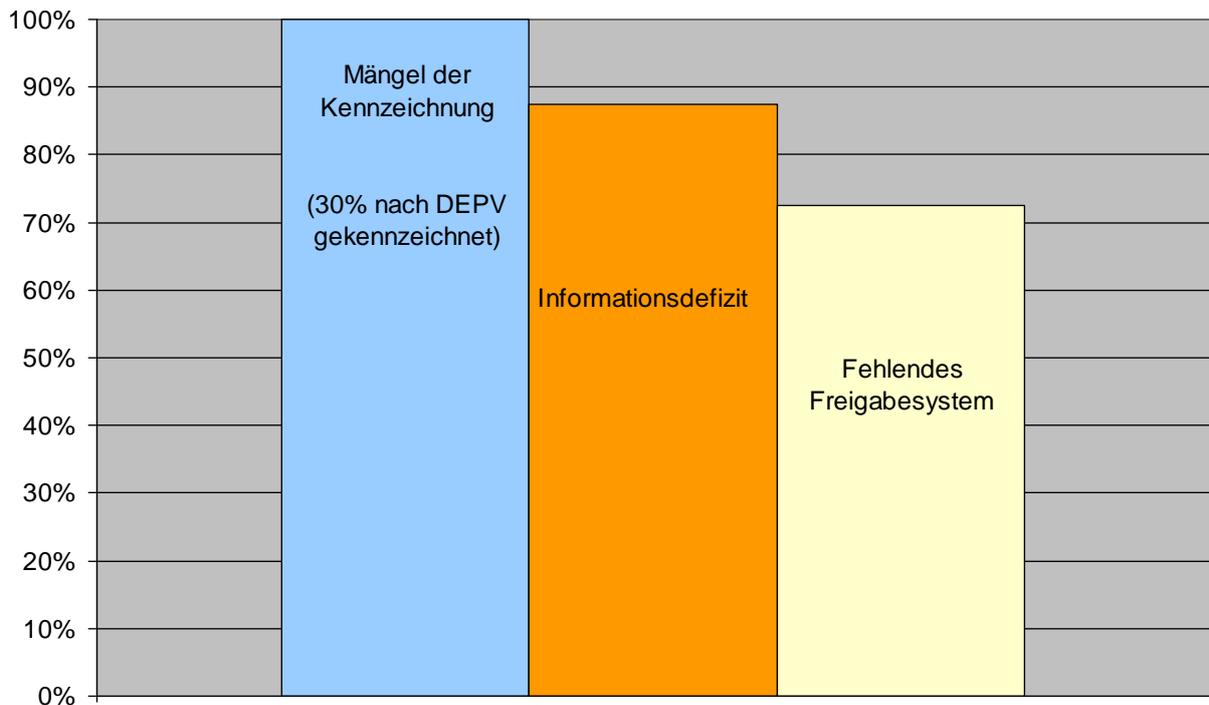
Abbildung 10: Kennzeichnung nach Empfehlung des DEPV



Abbildung 11: vorgefundene Kennzeichnungen einiger Lagerräume

Arbeitgebern wie Arbeitnehmern war sehr häufig nicht bekannt, dass Holzpellets Kohlenmonoxid während der Lagerung freisetzen können. Gefährdungsbeurteilungen lagen teils generell nicht vor bzw. enthielten damit auch keinen Hinweis auf diese Problematik. Freigabesysteme nach BGR 117-1 „Arbeiten in Behältern, Silos und engen Räumen“ waren nur in wenigen Betrieben für das Befahren von Holzpelletlagern vorhanden.

Diagramm 2: Verteilung der Mängel



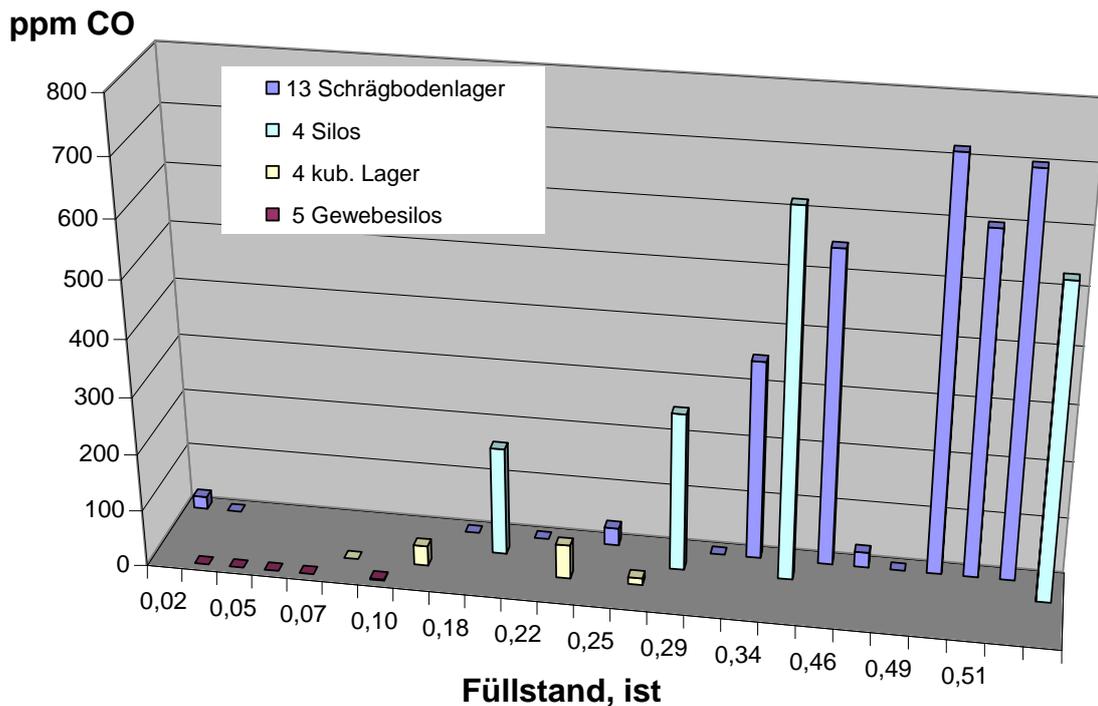
In Schrägbodenlagern und Silos waren die höchsten Konzentrationen an Kohlenmonoxid festzustellen. Dies liegt an den hier meist vorliegenden niedrigeren Luftwechselraten und den aus betriebswirtschaftlichen Gründen höheren Belegungsgraden (Füllständen) gegenüber anderen Lagertypen Tab. 1).

Tabelle 1: Kohlenmonoxidkonzentrationen der Lagerräume

Lagertyp	Anzahl CO-Messungen	CO [ppm] Mittelwert	CO [ppm] Max-Wert
Kubisches Lager (Kellerraum)	4	27	60
Gewebesilo	5	0,4	2
Silo	4	414	640
Schrägbodenlager	13	231	717

In den Anlagen 1 und 2 wurde die Abhängigkeit der CO-Konzentration von der Zeit, Lagertemperatur, dem Füllstand und dem Luftwechsel für die Lagertypen Schrägbodenlager und kubischer Lagerraum rechnerisch dargestellt. Insbesondere die Abhängigkeit der CO-Konzentration vom Füllstand steht in Übereinstimmung mit den vorliegenden Messergebnissen (Diagramm 3).

Diagramm 3: Verhältnis Kohlenmonoxidkonzentration und Lagerparameter der kontrollierten Anlagen



Weitere aus der Literatur bekannte Einflussfaktoren wie eingesetzte Holzart und Alter der Pellets konnten bei der Bewertung mangels Informationen in der Lieferkette nicht berücksichtigt werden. Es war aber festzustellen, dass dunklere Pellets eine niedrigere Freisetzungsrates an Kohlenmonoxid besitzen. Dies dürfte am hier offensichtlich höheren Rindenanteil liegen.

Es wurde festgestellt, dass eine Weitergabe von ausreichenden Informationen zur CO-Freisetzung von Holzpellets über den Vertriebsweg unzureichend ist oder nicht erfolgt.

4. Eingeleitete Maßnahmen

Die Betreiber der Anlagen wurden per Revisionsschreiben aufgefordert

- die Gefährdungsbeurteilung zu überarbeiten,
- die Kennzeichnung zu ergänzen,
- Sicherheitsvorkehrungen festzulegen,
- spezifizierte Unterweisungen durchzuführen.

Die Hersteller wurden aufgefordert, Information nach Art. 32 der Verordnung (EG) Nr. 1907/2006 (REACH) bei der Abgabe der Pellets an „Abnehmer“ (d.h. Händler und gewerbliche Anwender) zur Verfügung zu stellen. Diese Informationen genügen damit gleichzeitig den Anforderungen des § 6 Produktsicherheitsgesetz bei der Weitergabe an Verbraucher.

Zum Entwurf der Richtlinie VDI 3464 „Lagerung von Holzpellets beim Verbraucher“ wurde im Dezember 2012 ein begründeter Einspruch an den VDI gesandt. Der Einspruch bezog sich im Wesentlichen auf den Umfang der Lüftung (15 min) des Lagers vor Befahrung, der Staffelung der Schutzmaßnahmen nach absoluter Lagergröße und der Empfehlung zur Kennzeichnung nach DEPV. Bis Redaktionsschluss lag noch keine Rückmeldung vor.

Auf Grund der fehlerhaften Steuerungssoftware eines neu errichteten 1250kW-Heizkessels (Maschinen-RL) wurde die zuständige Marktbehörde informiert (ICSMS-Mitteilung).

5. Empfehlungen

Für den Betreiber von Holzpellettheizungen ist eine ausreichend sichere Einschätzung des konkreten Gefährdungspotentials durch Kohlenmonoxid ohne Messtechnik nicht möglich. Dies liegt ursächlich an der Vielzahl von Einflussfaktoren, die nicht in jedem Fall dem Arbeitgeber bekannt sind.

Es wird bezweifelt, dass die in Punkt 9 der VDI 3464 (Entwurf) angegebenen Lüftungsvarianten „Deckelbelüftung“ und „separate Lüftungsöffnung“ für eine ausreichende Sicherheit sorgen. Darüber hinaus ist eine Staffelung von Belüftungsmaßnahmen nicht nach absoluter Lagermenge sondern nach dem technisch erreichbaren maximalen Füllstand des Lagers sinnvoll.

Lediglich unter folgenden Randbedingungen ist eine Lagerung als nicht kritisch anzusehen, d.h. die zu erwartende Konzentration an Kohlenmonoxid liegt nicht über 30 ppm:

- Lagerraumvolumen ≥ 10 x Pelletschüttvolumen und
- Lagertemperatur $\leq 20^{\circ}\text{C}$ und
- Luftwechsel $\geq 0,1 \text{ h}^{-1}$.

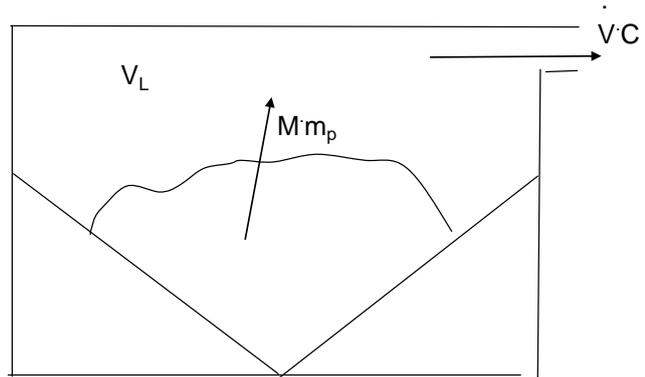
Schutzmaßnahmen sollten in Anlehnung an Anlage 3 in Anwendung gebracht werden.

Anhang

Anlage 1

Freisetzung von Kohlenmonoxid in Lagerräumen - Rechnerische Ermittlung

Die Berechnungen gehen von idealisierten Randbedingungen, wie z.B. einer trägheitslosen und gleichmäßigen Durchmischung des Kohlenmonoxids im Lagerraum (Skizze Schrägbodenlager) aus.



$$Mm_p - \dot{V} C = V_R \frac{dc}{dt}$$

$$\int_{C_0}^C \frac{V_R}{Mm_p - \dot{V} C} dc = \int_{t_0}^t dt$$

$$C = \frac{Mm_p}{\dot{V}} - \left(\frac{Mm_p}{\dot{V}} - C_0 \right) e^{-\frac{\dot{V}(t-t_0)}{V_R}}$$

$$V_L = V_R + V_{PS} \quad F = \frac{V_P}{V_L}$$

$$V_P \approx 2V_{PS} \quad V_{PS} = \frac{m_p}{2\rho}$$

$$\lambda = \frac{\dot{V}}{V_L}$$

Größe		Einheit
M	Emissionsrate Pellets	$mg \cdot t^{-1} \cdot h^{-1}$
V_L	Bruttovolumen Lagerraum	m^3
$\frac{\dot{V}}{V}$	Volumenstrom	$m^3 \cdot h^{-1}$
m_p	Masse Pellets	t
C	Konzentration CO	$mg_{CO} \cdot m^{-3}$
ρ	Schüttdichte Pellets	$t \cdot m^{-3}$
F	Pelletfüllstand im Lager	
λ	Luftwechselzahl	h^{-1}
V_R	Luftvolumen Lagerraum	m^3
V_{PS}	Volumen Pellets substanz	m^3
V_P	Volumen Schüttung	m^3
t	Zeit	h

$$C = \frac{MF\rho}{\lambda} - \left(\frac{MF\rho}{\lambda} - C_0 \right) e^{-\frac{2\lambda(t-t_0)}{2-F}}$$

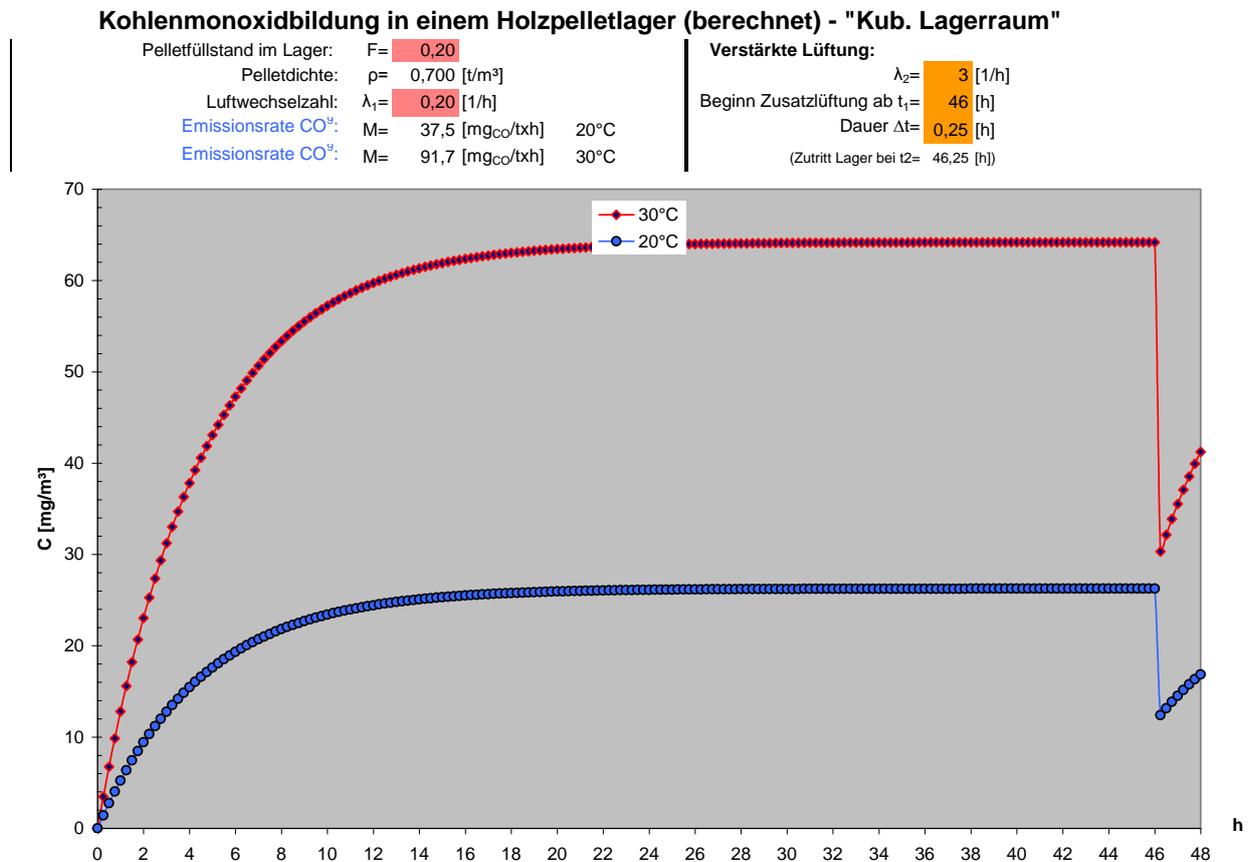
Randbedingungen:

$$\begin{array}{llll} t \leq t_1 & \rightarrow & \lambda = \lambda_1 & C_0 = 0 & t_0 = 0 \\ t_1 < t \leq t_2 & \rightarrow & \lambda = \lambda_2 & C_0 = C(t_1, \lambda_1) & t_0 = t_1 \\ t > t_2 & \rightarrow & \lambda = \lambda_1 & C_0 = C(t_2, \lambda_2) & t_0 = t_2 \end{array}$$

Anlage 2

Freisetzung von Kohlenmonoxid in Lagerräumen - Beispiele, berechnet

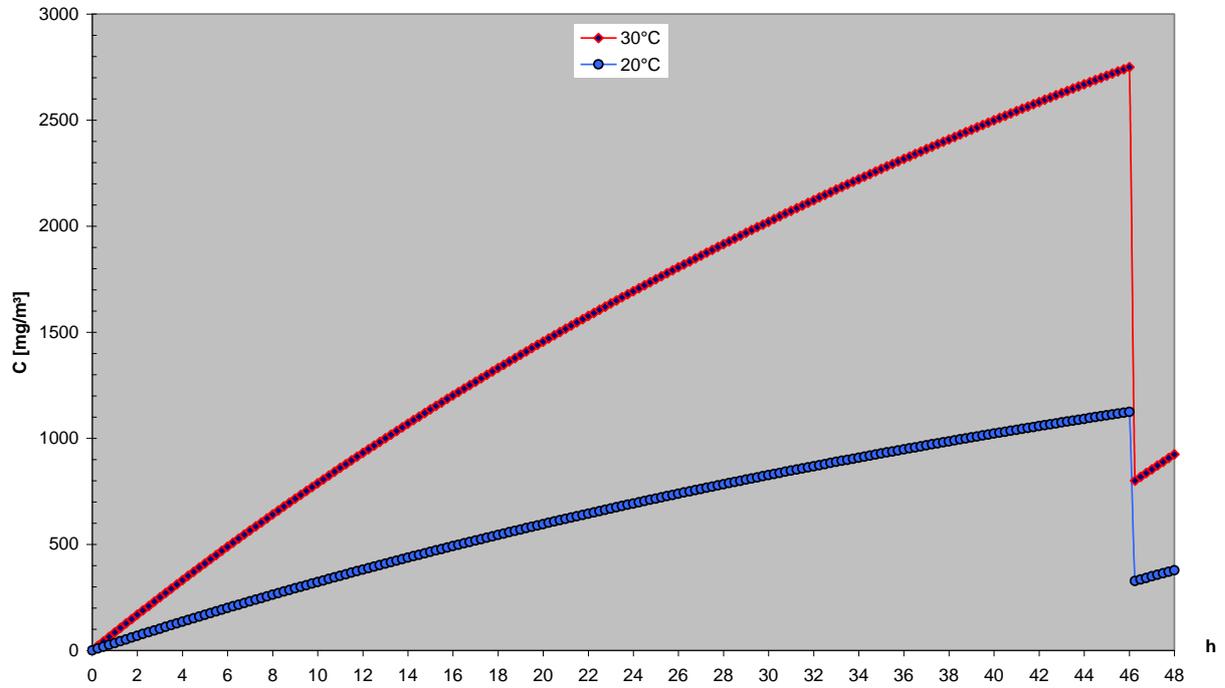
In nachfolgenden Rechnungen sind die Luftwechselzahlen geschätzt.
Für die beiden Lagertypen wurden typische in der Praxis festgestellte Füllstände
angenommen. Die Berechnungen erfolgten mittels Excel nach Anlage 1.



Kohlenmonoxidbildung in einem Holzpelletlager (berechnet) - "Schrägbodenlager"

Pelletfüllstand im Lager: $F = 0,80$
 Pelletdichte: $\rho = 0,700 \text{ [t/m}^3\text{]}$
 Luftwechselzahl: $\lambda_1 = 0,01 \text{ [1/h]}$
 Emissionsrate CO^\ominus : $M = 37,5 \text{ [mg}_{\text{CO}}/\text{txh]}$ 20°C
 Emissionsrate CO^\ominus : $M = 91,7 \text{ [mg}_{\text{CO}}/\text{txh]}$ 30°C

Verstärkte Lüftung:
 $\lambda_2 = 3 \text{ [1/h]}$
 Beginn Zusatzlüftung ab $t_1 = 46 \text{ [h]}$
 Dauer $\Delta t = 0,25 \text{ [h]}$
 (Zutritt Lager bei $t_2 = 46,25 \text{ [h]}$)



Bei hohen CO -Konzentrationen reicht offensichtlich eine Lüftung über 15min (Δt) vor einer Befahrung auch bei einem Luftwechsel von 3h^{-1} nicht aus.

Anlage 3

Hinweise zur Lagerung von Holzpellets

Während der Lagerung von Holzpellets können durch oxidative Abbauvorgänge Kohlenmonoxid (CO), Methan und Kohlendioxid gebildet werden. Höhere Temperaturen sowie geringe Luftwechselraten bei Herstellung bzw. Lagerung führen zu teils lebensgefährlichen Kohlenmonoxid-Konzentrationen.

In der Gefährdungsbeurteilung nach § 6 GefStoffV ist auf die hohe Freisetzungsrates von Kohlenmonoxid aus Holzpellets während der Lagerung und der dadurch bedingten hohen Gefahr einer akuten CO-Vergiftung einzugehen. In die Betrachtung sind Kontrolltätigkeiten und Instandhaltungen einzuschließen.

Unterweisungen sind nach § 14 GefStoffV unter Berücksichtigung der vorzusehenden Schutzmaßnahmen durchzuführen.

Vorschläge der „Wood Pellet Association of Canada“ (WPAC) sind in den nachfolgenden Bewertungen teilweise berücksichtigt.

Werden vom Hersteller bzw. Lieferanten Sicherheitsinformationen nach Art. 32 der VERORDNUNG (EG) Nr. 1907/2006 (REACH) bereitgestellt, sind auch diese zu berücksichtigen.

Lüftungsempfehlungen

1. Holzpellets, verpackt (Gebinde bis zu 25kg)

Empfehlung des WPAC:

- Lagerraum mit einer Luftwechselrate von mindestens 1 x je 24 Stunden (ca. 0,04 h⁻¹) oder
- Lagerraum, unbelüftet mit Raumvolumen von mindestens dem zehnfachen Volumen der gesamten verpackten Holzpellets.

2. Holzpellets, lose

Empfehlung des WPAC:

- Lagertemperatur 20°C: 1 x je 24 h
- Lagertemperatur ≥30 °C: 2 x je 24 h

Rechnerisch können folgende Expositionsszenarien abgeleitet werden:

Füllstand Lager	Luftwechsel [h ⁻¹]	Temperatur [°C]	CO [ppm]
0,70	≥ 0,3	20	≤ 60
0,10	≥ 0,1	20	≤ 30
0,70	≥ 0,8	30	≤ 60

Kennzeichnung am Lager:



(Kennzeichnung bezüglich Kohlenmonoxid mittels Warnschild des DEPV entspricht nicht GefStoffV und ASR A1.3)

Eine vereinfachte Kennzeichnung von Leitungen, die CO enthalten können (z.B. Rohr für Förderschnecke) ist sinnvoll.

Begehen von Lagerbereichen

- Es ist eine Sicherungsperson außerhalb des Gefahrenbereichs vorzuhalten.
- Vor dem Betreten ausreichend Lüften. Dabei sind auch die mit dem Lagerraum kommunizierenden Räume zu berücksichtigen. Eine freie Lüftung über die Einfüll- und Entlüftungsstutzen reichen in der Regel nicht aus.
- Da die Lagerbedingungen sehr unterschiedlich sein können, ist vor dem Betreten eine CO-Konzentrationsmessung in der Raumluft durchzuführen.
- Die Befahrung erst bei einer Konzentration unter 30 ppm durchführen. Nach TRGS 900 darf kurzzeitig (15 min) die CO-Konzentration den Wert von 60 ppm erreichen. Über acht Stunden Expositionszeit ist der Arbeitsplatzgrenzwert von 30 ppm in jedem Fall einzuhalten.
- Während der Befahrung ist ein entsprechendes Gaswarngerät mitzuführen. Für die Einstellung des Vor- und Hauptalarms gibt es keine gesetzlich vorgesehene Normierung. Es werden folgende Empfehlungen gegeben:
Voralarm: 30 ppm
Hauptalarm: 60 ppm.

Hinweise:

- Ex-Gefahr (Staub) ist zusätzlich zu berücksichtigen
- Weitere Kennzeichnungen unter Beachtung ASR A 1.3
- TRGS 201 „Einstufung und Kennzeichnung bei Tätigkeiten mit Gefahrstoffen“, 2011
- BGR 117-1 „Arbeiten in Behältern, Silos und engen Räumen“

Anlage 4 Checkliste - Revision von Holzpellettheizungen

Standort der Anlage:	
Betreiber:	IFAS-Nr.:
Hersteller Holzpellets:	
Anlieferfirma Pellets:	
Pelletqualität:	

Heizkessel, Heizraum:

		<i>Hinweise:</i>
Nenn-Wärmeleistung:	kW	
Hersteller:		
Baujahr:		
Zeitpunkt Inbetriebnahme:		
Kessel Inverkehr gebracht als:	<input type="checkbox"/> Maschine <input type="checkbox"/> Bauprodukt	Konformitätserklärung?
CE-Kennzeichnung?	<input type="checkbox"/> ja <input type="checkbox"/> nein	
Größe Heizraum:	m ³	
Technologie der Pelletbeschickung:		System von Förderschnecken; Schubboden; Tagesbehälter o.a.
Technische Lüftung vorhanden?	<input type="checkbox"/> ja <input type="checkbox"/> nein	
Volumenstrom:	m ³ /h	
Freie Lüftung über:		
geschätzte Luftwechselrate:	h ⁻¹	
CO-Konzentration im Heizraum (Kessel in Betrieb):	ppm	

Lager:

Typ		Schrägbodenlager; unter Erdgleiche...
Raumvolumen:	m ³	
Austragssystem:		Schnecke; Saugsystem o.a.
z.Z. gelagerte Pelletmenge:	t	
max. eingelagerte Pelletmenge:	t	
Zeitpunkt letzte Anlieferung:		

Technische Lüftung vorhanden?	<input type="checkbox"/> ja <input type="checkbox"/> nein	
Volumenstrom:		m ³ /h
Lage Zuluftöffnung:		
Lage Abluftöffnung:		
Freie Lüftung über:		
geschätzte Luftwechselrate:		h ⁻¹
CO-Konzentration im Lager:	ppm	Messung bei Gleichgewichtskonzentration (geschlossener Lagerraum)
Temperatur Pellets/Lagerraum:		°C

Betrieb:

sind folgende Vorschriften bekannt?	<input type="checkbox"/> „Empfehlungen zur Lagerung von Holzpellets“ des DEPV <input type="checkbox"/> VDI 3464 (Entwurf) 2012 <input type="checkbox"/> BGR 117-1	
Kennzeichnung Lager:	<input type="checkbox"/> nach DEPV <input type="checkbox"/> anders <input type="checkbox"/> nein	ggf. erläutern
Gefährdungsbeurteilung vorhanden?	<input type="checkbox"/> ja <input type="checkbox"/> nein	
...darin Hinweis auf CO-Problem?	<input type="checkbox"/> ja <input type="checkbox"/> nein	
Freigabesystem nach BGR 117-1 für Befahrung des Lagers?	<input type="checkbox"/> ja <input type="checkbox"/> nein	

Bemerkungen:

.....
Datum

.....
Bearbeiter

Quellen

-
- ¹ SASKIA GAUTHIER u.a.: Lethal Carbon Monoxide Poisoning in Wood Pellet Storerooms—Two Cases and a Review of the Literature. In: Ann. Occup. Hyg., Vol. 56 (2012) No. 7, pp. 755–763 unter: <http://annhyg.oxfordjournals.org/content/56/7/755.full.pdf+html> [Stand: 02.08.2013]
- ² ARSHADI, M. u.a.: Emission of Volatile Aldehydes and Ketones from Wood Pellets under Controlled Conditions. In: Ann. Occup. Hyg., Vol. 53, No. 8, pp. 797–805, 2009 unter: <http://annhyg.oxfordjournals.org/content/53/8/797.full.pdf+html> [Stand: 02.08.2013]
- ³ KUANG, X.; SHANGAR, T. J.; BI, X. T.; SOKHANSANJ, S.; LIM, C. J.; MELIN, S.: Characterization and Kinetics Study of Off-Gas Emissions from stored Wood Pellets. In: Annals of Occupational Hygiene, 52 (2008), pp. 675–683 unter: <http://annhyg.oxfordjournals.org/content/52/8/675.full.pdf+html> [Stand: 02.08.2013]
- ⁴ XINGYA KUANG u.a.: Rate and Peak Concentrations of Off-Gas Emissions in Stored Wood Pellets—Sensitivities to Temperature, Relative Humidity, and Headspace Volume. In: Ann. Occup. Hyg., Vol. 53 (2009) No. 8, pp. 789–796 unter: <http://annhyg.oxfordjournals.org/content/53/8/789.full.pdf> [Stand: 02.08.2013]
- ⁵ SVEDBERG u.a.: Hazardous Off-Gassing of Carbon Monoxide and Oxygen Depletion during Ocean Transportation of Wood Pellets. In: Ann. Occup. Hyg., Vol. 52(2008) No. 4, pp. 259–266 unter: <http://annhyg.oxfordjournals.org/content/52/4/259.full.pdf+html> [Stand: 02.08.2013]
- ⁶ SVEDBERG, U.R.A.; HÖGBERG, H.E.; HÖGBERG, J.; GALLE, B.: Emission of Hexanal and Carbon Monoxide from Storage of Wood Pellets a Potential Occupational and Domestic Health Hazard. In: Annals of Occupational Hygiene, 48 (2004), pp. 339–349 unter: <http://annhyg.oxfordjournals.org/content/48/4/339.full.pdf+html> [Stand: 02.08.2013]
- ⁷ MELIN, S: Review of Off-gassing from Wood Pellets A Canadian Perspective; 26.02.2010 In: http://www.pellet.org/images/2010-02-26_Review_of_Off-gassing_from_Wood_Pellets.pdf [Stand: 02.08.2013]
- ⁸ Wood Pellet Association of Canada: MATERIAL SAFETY DATA SHEET WOOD PELLETS IN BAGS, 05.05.2009: In: http://www.pellet.org/images/2009-05-05_MSDS_Bagged_Pellets.pdf [Stand: 02.08.2013]
- ⁹ Wood Pellet Association of Canada: MATERIAL SAFETY DATA SHEET WOOD PELLETS IN BULK, 05.05.2009: In: http://www.pellet.org/images/2009-05-05_MSDS_Bulk_Pellets.pdf [Stand: 02.08.2013]
- ¹⁰ Deutscher Energieholz- und Pellet-Verband e.V.: Empfehlungen zur Lagerung von Holzpellets. 02/2012 In: http://www.depv.de/fileadmin/Redaktion/Downloads/DEPV_Empfehlungen_zur_Lagerung_von_Holzpellets_2012.pdf [Stand: 02.08.2013]

Redaktion:

Dipl.-Chem. Rüdiger Spahn
Landesdirektion Sachsen, Abteilung Arbeitsschutz
Stauffenbergallee 2, 01099 Dresden
E-Mail: post.asd@lds.sachsen.de
Internet: <http://www.lds.sachsen.de>

Fotos:

Landesdirektion Sachsen, Abteilung Arbeitsschutz

Redaktionsschluss:

August 2013