

Explosionsgefahren bei der Härtung von Bremsbelägen

Frank Stolpe¹

¹ Physikalisch-Technische Bundesanstalt, Fachbereich 3.4 „Grundlagen des Explosionsschutzes“, Braunschweig

Während der thermischen Härtung von Bremsbelägen für den Automobilbereich werden brennbare Stoffe in signifikanter Menge freigesetzt. Das zeitliche Verhalten dieser Freisetzung wurde unter verschiedenen Randbedingungen untersucht. Dazu wurden Messungen unter Fertigungsbedingungen und unter Laborbedingungen durchgeführt. Für die Laborversuche wurden Worst-Case-Bedingungen gewählt. Diese Daten bildeten die Basis einige einfache Gleichungen aufzustellen, um eine Worst-Case-Abschätzung für die Freisetzung brennbarer Stoffe zu erhalten. Die Ergebnisse werden in Bezug auf die DIN EN 1539:2010 [1] diskutiert.

1 Einleitung

Bei vielen Prozessen werden während der Erwärmung des Prozessgutes brennbare Stoffe freigesetzt. Zu den bekanntesten der im Folgenden betrachteten Klasse von Prozessen gehören die Trocknungsprozesse von Oberflächenbeschichtungen bei denen Lösemittel freigesetzt werden. Auch das Trocknen bedruckten Papiers in Druckmaschinen gehört zu dieser Prozessklasse. Bei der Formlacktrocknung, Tränkharztrocknung oder Entbinderung von Rohkeramik werden ebenfalls brennbare Stoffe freigesetzt, die zuvor als Löse- oder Bindemittel in den Prozess eingebracht wurden. Der zugrunde liegende physikalische Grundprozess ist die Verdampfung. Eine weitere Klasse von Prozessen, die bei Erwärmung brennbare Stoffe freisetzt, sind reaktive Prozesse. Das thermische Härten von Bremsbelägen ist ein solcher Prozess.

Im Allgemeinen besteht die Reibmasse eines Bremsbelages aus Metall, mineralischen Bestandteilen und Mineralfasern und organischen Harzen als Bindemittel. Während der thermischen Härtung verkoken die organischen Bindemittel und setzen dabei brennbare Stoffe frei. In Verbindung mit Luft können diese Stoffe explosionsfähige Gemische bilden. Solche Prozesse erfordern daher die Betrachtung der möglichen Explosionsgefahren. Die Vermeidung eines explosionsfähigen Gemisches während des gesamten Prozesses bildet den Basisansatz. Die Inertisierung des Prozessvolumens kann ein anderer Ansatz sein. Den am weitesten verbreiteten, ökonomischsten und am einfachsten zu realisierenden Weg stellt die überwachte technische Lüftung dar. Der notwendige Abluftvolumenstrom ist grundsätzlich abhängig von:

- der Gesamtmenge der eingebrachten Bremsbeläge bzw. der Gesamtmasse des behandelten Reibmaterials,
- der Prozesstemperatur und ihrem Verlauf,
- dem Volumen (Gesamtdampfraum) des verwendeten Ofens.

Eng verbunden mit der Prozesstemperatur ist die maximale Freisetzungsrates der brennbaren Stoffe. In der Praxis ist noch zwischen Kammeröfen und Durchlauföfen zu unterscheiden. Die im Folgenden beschriebenen Untersuchungen wurden ausschließlich an und mit Kammeröfen durchgeführt. Die daraus abgeleiteten Erkenntnisse gelten nur für diese.

2 Messungen

Es wurden produktionsbegleitende Messungen durchgeführt, um die sicherheitstechnisch wichtigen Parameter zu erfassen. Diese Messungen sollen den Ist-Zustand repräsentieren. Zur Abschätzung des Risikopotenzials wurden Labormessungen durchgeführt. Für diese Messungen wurden Worst-Case-Bedingungen angenommen.

2.1 Messgrößen und Messgeräte

Hauptaufgabe der Messungen sollte es sein, den zeitlichen Verlauf der Konzentration freigesetzter brennbarer Stoffe aufzuzeichnen. Zur Messung der Konzentration freigesetzter brennbarer Stoffe in der Ofenatmosphäre wurde ein Flammenionisationsdetektor (FID) von Bernath Atomic (BA 3004) gewählt. Damit konnten die folgenden grundlegenden Anforderungen an die Messung erfüllt werden:

- Nachweis nahezu aller kohlenstoffhaltiger brennbarer Stoffe,
- hohe Messempfindlichkeit,
- geeignet für die Messung einer heißen Ofenatmosphäre,
- einfache Kalibrierung mit einem Prüfgas.

Der Einfluss des Response-Faktors des detektierten brennbaren Stoffes wird weiter unten diskutiert. Zur Vermeidung von Kondensation wurde eine beheizte Probenahmeleitung verwendet.

Temperaturen wurden mit NiCr-Ni-Thermoelementen gemessen. Temperaturen wurden in der Ofenatmosphäre und in jeweils einem Bremsbelag gemessen. Für die Messung im Bremsbelag wurde dieser an einer Stirnseite mittig mindestens 10 mm tief angebohrt, um ein Thermoelement einführen zu können.

Die gemessenen Werte wurden mit einem Yokogawa MV 2000 Datenrecorder aufgezeichnet. Die Abtastrate betrug eine Messung pro Sekunde.

Aufgrund der Tatsache, dass ein FID Kohlenmonoxid (CO) nicht detektieren kann, wurde bei den Laborversuchen ein CO/CO₂-Analysator verwendet, um eine mögliche CO-Bildung erkennen zu können. Dazu wurde ein Bosch Ultramat 12P verwendet.

Der Abluftvolumenstrom wurde mit einem Flügelradanemometer Ahlborn ALMEMO 2690-8 mit Messkopf FVA 915SMA1 bestimmt.

2.2 Messunsicherheiten

Es wurden die folgenden Messunsicherheiten angenommen. Sie wurden den technischen Handbüchern zu den verwendeten Messgeräten entnommen. Für Größen, die sich aus mehreren Messgrößen zusammensetzen, wurde die resultierende Messunsicherheit bestimmt. Für den FID wurde auch die Toleranz der Mischung des eingesetzten Prüfgases berücksichtigt. Tabelle 1 stellt die resultierenden Messunsicherheiten für die relevanten Messgrößen dar.

Tabelle 1: Aufstellung der angenommenen Messunsicherheiten als Standardabweichungen

Größe	Einheit	Messunsicherheit
CH-Konzentration	% der UEG	2,9 % vom Messwert
Temperatur	°C	±1,2 K
Volumenstrom	m ³ /h	1,5 % vom Messwert
Masse	g	±0,05 g

Bei Messungen mit einem FID ist in der Regel noch der Responsefaktor für die gemessenen brennbaren Stoffe zu berücksichtigen. Mehrheitlich liegt dieser Responsefaktor bei $\leq \pm 15\%$ vom wahren Messwert. Ist dieser Responsefaktor nicht bekannt oder kann nicht zuverlässig abgeschätzt werden, so findet dies in der sicherheitstechnischen Bewertung Berücksichtigung.

2.3 Datenreduktion und Analyse

Die Reduktion der aufgezeichneten Messdaten und ihre Analyse wurde mit IDL (interactive data language) durchgeführt.

Die Konzentrationsmessungen wurden bezüglich des Nullpunktes und der Steigung korrigiert. Dies wurde durch Aufzeichnung von Nullmessungen sowie Messungen bei Prüfgasbeaufschlagung erreicht. Als Prüfgas wurde Propan in synthetischer Luft mit einer Propankonzentration von 0,49 % der UEG, entsprechend 83 ppm Propan, verwendet. Mit derartigen Messungen vor und nach jeder Prozessmessung war es möglich, ein zeitliches Driften der Kalibrierung zu erkennen.

2.4 Vor-Ort-Messungen

Die Vor-Ort-Messungen konnten im Werk eines Herstellers durchgeführt werden.

Der Kammerofen, an dem die Messungen durchgeführt wurden, hatte einen Gesamtdampfraum von 4,99 m³. Die Zieltemperatur des begleiteten Prozesses betrug 250 °C, die Prozesszeit 180 min. Es wurden zwei Prozessläufe beobachtet. Sie unterschieden sich in der Beladung des Ofens und im Abluftvolumenstrom. Tabelle 2 stellt dies zusammen.

Tabelle 2: Vor-Ort-Messungen

Prozess Nr.	Beladung, Anzahl der Bremsbeläge	Abluftvolumenstrom in m ³ /h
1	150	283
2	360	184

Während beider Prozessläufe wurden die Konzentration brennbarer Stoffe in der Ofenatmosphäre sowie die Temperaturen der Ofenatmosphäre und in einem Bremsbelag aufgezeichnet.

Die Führungsgröße für die beobachteten Härtingsprozesse ist die Temperatur. Der zeitliche Temperaturverlauf ist in der Abbildung 1 exemplarisch für die Messung Nr. 2 dargestellt. Die Prozesstemperatur wird derart geregelt, dass sie nahezu konstant ansteigt, bis die Zieltemperatur erreicht ist. Der Temperaturverlauf im Bremsbelag folgt dem äußeren Temperaturverlauf. Die Konzentration freigesetzter brennbarer Stoffe zeigt in beiden Fällen einen charakteristischen Verlauf (Abbildung 2). Aus dem zeitlichen Verlauf der Konzentrationsmessungen lässt sich der kumulative Massenaustritt bestimmen. Die Abbildung 3 stellt dieses Verhalten in willkürlichen Einheiten dar. Die ebenfalls aus den Konzentrationsmessungen abgeleiteten Massenströme zeigt die Abbildung 4. Das Maximum des Massenstromes der austretenden brennbaren Stoffe ist erreicht, wenn die Zieltemperatur erreicht ist. Anschließend beginnt diese Austrittsrate wieder zu fallen.

2.5 Labormessungen

Labormessungen wurden durchgeführt, um Worst-Case-Situationen zu simulieren und aus diesen Messergebnissen einfache Gleichungen abzuleiten, die eine Abschätzung der zu erwartenden maximalen Konzentration freigesetzter brennbarer Stoffe oder der maximal zulässigen Beladung gestatten.

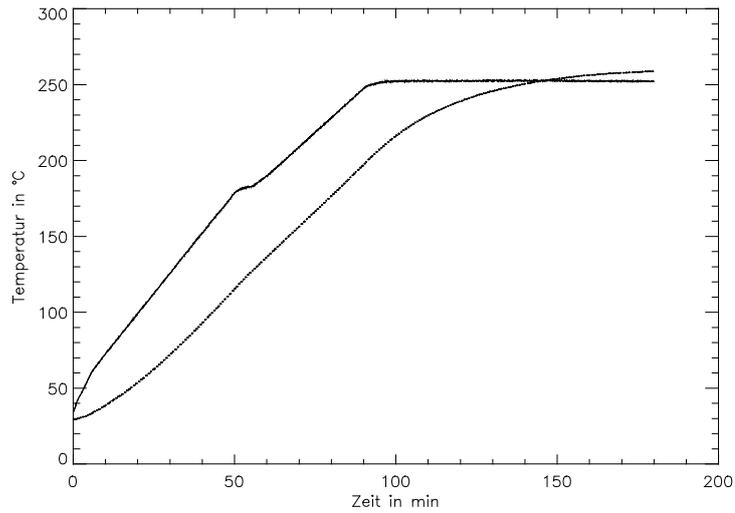


Abbildung 1: Temperaturverlauf (Gastemperatur) bei der Messung 2 Vor-Ort. Die punktierte Linie zeigt den Temperaturverlauf in einem Bremsbelag.

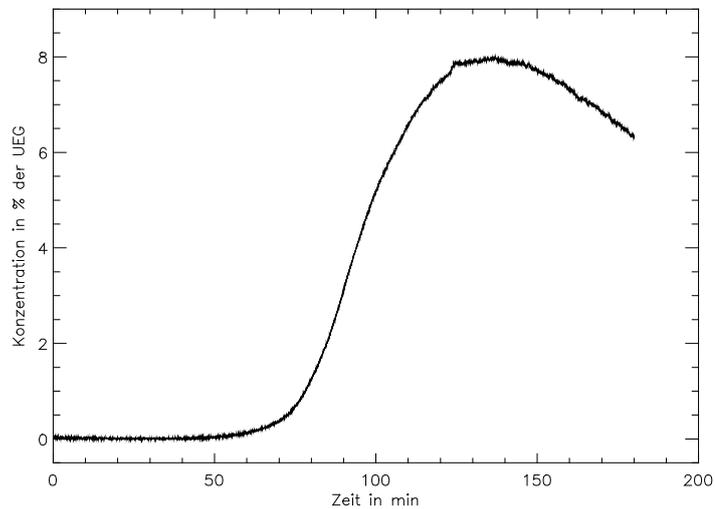


Abbildung 2: Konzentrationsverlauf zu Messung Nr. 2 Vor-Ort

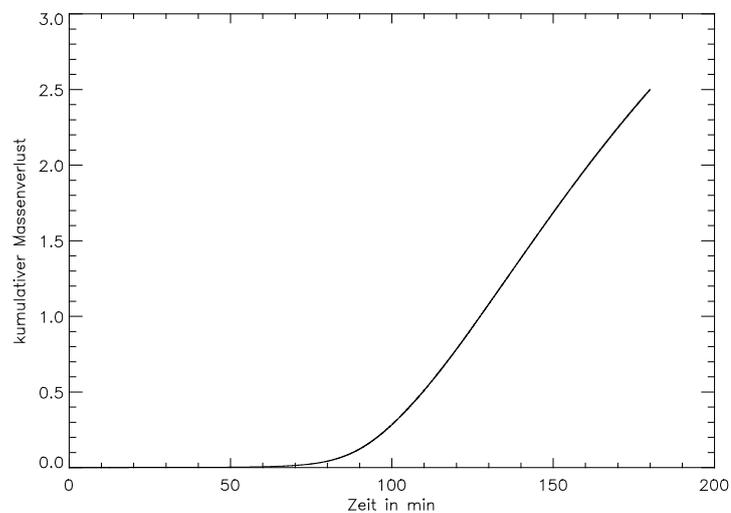


Abbildung 3: Kumulativer Masseverlust für Vor-Ort-Messung Nr. 2 in willkürlichen Einheiten

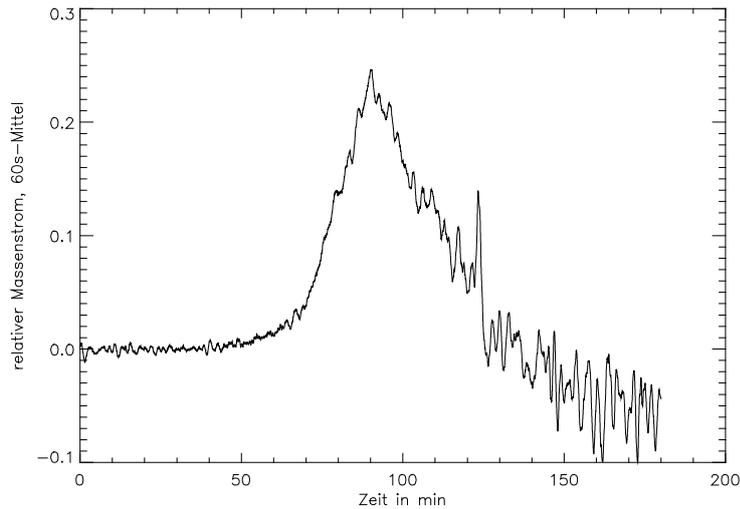


Abbildung 4: Massenstrom aus den Bremsbelägen heraus für Vor-Ort-Messung Nr. 2 in willkürlichen Einheiten

Der Versuchsaufbau besteht aus:

- Ofen: WTB Binder FDL 115
- FID: Bernath Atomic BA 3004
- CO₂/CO-Analysator: Bosch Ultramat 12P
- NiCr-Ni-Thermoelemente
- Datenrekorder: Yokogawa MV 2020

Der Abluftvolumenstrom wurde mit einem Flügelradanemometer Ahlborn ALMEMO 2690-8 mit FVA 915SMA1 Messkopf bestimmt.

Da die freigesetzten brennbaren Stoffe sehr leicht kondensieren, wurde für die Laborversuche nur eine minimale Beladung gewählt. Der Ofen wurde mit 3 bis 5 Bremsbelägen, in der Regel kalt, beschickt. Dadurch konnte auch ein möglichst schnelles Aufheizen der Versuchsmuster gewährleistet werden. Die Zieltemperatur und der Abluftvolumenstrom wurden als Variationsgrößen für die Versuche gewählt. Die Zieltemperatur wurde zwischen 250 °C und 300 °C variiert. Der Abluftvolumenstrom wurde für die verschiedenen Versuche zwischen 5 m³/h und 13 m³/h eingestellt. Tabelle 3 in Anhang B fasst die durchgeführten Versuche zusammen.

Der gesamte Massenverlust während des Versuches wurde durch Wägung der behandelten Bremsbeläge vor und nach der Härtung bestimmt. Dabei wurde davon ausgegangen, dass der Massenverlust nur durch den Härtungsprozess verursacht wurde. Ebenso wurde davon ausgegangen, dass die Gesamtheit der freigesetzten Stoffe brennbar ist. Ein grober Vergleich zwischen dem gewogenen Massenverlust und einer Abschätzung gemessenen Konzentrationen und Abluftvolumenstrom zeigten eine ausreichende Übereinstimmung. Das Vorgehen für eine solche Abschätzung wird ausführlich in [2] beschrieben.

Aufgrund der Tatsache, dass es sich beim betrachteten Härtungsprozess um die Verkokung der organischen Bindemittel handelt, wurde auch die CO- und die CO₂-Konzentration überwacht. Es sei an dieser Stelle darauf hingewiesen, dass CO nicht durch den FID detektiert werden kann. Bei keinem der durchgeführten Versuche konnte die Bildung von CO beobachtet werden. Das gemessene Verhältnis CO/CO₂ entsprach durchweg dem Boudouard-Gleichgewicht.

Als charakteristische Kurvenverläufe sind jene für den Versuch Nr. 2 in den Abbildungen 5 bis 7 dargestellt. Allen durchgeführten Versuchen gemein ist, dass die Konzentration freigesetzter brennbarer Stoffe im Gesamtdampfraum des Ofens dem Temperaturverlauf folgt. Sie erreicht ihr Maximum kurz nach Erreichen der Zieltemperatur.

3 Das Abschätzverfahren

Das nun vorgestellte Abschätzverfahren wurde in Anlehnung an die DIN EN 1539:2010, Anhang A.1.1.3 [1] entwickelt. Das Verfahren wurde in Blindversuchen überprüft. Diese Versuche wurden anschließend in die Datenbasis für das Abschätzverfahren aufgenommen.

Das Verfahren zur Abschätzung der maximal zu erwartenden Konzentration freigesetzter brennbarer Stoffe besteht aus zwei Teilen:

1. Abschätzung des Masseverlustes eines Bremsbelages für eine gegebene Härtungstemperatur. Als Härtungstemperatur wird jene Temperatur im Nutzraum des Trockners angenommen, die sich am Ende der Aufheizphase stabil einstellt.
2. Abschätzung der zu erwartenden maximalen Konzentration an brennbaren Gasen und Dämpfen im Gesamtdampfraum des Ofens.

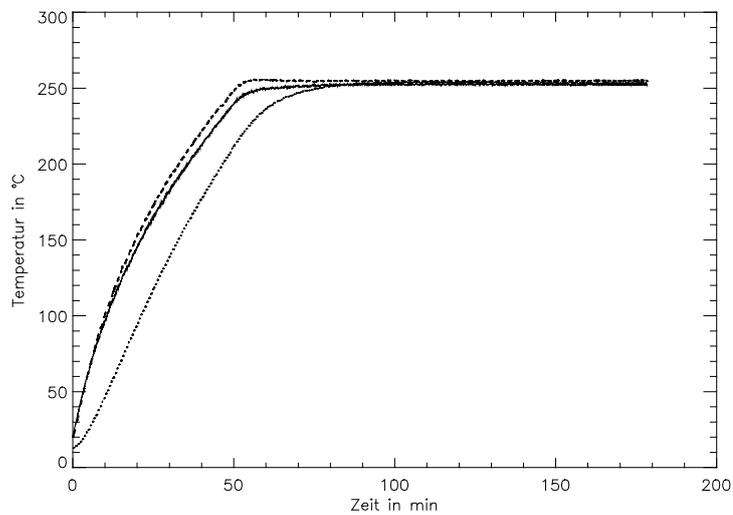


Abbildung 5: Temperaturverlauf (Gastemperatur) bei Laborversuch Nr. 2. Die punktierte Linie stellt den Temperaturverlauf in einem Bremsbelag dar.

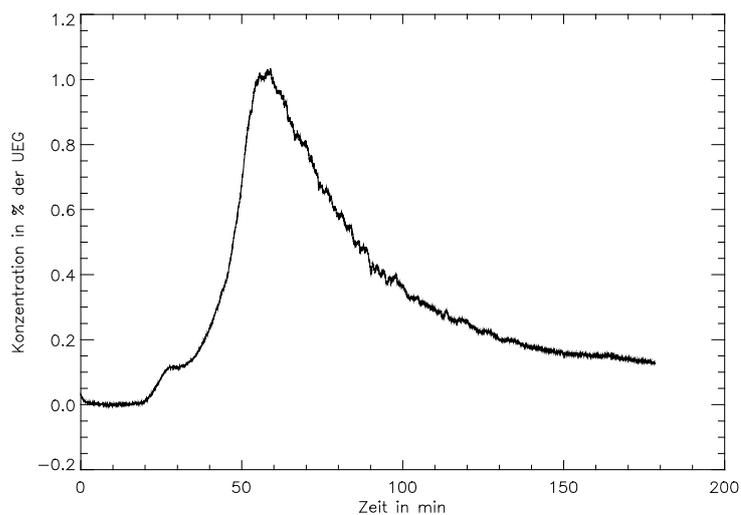


Abbildung 6: Verlauf der Konzentration freigesetzter brennbarer Stoffe bei Laborversuch Nr. 2

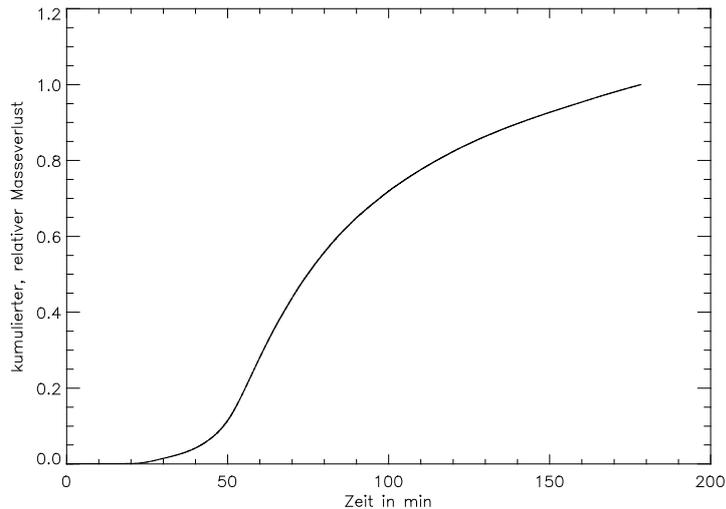


Abbildung 7: Normierter kumulativer Masseverlust bei Laborversuch Nr. 2

3.1 Masseverlust der Bremsbeläge

Abbildung 8 stellt für alle durchgeführten Versuche und alle dabei behandelten Bremsbeläge deren Masseverlust gegen die mittlere stabile Endtemperatur dar. Für die dargestellten Punkte und die Regressionsgrade wurde ein empirischer Regressionskoeffizient von $r=0,929$ ermittelt. Aus den durchgeführten Versuchen lässt sich für die als Versuchsmuster verwendeten Bremsbeläge der von der Prozesstemperatur ϑ (genauer der mittleren stabilen Endtemperatur) in °C abhängige Masseverlust $M(\vartheta)$ abschätzen durch (siehe Abbildung 8):

$$M_{\text{belag}}(\vartheta) = 0,0746 \cdot \vartheta - 16,3032 \quad \text{in g, } \vartheta \text{ in } ^\circ\text{C} \quad (1)$$

Zur Abschätzung der gesamten freigesetzten Masse $M(\vartheta)$ ist $M_{\text{belag}}(\vartheta)$ mit der Anzahl der zu betrachtenden Bremsbeläge der Mustertypen zu multiplizieren.

Diese Abschätzung ist gültig für einen Temperaturbereich von 250 °C bis 300 °C. Es ist davon auszugehen, dass diese Näherung auch für einen erweiterten Temperaturbereich von 240 °C bis 310 °C anwendbar ist, ohne mit zu berücksichtigenden Abweichungen rechnen zu müssen.

3.1.1 Bezug des Masseverlustes auf die Beschichtungsmasse

Um unabhängig von der für die Berechnung in Bezug genommenen Mustertypen eines Bremsbelages zu sein, kann der Masseverlust direkt auf die aufgebrachte Beschichtungsmasse bezogen werden. Bei der Auswertung der durchgeführten Versuche wird dazu die Masse der Trägerplatte (1172,3 g im Mittel) abgezogen. Der Masseverlust lässt sich dann in g Masseverlust pro kg Belagmasse ausdrücken. Abbildung 9 stellt dies dar. Die Gerade wird beschrieben durch:

$$M_{\text{belagmasse}}(\vartheta) = 0,0558 \cdot \vartheta - 12,2148 \quad \text{in g, } \vartheta \text{ in } ^\circ\text{C} \quad (2)$$

3.2 Abschätzung der maximalen Konzentration freigesetzter brennbarer Stoffe

Der Zusammenhang zwischen der maximalen Konzentration freigesetzter brennbarer Stoffe (normiert mit dem Abluftvolumenstrom) und dem Massenverlust ist in Abbildung 10 dargestellt. Der empirische Regressionskoeffizient beträgt $r=0,738$. Die maximale Konzentration C_{max} an freigesetzten brennbaren Stoffen lässt sich in Abhängigkeit vom Volumen des Gesamtdampfraumes V , dem Abluftvolumenstrom Q und dem Masseverlust $M(\vartheta)$ wie folgt beschreiben:

$$C_{max} \propto \frac{V}{Q} \cdot M(\vartheta) \quad (3)$$

$$C_{max} = \frac{V}{Q} \cdot M(\vartheta) \cdot \kappa \quad (4)$$

Dabei ist κ eine für diesen Prozess spezifische Konstante. Mit $\kappa = 3,735 \text{ h}^{-1}\text{g}^{-1}$ wird die erreichte maximale Konzentration als dimensionslose Zahl in % der UEG berechnet. $M(\vartheta)$ wird in g, V in m^3 und Q in m^3/h angegeben.

3.3 Anwendung des Abschätzungsverfahrens

Das dargestellte Abschätzungsverfahren ist nicht nur geeignet zur Abschätzung der maximal zu erwartenden Konzentration, sondern auch für jede andere der beteiligten Größen. Dabei sind die folgenden beiden Fälle von besonderem Interesse. Durch Umformung können auch Ausdrücke für die anderen Größen erhalten werden.

3.3.1 Abschätzung des Abluftvolumenstromes

Bei der Auslegung eines Ofens kann es notwendig sein, den minimalen Abluftvolumenstrom Q_{min} bei maximaler Beschickung und gegebener maximal zulässiger Konzentration an freigesetzten brennbaren Stoffen $C_{max,zul}$ zu berechnen. Dies wird durch Umformen von Gleichung 4 erreicht:

$$Q_{min} = \frac{V}{C_{max,zul}} \cdot M(\vartheta) \cdot \kappa \quad (5)$$

In diesen Fall wird vorausgesetzt, dass $M(\vartheta)$ bekannt ist bzw. über die Beziehung in Gleichung (1) beziehungsweise (2) berechnet wurde.

3.3.2 Abschätzung der maximal zulässigen Beladung

Der zweite Anwendungsfall, der von besonderem Interesse sein kann, ist die maximal zulässige Beladung $M(\vartheta)$ für einen gegebenen Ofen zu berechnen. Umformen von Gleichung (4) führt zu:

$$M_{max}(\vartheta) = \frac{C_{max,zul} \cdot Q_{min}}{\kappa \cdot V} \quad (6)$$

Für $C_{max,zul}$ ist der Wert einzusetzen, der sich für den gewählten Betriebsbereich nach DIN EN 1539:2010 ergibt. Für vor dem Jahr 2009 in Verkehr gebrachte Öfen sind die Werte der zum Zeitpunkt der In-Verkehr-Bringung geltenden Regelwerke heran zu ziehen.

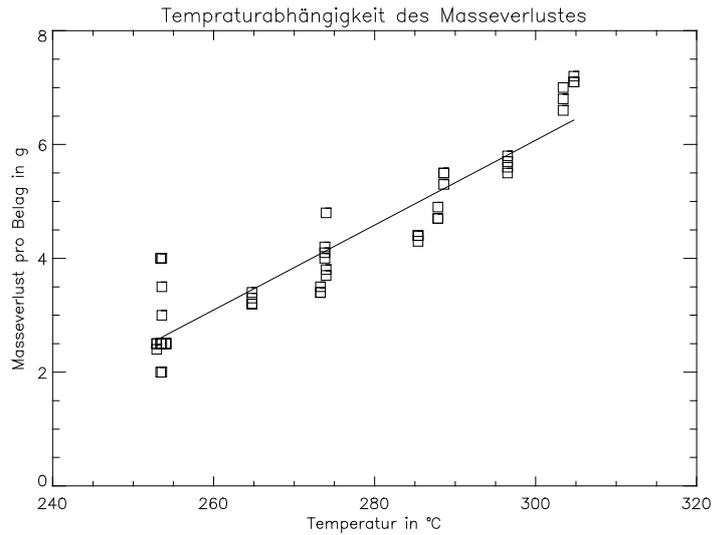


Abbildung 8: Masseverlust eines Bremsbelages abhängig von der Prozesstemperatur

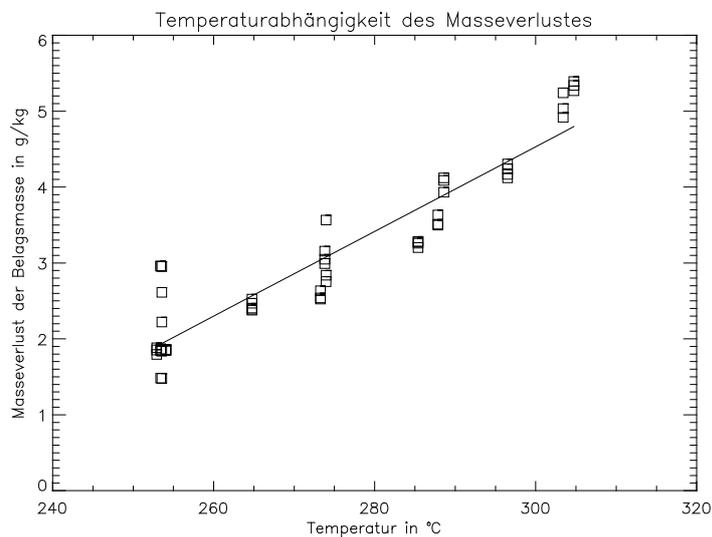


Abbildung 9: Masseverlust der Belagsmasse abhängig von der Prozesstemperatur

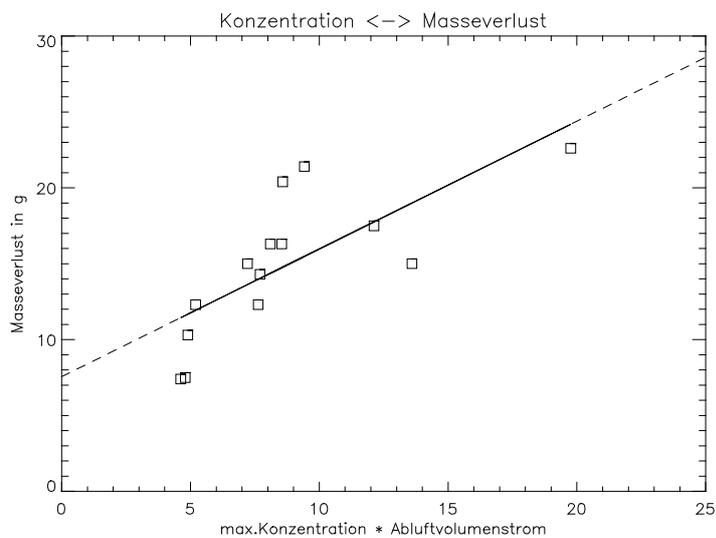


Abbildung 10: Korrelation zwischen normierter maximaler Konzentration und Masseverlust

4 Schlussfolgerungen

Der hier sicherheitstechnisch untersuchte Prozess fällt nicht in den unmittelbaren Geltungsbereich der DIN EN 1539:2010 [1]. Da die sicherheitstechnischen Anforderungen jedoch vergleichbar sind, sollten Konstruktion und Betrieb die Anforderungen der Norm in Bezug nehmen, solange sie anwendbar sind. Dies gilt insbesondere für die Anforderungen an die Steuerung.

Der Ofen sollte für den Bereich 1 des Diagramms in Bild 1 in DIN EN 1539:2010 ausgelegt werden (C_{max_zul} = 40 % der UEG). Der Betrieb im Bereich 2 stellt Anforderungen, die für diesen Prozess nur schwer oder gar nicht zu realisieren sind. Eine Zündquellenfreiheit ist nicht realisierbar, da die Prozesstemperatur zu nahe oder oberhalb der turbulenten Zündtemperatur der freigesetzten brennbaren Stoffe liegt.

Da die austretenden brennbaren Stoffe bei sehr hohen Temperaturen bereits kondensieren, ist diesem Umstand Rechnung zu tragen. Eine Konzentrationsüberwachung unter diesen betrieblichen Einsatzbedingungen erscheint wenig sinnvoll. Die notwendige Messtechnik wäre sehr teuer und unter den gegebenen Bedingungen sehr wartungsintensiv.

Eine Möglichkeit, den Energieeinsatz zu reduzieren, wäre die Reduktion des Abluftvolumenstromes nach Kapitel 5.9.1.4 der DIN EN 1539:2010. Die sogenannte Hauptverdampfungszeit sollte für diesen Prozess mit ca. 100 min bei 250 °C und ca. 120 min bei 300 °C angesetzt werden, wenn die dem Abschätzverfahren zugrunde liegenden Bedingungen vorliegen. Unter den während der betrieblichen Messungen vorgefundenen Bedingungen sollte diese Zeit mit ca. 150 min angesetzt werden.

5 Zusammenfassung

Im Rahmen der beschriebenen Untersuchungen wurde die Bildung explosionsfähiger Atmosphäre beim thermischen Härten von Bremsbelägen in Kammeröfen untersucht. Dabei wurde der Ist-Stand in der aktuellen Produktion messtechnisch erfasst. In Laborversuchen wurden Worst-Case-Situationen dargestellt. Aus den dabei gewonnen Messdaten wurde ein einfaches Abschätzverfahren entwickelt. Die gewonnen Erkenntnisse wurden in Relation zur DIN EN 1539:2010 betrachtet und der Umfang der Anwendbarkeit der Norm für diesen Prozess bewertet.

Diese Untersuchungen wurden im Rahmen einer Forschungskooperation durchgeführt. Besonderer Dank gilt dabei allen involvierten Kolleginnen und Kollegen des Fachbereich 3.4, insbesondere der Arbeitsgruppe 3.42 der PTB und einem Hersteller für seine Unterstützung.

Literaturverzeichnis

- [1] Europäische Norm DIN EN 1539, *Trockner und Öfen, in denen brennbare Stoffe freigesetzt werden - Sicherheitsanforderungen*, CEN, November 2009 (englische Ausgabe), August 2010 (deutsche Ausgabe als DIN-Norm).
- [2] F.Stolpe, H.Förster, *Untersuchung zur Bildung explosionsfähiger Gemische in Trocknern für Beschichtungsstoffe*, Fortschritt-Berichte VDI (2004), Reihe 3, Band 818.

Anhang A: Fotos des Versuchsaufbaus

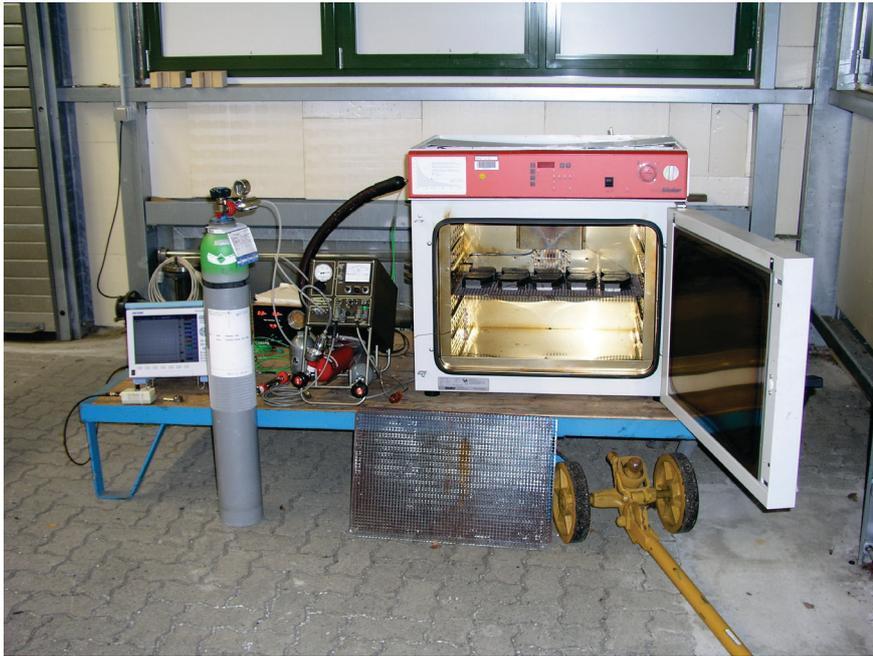


Abbildung 11: Gesamtansicht des Versuchsaufbaus



Abbildung 12: Bremsbeläge zur Härtung

Anhang B: Durchgeführte Versuche

Tabelle 3: Zusammenfassung der durchgeführten Versuche

lfd. Nr	Zieltemperatur in °C	Anzahl Beläge	Massenverlust gesamt in g	Massenverlust je Belag in g	maximale Konzentration in % d. UEG	Zeitpunkt maximaler Konzentration in s	mittlere stabile Temperatur in °C	Abluftvolumenstrom in m ³ /h
1	250	5	15,00	3,00	1,70	1980	253,55	8
2	250	5	15,00	3,00	1,03	3478	253,40	7
3	250	3	7,50	2,50	0,60	3109	254,07	8
4	250	3	7,40	2,47	0,66	2946	252,91	7
5	270	3	12,30	4,10	0,65	3647	273,80	8
6	270	3	10,30	3,43	0,70	3019	273,26	7
7	285	3	14,30	4,77	1,10	3627	287,86	7
8	285	3	16,30	5,43	1,22	3629	288,59	7
9	300	3	20,40	6,80	1,43	4285	303,41	6
10	300	3	21,40	7,13	1,57	4420	304,74	6
11	270	3	12,30	4,10	1,09	3396	273,95	7
12	290	4	22,60	5,65	1,52	5731	296,51	13
13	260	5	16,30	3,26	1,62	3388	264,75	5
14	275	4	17,50	4,38	2,02	4016	285,40	6
VO1	250	150	-	-	1,32	8270	251,36	283
VO2	250	360	-	-	8,00	8219	252,45	184

Terms of Use

Any party may pass on this Work by electronic means and make it available for download under the terms and conditions of the Digital Peer Publishing License (DPPL) Version 3.0. The text of the license may be accessed and retrieved via Internet at <http://nbn-resolving.de/urn:nbn:de:0009-dppl-v3-en8>.

Beyond the conditions of the DPPL, the data which is contained in this catalog May only be used by any party for signal processing if the data is inserted into the source code of the program together with a reference to the catalog and if the program documentation (if available) also contains a reference to this catalog.

Exclusion of Liability

Deviating from paragraphs 12 and 13 of the DPPL Version 3.0, a comprehensive exclusion of liability applies. This states: This catalog is made available without any special or implied guarantee, which – among others – includes the implicit guarantee of the use of the catalog for a certain purpose. Under no circumstances is PTB responsible for any direct or indirect damage, independent of how it arose, through the use of the catalog. This also applies to damage due to errors of the catalog, which were already known at the occurrence of the damage.