

Vermeidung der Selbstentzündung bei Deponiestoffen und Recyclingmaterialien

Anka Berger und Ulrich Krause

Bundesanstalt für Materialforschung und –prüfung Berlin

Prevention of self-ignition for wastes and recycling materials

Abstract

Fires during storage of wastes or recycling products show high fire loads and extreme development of smoke. Fire fighting requires large efforts of personnel and material and often take days, sometimes even weeks or months.

Therefore the clue in handling these materials is in fire prevention. The current paper presents a novel method developed at BAM which combines experimental tests on lab-scale with numerical simulations in order to obtain permissible geometries of deposits and storage times at which self-ignition can be certainly avoided.

Zusammenfassung

Brände bei der Lagerung von Deponiestoffen und Recyclingprodukten sind durch hohe Brandlasten und extreme Rauchentwicklung gekennzeichnet. Löscharbeiten erfordern einen hohen Personal- und Materialaufwand und ziehen sich häufig über Tage, manchmal sogar über Wochen oder Monate hin.

Der Schwerpunkt im Umgang mit solchen Materialien muss deshalb auf der Brandprävention liegen. Der Vortrag stellt eine in der BAM entwickelte Methodik vor, bei der in einer Kombination von Labortests und numerischen Simulationsrechnungen Haldengeometrien und zulässige Lagerungszeiten abgeleitet werden können, bei denen Selbstentzündung sicher vermieden wird.

Keywords

Solid wastes, recycling materials, fire prevention, self-ignition, numerical simulation

Abfallstoffe, Recyclingstoffe, Brandverhütung, Selbstentzündung, numerische Simulation

1 Einleitung

1.1 Rahmenbedingungen für die Lagerung von Recyclingstoffen

Seit Sommer 2007 wird durch das Abfallgesetz AbfR 1.2.1 (Version 03) die Förderung der Kreislaufwirtschaft zur Schonung der natürlichen Ressourcen und die Sicherung der umweltverträglichen Beseitigung von Abfällen geregelt. Dieses neue Gesetz gilt im Besonderen für die Vermeidung, Verwertung und Beseitigung von Recyclingstoffen. Einen großen Umgestaltungsprozess in der Abfallwirtschaft verursachte die Einführung des schrittweisen Verbotes der Deponierung im Juni 2005.

Organische Abfälle aus Kunststoffen, etwa aus dem Dualen System, eignen sich unter bestimmten Voraussetzungen als Brennstoffe für thermische Prozesse. In Bezug auf das Brandverhalten werden sie der Brandklasse B (flüssige bzw. unter Wärmeeinwirkung flüssig werdende Stoffe) zugeordnet. Um zu hohe Verbrennungstemperaturen zu vermeiden, werden sie mit organischen Stoffen der Brandklasse A (feste, glutbildende Stoffe) zu etwa gleichen Anteilen gemischt, so dass daraus ein sog. mittelkalorischer Brennstoff entsteht.

Da der Ausbau der Kapazitäten an Feuerungsanlagen für Ersatzbrennstoffe noch am Anfang ist, ergibt sich ein steigender Bedarf an Zwischenlagern.

Brandschutztechnische Anforderungen an solche Lager sind in der für das jeweilige Bundesland geltenden Kunststofflager-Richtlinie dargelegt. Die dort erhobenen Forderungen begründen sich jedoch in erster Linie aus Gesichtspunkten des abwehrenden Brandschutzes, d.h. der Brandbekämpfung. Die Prävention von durch Selbstentzündung entstehenden Bränden ist nicht berücksichtigt. Weiterhin handelt es sich nur um eine Richtlinie, die keinen Gesetzescharakter trägt.

Bedingt durch die weitgehende Vermeidung der Deponierung organischer Reststoffe sowie durch Engpässe bei deren Aufbereitung entstehen gegenwärtig zahlreiche Zwischenlager für recyclingfähige Materialien, wie in Abb. 1 gezeigt. Diese Zwischenlager haben ein hohes Brandrisiko. Zwischen 2003 und 2007 kam es allein in Sachsen zu mehr als 50 Bränden in solchen Einrichtungen [1].

Weiterhin gibt es verschiedentlich Lager, die durch Insolvenz des Betreibers „verwaist“ sind und bei denen sich die Suche nach einer Möglichkeit für die Verwertung des lagernden Materials über längere Zeit hinzieht.

1.2 Charakteristika von Bränden bei Deponie- und Recyclingstoffen

Brände bei der Lagerung von Massenschüttgütern, Deponiestoffen und Recyclingprodukten sind durch hohe Brandlasten und extreme Rauchentwicklung gekennzeichnet.

Löscharbeiten erfordern einen hohen Personal- und Materialaufwand und ziehen sich häufig über Tage, manchmal sogar über Wochen oder Monate hin. In einigen Fällen konnten solche Brände nicht nachhaltig gelöscht, sondern zur Einschränkung von Emissionen und zur Temperaturabsenkung nur mit mineralischen Schichten abgedeckt werden. Dabei besteht die Gefahr, dass im Inneren des Halden- oder Deponiekörpers weiterhin Schwelbrände ablaufen, die später erneut zum Ausbruch eines offenen Brandes führen können.



Abb.1. Recycling-Zwischenlager für Kunststoffe (Quelle: LUA Brandenburg)

Der Schwerpunkt im Umgang mit solchen Materialien muss deshalb auf der Brandprävention liegen. Der Vortrag stellt Ergebnisse eines Forschungsvorhabens zum Zünd- und Brandverhalten derartiger Materialien mit dem Schwerpunkt Selbstentzündung dar. Die Untersuchungen zeigten, dass eine Beimischung von Inertmaterial (z.B. bei sog. Baumischabfällen) nicht zwangsläufig zur Absenkung der Selbstentzündungsgefahr führt. Bei Stoffen, die unter Wärmeeinwirkung schmelzen, erhöht sich die Selbstentzündungsneigung sogar, weil die Schmelze an den inerten Partikeln koaguliert und sich dadurch erst eine poröse Schüttung bildet.

Mit Unterstützung der lokalen Umweltbehörden konnten auch Feldmessungen zur Temperatur- und Gaskonzentrationsverteilung auf drei Halden mit Baumischabfällen vorgenommen werden.

Die Messungen wurden ergänzt durch numerische Simulationen zur Vorhersage der thermischen Langzeitstabilität (bzw. des Eintretens von Selbstentzündung), um Aussagen über sichere Haldengeometrien und Lagerungszeiten treffen zu können. Diese Berechnungen beruhen auf der Finite-Elemente-Methode. Für Beispiele ausgewählter Haldengeometrien werden die örtliche und zeitliche Temperaturentwicklung sowie die Verteilung der Stoffkonzentrationen der wichtigsten Reaktionsgase vorgestellt.

1.3 Selbstentzündung

Selbstentzündung tritt ein, wenn die Reaktionswärme aus im Haldenkörper ablaufenden chemischen Reaktionen aufgrund der thermischen Isolationswirkung des porösen Haufwerks nicht vollständig an die Umgebung abgegeben werden kann.

Bei der Lagerung von Recycling- oder Deponiestoffen laufen exotherme Reaktionen solange ab, wie brennbares Material vorhanden ist. Häufig ist die brennbare Fraktion mit inertem Material gemischt (z.B. Baumischabfälle). Eine Frage ist dabei, bis zu welchem Anteil inertem Materials noch gefährliche Wärmeentwicklung befürchtet werden muss.

Da die Wärmefreisetzungsrates eine volumenbezogene Größe, die Wärmeverlustrate hingegen eine oberflächenbezogene Größe ist, ergibt sich eine inhärente Skalenabhängigkeit des Selbstentzündungsproblems. Das führt dazu, dass sich große Haufwerke wie Halden oder Deponien bei ausreichender chemischer Reaktivität des Materials bereits bei Umgebungstemperaturen selbst entzünden. Dies geschieht unter der Voraussetzung, dass die Lagerungsdauer die sog. Induktionszeit (gelegentlich auch Inkubationszeit genannt) überschreitet.

Da Selbstentzündungsversuche im technischen Maßstab nicht möglich sind, wurde ergänzend zu experimentellen Untersuchungen im Labormaßstab die Methode der numerischen Simulation angewendet, um Vorhersagen für Brandszenarien auf Halden und Deponien zu treffen.

2 Experimentelle Untersuchungen

Es wurden Warmlagerungsversuche nach DIN EN 15188 [2] zur Beurteilung des Selbstentzündungsverhaltens durchgeführt. Der Versuchsaufbau ist in Abb. 2 dargestellt. Er besteht aus einem Labortrockenschrank mit etwa 130 l Innenvolumen, in welchem die zu untersuchenden Proben bei voreingestellter, konstanter Temperatur gelagert wurden. Die charakteristische Probenabmessung ist deren Volumen/Oberflächen-Verhältnis.

Die Proben werden in Drahtnetzkörben in den Ofen eingebracht und an eine Makro-Thermowaage gehängt. Auf diese Weise lässt sich der Massenverlust während der Selbstentzündung aufzeichnen. Weiterhin wird die Temperaturentwicklung in der Probe gemessen.

Die Rauchgase werden über ein Fourier-Transform-Infrarot (FTIR) -Spektrometer geleitet, um die Volumenanteile der wesentlichen am Umsatz beteiligten Komponenten CO_2 , CO , CH_4 und H_2O zu bestimmen. Weitere Komponenten wie etwa HCl , NH_3 , SO_2 oder NO_x können qualitativ bestimmt werden. Im Ergebnis erhält man eine simultane Aufzeichnung von Temperatur, Massenabnahme und Zusammensetzung des Brandgases und somit umfassende Informationen zum Reaktionsverlauf.

Die verwendeten Probenvolumina betragen 31 ml, 100 ml, 400 ml und 800 ml. Die Probenbehälter waren zylindrisch mit einem Verhältnis von Durchmesser zu Höhe von 1.

Für die Versuche mit heterogener Brennstoffverteilung befanden sich vier brennbare Einschlüsse von Zellulose in einer inerten Schüttung aus Vermiculite, s. Abb. 3.

Die Volumina der Einschlüsse betragen jeweils 100 ml, das gesamte Volumen der Anordnung betrug 12,8 l.

Zunächst wurde der Einfluss der Gemischzusammensetzung (brennbare Anteile/inerte Anteile) auf die Selbstentzündungstemperaturen untersucht. Hierzu wurde ein Modellgemisch von Zellulose (brennbarer Anteil) und Kieselgur (inertes Anteil) in verschiedenen Zusammensetzungen hergestellt.

Anschließend wurden verschiedene Gemische aus Abfällen mit 80 % brennbaren (Kunststoffe, Altholz, Alttextilien) und 20 % nichtbrennbaren (Sand) Massenanteilen untersucht, s. Abb. 3.

3 Ergebnisse

Für das Modellgemisch Zellulose/Kieselgur wurde beobachtet, dass die Selbstentzündungstemperaturen (SET) mit wachsendem Inertstoffanteil zunahm. Selbst für einen Brennstoffanteil von 2,5 % an der Gesamtmasse wurde noch eine Temperatursteigerung um 70 °C auf eine Reaktionstemperatur von 350 °C beobachtet.

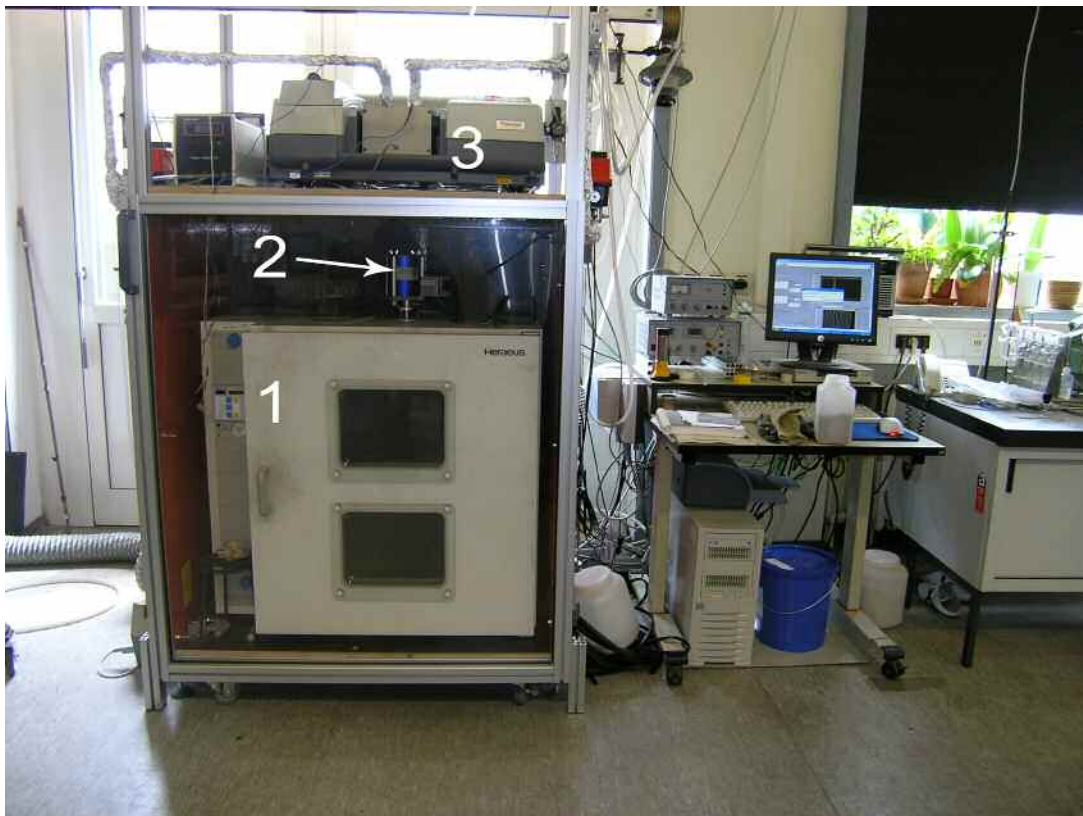


Abb. 2. Versuchsaufbau für die Warmlagerung selbstentzündlicher Recyclingstoffe, 1 – Labortrockenschrank, 2 – Makro-Thermowaage, 3 – FTIR-Spektrometer



Abb. 3 Proben aus Recyclingmaterial für Selbstentzündungsversuche

Abbildung 4 zeigt die Abhängigkeit der SET vom Massenanteil der brennbaren Fraktion für vier Probenvolumina. Man erkennt die bekannte Tendenz abnehmender SET mit wachsendem Probenvolumen sowie zusätzlich die Zunahme der SET mit sinkendem Anteil der brennbaren Fraktion.

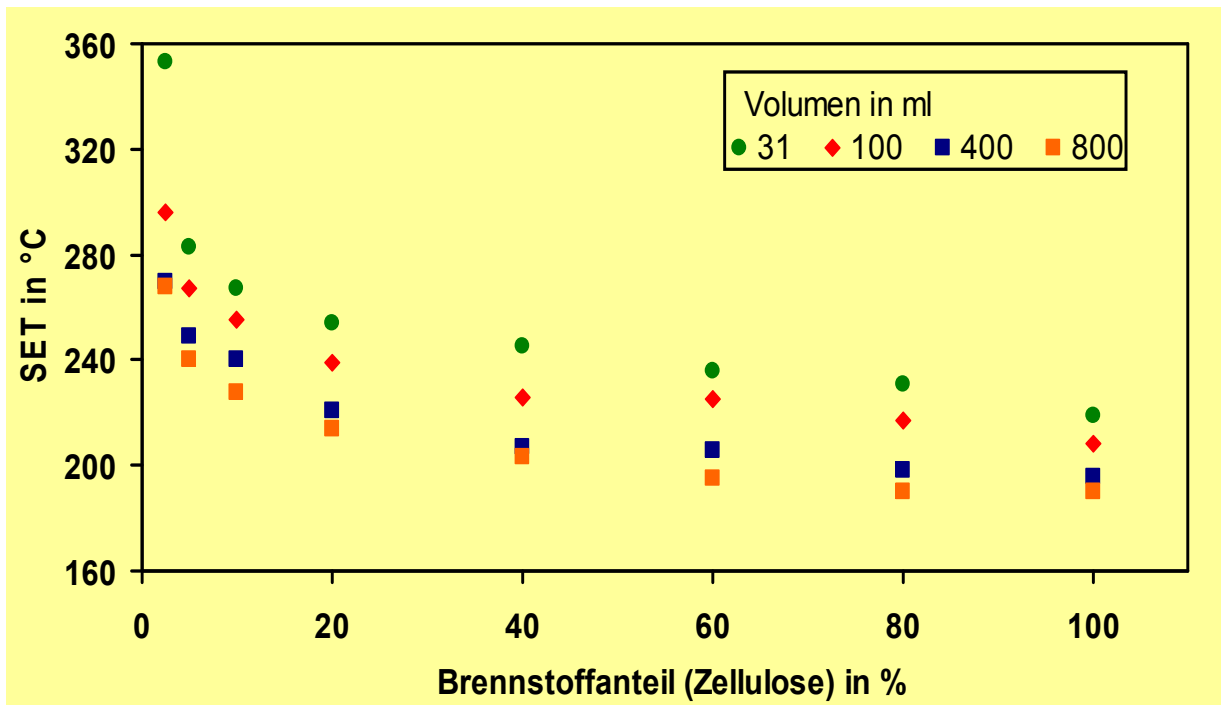


Abb. 4 Abhängigkeit der Selbstentzündungstemperaturen (SET) von Gemischen aus brennbaren und inerten Feststoffen vom Massenanteil der brennbaren Fraktion für verschiedene Probenvolumina

In Abb. 5 ist der zeitliche Temperaturverlauf in der Probe für verschiedene Mischungsverhältnisse dargestellt. Bemerkenswert ist dabei, dass die Maximaltemperaturen bei Gemischen mit etwa gleichen Anteilen von brennbaren und inerten Anteilen auftreten.

In Abb. 6 ist ein typischer Brandverlauf bei der Selbstentzündung des Kunststoff/Inertstoff-Gemisches anhand des Temperaturverlaufes im Mittelpunkt der Probe und auf dem halben Abstand zur Oberfläche sowie der Volumenkonzentrationen von CO, CO₂, H₂O und CH₄ sowie des Sauerstoffs dargestellt. Zusätzlich ist der Masseverlust der Probe abgebildet. Man erkennt die zeitliche Koinzidenz der Anstiege von Proben-temperatur und Konzentration von H₂O im Abgas sowie dem Absinken der O₂-Konzentration.

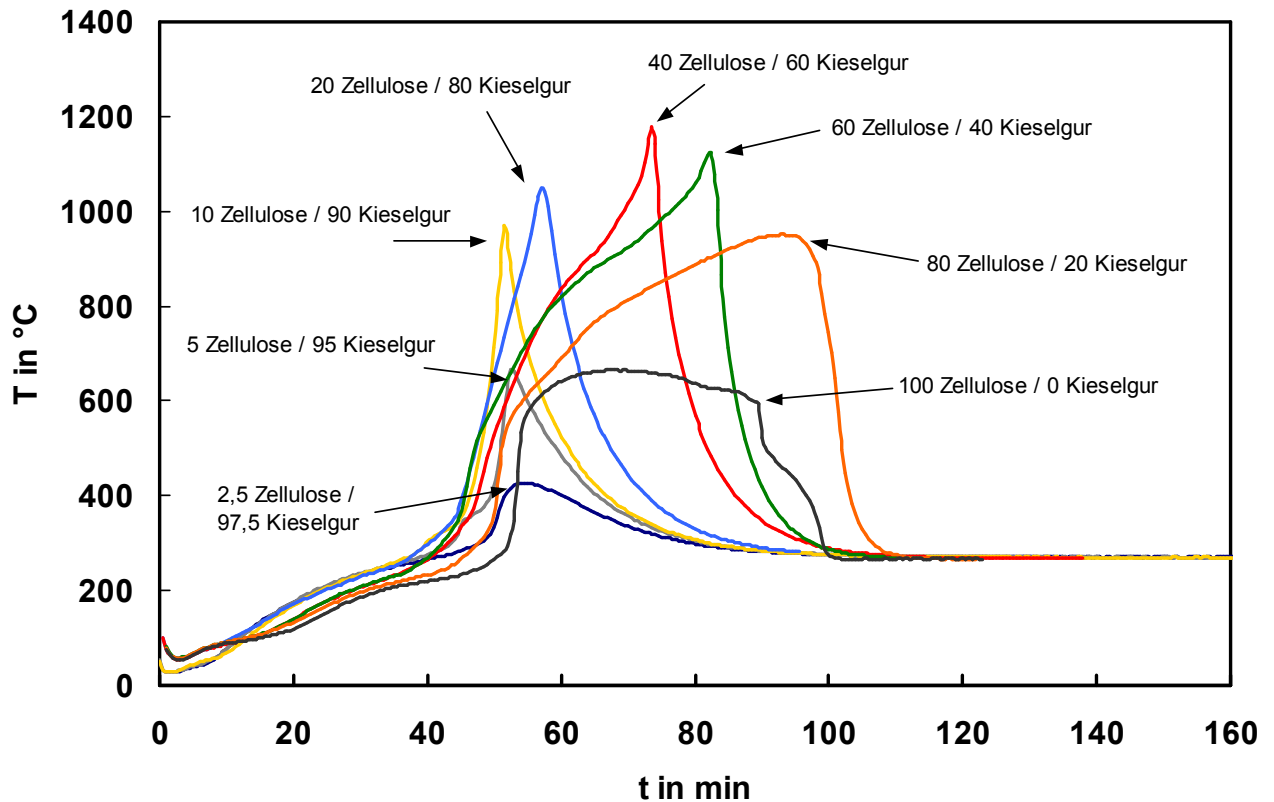


Abb. 5 zeitlicher Temperaturverlauf bei der Selbstentzündung von Brennstoff/Inertstoff-Gemischen (Probenvolumen 400 mL)

Eine Stoffmengenbilanz zeigt, dass sich die Konzentration von H_2O in dieser frühen Phase der Selbstentzündung nicht allein aus der Verdampfung physisorbierten Wassers in der Feststoffprobe erklären lässt. Es kommt also zur Bildung von Reaktionswasser deutlich bevor die Bildung der anderen Reaktionsgase einsetzt.

Bemerkenswert ist weiterhin die Bildung relativ hoher Konzentrationen von CO (bis zu 2 Vol.%, zum Vergleich: MAK-Wert: 0,0003 %, lethale Dosis: 1,3 % bei 1 bis 3 min Exposition).

4 Numerische Simulation von Brandszenarien für Haldenkörper

Es bedarf keiner näheren Erläuterung, weshalb Brandversuche im Realmaßstab an Recyclinghalden oder auf Deponien nicht möglich sind.

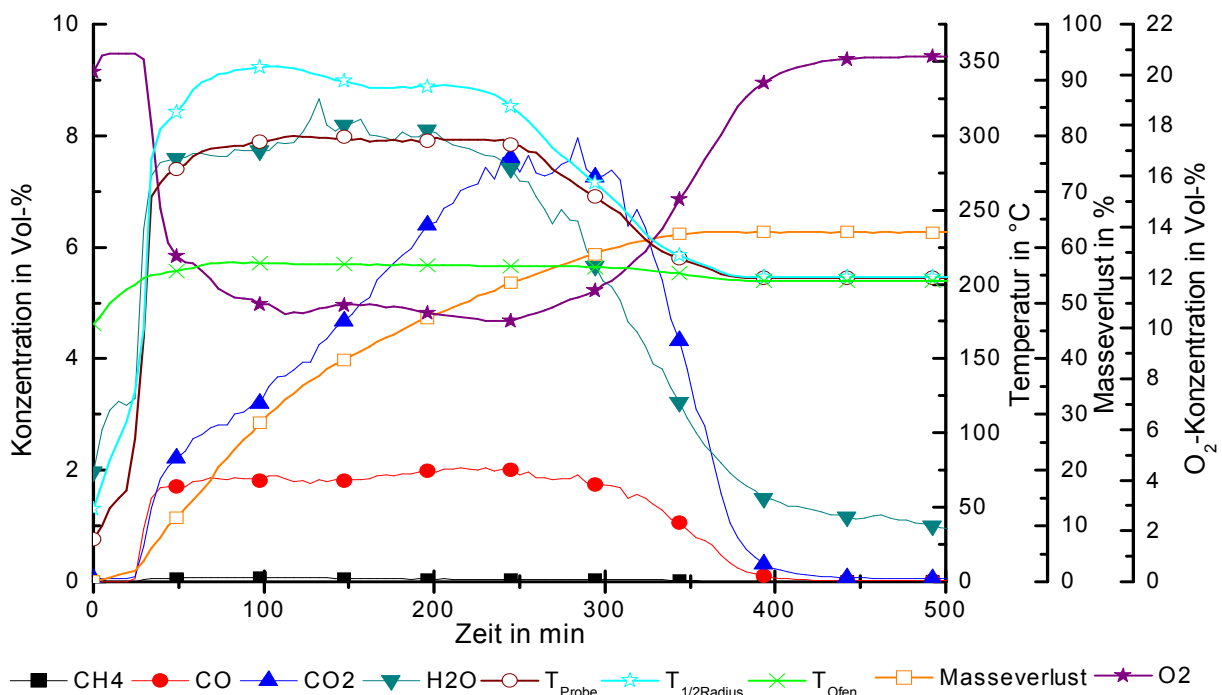


Abb.6. Selbstentzündung und Brandverlauf einer Probe Kunststoff/Inertstoff-Gemisch (Probenvolumen 400 ml, Lagerungstemperatur 203 °C)

Um dennoch fundierte Aussagen zur Gefahr der Selbstentzündung treffen zu können, wird die Methode der numerischen Simulation benutzt. Hierfür sind vier Arbeitsschritte nötig:

- Bestimmung der thermischen und chemischen Eigenschaften der beteiligten Stoffe sowie der maßgeblichen Reaktionen im Labormaßstab,
- Aufstellung eines Berechnungsmodells,
- Validierung des Modells anhand von Experimenten im Labor oder halb-technischen Maßstab,
- Anwendung des Modells auf Brandszenarien im Realmaßstab.

Das hier verwendete Modell betrachtet den dreidimensionalen Wärme- und Stofftransport im Haldenkörper zeitabhängig. Die abhängigen Variablen sind die Temperatur, die Massenkonzentration des Brennstoffs sowie die Volumenkonzentration des Sauerstoffs. Ausführlich beschrieben wurde das Modell in [3].

Der numerische Lösungsalgorithmus beruht auf der Methode der Finiten Elemente. Es wurde das kommerzielle Programm COMSOL Multiphysics® verwendet.

Als Berechnungsbeispiel diene eine Halde mit einer Grundfläche von 20 m x 120 m und einer Höhe von 12 m bei einem Böschungswinkel von

60 °. Es ergibt sich ein Volumen von etwa 19 000 m³. Es wurde angenommen, dass die Halde zu 60 % aus homogen verteilten brennbaren Anteilen besteht.

Aus Symmetriegründen umfasst das Berechnungsgebiet nur ein Viertel der Halde, wobei angenommen wird, dass die Umströmung der Halde von allen Seiten gleichmäßig erfolgt. Zur Vernetzung des Berechnungsgebietes wurden 112 000 Elemente verwendet.

Abbildung 7 zeigt das Berechnungsergebnis für die Temperaturentwicklung in der Halde. Links oben ist das Temperaturfeld bei ungestörter Lagerung bei einer mittleren Umgebungstemperatur von 10 °C nach 5 Jahren und 27 Tagen dargestellt. Man erkennt eine Temperaturerhöhung auf etwa 160 °C im Inneren des Haldenkörpers. Durch den Fortgang der chemischen Reaktionen erhöht sich die Temperatur weiter und beträgt nach 5 Jahren und 142 Tagen bereits 260 °C. Gleichzeitig ist eine Ausbreitung des erwärmten Bereiches in Richtung der äußeren Oberfläche erkennbar.

Nach 5 Jahren und 248 Tagen erreichen große Teile des Innenkörpers bereits 300 °C. Dieses Temperaturniveau ist typisch für die Ausbreitung eines Schmelbrandes.

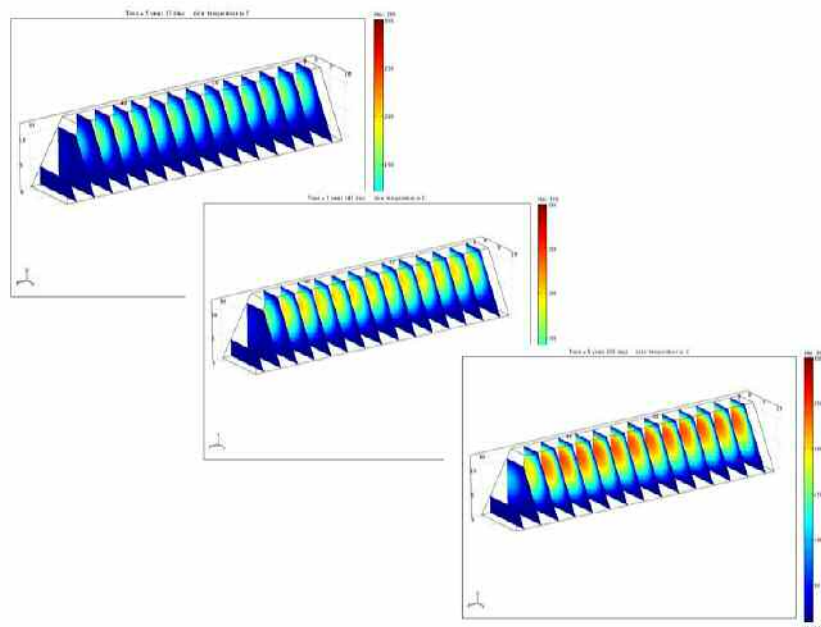


Abb.7 Berechnete Temperaturentwicklung in einer Reststoffhalde mit 60 % brennbaren Anteilen

5 Schlussfolgerungen

Im Ergebnis der experimentellen und numerischen Untersuchungen lassen sich folgende praxisrelevanten Folgerungen ableiten:

- Die Selbstentzündungsneigung von Kunststoffabfällen erhöht sich durch Zumischung von Stoffen der Brandklasse A oder Inertstoffen.
- Kunststoffe schmelzen und koagulieren um inerte Partikel und bilden so poröse Schüttung mit großen aktiven Oberflächen. Dadurch erhöht sich die Selbstentzündungsneigung im Vergleich zu reinen Kunststoffen.
- Die höchsten Brandtemperaturen traten bei Gemischen von Kunststoff mit Stoffen der Brandklasse A oder inerten Stoffen auf (nicht beim reinen Kunststoff) – trotz Verminderung des Brennwertes.
- Selbst bei geringen brennbaren Anteilen tritt noch gefährliche Wärmeentwicklung auf.

Diese Umstände sollten in einem Brandschutzkonzept berücksichtigt werden, um durch Selbstentzündung verursachte Brände sicher zu vermeiden.

6 Literatur

- | | | |
|---|------|---|
| | 2007 | Sächs. Staatsministerium für Umwelt und Wirtschaft, Brände bei Recyclingfirmen in Sachsen, 26.9.2007, http://www.gruene-fraktion-sachsen.de/abfall.html |
| | 2007 | DIN EN 15188 „Self ignition behaviour of dust accumulations“, Beuth Verlag Berlin, |
| Krause, U., M. Schmidt, and C. Lohrer,. | 2006 | A numerical model to simulate smouldering fires in bulk materials and dust deposits. <i>Journal of Loss Prevention in the Process Industries</i> 19, p. 218-226. |

Anschrift der Verfasser(innen):

Dr. rer.nat. Anka Berger
Bundesanstalt für Materialforschung und –prüfung
Fachgruppe II.2 „Reaktionsfähige Stoffe und Stoffsysteme“
Unter den Eichen 87
D-12205 Berlin
Telefon +49 30 8104 3402
Email: anka.berger@bam.de
Website: www.bam.de

Dir. u. Prof. Dr.-Ing. habil. Ulrich Krause
Bundesanstalt für Materialforschung und –prüfung
Fachgruppe VII.3 „Brandingenieurwesen“
Unter den Eichen 87
D-12205 Berlin
Telefon +49 30 8104 1740
Email: ulrich.krause@bam.de
Website: www.bam.de