

# Brandgefährlicher Abfall – Über Risiken und Strategien in der Abfallwirtschaft

T. Nigl & R. Pomberger

Montanuniversität Leoben, Lehrstuhl für Abfallverwertungstechnik und Abfallwirtschaft, Leoben, Österreich

**KURZFASSUNG:** Obwohl die Abfall- und Entsorgungswirtschaft seit jeher vor der Herausforderung des richtigen Umgangs mit brandlastreichen Materialien steht, wurde in den letzten Jahren bei Brandereignissen ein neuer Höhepunkt erreicht. Neben den enormen Umweltbelastungen und dem offensichtlichen Konflikt mit abfallwirtschaftlichen Zielen werden die zunehmenden Sachschäden und der drohende Versicherungsverlust für die Betriebe zu einem immer größeren Problem.

Der Beitrag geht einerseits auf die besonderen Herausforderungen der Branche, wie etwa inhomogene Stoffströme, Verschmutzungen, Anhaftungen und brandgefährliche Störstoffe sowie hohe Staubbelastung ein und zeigt andererseits die historische Entwicklung des Brandgeschehens in der Abfallwirtschaft auf. Danach werden Brandursachen analysiert und zudem branchenspezifische Brandursachen, wie Selbstentzündung oder Batterien näher behandelt.

Abschließend gibt der Beitrag einen Überblick über mögliche Strategien und Maßnahmen, um Brandereignisse in der abfallwirtschaftlichen Wertschöpfungskette zu reduzieren. Darunter befinden sich zum einen Ansätze, wie brandgefährliche Störstoffe in Abfallströmen vermieden bzw. aus diesen ausgeschleust werden können; zum anderen ein verbessertes Risikomanagement und Maßnahmen des vorbeugenden Brandschutzes.

## 1 EINLEITUNG

Betriebe der kommunalen und privaten Abfall-, Entsorgungs- und Recyclingwirtschaft (AbER) stehen seit jeher vor der Herausforderung des richtigen Umgangs mit brandlastreichen Materialien und inhomogenen Stoffströmen, welche regelmäßig auch (brand-)gefährliche Störstoffe enthalten.

### 1.1 Aktuelle Situation

In den letzten Jahren wurde durch steigende Zahlen zu Brandereignissen jedoch ein neuer Höhepunkt erreicht. In Europa und Nordamerika mehren sich die Berichte über steigende Brandzahlen in abfallwirtschaftlichen Anlagen (u.a. Anonym 2018a, Messenger 2017, Fogelman 2018).

In Österreich waren insbesondere die letzten drei Jahre (2015 – 2017) sehr schadensreich. Die ersten beiden aufgrund der hohen Anzahl an Brandereignissen, letzteres hinsichtlich der enormen Schadenssummen einiger Brandfälle.

Aufgrund dieser Häufung aktueller Brandereignisse gründete der Verband der österreichischen Entsorgungsbetriebe (VOEB) Ende 2017 eine Arbeitsgruppe, die sich mit dem Thema Brandschutz in der Abfall- und Entsorgungswirtschaft auseinandersetzt. Diese Arbeitsgruppe hat zum Ziel, branchenspezifische brandschutztechnische Leitlinien und Empfehlungen zu entwickeln.

## 1.2 Problematik

Große industrielle und gewerbliche Brandereignisse erweisen sich grundsätzlich aus Sicht des Umweltschutzes als problematische Mehrbelastung, da sie jahrelange umwelttechnische Bemühungen unserer Gesellschaft ad absurdum führen. Besonders deutlich wird das, wenn man bedenkt, dass ein einzelner großer Brandfall potentiell höhere Umweltauswirkungen hat, als die jährlichen Emissionen aller schwedischen Müllverbrennungsanlagen zusammen (Ibrahim et al. 2013).

Abgesehen davon stehen regelmäßige Brandereignisse in abfallwirtschaftlichen Umfeld eindeutig im Konflikt zu den ersten drei Zielen der österreichischen Abfallwirtschaft (vgl. AWG 2002). Diese sind:

- die Vermeidung schädlicher Einwirkungen auf Mensch, Tier und Pflanze, deren Lebensgrundlagen und deren natürliche Umwelt (1),
- das Geringhalten der Emission von Luftschadstoffen und klimarelevanten Gasen (2) und
- die Schonung von Ressourcen wie etwa Rohstoffe, Wasser, Energie, Landschaft, Flächen und Deponievolumen (3).

Neben dem unternehmerischen Risiko, welches im engeren Sinne u.a. Risiken im Bereich Betriebsunterbrechung, -ausfall und Betriebseinstellung, aber auch das Wegfallen von Vertragspartnern beinhaltet, entstehen Risiken und Mehrkosten im Bereich der Umwelt- (z.B. Abfluss von verunreinigtem Löschwasser) und Personenschäden. In weiterer Folge können diese zu steigenden Behördenauflagen (u.a. in zukünftigen Genehmigungsverfahren) führen.

Das aktuell größte Problem stellen jedoch Risiken im Bereich der Sachschäden dar, weil Versicherungen aufgrund der steigenden Schadenszahlen und Schadensaufwände ihre Bereitschaft abfallwirtschaftliche Betriebe zu versichern reduzieren (u.a. Buser 2016, Ecker 2017). Diese Entwicklung führt letztlich dazu, dass der Versicherungsverlust einzelner sich als schwerwiegendes Risiko für die gesamte Branche erweisen kann und zukünftig adäquater Versicherungsschutz (wenn überhaupt) nur unter enorm steigenden Auflagen, höheren Prämien und Selbstbehalten erreicht werden kann.

Abschließend muss auch erwähnt werden, dass ebenso das gute Image der Branche auf dem Spiel steht. So könnte bspw. durch vermehrte mediale Berichterstattung über zahlreiche Brandereignisse die Akzeptanz der Abfallbehandlung in der Bevölkerung sinken. Über die Folgen einer solchen negativen Entwicklung (z.B. Feedback-Loop durch sinkende „Trennmoral“ in der Bevölkerung) kann derzeit nur spekuliert werden.

## 2 GRUNDLAGEN UND RAHMENBEDINGUNGEN IN DER ABFALLWIRTSCHAFT

Im Folgenden wird einerseits auf brandschutztechnische Grundlagen, andererseits auf relevante Rahmenbedingungen der Abfall- und Entsorgungswirtschaft eingegangen. Dabei werden insbesondere jene Aspekte herausgearbeitet, die wesentlichen Einfluss auf das Brandrisiko und die Brandentstehung in Betrieben der Branche haben.

### 2.1 Brandentstehung, Brandausbreitung und sicherheitstechnische Kenngrößen

**Branddreieck:** Eine allgemeingültige Grundbedingung für die Entstehung eines Brandes ist im sogenannten Verbrennungsdreieck (auch Branddreieck genannt) wiedergegeben (siehe Abb. 1). Für einen Verbrennungsprozess bedarf es der drei Komponenten Brennstoff, Oxidationsmittel (i.d.R. Sauerstoff) und Energiezufuhr (z.B. Wärme oder Zündquelle) (Hauptmanns 2013). Darüber hinaus wird eine entstehende und

selbsterhaltende chemische Kettenreaktion oft als vierte essentielle Komponente genannt (Brandtetraeder).

Das Verbrennungsdreieck hat in Abfallwirtschaft, Entsorgung und Recycling insofern eine hohe Bedeutung, da davon auszugehen ist, dass deren oben beschriebene Grundbedingungen in vielen Fällen erfüllt sind. Der Großteil abfallwirtschaftlicher Stoffströme ist grundsätzlich brennbar, das Oxidationsmittel ist in Form des Luftsauerstoffs vorhanden und ab einer bestimmten Masse an Abfall muss angenommen werden, dass sich sicherheitsrelevante Störstoffe darin befinden, die als Zündquelle agieren können. Die prinzipielle Annahme der Anwesenheit einer Zündquelle stützt sich auch auf eine konservative Auslegung von Sicherheitsanalysen für Prozessanlagen (vgl. Mannan 2005, in Hauptmanns 2013).

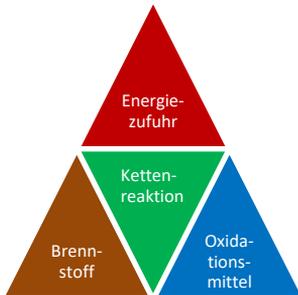


Abb. 1: Verbrennungsdreieck (adaptiert nach Hauptmanns 2013).

**Brandausbreitung:** Im Allgemeinen wird die räumliche Ausweitung eines Brandes über die Brandausbruchsstelle hinaus durch folgende Parameter beeinflusst (Portz 2005):

- die Art und die Menge der brennbaren Stoffe,
- die Wärmeübertragungsmöglichkeiten an die Umgebung,
- die baulichen Besonderheiten der Gebäude und Anlagen,
- die meteorologische Bedingungen, etc.

Gemischte und vor allem kunststoffhaltige Abfälle sind im Allgemeinen durch eine sehr rasche Brandausbreitung gekennzeichnet (u.a. Klinkhardt 2017, Wolff & Moors 2013).

**Sicherheitstechnische Kenngrößen:** In der chemischen Industrie ist es seit langer Zeit Standard, die eingesetzten Stoffe und chemischen Substanzen und deren Reaktionsverhalten vor dem Einsatz eingehend zu untersuchen. Dies ist die Grundvoraussetzung für die sichere Durchführung von chemischen und physikalischen Prozessen und stellt darüber hinaus die Grundlage für ein angemessenes und funktionierendes Sicherheitskonzept (BG RCI 2016).

Die Ermittlung von sicherheitstechnischen Kenngrößen und Methoden zu deren Bestimmung hat sich bisher aber an Reinstoffen oder an gut definierten Gemischen orientiert. Das folgende Kapitel zeigt auf, warum das im Hinblick auf Abfälle – insbesondere bei gemischten Siedlungsabfällen – problematisch ist und viele sicherheitstechnische Kenngrößen für Abfälle nicht exakt bestimmbar sind.

## 2.2 Abfallzusammensetzung und Brennbarkeit von Abfällen

**Abfallzusammensetzung:** Im Gegensatz zu den Stoff- und Materialströmen anderer Branchen, wie etwa der Holz- oder der chemischen Industrie, sind Abfälle und abfallwirtschaftliche Stoffströme in ihren chemisch-physikalischen Eigenschaften weniger genau definierbar:

- Abfälle sind in ihrer (stofflichen und materiellen) **Zusammensetzung sehr heterogen** und an sich hohen Schwankungen unterworfen. Auf diese wesentliche Abfalleigenschaft wurde in der Literatur bereits vielfach hingewiesen (u.a. Zacharof & Butler 2009, Zwisele 2004) und bedingt auch die Entwicklung umfangreicher Normen zur Charakterisierung von Abfällen. Dazu zählen beispielweise ÖNORM EN 14899 (ASI 2006), ÖNORM S 2123 (ASI 2003), ÖNORM S 2097 (ASI 2005) und LAGA P 98 (LAGA 2001).
- Abfälle (v.a. gemischte Siedlungsabfälle) sind darüber hinaus **saisonalen und regionalen Schwankungen** unterworfen (u.a. Denafas et al. 2014). Erstere sind vor allem auf das unterschiedliche Konsum- und Nutzungsverhalten, zweitere auf Unterschiede in der Siedlungsstruktur und in den abfallwirtschaftlichen Sammel-systemen zurückzuführen.
- Vor allem Siedlungsabfälle sind nicht zuletzt je nach Abfallart mehr oder weniger stark mit **Anhaftungen und Verschmutzungen** versehen. Deren Einfluss bei Sortierprozessen ist aktuell Gegenstand der Forschung (Pomberger & Küppers 2017). Darüber, wie sich Anhaftungen und Verschmutzungen sicherheitstechnisch auswirken, ist jedoch noch sehr wenig bekannt.
- Ähnlich zum darüber liegenden Punkt (Anhaftungen & Verschmutzungen) sind Abfälle aber auch durch **Fehlwürfe** verunreinigt. Abgesehen von deren Auswirkungen auf Prozessführung und Produktqualität, können diese auch sicherheitstechnisch relevant sein. Fehlwürfe sind in der Abfallwirtschaft nicht die Ausnahme, sondern die Regel. Abfallerzeuger (Bürger, Betriebe, etc.) können weder durch gesetzliche Regelungen, noch durch breite Öffentlichkeitsarbeit zu einer hundertprozentig korrekten Sammlung gebracht werden.
- Darüber hinaus sind abfallwirtschaftliche Stoffströme, insbesondere inputseitig, **meist nicht qualitätsgesichert**. Outputseitig gibt es bspw. bei Schrott, Kompost oder Ersatzbrennstoffen (EBS) Systeme zur Qualitätssicherung (u.a. Pontilli 2002, Lorber et al. 2011).
- Die generell zunehmende Diversität eingesetzter Materialien und der Anstieg von Verbundwerkstoffen und Leichtverpackungsabfällen führen letztlich auch zu einer **steigenden spezifischen Oberfläche** von Abfällen. Letztere wird im Zuge der Abfallbehandlung je nach Aufbereitungstiefe weiter erhöht.

Darüber hinaus lässt sich die Abfall-, Entsorgungs- und Recyclingwirtschaft durch weitere ihr typische Charakteristika beschreiben. Dazu zählt eine, durch die Abfallzusammensetzung, die mechanische Beanspruchung und durch die Aufbereitung bedingte, hohe Staubbelastung in abfallwirtschaftlichen Anlagen (Held 2014).

Dem Mangel an recyclinggerechter Produktgestaltung ist es geschuldet, dass die Branche – *End-of-Pipe* – auch immer wieder Lösungskompetenz für neuartige und zukünftige Abfälle erbringen muss. Aktuelle Beispiele für sogenannte *Future Wastes* sind etwa Lithium-Ionen-Batterien, kohle- und glasfaserverstärkte Kunststoffe und Photovoltaikmodule (Pomberger & Ragossnig 2014).

Zwar hat die Branche i.d.R. durch die abfallwirtschaftliche Phasenverschiebung (Kranert & Cord-Landwehr, 2010) ein paar Jahre Zeit innovative Konzepte und Recyclingpfade zu entwickeln, jedoch hängt dieser Prozess der Produktentwicklung naturgemäß hinterher.

Ein weiteres Alleinstellungsmerkmal abfall- und entsorgungswirtschaftlich tätiger Unternehmen besteht in neuen überaus komplexen Marktsituationen, in denen nicht immer klar ist, wer Kunde, Lieferant, Mitbewerber oder Abnehmer ist. Bezeichnend für Abfall- und Sekundärressourcenmärkte sind auch atypische, veränderliche Transaktionsbeziehungen, welche auch als Verwertungsparadoxon beschrieben wurden. Dieses besagt, dass abhängig von der Marktsituation, der Geld- und Warenfluss sowohl gleichläufig als auch gegenläufig sein kann (Gelbmann 2012).

**Brennbarkeit von Abfällen:** Die Brennbarkeit ist im Allgemeinen jene Eigenschaft eines Stoffes nach der Entflammung weiter zu brennen, auch wenn die Zündquelle entfernt worden ist (u.a. Portz 2015). Nach BG RCI (2016) ist „brennbar“ ein umgangssprachlicher Überbegriff für Stoffe, die als entzündbar im Sinne der CLP-Verordnung (EC 2008) oder Transportvorschriften eingestuft sind, aber darüber hinaus auch für Stoffe, die erfahrungsgemäß oxidiert werden können. Ob und ab wann Abfälle brennbar sind oder nicht ist in der Literatur (etwa im Abfallrecht) nicht exakt definiert. Bei der Einteilung von Abfällen nach thermodynamischen Eigenschaften (z.B. sicherheitstechnische Kenngrößen) wird i.d.R. nur auf den Heizwert (Hu) zurückgegriffen, nicht jedoch auf die grundlegende Eigenschaft der Brennbarkeit (siehe Abfallverbrennungsverordnung, BMLFUW 2002).

### *2.3 Abfallwirtschaftliche Störstoffe als versteckte Zündquellen*

Im abfallwirtschaftlichen Kontext betrachtet man i.d.R. jene Stoffe als Störstoffe, die aus Sicht des Aufbereitungsprozesses oder der Output- bzw. Produktqualität problematisch sind. Eine sicherheitstechnische Störstoffbetrachtung im Sinne des Brandschutzes ist aber erst in den letzten Jahren von größer werdender Bedeutung. Zu den Störstoffen, die in abfallwirtschaftlichen Stoffströmen jedenfalls als Zündquellen fungieren können, gehören:

- Batterien (und Akkumulatoren),
- ungelöschter Branntkalk (Calciumoxid),
- Druckgaspackungen,
- Verunreinigungen und Anhaftungen von Lösungsmitteln oder anderen leicht entzündlichen Substanzen (z.B. in Werkstättenabfällen) und
- phosphinbildende Mittel zur Schädlingsbekämpfung (Calciumphosphid).

Die Relevanz der einzelnen Zündquellen hat sich in den letzten Jahr(zehnt)en verändert. Dabei spielen unter anderem die folgenden drei Faktoren eine bedeutende Rolle:

- technische Entwicklungen, die den Einsatz neuer Materialien ermöglichen und von denen am Ende ihres Lebenszyklus eine Brandgefahr ausgeht,
- das Bewusstsein in der Bevölkerung über die Gefährlichkeit solcher Produkte und Materialien und
- die Häufigkeit des Auftretens dieser Produkte und Materialien im Abfall.

Batterien (und Akkumulatoren; nachfolgend wird in diesem Beitrag von Batterien gesprochen) waren ursprünglich „lediglich“ aus Sicht der enthaltenen Schadstoffe (hauptsächlich Schwermetalle) und des daraus resultierenden Gefährdungspotenzials für Mensch und Umwelt regelungsbedürftig (vgl. Batterieverordnung, BMLFUW 2008). Erst durch einen Technologiesprung – nämlich durch die enorm gestiegene Energie- und Leistungsdichte von Lithium-basierten Batteriesystemen im Vergleich zu herkömmlichen elektrochemischen Batteriesystemen – und der dadurch bedingten Ausweitung des Einsatzbereiches wurden Batterien auch aus Gründen der Sicherheit ein Thema (siehe Abfallbehandlungspllichtenverordnung, BMLFUW 2017).

### 3 BRANDEREIGNISSE IN DER ABFALLWIRTSCHAFT

Weder in Österreich noch in Deutschland gibt es eine systematische Erfassung der Brandereignisse der Branche. Jedoch gibt es einzelne Erhebungen bzw. Studien, die aus unterschiedlichen Anlässen die Brandfälle bestimmter Zeiträume und Regionen erheben oder näher betrachten (z.B. Holzer 2007, Komp 2016, SMUL 2007, SMUL 2015).

#### 3.1 Historische und zukünftige Entwicklung bei Brandereignissen

**Historische Entwicklung:** Die Summe bisheriger Untersuchungen zeigt, dass das Brandgeschehen in abfallwirtschaftlichen Betrieben einer historischen Entwicklung unterworfen ist. Dies zeigt sich insbesondere bei genauerer Betrachtung des Brandortes. Über die letzten drei Jahrzehnte gab es eine Verschiebung des „dominierenden“ Brandortes von der Deponie in die Zwischenlager- und Lagerbereiche und dann weiter in die Behandlungsanlagen. Diese Entwicklung und ihre Einflussgrößen werden nachfolgend beschrieben:

- Aus der weitreichenden Praxis der 1980er und 1990er Jahre Abfälle (z.B. gemischte Siedlungsabfälle, Altreifen) unbehandelt zu deponieren, folgte, dass sich Brandfälle hauptsächlich auf Deponien ereigneten.  
Eine Studie aus Finnland zeigt, dass es Ende der 1980er / Anfang der 1990er Jahre 0,6 Brandfälle pro Deponie und Jahr gab, was landesweit rd. 380 Brände pro Jahr bedeutete (Ettala et al. 1996).  
Deponiebrände sind durch ihre mitunter lange Branddauer (Tage bis Monate), geringe Sachschäden und hohen Umweltschäden charakterisiert und werden zu einem großen Teil durch Selbstentzündung verursacht (u.a. Ettala et al. 1996).
- Die ungeordnete Ablagerung und Deponierung von unbehandelten Abfällen zogen jedoch starke Umweltauswirkungen nach sich und führten folglich europaweit zu entsprechend weitreichenden Gesetzesänderungen. Durch das grundlegende Umdenken im Umgang mit „reaktiven“ Abfällen und das daraus resultierende Verbot der Deponierung unbehandelter Abfälle ergab sich in einigen Ländern ein vorübergehender Engpass an geeigneten Behandlungsanlagen (insbesondere an Müllverbrennungsanlagen und mechanisch-biologischen Abfallbehandlungsanlagen).  
Die Folge war die Notwendigkeit einer kurz- bis mittelfristigen Zwischenlagerung; einerseits von unbehandelten Abfällen, andererseits von bestimmten (meist heizwertreichen) Abfallfraktionen (Holzer 2007).
- Etwa seit Beginn der 2010er Jahre folgt nun eine weitere Verlagerung der Brandereignisse in die Behandlungsanlagen selbst, welche u.a. durch die weiterhin steigenden Aufbereitungstiefen und Recyclingquoten sowie die höhere Diversität der Abfälle bedingt ist.

Der zeitliche Verlauf von dokumentierten Brandereignissen für Österreich (Holzer 2007, Nigl & Rübenbauer unpubl.) Schweden (Ibrahim et al. 2013), das Vereinigte Königreich (Oliver & Brown 2014), Sachsen (SMUL 2007, SMUL 2015) und Nordrhein-Westfalen (NRW, Komp 2016) ist in Abb. 2 dargestellt.

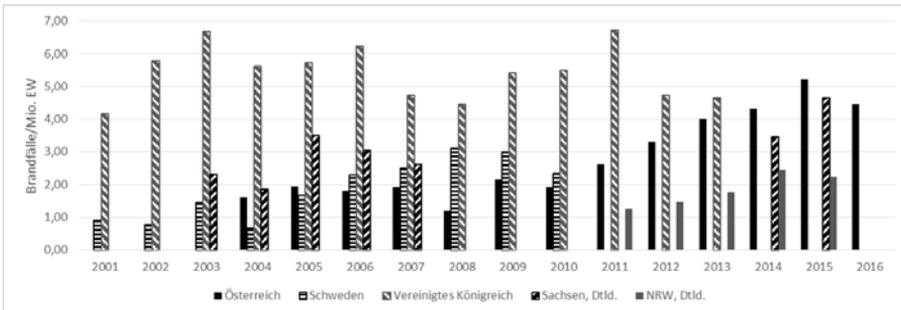


Abb. 2: Zeitlicher Verlauf von Brandereignissen in Österreich, Schweden, dem Vereinigten Königreich, Sachsen und Nord-Rhein-Westfalen.

Der Vergleich zeigt zum einen, dass abgesehen von den Daten des Vereinigten Königreiches (stagnierende Werte), in allen Regionen ein deutlicher Anstieg an Brandereignissen über den (jeweiligen) Betrachtungszeitraum zu erkennen ist. Zum anderen ist erkenntlich, dass die Anzahl der Brandereignisse pro Million Einwohner stark variiert. Dies ist einerseits auf die unterschiedlichen Untersuchungsrahmen der einzelnen Studien zurückzuführen, andererseits spielen die rechtlichen Voraussetzungen in den einzelnen Regionen eine Rolle.

Da sich die mediale Berichterstattung oft auf die großen Brandereignisse beschränkt, die öffentlichkeitswirksam dargestellt werden können, kleinere Brände jedoch fast täglich in den Betrieben auftreten, entsteht möglicherweise ein falscher Gesamteindruck. Daher ist im Hinblick auf die Repräsentativität auch der oben genannte Untersuchungsrahmen der Studien von größerer Relevanz, da die eingesetzte Methodik bei der Datenerhebung möglicherweise einen wesentlichen Einfluss auf die Anzahl der ermittelten Brandereignisse hat.

**Zukünftige Entwicklung:** Zumindest in kurz- und mittelfristiger Zukunft ist für abfallwirtschaftliche Betriebe ein weiter ansteigendes Risiko zu erwarten, welches u.a. durch:

- eine weitere Veränderungen in der Abfallzusammensetzung (höhere Stoff- und Materialdiversität),
- die Veränderung der Zusammensetzung von Altbatterien (steigender Anteil von Lithiumbatterien im End-of-Life) und
- die Steigerung von Aufbereitungstiefe und Recyclingquoten (siehe Kreislaufwirtschaftspaket der EU) bedingt ist.

Darüber hinaus erzeugt der aktuelle und weitreichende chinesische Importstopp für Abfälle vor allem im Bereich der Altkunststoffe für zusätzlichen Druck auf dem europäischen Markt (Anonym 2018b). Ein Mangel an geeigneten Behandlungskapazitäten könnte zu einem höheren Risiko führen, da Anlagen möglicherweise häufiger unter Überlastbedingungen betrieben werden oder Abfälle wieder vermehrt zwischengelagert werden müssen.

### 3.2 Brandursachen

Die Ursachen der Brände in abfallwirtschaftlichen Anlagen sind sehr vielfältig und sind zum Teil branchenspezifischer aber auch nicht branchenspezifischer Natur (Wolff & Moors 2013). Bei einem denkbar breiten Spektrum an möglichen Brandursachen –

von Selbstentzündung, über biologische und chemische Reaktionen, hin zu heiß laufenden Maschinenteilen, elektrischen Einwirkungen, Umwelteinflüssen und Brandstiftung (vgl. Klinkhardt 2017) – bleibt die genaue Brandursache aber oft unbekannt.

In der Regel gehen die Angaben zu abfallwirtschaftsspezifischen Brandursachen in der Literatur nicht über qualitative Auflistungen hinaus. Lediglich LANUV (2016) hat bisher den Versuch unternommen, diese zu quantifizieren. Dabei unterscheiden die Autoren zwischen gesicherten und ungesicherten Brandursachen. Bei lediglich 25 Prozent der Fälle konnte damals die genaue Brandursache festgestellt werden.

Dabei ist zu beachten, dass unterschiedliche Brandursachen nicht in gleichem Maße ermittelbar sind. So sind technische Defekte und Brandstiftung, aber auch Blitzschlag tendenziell leicht festzustellende Brandursachen, wohingegen abfallbezogene Brandursachen tendenziell schwieriger zu ermitteln sind.

Dies schlägt sich natürlich auch in der Brandursachenstatistik von Abfallbehandlungsanlagen wieder. In der Studie von Holzer (2007) wird davon ausgegangen, dass die Bedeutung der unterschiedlichen Brandursachen bei Abfallbehandlungsanlagen nicht grundsätzlich anders zu beurteilen sein wird, als bei anderen industriellen und gewerblichen Anlagen. Dabei ziehen sie die Brandursachenstatistik in den Bereichen Industrie und Gewerbe (in Oberösterreich, Jahr 2005) als Vergleich heran.

Bei genauerer Betrachtung der einzelnen Brandursachen wird jedoch klar, dass diese Annahme nur bedingt zutrifft. In Tab. 1 sind die Brandursachen für Abfallwirtschaft, Entsorgung und Recycling (AbER, Holzer 2007, SMUL 2007, SMUL 2015, LANUV 2016) den Brandursachen aus Gewerbe und Industrie (aus Oberösterreich, BVS OÖ 2018) gegenübergestellt.

Tab. 1: Gegenüberstellung von Brandursachen.

Region Zeitraum Branche Quelle, adaptiert nach Anzahl Brandereignisse	Österreich	Sachsen		NRW	Gesamt	Oberösterreich	
	2003-07 AbER	2003-07 AbER	2014-15 AbER	2011-14 AbER	2003-15 AbER	Industrie BVS OÖ 2018	Gewerbe n=1018
	Holzer 2007 n=58	SMUL 2007 & 2015 n=57	n=33	LANUV 2016 n=94	(s.links) n=242	n=163	n=1018
<b>1. Blitzschlag</b>						7%	19%
<b>2. Selbstentzündung</b>	17%	23%	36%	33%	27%	7%	4%
<b>3. Wärmeenergie &amp; -geräte</b>		2%				6%	17%
<b>4. Mechanische Energie</b>		2%	6%		1%	22%	12%
<b>5. Elektrische Energie</b>		2%	3%		1%	25%	17%
<b>6. Offenes Licht &amp; Feuer</b>	2%	5%		4%	3%	9%	15%
<b>7. Behälter-Explosion</b>						1%	
<b>8. Brandstiftung</b>		33%	6%	9%	12%	3%	10%
<b>9. Sonstige</b>	3%	7%	3%	29%	14%	2%	1%
<b>10. Unklar, unbekannt</b>	78%	26%	45%	26%	41%	18%	6%
<b>Summe</b>	<b>100%</b>	<b>100%</b>	<b>100%</b>	<b>100%</b>	<b>100%</b>	<b>100%</b>	<b>100%</b>

Bei dieser Gegenüberstellung sind zwei Aspekte zu beachten. Zum ersten wurde nicht zwischen gesicherten und vermuteten Brandursachen unterschieden, da wie oben genannt lediglich eine Quelle gesicherte Brandursachen separat aufschlüsselte. Zum zweiten wurden, um die Vergleichbarkeit der Angaben zu gewährleisten, die Brandursachen dem in Österreich verbreiteten Brandursachenschlüssel zugeordnet, da die Angabe der Brandursache in den einzelnen Quellen terminologisch nicht immer einheitlich geschah. Dabei wurden Fälle der Kategorie *Sonstige* zugeordnet, wenn diese terminologisch nicht eindeutig zuordenbar waren (z.B. technischer Defekt); oder sie wurden der Kategorie *Unklar/unbekannt* zugeordnet, wenn die Brandursache nicht oder lediglich auf einige wenige Brandursachen eingegrenzt werden konnte.

Bemerkenswert ist jedoch, dass *Blitzschlag* als Brandursache in der Branche Abfallwirtschaft, Entsorgung und Recycling (AbER) keine Rolle spielt, *Selbstentzündung* jedoch im Vergleich zu den branchenübergreifenden Zahlen für Gewerbe und Industrie wesentlich häufiger vorkommt (siehe Tab. 1).

Auffällig ist auch eine sehr hohe Bandbreite bei der Brandursache *Brandstiftung*, wobei der starke Ausreißer (33 % in Sachsen, 2003-07) zum Teil auf einen Serientäter zurückzuführen ist. Unter entsprechender Berücksichtigung ist der Anteil der *Brandstiftung* insgesamt mit den Werten für Gewerbe (aus OÖ) vergleichbar. Der niedrige Vergleichswert bei Industrie (aus OÖ) zeigt aber, dass man mit entsprechenden Maßnahmen noch Verbesserungen erreichen werden können.

Die deutlich höheren Werte bei *sonstigen* Brandursachen sind teilweise dadurch zu erklären, dass technische Defekte mangels genauerer Information nicht den Kategorien (3. *Wärmeenergie & -geräte*, 4. *Mechanische Energie* oder 5. *Elektrische Energie*) zugeordnet werden konnten.

Jedoch bleibt – wie auch deutlich aus der Brandursachenstatistik hervorgeht – ein großer Teil der abfallwirtschaftlichen Brandursachen *unbekannt*. Aus diesem Mangel an Wissen entsteht zwangsläufig die Gefahr, falsche Schlüsse zu ziehen (Milke 2003), weshalb es dringend nötig ist, weiter intensive Brandursachenforschung zu betreiben. Dies gilt insbesondere, da das Spektrum an möglichen Brandursachen breiter wird (Nigl & Rübenbauer unpubl.), aber die einzelnen Brandursachen und somit deren Bedeutung nicht ausreichend quantifiziert werden können.

Im Folgenden wird nun auf einzelne – für Abfallwirtschaft, Entsorgung und Recycling wesentliche – Brandursachen, wie Selbstentzündung oder Brände, die durch Batterien ausgelöst werden, näher eingegangen:

**Selbsterwärmung & Selbstentzündung:** Die Mechanismen der Selbstentzündung wurden im Hinblick auf Abfälle – aufgrund der zunehmenden Brandfälle bei der Zwischenlagerung – in den 2000er Jahren eingehend untersucht (z.B. Moors 2006, Pomberger et al. 2006, Holzer 2007, Wagner & Bilitewski 2009).

Die Selbsterwärmung und Selbstentzündung von Schüttgütern sind im Wesentlichen durch biologische (mikrobiologische) Prozesse und exotherme chemisch-physikalische Prozesse bedingt (Holzer 2007). Durch einen Wärmestau (Kunststoffe sind in der Regel gute Isolatoren) kann die Selbstentzündungstemperatur einzelner Abfallstoffe überschritten werden (Moors 2006).

Folgende stoffspezifische Parameter sind im Hinblick auf das Selbstentzündungspotenzial von Abfällen relevant (vgl. Held et al. 2011, Holzer 2007, Moors 2006, Pomberger et al. 2006):

- Anteil an organischem Material und Wassergehalt,
- Korngrößenverteilung sowie Anhaftungen und Verschmutzungen,
- spezifische Oberfläche und Wärmeleitfähigkeit des Materials,
- Lückengrad und Reaktionskinetik, etc.

Maßgeblich ist in diesem Zusammenhang die Zusammensetzung des Abfalls selbst. So haben gängige Kunststoffe i.d.R. Zündtemperaturen zwischen 350 und 560 °C (Ortner & Hensler 1995). Zellulosebasierte Materialien, wie etwa Holz, Papier oder Baumwolle, haben aber deutlich niedrigere Zündtemperaturen, welche durch Anhaftungen und Verschmutzungen weiter herabgesetzt werden können.

Dies ist insofern relevant da Moors (2006) in Laborversuchen demonstrierte, dass unter Versuchsbedingungen bereits eine Erwärmung auf 144 °C ausreichen kann, um eine Selbstentzündung des Kunststoffrecyclingmaterials auszulösen.

Zudem haben systemspezifische Parameter einen wesentlichen Einfluss auf den Selbsterwärmungsprozess. Darunter fallen bspw. Lagerbedingungen wie:

- die Umgebungstemperatur (→ Einfluss auf die Reaktionsgeschwindigkeit),
- der Stoff- und Wärmetransport durch das Material (diffusiv und konvektiv) und
- die Geometrie, Begrenzung und Umgebung der Schüttung, etc. (Pomberger et al. 2006).

Hogland & Marques (2003) haben in einem Langzeitversuch gezeigt, dass die Inkubationszeit besonders lang sein kann. In ihren Versuchen mit unsortierten Gewerbeabfällen und heizwertreichen Abfallfraktionen kam es erst nach sechs Monaten zur Selbstentzündung.

Dies macht die große Herausforderung deutlich, die sich bei der Untersuchung des Selbstentzündungsverhaltens von Abfällen ergibt. Die nötigen großen Probenvolumina sind nur bedingt labortauglich und können eben auch sehr lange Inkubationszeiten mit sich bringen (vgl. Schoßig et al. 2010).

Wissenschaftliche Modelle zur Simulation des Selbstentzündungsverhaltens von Ersatzbrennstoffen und anderen Recyclingstoffen wurden etwa von Pomberger et al. (2006), Schoßig et al. (2010) und Held et al. (2011) entwickelt.

#### 4 NEUE BRANDRISIKEN DURCH BATTERIEN

Etwa seit Mitte der 2000er Jahre ist eine starke Zunahme an Lithium-Ionen-Batterien bei der In-Verkehr-Setzung von Gerätebatterien zu beobachten. Dies ist vor allem auf die starke Marktdurchdringung von Lithium-Ionen-Batterien zurückzuführen. Dazu kommt insbesondere in den letzten Jahren ein starker Aufwärtstrend beim Absatz von E-Bikes, welche ebenfalls fast ausschließlich von Lithium-Ionen-Batterien angetrieben werden. Zu beobachten ist jedoch auch, dass die Sammelmengen gerade bei Gerätebatterien auf Lithium-Basis der In-Verkehr-Setzung stark hinterher hinken (Nigl & Pomberger 2016). Letzteres ist auf mehrere Gründe zurückzuführen: Einerseits wirkt sich die Verschiebung der Marktanteile von Primär- zu Sekundärbatterien auf die durchschnittliche Lebenserwartung und somit auf den Rücklauf dieser Batterien aus (Colin 2017). Andererseits liegt aufgrund der sinkenden Entnehmbarkeit der Batterien, der Schluss nahe, dass diese möglicherweise am Ende ihres Lebenszyklus andere Entsorgungswege gehen als herkömmliche Batterien (Nigl & Pomberger 2016).

Bei Batterien aus dem Automotive-Sektor (z.B. Elektrofahrzeug, Plug-in-Hybrid) ist dies zur Zeit durch das dichte Netz an Servicestellen der Hersteller und deren direkten Entsorgungspartnern nicht so problematisch, wie bei Gerätebatterien.

##### 4.1 Batterien als Zündquelle

Batterien – allen voran jene auf Lithium-Basis – stellen insbesondere dadurch einen sicherheitsrelevanten Störstoff dar, da sie auf zwei unterschiedliche Arten als Zündquelle fungieren können. Einerseits durch die in ihr gespeicherte elektrische Energie, welche andere (leicht entzündliche) Abfälle entzünden kann; andererseits durch die bei einem inneren Kurzschluss frei werdende Wärmeenergie. Darüber hinaus weisen diese Batterietypen aufgrund brennbarer Bestandteile selbst eine hohe Brandlast auf. Abb. 3 zeigt die möglichen Auslösemechanismen, ein Ablaufschema und die Auswirkungen der thermischen Zersetzung bei Lithium-Ionen-Batterien nach Fleischhammer & Döring (2013) und unterscheidet dabei zwischen Einflüssen durch externen Fehlgebrauch und zellinternen Abläufen.

Eine grundlegende Problematik aus abfallwirtschaftlicher Sicht besteht nun darin, dass nicht nur die Verteilung potenziell gefährlicher Batterien unbekannt ist, sondern

auch deren Vorgeschichte in der Nutzungsphase und somit auch der Zustand und das daraus resultierende Gefährdungspotenzial. Eine Altbatterie ist somit eine Blackbox.

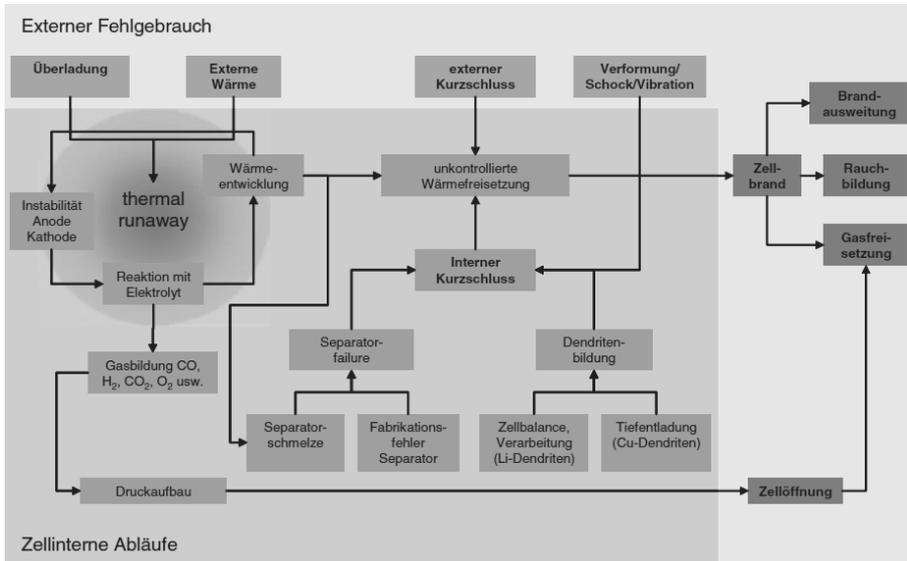


Abb. 3: Auslöser, Ablauf und Auswirkungen der thermischen Zersetzung einer Lithium-Ionen-Batterie (Fleischhammer & Döring 2013).

#### 4.2 Batterien als Störstoff

In der abfallwirtschaftlichen Wertschöpfungskette, welche sich über die Sammlung, den Transport und die Lagerung sowie die Behandlung, die Verwertung und allfällige Deponierung von Abfällen erstreckt, können an unterschiedlichen Stellen Gefahren von Batterien ausgehen.

Beispiele möglicher Gefahrstellen und Risiken werden in der nachfolgenden Tab. 2 am Abfallstrom Restmüll (gemischte Siedlungsabfälle) dargestellt.

Die Rundzelle ist die Bauform von Gerätebatterien mit der weitesten Verbreitung und bedingt, dass sich diese in bestimmten Bereichen von Aufbereitungsanlagen, z.B. am unteren Ende von Steigbändern akkumulieren können. In Abhängigkeit von der baulichen und technischen Ausführung der Förderbänder können Batterien über diese abrollen und bleiben dann wie ähnlich geformte Partikel oder auch Feinmaterial unter den Förderbändern oder in dafür vorgesehenen Auffangkästen liegen. Da diese Anlagenbereiche oft nicht gut zugänglich oder überwacht sind, kann eine beschädigte Batterie dort eine besondere Brandgefahr darstellen.

Das Risiko, dass eine Batterie durch einen externen Kurzschluss beschädigt wird, ist prinzipiell in allen Stufen der abfallwirtschaftlichen Wertschöpfungskette gegeben. Als besonders relevant einzustufen ist dies bei der Monosammlung von Gerätebatterien (gemischte Batteriesammlung), da dort die Anzahl an potenziell elektrisch leitenden Kontaktflächen und die Verweildauer besonders hoch sind. Eine Reihe von rezenter Schadensfällen mit teilweise sogar explosionsartigem Brandverlauf zeigt dies deutlich.

Tab. 2: Beispielhafte Darstellung möglicher Gefahren durch Gerätebatterien im Restmüll (gemischte Siedlungsabfälle) (eigene Darstellung).

Anlage bzw. Prozessschritt	Mögliche Gefahren	Risikobewertung
Sammelbehälter	Beschädigung durch externen Kurzschluss	gering
Ladetätigkeit		gering
Abfallsammelfahrzeug	mechanische Beschädigung durch Pressvorgang	mittel
Entladetätigkeit	mechanische Beschädigung beim Abkippen	gering
Abfallbunker / Inputlager	Beschädigung durch externen Kurzschluss	mittel - hoch
Umladetätigkeit	mechanische Beschädigung durch Radlader oder Greifer	mittel
Behandlungsanlage	mechanische Beschädigung bei Vorzerkleinerung, gefährliche Wärmeentwicklung nach Beschädigung	mittel - hoch
Outputlager	Beschädigung durch externen Kurzschluss, gefährliche Wärmeentwicklung nach Beschädigung	gering - mittel

**Batterieanteil im Restmüll:** Sortieranalysen zeigen, dass der Anteil von Gerätebatterien im österreichischen Restmüll im Jahr 2016 bei rd. 0,05 % lag ( $s: \pm 0,03 \%$ ). Davon entfielen 0,002 % ( $s: \pm 0,004 \%$ ) auf Lithiumbatterien. Hochgerechnet auf das jährliche Restmüllaufkommen in Österreich (etwa 1,4 Mio. Tonnen) ergibt das mit 713 t jedoch eine beachtliche Menge (Nigl 2017).

**Risikoabschätzung:** Hinsichtlich der Anzahl an Batterien wurden durchschnittlich 20 Stück Gerätebatterien und 0,5 Stück Lithiumbatterien pro Tonne Restmüll gefunden. Auch dieser Wert lässt sich auf das oben genannte Abfallaufkommen hochrechnen, wonach jährlich mit etwa 700.000 Lithiumbatterien im Restmüll zu rechnen ist.

Auf Basis von grundlegenden Annahmen – für die durchschnittliche Restladung und dem durchschnittlichen Zustand von Altbatterien sowie der Wahrscheinlichkeit für eine mechanische Beschädigung – wird die Wahrscheinlichkeit für eine kritische Beschädigung einer Lithiumbatterie mit  $p = 0,0001$  geschätzt. Das bedeutet ein Potenzial von etwa 70 Zündquellen und daraus folgenden Brandereignissen pro Jahr in abfallwirtschaftlichen Betrieben. Im Anbetracht der Tatsache, dass es in Österreich jährlich etwa 40 bis 50 öffentlich dokumentierte Brandereignisse gibt, ist dies doch ein sehr hoher Wert.

Für eine fundierte Risikobetrachtung bedarf es allerdings einer zusätzlichen Untersuchung und Bewertung der oben genannten Einflussgrößen.

## 5 STRATEGIEN UND MASSNAHMEN

In Anbetracht der negativen Entwicklung im Hinblick auf Brandereignisse und der drohenden Konsequenzen bedarf es einer deutlichen Reaktion der gesamten Branche. Dieses Kapitel beleuchtet zuerst die entsprechenden rechtlichen Rahmenbedingungen und vorhandenen Richtlinien und geht dann auf mögliche Strategien und Maßnahmen ein.

## 5.1 Rechtsgrundlagen und Richtlinien

Brandschutz ist in Österreich keine einheitliche Rechtsmaterie, sondern setzt sich aus vielen Rechtsnormen der Bundes- und Landesgesetzgebung zusammen, die sich mit den Themen Arbeitssicherheit und Baurecht befassen.

Diese werden durch Richtlinien, wie etwa die *Technischen Richtlinien Vorbeugender Brandschutz (TRVB)* und die *Richtlinien des österreichischen Instituts für Bautechnik (OIB-RL)* ergänzt.

Über den gesetzlichen Bereich hinaus erschienen insbesondere zur Problematik der Zwischenlagerung von (unbehandelten) Abfällen bisher eine Vielzahl an Richtlinien und Leitlinien. Darunter fallen u.a.:

- *Muster-Kunststofflager-Richtlinie* (ARGEBAU 1997),
- *Brandschutz in Abfallzwischenlagern* (Bräcker 2006),
- *Anforderungen an die Zwischenlagerung von heizwertreichen Abfällen* (Holzer 2007),
- *Brandschutztechnische Richtlinien für die Lagerung von Sekundärrohstoffen aus Kunststoff* (Richtlinie 2513, VdS 2008) und
- *Leitfaden zur Brandvermeidung durch Selbstentzündung bei der Lagerung von Recycling- und Deponiestoffen* (Berger et al. 2010).

Richt- bzw. Leitlinien mit einem breiteren Fokus auf anlagentechnischen Brandschutz in Abfallbehandlungsanlagen sind u.a.:

- *Schutzmaßnahmen für Betriebe zur Sortierung, Aufbereitung und Lagerung von Altstoffen oder Müll* (VVO 2006) und
- *Sortierung, Aufbereitung und Lagerung von Siedlungsabfällen und brennbaren Sekundärrohstoffen – Hinweise für den Brandschutz* (Richtlinie 2517, VdS 2011).

Aus regulatorischer Sicht resultiert daraus jedoch die Frage, warum Brandereignisse ein steigendes Problem darstellen. So leitet LANUV (2016) aus der Häufung an Brandereignissen in Nord-Rhein-Westfalen ab, dass die bestehenden Brandschutzvorkehrungen (von Abfallbehandlungsanlagen) zu hinterfragen sind. Klinkhardt (2017) geht in seinem Beitrag sogar so weit zu sagen, dass funktionierende Konzepte zum Schutz von Recycling- und Entsorgungsbetrieben nicht vorhanden sind.

Darum ist es nötig, über die bisherigen Schutzmaßnahmen hinaus, weitere Ansätze und Möglichkeiten aufzuzeigen und zu definieren, um das Risiko zu senken und Brandereignisse weitestgehend zu vermeiden.

## 5.2 Ansätze zur Risikominimierung

**Eco Design:** Durch eine recyclinggerechte Produktgestaltung kann der Einsatz von Gefahrstoffen in Produkten minimiert bzw. vermieden werden. Dazu ist es aber nötig, bereits frühzeitig im Produktentwicklungsprozess die End-of-Life-Phase des Produkts und somit auch Aspekte der Abfallvermeidung, der Entsorgungslogistik und auch des Recyclings zu berücksichtigen (Schwarz et al. 2015).

Im Sinne der erweiterten Produzentenverantwortung (EPR) ist der ledigliche Nachweis von Sammel- und Verwertungsquoten nicht ausreichend, solange brandgefährliche Produkte im *End-of-Life* ökonomische und ökologische Schäden verursachen. In-Verkehr-Setzer und Hersteller sind hier gefordert, neue Modelle der Verantwortungsübernahme einzuführen.

**Vermeidung & Abscheidung von Störstoffen:** Es ist aber nicht damit zu rechnen ist, dass der Einsatz von brandgefährlichen Stoffen auf null reduziert werden kann.

Daher bedarf es Maßnahmen, um zu vermeiden, dass diese als Störstoffe in abfallwirtschaftliche Stoffströme eingebracht werden, und um Störstoffe zuverlässig aus Stoffströmen ausschleusen zu können.

Auch Jahrzehnte nach Einführung der getrennten Erfassung von Abfällen, hat die Aussage „die Qualität beginnt beim Input“ nicht an Gültigkeit verloren. Dies gilt insbesondere, wenn Lithiumbatterien in Form von Fehlwürfen in verschiedenen Abfallfraktionen für ein stark erhöhtes Brandrisiko sorgen.

Auch wenn es mitunter schwierig ist, alle Bevölkerungsgruppen durch abfallwirtschaftliche Öffentlichkeitsarbeit (z.B. durch Abfallberater oder Sammel- und Verwertungssysteme) zu erreichen (Scharff 2018), so ist diese Art der Bewusstseinsbildung doch unerlässlich, um ein hohes Niveau bei der getrennten Erfassung von Abfällen zu halten oder dieses weiter zu erhöhen.

Im Hinblick auf die anhaltenden Brandfälle im Zusammenhang mit gemischtem Gewerbeabfall besteht die Möglichkeit, dass Entsorger ihr Geschäftsmodell bzw. ihre Geschäftsbedingungen (AGBs) anpassen; bspw. durch eine entsprechende Preispolitik zur Reduktion des Aufkommens gemischter Gewerbeabfallfraktionen. Dadurch könnte einerseits das Risiko reduziert werden, dass brandgefährliche Abfälle im Gemisch miteinander reagieren. Andererseits könnte ein Anreiz beim Verursacher geschaffen und somit ein Teil der entstehenden Behandlungskosten (z.B. Sortieraufwand und mögliche Brandschäden) internalisiert werden.

Eine anlagentechnische Möglichkeit der Problematik entgegenzuwirken besteht in der Störstoffabtrennung mittels (verbesserter) sensorgestützter Sortierung (Pomberger & Küppers 2017). Den wachsenden Möglichkeiten kann jedoch – trotz technischer Machbarkeit – die Machbarkeit aus ökonomischer Sicht entgegenstehen. Beispielsweise wenn der Anteil sicherheitstechnisch relevanter Störstoffe weit unter einem Promille und die nötige Anlageninvestition in einem sechsstelligen Euro-Bereich liegt.

**Risikomanagement:** Milke (2003) forderte die abfallwirtschaftliche Branche bereits vor 15 Jahren dazu auf, ein verbessertes Risikomanagement zu betreiben. Dazu gehören etwa eine fundierte Risikobewertung für abfallwirtschaftliche Anlagen, die Identifikation von risikoreichen Stoffströmen und Anlagenbereichen und das Aufdecken von Schwachstellen mittels *Failure Scenario Analysis*.

Im Vergleich zu anderen Branchen, wie etwa der chemischen Industrie, hat die Abfallwirtschaft in diesem Bereich noch Aufholbedarf.

Dazu zählt auch, Transport- und Lagergebinde sowie die Art der Lagerung regelmäßig zu evaluieren und gegebenenfalls nachzubessern oder weiter zu entwickeln. Ein möglicher Ansatz wäre, die Lagerung bei gewissen brandgefährlichen Stoffströmen (z.B. Werkstättenabfälle) von Flachbunkern auf Tiefbunkern umzustellen, da diese im Hinblick auf den konvektiven Sauerstofftransport durch die Schüttung vorteilhaft und im Brandfall auch besser zu beherrschen sind.

Die Entwicklung und Prüfung sicherer Transport- und Lagergebinde für Lithiumbatterien kann hier beispielhaft als Maßnahme des Risikomanagements bzw. des vorbeugenden Brandschutzes betrachtet werden. Dadurch können im Bereich der Monosammlung von Gerätebatterien viele Risikopotenziale reduziert oder vermieden werden (Nigl et al. 2017).

**Vorbeugender Brandschutz:** Im Bereich des vorbeugenden Brandschutzes besteht eine grundlegende Herangehensweise darin, eine oder mehrere Grundbedingungen eines Brandes (siehe Kapitel 2, Branddreieck) auszuschließen.

Da sich gezeigt hat, dass ein Großteil der Brandereignisse in Lagerbereichen (insbesondere im Inputlager) auftreten (vgl. LANUV 2016, Nigl & Rübenbauer unpubl.), kann

es zielführend sein, den Bereich der Anlieferung besser zu überwachen (z.B. mittels Wärmebildkamera), um Glutnester und thermisch auffällige Bereiche im angelieferten Material bereits frühzeitig zu erkennen.

Eine Videoüberwachung der gesamten Betriebsanlage hilft nicht nur zur Abschreckung im Bereich der fahrlässigen und vorsätzlichen Brandstiftung, sondern ist darüber hinaus nützlich bei der Analyse und Aufarbeitung kleinerer Brandereignisse. Die Ergebnisse können dann in regelmäßigen Schulungen an die Mitarbeiter weitergegeben werden.

Im Hinblick auf den Einsatzfall ist einerseits die regelmäßige Abstimmung und Übungstätigkeit des Betriebs mit der örtlichen Feuerwehr von Vorteil. Andererseits sind die gewissenhafte Planung des Löschwasserbedarfs, die Sicherstellung der Löschwasserversorgung und auch eine entsprechende Löschwasserrückhaltung unabdinglich. Brandereignisse in der Vergangenheit haben gezeigt, dass dies nicht immer im ausreichenden Maße der Fall war.

Im Bereich der Brandmeldetechnik existiert kein System, das allen Belangen von Abfallbehandlungsanlagen gerecht wird (LANUV 2016). Daher ist es derzeit unumgänglich, auf eine Kombination von Systemen zu setzen, die die Erfordernisse der einzelnen Einsatzzwecke und -bereiche erfüllen können.

Da es in der Vergangenheit auch bei etablierten und branchentauglichen Systemen (z.B. Rauchansaugsystem) häufig Schwierigkeiten oder Verzögerungen gab (LANUV 2016), ist es ratsam, die Brandmeldetechnik vorab mit einem Fachplaner abzustimmen (Klinkhardt 2017). In heiklen Anlagenbereichen bedarf es möglicherweise der Kombination von Sensoren, um eine bessere Abstimmung der Detektion auf abfallwirtschaftliche Brandkenngrößen zu ermöglichen.

Beim Vergleich bestehender Anlagen zeigt sich auch ein sehr hoher Grad an Innovation und Individualität. Diese sind – historisch gesehen – oft über die letzten zwei bis drei Jahrzehnte gewachsen und auf regionale Gegebenheiten abgestimmt. Insbesondere aus ersterem folgt aber, dass der nachträgliche Ein- oder Zubau von brandschutztechnischen Einrichtungen mit erheblichen Schwierigkeiten und Mehrkosten verbunden ist.

### *5.3 Aktuelle Forschungsschwerpunkte*

Aktuell forscht der Lehrstuhl der Abfallverwertungstechnik und Abfallwirtschaft der Montanuniversität Leoben gemeinsam mit Partnern aus der Industrie im FFG-geförderte Projekt BAT-SAFE zum Thema Auswirkungen und Risikoanalyse von Batterien in abfallwirtschaftlichen Systemen. Die Forschungsergebnisse stehen über die Website des Lehrstuhls (<http://avaw.unileoben.ac.at/>) zur Verfügung.

## 6 SCHLUSSFOLGERUNG UND AUSBLICK

Die beschriebenen abfallwirtschaftlichen Rahmenbedingungen unterscheiden sich wesentlich von jenen anderer Branchen, weshalb auch deren brandschutztechnischen Erkenntnisse nicht notwendigerweise auf abfallwirtschaftlich tätige Betriebe umgelegt werden können. Eine vollständige Vermeidung von Bränden in abfallwirtschaftlichen Anlagen ist derzeit angesichts der speziellen Rahmenbedingungen nicht möglich. Daher muss es das Ziel sein, die Anzahl und das Ausmaß der Brandereignisse mit geeigneten Maßnahmen zu reduzieren.

Aktuell herrscht jedoch zum einen ein Mangel an wissenschaftlichen fundierten Erkenntnissen – insbesondere im Hinblick auf sicherheitstechnische Kenngrößen und gesicherte Brandursachen – zum anderen oftmals aber auch ein brandschutztechnischer Investitionsrückstand in abfallwirtschaftlichen Anlagen. Ohne einen massiven

Fokus auf Forschung und Entwicklung ist daher in den kommenden Jahren mit einem verstärkten Risiko von Brandereignissen zu rechnen.

Die Zusammensetzung von Abfällen hat sich in den letzten Jahren u.a. durch falsch eingebrachte Batterien verändert, welche auf Partikelebene ein erhebliches Zündrisiko darstellen. Im Hinblick auf die erweiterte Produzentenverantwortung sind auch Hersteller und In-Verkehr-Setzer gefordert; Verantwortung für Probleme ihrer Produkte im *End-of-Life* zu übernehmen.

Gerade in der Abfall- und Entsorgungswirtschaft, die seit jeher vor der Herausforderung der richtigen Behandlung von brandlastreichen Materialien und inhomogenen, sich verändernden Stoffströmen steht, sollte auch das Thema Brandschutz in Zukunft als kontinuierlicher Prozess wahrgenommen werden. Denn dies ist die unverzichtbare Grundlage einer sicheren Prozessführung und gewährleistet somit auch das sichere und nachhaltige Wirtschaften.

## LITERATUR

- Abfallwirtschaftsgesetz (AWG) (2002) *Bundesgesetz über eine nachhaltige Abfallwirtschaft*. BGBl. I Nr. 102/2002.
- Anonym (2018a) *Erneut Brände bei Entsorgungsfirmen*. 320° – Deutschlands Online-Magazin für die Recyclingwirtschaft. URL: <https://320grad.de/erneut-braende-bei-entsorgungsfirmen/>, zuletzt geprüft am 08.08.2018.
- Anonym (2018b) *Chinesischer Importstopp – Risiken und Chancen für die Kreislaufwirtschaft*. EU-Recycling + Umwelttechnik. URL: <http://eu-recycling.com/Archive/18620>, zuletzt überprüft am 07.07.2018.
- Arbeitsgemeinschaft der für Städtebau, Bau- und Wohnungswesen zuständigen Minister und Senatoren der 16 Länder der Bundesrepublik Deutschland (ARGEBAU) (1997) *Muster-Richtlinie über den Brandschutz bei der Lagerung von Sekundärstoffen aus Kunststoff* (Muster-Kunststofflager-Richtlinie – MKLR). Beuth Verlag Berlin.
- Austrian Standards Institute (ASI) (2003) *ÖNORM S 2123 Probenahmepläne für Abfälle*.
- Austrian Standards Institute (ASI) (2005) *ÖNORM S 2097 Sortieranalyse von Abfällen*.
- Austrian Standards Institute (ASI) (2006) *ÖNORM EN 14899 Charakterisierung von Abfällen – Probenahme von Abfällen Rahmen für die Erstellung und Anwendung eines Probenahmeplans*.
- Berger, A., Schmidt, M., Ferrero, F., Krause, U. (2010) *Leitfaden zur Brandvermeidung durch Selbstentzündung bei der Lagerung von Recycling- und Deponiestoffen*. Leitfaden der Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung (BAM) für das Ministerium für Umwelt, Gesundheit und Verbraucherschutz des Landes Brandenburg.
- Berufsgenossenschaft Rohstoffe und chemische Industrie (BG RCI) (2016) *Sicherheitstechnische Kenngrößen – Ermitteln und bewerten*. R003 DGUV Information 213-065 (April 2016).
- Brandverhütungsstelle Oberösterreich (BVS OÖ) (2018): *Brandschadensstatistiken. Jahre 2012-2016*. URL <https://www.bvs-ooe.at/services-und-leistungen/brandschadenstatistiken/>, zuletzt geprüft am 07.07.2018.
- Bräcker, W. (2006): *Brandschutz in Abfallzwischenlagern*. Staatliches Gewerbeaufsichtsamt, Zentrale Unterstützungsstelle Abfallwirtschaft und Gentechnik, Landesamt für Bergbau, Energie und Geologie. Hildesheim, März 2006.
- Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt- und Wasserwirtschaft (BMLFUW) (2002) *Abfallverbrennungsverordnung*. BGBl. II Nr. 389/2002.
- Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt- und Wasserwirtschaft (BMLFUW) (2008) *Batterieverordnung*. BGBl. II Nr. 159/2008.
- Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt- und Wasserwirtschaft (BMLFUW) (2017) *Abfallbehandlungspflichtenverordnung*. BGBl. II Nr. 102/2017.
- Buser, M. (2016) *Lithiumbatterien – Effektive Schadensverhütung und wirksame Brandbekämpfung*. Vortrag, VÖEB-Tagung "Lithium-Batterien - Eine Herausforderung für die Recyclingwirtschaft", Schwechat, 29.09.2016.
- Colin, J. (2017) *How battery life cycle influences the collection rate of battery collection schemes*. International Congress of Battery Recycling. Lisbon, Portugal, September 20<sup>th</sup> – 22<sup>nd</sup> 2017.
- Denafas, G., Ruzgas, T., Martuzeviciusa, D., Shmarin, S., Hoffmann, M., Mykhaylenko, V., Ogorodnik, S., Romanov, M., Neguliaeva, E., Chusov, A., Turkadzeh, T., Bochoidze, I., Ludwig,

- C. (2014) *Seasonal variation of municipal solid waste generation and composition in four East European cities*. Resources, Conservation and Recycling 89 (2014) 22–30.
- Ecker, H. (2017) Brandschutz & Versicherungsschutz für die Abfallwirtschaft – Anforderungen aus Sicht der Versicherungsbranche. Vortrag VOEB-Praxisworkshop, Leonding, 17.10.2017.
- Ettala, M., Rahkonen, P., Rossi, E., Mangs, J., Keski-Rahkonen, O. (1996) *Landfill fires in Finland*. Waste Management & Research 14 (1996) 377–384.
- Europäische Kommission (EC) (2008) *CLP-Verordnung*. (EG) Nr. 1272/2008.
- Fleischhammer, M., Döring, H. (2013) *Chemische Sicherheit*. In: Korthauer [Hrsg.] (2013) Handbuch Lithium-Ionen-Batterien. Springer Vieweg, Berlin Heidelberg.
- Fogelman, R. (2018) *Fire Safety – Is the recycling industry facing a fire epidemic?* Recycling Product News. URL: <https://www.recyclingproductnews.com/article/27240/is-the-recycling-industry-facing-a-fire-epidemic>, zuletzt geprüft am 07.07.2018.
- Gelbmann, U. (2012) *Das Verwertungsparadoxon: Die neue Komplexität der Abfallwirtschaft*. In: Lorber, K., et al. [Hrsg.] (2012) DepoTech 2012. Tagungsband zur 11. DepoTech-Konferenz. Leoben, 6.-9.11.2012.
- Hauptmanns, U. (2013) *Prozess- und Anlagensicherheit*. Springer Verlag, Berlin Heidelberg.
- Hogland, W., Marques, M. (2003) Physical, biological and chemical processes during storage and spontaneous combustion of waste fuel. Resources, Conservation and Recycling 40 (2003) 53–69.
- Holzer, C. [Hrsg.] (2007): Anforderungen an die Zwischenlagerung von heizwertreichen Abfällen. Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft, Wien.
- Ibrahim, M.A., Aliksson, S., Kaczala, F., Hogland, W. (2013): *Fires at storage sites of organic materials, waste fuels and recyclables*. Waste Management Research 31 (9), S. 937–945, zuletzt geprüft am 07.12.2017.
- Klinkhardt, U. (2017) *Brandschutz in Recycling- und Abfallverwertungsanlagen*. In: Recycling und Rohstoffe, Bd. 10, S. 485–504. Online verfügbar unter <http://www.vivis.de/fachbuecher/recycling-und-rohstoffe/315-rur-10>, zuletzt geprüft am 02.02.18.
- Komp, J. (2016) *Brandereignisse in Abfallbehandlungsanlagen (Kooperationsvorhaben des LANUV und der Bergischen Universität Wuppertal)*. Immissionsschutz: Wissenswertes und Neues. Thüringer Landesanstalt für Umwelt und Geologie (TLUG), 26.10.2016.
- Kranert, M., Cord-Landwehr, K. [Hrsg.] (2010) *Einführung in die Abfallwirtschaft*. 4. Auflage, Vieweg+Teuber Verlag, Wiesbaden.
- Held, K., Kern, H., Raupenstrauch, H. (2011) *Brand- und Explosionsschutz bei der Produktion und Lagerung von Ersatzbrennstoffen*. BHM Berg- und Hüttenmännische Monatshefte 156 (9) 357–362.
- Held, K. (2014) *Charakterisierung von mechanischen Abfallbehandlungsanlagen hinsichtlich der Entstehung von Staubexplosionen*. Dissertation, Montanuniversität Leoben.
- Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen (LANUV) [Hrsg.] (2016) *Brandereignisse in Abfallbehandlungsanlagen – Abschlussbericht und Schlussfolgerungen der Landesregierung*. LANUV-Fachbericht 68, Recklinghausen.
- Länderabfallgemeinschaft Abfall (LAGA) (2001) *LAGA PN 98 Richtlinie für das Vorgehen bei physikalischen, chemischen und biologischen Untersuchungen im Zusammenhang mit der Verwertung/Beseitigung von Abfällen*. Mitteilung der Länderarbeitsgemeinschaft Abfall 32.
- Lorber, K.E., Sarc, R., Pomberger, R. (2011) *Herstellung und Einsatz von Ersatzbrennstoffen (EBS) in Österreich*. Waste-to-Resources 2011, IV Internationale Tagung MBA & Sortieranlagen, Hannover.
- Manan, S. [Hrsg.] (2005) *Lees' loss prevention in the process industries, hazard identification, assessment and control*. 3. Auflage, Elsevier, Amsterdam.
- Messenger, B. (2017) *In Depth: Fighting Fire at Waste & Recycling Plants – Best Practice to Reduce & Tackle Fires at Waste Facilities*. Waste Management World.
- Milke, M.W. (2003) *Improving our ability to manage risks*. Waste Management 23 (2), S.iii–iv.
- Moors, A. (2006) Recyclingmaterial aus Kunststoff – Gefahr durch Selbstentzündung. Schadenprisma 2 (2006) 4–7.
- Nigl, T., Pomberger R. (2016) *Stand, Entwicklungen und Problematik von Lithium-Batterien*. VOEB-Tagung "Lithium-Batterien – Eine Herausforderung für die Recyclingwirtschaft", Schwechat, 29.09.2016.
- Nigl, T. (2017) *Der Anteil von Gerätebatterien und Lithiumbatterien im Restmüll – eine Analyse*. Österreichische Abfallwirtschaftstagung 2017 – Die Digitalisierung der Abfallwirtschaft. Graz, 10.-11.05.2017. ISBN: 973-3-902978-98-1.

- Nigl, T., Schwarz, T., Arnberger, A. (2017) *Waste Li-Batteries – A Struggle to Safety in Waste Management Systems?* International Congress of Battery Recycling. Lisbon, Portugal, September 20<sup>th</sup>-22<sup>nd</sup> 2017.
- Nigl, T., Rübenauber, W. (unpubl.) *Quantitative Ursachenforschung zu Brandfällen in der österreichischen Abfallwirtschaft*. BAT-SAFE, Projektinterner Bericht. Montanuniversität Leoben.
- Oliver, P., Brown, S. (2014): *Waste Industry Fires Report*. Environment Agency. Stourport, Großbritannien. Online verfügbar unter <https://www.mrw.co.uk/Journals/2014/04/01/q/e/c/Waste-industry-fires-report.pdf>, zuletzt geprüft am 07.12.2017.
- Ortner J., Hensler, G. (1995) *Beurteilung von Kunststoffbränden: bei einer Störung des bestimmungsgemäßen Betriebs entstehende Stoffe nach den Anhängen II - IV der 12. BImSchV*. Bayerisches Landesamt für Umweltschutz.
- Pomberger, R., Küppers, B. (2017) *Entwicklungen in der sensorgestützten Sortiertechnik*. Österreichische Abfallwirtschaftstagung 2017 – Die Digitalisierung der Abfallwirtschaft. Graz, 10.-11.05.2017.
- Pomberger, R. Ragosnig, A. (2014) *Future Waste – Waste Future*. Waste Management and Research 32 (2014) 89–90.
- Pomberger, R., Curtis, A., Raupenstrauch, H. (2006) *Brandschutztechnische Untersuchungen bei der Lagerung von Ersatzbrennstoffen für die Zementindustrie*. In: Kozmiensky, K.J. et al. [Hrsg.] (2006) *Zwischenlagerung von Abfällen und Ersatzbrennstoffen*. TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky, Neuruppin.
- Pontilli, K. (2004) *Kompost und dessen Qualitätssicherung in der Steiermark*. Bericht, Fachabteilung 19D Abfall- und Stoffflusswirtschaft, Land Steiermark (Stand 2002).
- Portz, H. (2015) *Brand- und Explosionsschutz von A – Z*. Begriffserläuterungen und brandschutztechnische Kennwerte. Friedrich Vieweg & Sohn Verlag, Wiesbaden.
- Sächsisches Staatsministerium für Umwelt und Wirtschaft (SMUL) (2007): *Brände bei Recyclingfirmen in Sachsen*. Dresden. Online verfügbar unter [http://www.gruene-fraktion-sachsen.de/fileadmin/user\\_upload/Kleine\\_Anfragen/4\\_Drs\\_9504\\_-1\\_1\\_12.pdf](http://www.gruene-fraktion-sachsen.de/fileadmin/user_upload/Kleine_Anfragen/4_Drs_9504_-1_1_12.pdf), zuletzt geprüft am 05.02.2018.
- Sächsisches Staatsministerium für Umwelt und Wirtschaft (SMUL) (2015): *Brandfälle in Abfallbehandlungs- und Recyclinganlagen und Deponien seit März 2014*. Dresden, zuletzt geprüft am 28.02.2018.
- Scharff, C. (2018) *Wo stoßen wir an unsere Grenzen?* Österreichische Abfallwirtschaftstagung 2018 – TrenntWende. Salzburg, 17.-18.04.2018.
- Schoßig, J., Berger, A., Malow, M., Krause, U. (2010): *Beurteilung und Verhinderung von Selbstentzündung und Brandgasemission bei der Lagerung von Massenschüttgütern und Deponiestoffen*. Forschungsbericht 291. Hrsg. v. BAM Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung. Berlin.
- Schwarz, T.E., Schopf, K., Arnberger, A. (2015) *Reducing conflicts of interest in Eco-Design – the relation of innovation management and Eco-Design in the automotive sector*. In: Matsumoto et al. (2015) *Sustainability through Innovation in Product Life Cycle Design*. Springer.
- Verband der Sachversicherer (VdS) (2008) *Brandschutztechnische Richtlinien für die Lagerung von Sekundärrohstoffen aus Kunststoff*. Richtlinie 2513.
- Verband der Sachversicherer (VdS) (2011) *Sortierung, Aufbereitung und Lagerung von Siedlungsabfällen und brennbaren Sekundärrohstoffen – Hinweise für den Brandschutz*. Richtlinie 2517.
- Versicherungsverband Österreich (VVO) (2006) *Schutzmaßnahmen für Betriebe zur Sortierung, Aufbereitung und Lagerung von Altstoffen oder Müll*. URL: [https://www.vvo.at/vvo/vvo.nsf/sysPages/xBFE72C9C09ABF441C1257CF3000A0606/\\$file/SM\\_Altstoffe\\_und\\_Muell\\_09112006.pdf](https://www.vvo.at/vvo/vvo.nsf/sysPages/xBFE72C9C09ABF441C1257CF3000A0606/$file/SM_Altstoffe_und_Muell_09112006.pdf), zuletzt geprüft am 07.07.2018.
- Wagner, J., Bilitewski, B. (2009) *The temporary storage of municipal solid waste – Recommendations for a safe operation of interim storage facilities*. Waste Management 29 (2009) 1693–1701.
- Wolff, S., Moors, A. (2013) *Brandschutz in Recyclingbetrieben – Eine kleine Argumentationshilfe für die Brandschutzaufklärung*. Schadenprisma 2 (2013) 4–9.
- Zacharof, A., Butler, A. (2004) *Stochastic modelling of landfill processes incorporating waste heterogeneity and data uncertainty*. Waste Management 24 (2004) 241–250.
- Zwisele, B. (2004) *Entwicklung einer neuen Probenahmemethode für heterogene Abfälle geringer Schüttdichte*. Dissertation, TU Berlin.