



Brandereignisse in Abfallbehandlungsanlagen

Abschlussbericht und Schlussfolgerungen

der Landesregierung

LANUV-Fachbericht 68



Brandereignisse in Abfallbehandlungsanlagen
Abschlussbericht und Schlussfolgerungen der Landesregierung

LANUV-Fachbericht 68

Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen

Recklinghausen 2016

IMPRESSUM

Herausgeber	Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen (LANUV) Leibnizstraße 10, 45659 Recklinghausen Telefon 02361 305-0, Telefax 02361 305-3215, E-Mail: poststelle@lanuv.nrw.de Der vorliegende LANUV-Fachbericht beinhaltet den Abschlussbericht der Kooperation der Bergischen Universität Wuppertal (BUW) und des Landesamtes für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen (LANUV) sowie die Schlussfolgerungen der Landesregierung.
Projektleitung BUW	Univ.-Prof. Dipl.-Chem. Dr. Roland Goertz, Fakultät für Maschinenbau und Sicherheitstechnik, Fachgebiet Sicherheitstechnik/Abwehrender Brandschutz
Projektleitung LANUV	Heike Holst, Jeremy Komp (Koordination)
Redaktion	Dr. Michael Tiedt (LANUV)
Autoren	Roland Goertz, Philipp Hagemann, Martina Henseleit, Julia Kahlhöfer, Manuel Luttrup, Christian Marzin, Jan Pagel, Steffen Schumacher, Patrick Sonntag, Corinna Trettin, Natalie Werft (alle BUW), Thomas Deckers (Verband der Feuerwehren NRW), Jeremy Komp (LANUV)
Bilder	Titelfoto: Feuerwehr Porta Westfalica/M. Horst, Übrige Bilder: Bergische Universität Wuppertal
ISSN	1864-3930 (Print), 2197-7690 (Internet), LANUV-Fachberichte
Informationsdienste	Informationen und Daten aus NRW zu Natur, Umwelt und Verbraucherschutz unter • www.lanuv.nrw.de Aktuelle Luftqualitätswerte zusätzlich im • WDR-Videotext Tafeln 177 bis 179
Bereitschaftsdienst	Nachrichtenbereitschaftszentrale des LANUV (24-Std.-Dienst) Telefon 0201 714488

Nachdruck – auch auszugsweise – ist nur unter Quellenangaben und Überlassung von Belegexemplaren nach vorheriger Zustimmung des Herausgebers gestattet. Die Verwendung für Werbezwecke ist grundsätzlich untersagt.



Abschlussbericht der Bergischen Universität Wuppertal
Seite 7 - 92

**Schlussfolgerungen der
Landesregierung** Seite 93 - 95



Abschlussbericht

Bergische Universität Wuppertal
Fakultät für Maschinenbau und Sicherheitstechnik,
Fachgebiet Sicherheitstechnik / Abwehrender Brandschutz

Inhalt

Einführung	9
1 Kurzzusammenfassung	10
2 Einleitung	11
2.1 Ziele des Untersuchungsvorhabens	11
2.2 Abfälle	12
2.3 Anlagen.....	12
3 Auswertung von Brandereignissen	15
3.1 Daten aus Nordrhein-Westfalen	15
3.1.1 Art der Anlagen	15
3.1.2 Häufigkeit der Brandereignisse in Abhängigkeit der Anlagenart	18
3.1.3 Brandursachen.....	18
3.1.4 Auffälligkeiten.....	23
3.2 Betrachtung einzelner Brandereignisse.....	24
3.3 Daten der Versicherer	25
3.3.1 Allgemeines	25
3.3.2 Aufbau des Fragebogens	25
3.3.3 Schwierigkeiten bei der Auswertung.....	25
3.3.4 Auswertung	25
4 Brandschutz in Abfallbehandlungsanlagen – Sachstand	37
4.1 Allgemeine Aspekte	37
4.2 Kunststofflager-Richtlinie KLAR	37
4.3 VdS 2517 – Hinweise für den Brandschutz	38
4.4 Vergleich der Regelungen.....	39
5 Physikalische und chemische Aspekte von Bränden	40
5.1 Allgemeine Aspekte	40
5.2 Arten von Brandereignissen	43
5.2.1 „Oberflächenbrände“	43
5.2.2 „Verdeckte Brände“/„Selbstentzündungsprozesse“	43
5.3 Brandrauch	43
5.3.1 Anorganische Brandgase	44
5.3.2 Organische Brandzersetzungsprodukte	46
5.3.3 Zusammenfassende Beurteilung „Brandrauch“	50
5.4 Abfließendes Löschwasser	51
6 Laboruntersuchungen und Simulationen	53
6.1 Grundlagen und Vorgehensweise	53
6.2 Laboruntersuchungen	53
6.3 Simulationen	58
6.3.1 Simulation mit 5 m Abstand bei unterschiedlichen Windgeschwindigkeiten und hohem Heizwert	59

6.3.2	Simulation mit 5 m Abstand bei unterschiedlichen Windgeschwindigkeiten und niedrigem Heizwert	62
6.3.3	Simulation mit 10 m Abstand bei unterschiedlichen Windgeschwindigkeiten und hohem Brennwert.....	65
6.3.4	Simulation mit 10 m Abstand bei unterschiedlichen Windgeschwindigkeiten und niedrigem Heizwert	66
7	Untersuchung der vorgelegten Brandschutzkonzepte zu Gemeinsamkeiten, Unterschieden und Besonderheiten.....	68
8	Voraussetzungen für den Feuerwehreinsatz.....	70
8.1	Anfahrt und Flächen für die Feuerwehr	70
8.2	Löschwasserversorgung	70
8.2.1	Grundsätze	70
8.2.2	Bemessung des Löschwasserbedarfs	71
8.3	Vorhaltung und Einsatz von Sonderlöschmitteln.....	75
8.4	Freiflächen zum Auseinanderziehen von brennenden Abfällen	76
8.4.1	Für Lager im Freien.....	76
8.4.2	Für Lagerung in Hallen.....	76
9	Erkenntnisse, Schlussfolgerungen und Empfehlungen.....	77
9.1	Brandentstehung und Brandursachen	77
9.2	Räumliche Aspekte und Risikobetrachtung	77
9.3	Anlagentechnische Maßnahmen	77
9.4	Löschwasserversorgung und Abwehrender Brandschutz	78
9.5	Umweltauswirkungen und Löschwasserrückhaltung	78
9.6	Brandschutzplanungs- und Genehmigungspraxis	79
9.7	Schlussfolgerungen/Empfehlungen	80
10	Brandschutztechnische Prüfung von Abfallbehandlungsanlagen	81
10.1	Einstufung	81
10.2	Kompartimentierung.....	81
10.3	Voraussetzungen für wirksame Löscharbeiten	82
10.3.1	Löschwasserversorgung	82
10.3.2	Löschwasserrückhaltung.....	83
10.3.3	Freiflächen	83
11	Weiterer Forschungsbedarf.....	84
12	Quellen.....	85
	Abbildungsverzeichnis	87
	Tabellenverzeichnis	89
	Abkürzungsverzeichnis	90

Einführung

Das *Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz NRW (LANUV)* hat auf Grund der zahlreichen Brandereignisse an Abfallbehandlungsanlagen in den zurückliegenden Jahren eine Kooperation mit der *Bergischen Universität Wuppertal – Sicherheitstechnik / Abwehrender Brandschutz (BUW)* geschlossen, um in einem gemeinsamen Untersuchungsvorhaben Erkenntnisse über die Ursachen und Möglichkeiten der Vermeidung von Bränden an Abfallbehandlungsanlagen zu gewinnen.

Der Abschlussbericht wurde von der *Bergischen Universität Wuppertal* unter der Leitung von Herrn Univ.-Prof. Dipl.-Chem. Dr. Roland Goertz, Leitender Branddirektor a. D. unter Mitwirkung des *LANUV* verfasst.

Das Untersuchungsvorhaben wurde durch einen Beirat begleitet, in dem sich sachkundige Institutionen mit Anregungen und Informationen durch Teilnahme an den Sitzungen und die versendeten Unterlagen bzw. Protokolle in das Thema einbringen konnten. In den Beirat wurden berufen:

- *Institut für Schadenverhütung und Schadenforschung der öffentlichen Versicherer e.V. (IFS)*
- *Gesamtverband der Deutschen Versicherungswirtschaft (GDV)*
- *Verband der Feuerwehren in NRW*
- *Bundesverband der deutschen Entsorgungs-, Wasser- und Rohstoffwirtschaft e. V. (BDE)*
- *Bundesverband Sekundärrohstoffe und Entsorgung e.V. (bvse) **
- *Ministerium für Klimaschutz, Umwelt, Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen (MKULNV)*
- *Bezirksregierung Köln*
- *Bezirksregierung Detmold*

*) ohne Teilnahme

Für zahlreiche konstruktive Hinweise und fruchtbringende Diskussionen sei folgenden Personen gedankt:

Herr van Lier (*GDV*), Herr Moors (*IFS*), Herr Deckers (*Verband der Feuerwehren NRW*), Frau Dr. Ochs (*BDE*), Frau Jürgensen (*MKULNV*), Herr Thelen (*Bezirksregierung Köln*), Herr Schumacher (*Bezirksregierung Detmold*), Herr Dr. Gregel, Herr Dr. Mentfewitz, Herr Czorny, Frau Holst, Herr Komp (alle *LANUV*)

1 Kurzzusammenfassung

Brände in Behandlungsanlagen für kunststoffhaltige Abfälle sind meist aufgrund der starken Rauchentwicklung, des großen Umfangs der notwendigen Einsatzmaßnahmen und auch der hohen Einsatzdauer sehr öffentlichkeitswirksam. Die starke, sichtbare Rauchentwicklung führt häufig bei der Bevölkerung zu der Besorgnis, dass die Gesundheit der Menschen in der Umgebung und die Umwelt gefährdet sein könnten. Dies und die Häufung solcher Ereignisse in den vergangenen Jahren machten eine tiefere Untersuchung solcher Brände erforderlich.

Während ursprünglich die Vermutung bestand, die Häufung solcher Brände ließe sich auf bestimmte Anlagen oder Verfahren zurückführen und durch entsprechende technische Verbesserungen reduzieren, ließ sich durch die Analyse zahlreicher Brandfälle und der Erfahrungen der Schadenversicherer nachweisen, dass es eine oder mehrere spezielle, signifikant häufige Brandursachen in Abfallbehandlungsanlagen nicht gibt. Die Art und Inhomogenität der behandelten Abfälle ist letztlich zu groß. In Verbindung mit den von biologischen Zersetzungsprozessen und mechanischen Aufbereitungsschritten geprägten Umgebungsbedingungen und in Anwesenheit großer Mengen brennbarer Abfälle lassen sich Brände nicht gänzlich vermeiden.

Unter diesen Umständen kommt der Verhinderung der Brand- und Rauchausbreitung sowie die Ermöglichung wirksamer Löscharbeiten eine besondere, letztlich die größte Rolle zu.

Ein Ergebnis dieser Studie ist, dass sich das Ausmaß der Brände in Abfallbehandlungsanlagen bei konsequenter Einhaltung der materiellen Anforderungen der *Kunststofflager-Richtlinie (KLAR)* deutlich mindern ließe. Hierzu ist es erforderlich, den Anwendungsbereich der *KLAR* deutlicher auch auf die Abfallbehandlungsanlagen für kunststoffhaltige Abfälle auszulegen.

Ein weiterer Schwerpunkt liegt im Ergebnis bei der Verbesserung der Einsatzbedingungen für die Gefahrenabwehr durch die Feuerwehr. Insbesondere stellt sich heraus, dass erheblich höhere Anforderungen an das zu bevorratende Löschwasser zu stellen sind.

2 Einleitung

Seit einigen Jahren häuft sich die Berichterstattung in den Medien über Großbrände an Abfallbehandlungsanlagen. Hieraus ist in der Öffentlichkeit eine gewisse Besorgnis entstanden, dass sich solche Ereignisse regelmäßig wiederholen und die Bevölkerung sich vermeidbaren Gefahren aussetzen könnte. Nach Aufzeichnungen des LANUV kam es in dem Zeitraum vom 1.1.2011 bis 30.6.2014 allein in nordrhein-westfälischen Abfallbehandlungsanlagen zu über 90 Brandereignissen. Aus der Häufung dieser Brandereignisse lässt sich ableiten, dass die bestehenden Brandschutzvorkehrungen solcher Behandlungsanlagen zu hinterfragen sind.

Die Brandursachen sowie mögliche Optimierungspotentiale werden im Rahmen eines Forschungsprojektes näher untersucht. Da augenscheinlich überwiegend die Abfallbehandlungsanlagen von Brandereignissen betroffen waren, in denen mit kunststoffhaltigen Abfällen umgegangen wurde, wird der Fokus des Kooperationsprojektes entsprechend auf die Anlagen gerichtet, in denen mit diesen Abfällen umgegangen wird. Kunststoffhaltige Abfälle sind bevorzugt in Leichtverpackungsabfällen (gelbe Tonne), im Hausmüll (graue Tonne), im Gewerbeabfall sowie im Sperrmüll wiederzufinden. Von der Anlagenseite her liegt der Fokus des Kooperationsprojektes bei den Behandlungsanlagen und Lagern, in denen die vorgenannten Abfälle behandelt oder gelagert werden sowie bei Anlagen, in denen Ersatzbrennstoffe (EBS) oder Sekundärbrennstoffe (SBS) hergestellt oder gelagert werden.

2.1 Ziele des Untersuchungsvorhabens

Ziel dieses Untersuchungsvorhabens ist es, die Ursachen solcher Brandereignisse zu ermitteln und zu bewerten, Schwachstellen im Betrieb oder bei der Zulassung und Genehmigung entsprechender Abfallentsorgungsanlagen aufzuzeigen und Maßnahmen zur Verbesserung der Situation abzuleiten. Die Ergebnisse dieses Untersuchungsvorhabens sollen Betreibern von Abfallbehandlungsanlagen sowie Genehmigungs- und Überwachungsbehörden als Handlungshilfe für einen sicheren Betrieb dienen. Sofern sich Defizite in rechtlichen und technischen Regelwerken aufzeigen lassen, könnten die gewonnen Erkenntnisse bei Novellierungen eingebracht werden.

Die Handlungsempfehlungen sollten dabei folgende Bereiche abdecken:

- Spezifische Gefährdungspotentiale bei Abfallbehandlungsanlagen (problematische Abfälle (PVC), emittierenden Schadstoffe (Messungen, Gefährdungen))
- vorsorgende Maßnahmen (baulich, anlagentechnisch, organisatorisch)
- brandbegleitende Maßnahmen
- Umgang mit dem Löschwasser

Innerhalb des Untersuchungsvorhabens sollen die Brandursachen festgestellt, ausgewertet und (je nach Häufungsmuster) näher analysiert werden. Darauf aufbauend sollen die Brandursachen auf mögliche Vermeidungs- und Verminderungspotentiale hin untersucht werden. Dazu sollen u. a. die Anlagentechnik, der vorbeugende und abwehrende Brandschutz sowie die technischen und rechtlichen Regelwerke auf mögliche Schwachstellen bzw. auf Verbesserungspotential hin untersucht und bewertet werden.

2.2 Abfälle

Wie bereits eingangs erwähnt, liegt der Fokus des Untersuchungsvorhabens auf kunststoffhaltigen Abfallströmen. Kunststoffhaltige Abfälle finden sich bevorzugt in Leichtverpackungsabfällen (LVP, gelbe Tonne), im Hausmüll (graue Tonne), im Gewerbeabfall sowie im Sperrmüll wieder [1].

Neben den vorgenannten Abfällen sollen im Rahmen des Untersuchungsvorhabens jedoch auch Ersatzbrennstoffe berücksichtigt werden. Ersatzbrennstoff (EBS) ist der Oberbegriff für Brennstoffe, die aus Abfällen hergestellt werden. Dieser Begriff umfasst Brennstoffe, die entweder mitverbrannt oder einer Monoverbrennung (EBS-Kraftwerke) zugeführt werden. Häufig wird hierbei zwischen Sekundärbrennstoffen (SBS) und heizwertreicher Fraktion unterschieden. Die heizwertreiche Fraktion weist dabei einen höheren Heizwert auf als das ursprüngliche Abfallgemisch. Die Aufbereitungstiefe von heizwertreichen Fraktionen ist jedoch deutlich geringer als von Sekundärbrennstoffen. Sekundärbrennstoffe dagegen sind Brennstoffe, die durch eine spezielle und anspruchsvolle Aufbereitung aus heizwertreichen Fraktionen hergestellt werden. Diese müssen festgelegten Qualitätskriterien entsprechen. Sie werden z.B. in Kraft-, Zement- und Kalkwerken mitverbrannt und ersetzen einen Teil der fossilen Energieträger [2].

2.3 Anlagen

Bei den Anlagen liegt der Fokus des Untersuchungsvorhabens auf den Behandlungsanlagen für Leichtverpackungsabfälle (gelbe Tonne), Hausmüll (graue Tonne), Gewerbeabfälle, Sperrmüll sowie Anlagen, in denen eine weitergehende Aufbereitung für die thermische oder stoffliche Verwertung vorgenommen wird (EBS-/SBS-Herstellung, Regranulierungsanlagen). Neben den Behandlungsanlagen werden auch reine Lager- oder Umschlaganlagen berücksichtigt, die jedoch im weiteren Verlauf des Berichtes nicht gesondert aufgeführt werden.

Müllverbrennungsanlagen (MVA) werden innerhalb des Untersuchungsvorhabens nicht betrachtet. Inwieweit sich die gewonnen Erkenntnisse z. B. auf die „Müllbunker“ der MVAs übertragen lassen, müsste im Einzelfall geprüft werden.

Häufig handelt es sich bei den Behandlungsanlagen um einen Gebäudekomplex, welcher in Leichtbauweise errichtet und über Trennwände in drei Abschnitte (Eingangslager, mechanische Aufbereitung, Ausgangslager) untergliedert wurde. Im Eingangslager wird der Abfall angeliefert und als lose Schüttung in Flachbunkern zwischengelagert. Von dort wird das Material in die mechanische Behandlungsstufe aufgegeben. Je nach aufzubereitendem Abfall, Behandlungsziel und Aufbereitungstiefe unterscheiden sich die mechanischen Behandlungsstufen jedoch z. T. deutlich voneinander.

Sortier-/Aufbereitungsanlagen für LVP-Abfälle

In Abbildung 1 ist exemplarisch der mögliche Aufbau einer LVP-Sortierung dargestellt. Nach der Konditionierung erfolgt in einem ersten Schritt eine Siebklassierung bevor die einzelnen Korngrößen im Anschluss jeweils eine Sortierlinie durchlaufen. In der Siebklassierung werden i. d. R. mittels Siebtrommeln 3-4 Korngrößen erzeugt, so dass man mindestens eine Grob-, Mittel- und Feinfraktion erhält. Aus der Grobfraktion (> 220 mm) wird mittels Sichter (z. B. Wind- oder Paddelsichter) eine Schwergutfraktion (Kunststoffhohlkörper) und eine Leichtgutfraktion (Folien) separiert. Bei der Feinfraktion

(< 20 mm) handelt es sich vorwiegend um Anhaftungen (z.B. Lebensmittelreste) aus Verpackungsabfällen, die als Sortierreste bezeichnet und einer weiteren Behandlung, in einer Müllverbrennungsanlage oder einer mechanisch-biologischen Abfallbehandlungsanlage (MBA/MBS), zugeführt werden. Aus der Mittelfraktion (20-200 mm) wird in einem ersten Schritt ebenfalls über eine Sichtung eine Leichtgutfraktion (Mischkunststoffe) ausgeschleust, die später häufig zu einem Ersatzbrennstoff (EBS) aufbereitet wird. In einem zweiten Schritt werden Metalle separiert. FE-Metalle (Weißblech) können z.B. mittels Überbandmagneten, NE-Metalle (Aluminium) z. B. mittels Wirbelstromabscheider separiert werden. In einem dritten Schritt können mittels der Nahinfrarotspektroskopie-Sortierung (NIR) gezielt einzelne Stoffgruppen (z.B. Flüssigkeitskartons, PE, PP, PS, PET, PPK oder Holz) separiert werden. Bei der Einzelseparierung wird für jede Stoffgruppe ein eigenes NIR-Aggregat benötigt, so dass der Abfallstrom mehrere in Reihe geschaltete NIR-Aggregate durchläuft. Zur Erhöhung der Sortierquote können diese dann nochmals eine weitere NIR-Stufe durchlaufen oder manuell nachsortiert werden. Die einzelnen Stoffgruppen werden zum Schluss i. d. R. zu Ballen verpresst und im Ausgangslager zwischengelagert. Als Ausgangslager dienen zumeist der dritte Hallenabschnitt, Freilagerflächen oder weitere Lagerhallen.

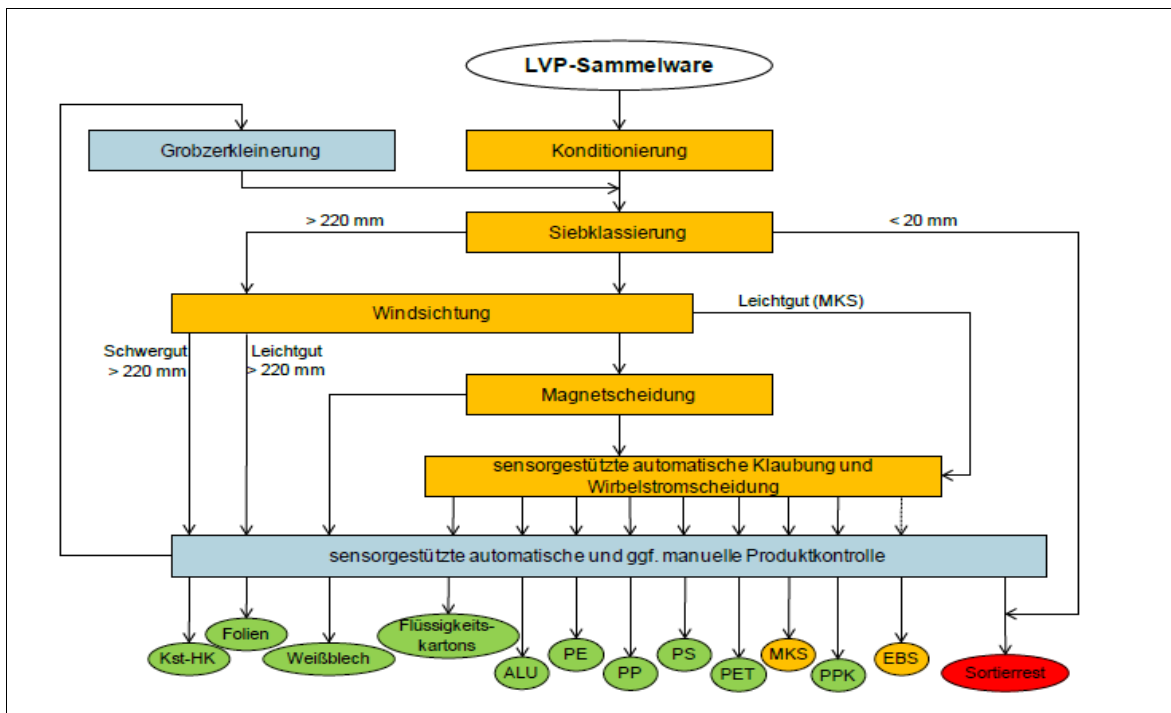


Abbildung 1 Schematische Darstellung einer LVP-Sortierung
UBA 40/2012 [3]

Sortier-/Aufbereitungsanlagen für Gewerbeabfälle und Sperrmüll

Gewerbeabfälle und Sperrmüll werden häufig nicht in der Tiefe aufbereitet wie die LVP-Abfälle. Aufgrund der Materialstückigkeit wird der Siebklassierung häufig ein Zerkleinerer vorgeschaltet. Aus den Abfällen werden Wertstoffe (z. B. FE-/NE-Metalle) separiert und heizwertreiche Fraktionen (Kunststoffe, Holz, ...) zur Herstellung von Ersatzbrennstoffen genutzt.

Mechanische und mechanisch-biologische Abfallbehandlungsanlagen für Hausmüll

Restmüll muss vor einer Deponierung vorbehandelt werden. Als Vorbehandlungsverfahren kommen Müllverbrennungsanlagen (MVA) oder mechanisch-biologische Behandlungsanlagen (MBA/MBS) in Betracht. Vereinzelt werden den Müllverbrennungsanlagen mechanische Sortieranlagen vorgeschaltet, um Wertstoffe (und ggf. heizwertreiche Abfälle) zu separieren und um die Abfallmengen für die thermische Behandlung zu reduzieren. In den mechanisch-biologischen Behandlungsanlagen wird, neben der Separierung der Wertstoffe und der heizwertreichen Abfälle, die Feinfraktion (organikreiche Fraktion) einer biologischen Stufe (Kompostierung/ Vergärung) zugeführt. Sofern diese Feinfraktion im Anschluss an die biologische Behandlung die Ablagerungskriterien der Deponieverordnung einhält, darf diese deponiert werden.

Die mechanischen Behandlungsstufen dieser Anlagen unterscheiden sich z. T. deutlich voneinander. Es gibt sowohl einfach konzipierte Anlagen, die beispielsweise aus einer Zerkleinerung, Siebung und Sichtung bestehen, aber auch aufwändig konzipierte Anlagen, die von den eingesetzten Aggregaten her den LVP-Sortierungsanlagen ähneln können. Die biologische Stufe bei den MBAs besteht aus einer Kompostierung und/oder einer (Teilstrom-)Vergärung. Diese ist i. d. R. in die mechanische Aufbereitungsstufe integriert oder befindet sich im Nachgang zu dieser.

Weitergehende Aufbereitungsanlagen für die thermische Verwertung

In den EBS-/SBS-Aufbereitungsanlagen werden aus heizwertreichen Abfällen Substitutbrennstoffe erzeugt, die auf die jeweiligen Abnehmer abgestimmt sind. In den Anlagen kommen verschiedene Zerkleinerungs-, Klassier- und Sortieraggregate zum Einsatz. Je nach Anlage und eingesetzter Maschinenteknik kann es auch hier z. T. deutliche Unterschiede in der Konzipierung der mechanischen Behandlungsstufe geben.

Im Vergleich zu den Sortieranlagen liegt das Augenmerk jedoch in der Ausschleusung von Schadstoffen (z. B. chlorhaltige Abfälle), um die späteren Qualitätsanforderungen des EBS/SBS erfüllen zu können. Als Ausgangsprodukt wird beispielsweise SBS in Form von Fluff (Flugfähige Fraktion) oder Pellets erzeugt.

Weitergehende Aufbereitungsanlagen für die stoffliche Verwertung (z.B. Regranulierungsanlagen)

In einer weitergehenden (nass-)mechanischen Aufbereitung kann die Schwer- bzw. die Leichtfraktion der LVP-Sortierung zu PO-, PS- oder PE-Granulaten aufbereitet werden. Die weitergehende (nass-)mechanische Aufbereitung soll aus technologischer Sicht nicht betrachtet werden. Die Erkenntnisse dürften sich jedoch zumindest auf die Lagerbereiche dieser Anlagen übertragen lassen.

3 Auswertung von Brandereignissen

Von Seiten des LANUV wurden verschiedene Informationen über Brandereignisse in Abfallbehandlungsanlagen zur Verfügung gestellt. Darin enthalten sind u. a. eine Liste mit 94 Brandereignissen in Nordrhein-Westfalen aus dem Zeitraum 1.1.2011 bis 30.6.2014, sowie Unterlagen der Bezirksregierungen zu den jeweiligen Brandereignissen. Der Umfang und die Aussagekraft der zur Verfügung gestellten Unterlagen streuen dabei sehr. Zu insgesamt 19 Brandereignissen liegen sehr umfangreiche Informationen vor, wie z. B. die Genehmigungsunterlagen, teilweise die Brandschutzkonzepte, Einsatzberichte der Feuerwehr, Gutachten der Versicherungen bzw. Gutachten über die Brandursachenermittlung. Zu den übrigen Brandereignissen begrenzen sich die zur Verfügung gestellten Unterlagen oftmals auf die Berichterstattung des jeweiligen Bereitschaftsdienstes der Bezirksregierungen.

Darüber hinaus wurden vom Gesamtverband der deutschen Versicherungswirtschaft (GdV) 52 ausgefüllte und anonymisierte Fragebögen zu einschlägigen Brandereignissen in deutschen Abfallbehandlungsanlagen zur Verfügung gestellt. Die Fragebögen sind vom LANUV in Abstimmung mit dem GdV erstellt worden und wurden von der Bergischen Universität Wuppertal ausgewertet.

3.1 Daten aus Nordrhein-Westfalen

In der Liste des LANUV sind für den Zeitraum 1.1.2011 bis 30.6.2014 insgesamt 94 Brandereignisse in 77 verschiedenen Abfallbehandlungsanlagen unterschiedlicher Größenordnung und Art in Nordrhein-Westfalen dokumentiert. Hierbei handelt es sich um die Brandereignisse, die dem LANUV zum Stichtag 30.6.2014 bekannt waren. Tendenziell ist jedoch davon auszugehen, dass die Anzahl der Brandereignisse noch deutlich höher lag. Insbesondere kleinere Brandereignisse, die frühzeitig erkannt und unmittelbar selbst gelöscht werden konnten, sind den Umweltbehörden eventuell nicht gemeldet worden. Diesbezüglich wird auf die *Umwelt-Schadensanzeige-Verordnung NRW* verwiesen, wonach Schadensereignisse den Immissionsschutzbehörden dann anzuzeigen sind, wenn ein Sachschaden innerhalb der Anlage über 500.000 € oder außerhalb der Anlage über 100.000 € vorliegt. Sofern eine wesentliche Gefährdungs- oder Belästigungssituation vorliegt, ist ein Schadensereignis immer anzuzeigen.

3.1.1 Art der Anlagen

Von den 94 Brandereignissen waren in 87 Fällen Anlagen betroffen, die nach dem *Bundes-Immissionsschutzgesetz (BImSchG)* genehmigungsbedürftig sind. Hierbei handelt es sich ausschließlich um Anlagen, die unter die Nr. 8 des Anhangs der 4. BImSchV (Abfallbehandlungsanlagen) fallen. In fünf Fällen waren Anlagen betroffen, die dem Baurecht unterliegen (z.B. Reifenlager), da diese z.B. die in der 4. BImSchV genannten Mengenschwellen unterschreiten. In zwei Fällen handelt es sich um Deponien, welche nach dem *Kreislaufwirtschaftsgesetz (KrWG)* einer Planfeststellung bedürfen.

In Tabelle 1 wurden die betroffenen Anlagen bestimmten Anlagentypen zugeordnet. Die Auswertung beruht auf Angaben in den Datenbanken *Informationssystem Stoffe und Anlagen (ISA)* und *Abfall-Informationen-Datendrehscheibe (AIDA)* sowie z. T. auf den von den Behörden zur Verfügung gestellten Unterlagen. Zur Tabelle 1 muss angemerkt werden,

dass in vielen Abfallbehandlungsanlagen verschiedene Abfallströme behandelt, gelagert oder umgeschlagen werden und die Anlagen i. d. R. nach mehreren Nummern der 4. BImSchV genehmigt werden, so dass eine eindeutige Zuordnung anhand der vorliegenden Unterlagen oftmals nicht möglich war. Mit Blick auf die Tabelle 1 wird daher auf folgendes hingewiesen:

- Die Ein- und Ausgangslager wurden der jeweiligen Behandlungsanlage zugeordnet. Unter dem Begriff „Abfalllager“ finden sich daher nur Lager/Umschlaganlagen wieder, die in keinem unmittelbaren Zusammenhang zu einer Behandlungsanlage stehen.
- Sortier-/ mechanische Behandlungsanlagen für Hausmüll, LVP- Abfälle, Gewerbeabfälle, Sperrmüll, PPK und Baumischabfälle sowie MBA/MBS- Anlagen mussten zunächst unter dem Begriff „Sortieranlagen“ zusammengefasst werden. Sofern eine weitere Differenzierung möglich war, wird im Anmerkungsfeld darauf verwiesen.

Tabelle 1 Von Brandereignissen betroffene Anlagentypen

Lfd. Nr.	Anlagentyp	Anzahl der Brände	Anmerkungen
1	Autodemontage	6	
2	Behandlung von metallischen Abfällen + Schrottplätze	4	
3	Kompostanlagen	2	
4	Vergärung	1	Lagerhalle mit Speiseresten
5	Biomassekraftwerke	2	1 x Lagerbereich, 1 x Abluftreinigung
6	Brennstoffaufbereitung (Naturholz)	1	Lagerbereich
7	Behandlung gefährliche Abfälle	9	1 x gef. Baustoffe, 2 x Altholz, 1 x Elektro(nik)altgeräte, 1 x Krätzen/Schlacken (hier: Container mit gemischten nicht gefährlichen Abfällen), 1 x Altölaufbereitung, 2 x Verölungsanlagen, 1 x CP- Anlage
8	Lager für gefährliche Abfälle (ohne direkten Anlagebezug)	1	Schadstoffsammelstelle (Container mit Elektro(nik)altgeräten)
9	Glas-, Kabelaufbereitung	2	1 x Glasaufbereitung (Lager mit kunststoffhaltigen Abfällen → Deckel, Etiketten), 1 x Kabelaufbereitung (Pulverisierungsanlage für Kunststoffummantelungen)
10	Sortier-/Behandlungsanlagen für Restmüll (einschließlich MBA/MBS), LVP, gem. Gewerbeabfälle, Sperrmüll, PPK und Baumischabfälle	43	Bei 24 Bränden waren die Anlagen i. V. m. Nr. 8.4 (Sortieranlage) und bei vier Bränden i.V. mit Nr. 8.6.2 (MBA/MBS) der 4. BImSchV genehmigt.

Lfd. Nr.	Anlagentyp	Anzahl der Brände	Anmerkungen
			<p>Nur bei einem Brand (tech. Defekt) war ausschließlich PPK vorhanden, ansonsten wenn immer nur in Kombination mit anderen Abfällen (z.B. gem. Gewerbeabfällen).</p> <p>In zwei Fällen wurden gezielt Baumischabfälle erwähnt, wobei vom Brand aussortierte Holz- und Kunststoffabfälle betroffen waren.</p> <p>Sperrmüll wird häufig zusammen mit gem. Gewerbeabfällen aufbereitet, so dass hier keine Differenzierung möglich ist.</p>
11	EBS/ SBS- Aufbereitung	8	Eine klare Abgrenzung zu den Sortieranlagen (lfd. Nr. 10) ist anhand der Unterlagen nicht möglich! Bei diesen acht Brandereignissen konnte den Unterlagen lediglich entnommen werden, dass in den Anlagen u.a. auch gezielt EBS/ SBS hergestellt wird.
12	Weitergehende stoffliche Kunststoffaufbereitung	2	1 x feuergefährliche Arbeiten, 1 x technischer Defekt
13	Lager/Umschlaganlage für nicht gefährliche Abfälle (ohne direkten Anlagenbezug)	2	2 x Lager mit gem. Gewerbeabfällen
14	MVA/ EBS- Kraftwerke	4	3 x Müllbunker, 1 x Trichterbrand
15	Deponie	2	Brände im Ablagerungsbereich (1 x Glaswolle, 1 x glimmendes Material auf dem Inertfeld)
16	Sonstiges (nach BImSchG nicht genehmigungsbedürftig)	5	3 x Reifenlager, 1 x Lagerfläche Bahnschwellen (DB), 1 x Lagerbereich einer Spedition (Holzabfälle)

Betrachtet man diese Tabelle näher, so fällt auf, dass von den Brandereignissen bevorzugt Sortieranlagen (lfd. Nr. 10) und EBS-/SBS-Aufbereitungsanlagen (lfd. Nr. 11) betroffen sind. Zieht man die reinen Lager-/Umschlaganlagen (lfd. Nr. 13) noch hinzu, so entfallen insgesamt 56 % aller Brandereignisse auf diese drei Anlagentypen. Geht man noch einen

Schritt weiter und zieht auch noch die Brandereignisse der stofflichen Kunststoffaufbereitungsanlagen (Ifd. Nr. 12), der Müllverbrennungsanlagen (Ifd. Nr. 14), der Glas- und Kabelaufbereitung (Ifd. Nr. 9) sowie den Containerbrand der bei den Behandlungsanlagen für gefährliche Abfälle (Ifd. Nr. 7) hinzu, so lässt sich festhalten, dass in fast 66 % der Brandereignisse kunststoffhaltige Abfälle zugegen waren. (Hinweis: Bei Ifd. Nr. 7 und 9 bitte das Anmerkungsfeld der Tabelle 1 beachten)

3.1.2 Häufigkeit der Brandereignisse in Abhängigkeit der Anlagenart

Stellt man die 94 Brandereignisse dem betrachteten Zeitraum gegenüber (3,5 Jahre), so bedeutet dies, dass durchschnittlich jeden Monat mehr als zwei Anlagen in NORDRHEIN-WESTFALEN von einem Brandereignis betroffen waren. Setzt man die 87 Brandereignisse, die in Anlagen nach Nr. 8 der 4. BImSchV (Abfallbehandlungsanlagen) aufgetreten sind, in Relation zur Gesamtzahl der Abfallbehandlungsanlagen in Nordrhein-Westfalen [4], so zeigt sich, dass in dem betrachteten Zeitraum (1.1.2011-30.6.2014) durchschnittlich ca. 2,5 % aller Abfallbehandlungsanlagen in Nordrhein-Westfalen von einem Brandereignis betroffen waren.

Bei 24 Brandereignissen waren Anlagen betroffen, die u.a. auch i. V. m. Nr. 8.4 der 4. BImSchV (Sortieranlagen) genehmigt wurden. Setzt man auch diese Zahl in Relation zur Gesamtzahl von 134 Anlagen [4], so bedeutet dies, dass in dem betrachteten Zeitraum durchschnittlich ca. 18 % dieser Anlagen von einem Brandereignis betroffen waren. Hochgerechnet würde das bedeuten, dass jede Anlage in Nordrhein-Westfalen, die nach Nr. 8.4 der 4. BImSchV genehmigt ist, durchschnittlich mindestens einmal innerhalb von 20 Jahren von einem Brandereignis betroffen ist.

3.1.3 Brandursachen

Nach Durchsicht der vorhandenen Unterlagen musste festgestellt werden, dass eine verlässliche Auswertung der Brandursachen anhand dieser Unterlagen nicht möglich ist. Dies begründet sich in erster Linie damit, dass Unterlagen zu einer gutachterlichen Brandursachenermittlung nur in wenigen Ausnahmefällen vorlagen. Die zur Verfügung stehenden Unterlagen beziehen sich überwiegend auf die Berichterstattung während des Brandereignisses und ggf. auch auf die ersten Tage danach. Eine Brandursachenermittlung beginnt jedoch i. d. R. erst mit der Aufnahme der polizeilichen Ermittlungen und wird dann ggf. von den Brandsachverständigen der Versicherungen fortgeführt. Diesbezügliche Informationen standen nur in Einzelfällen zur Verfügung. Bei der folgenden Auswertung musste daher überwiegend auf „Ersteinschätzungen“, „mutmaßliche Aussagen zur Brandursache“ und „Beschreibungen“ zurückgegriffen werden. Da diese Aussagen ein hohes Fehlerpotenzial aufweisen, sollte die folgende Auswertung keinesfalls als wissenschaftlich fundierte oder gesicherte Erkenntnisquelle herangezogen werden. Sie kann lediglich als „grobe Orientierung“ dienen und Tendenzen aufzeigen.

Im Einzelnen basiert die Auswertung auf folgenden Unterlagen:

- Berichte der Bezirksregierungen
- Berichte des Sondereinsatzes des LANUV
- Feuerwehrberichte
- Polizeiberichte/-meldungen (in Einzelfällen vorhanden)

- Pressemeldungen
- Gutachten zur Brandursachenermittlung (nur in Ausnahmefällen vorhanden)

Anhand der vorliegenden Unterlagen lässt sich lediglich für 24 der 94 Brandereignisse eine gesicherte Brandursache ermitteln. Bei den übrigen 70 Brandereignissen lassen die vorliegenden Unterlagen keine gesicherte Aussage zur Brandursache zu. In diesem Zusammenhang wird auch darauf hingewiesen, dass selbst in den Fällen, in denen Unterlagen zu einer gutachterlichen Brandursachenermittlung vorlagen, die Brandursache aufgrund der hohen Temperaturen und des enormen Schadensausmaß häufig zwar eingegrenzt, aber nicht mehr zweifelsfrei bestimmt werden konnte.

Bei den 24 Brandereignissen, bei denen anhand der vorliegenden Unterlagen die Brandursache als gesichert angesehen werden kann, handelt es sich in 19 Fällen um technische Defekte (vgl. Abbildung 2). Dieser hohe Anteil ist u.a. darauf zurückzuführen, dass ein technischer Defekt i. d. R. einfacher nachzuweisen ist als beispielsweise eine Selbstentzündung. Die übrigen fünf Fälle verteilen sich auf „vorsätzliche“ Brandstiftung (drei Fälle), auf feuergefährliche Arbeiten (ein Fall) und auf einen Trichterbrand¹ (ein Fall).

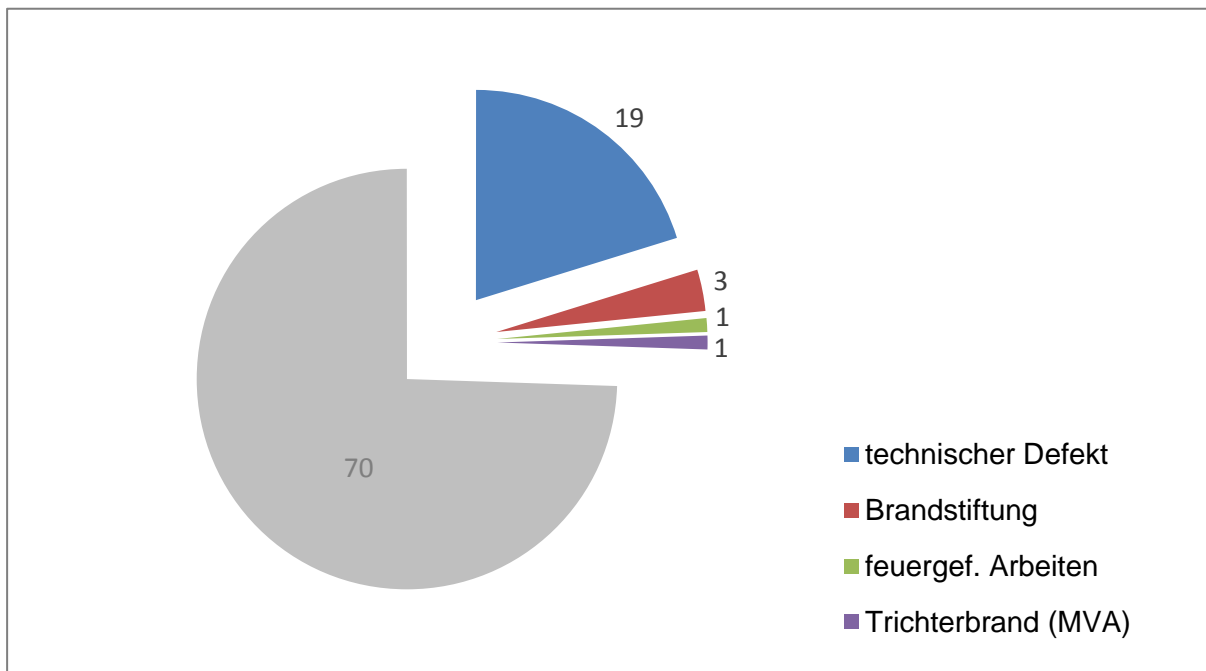


Abbildung 2 gesicherte Brandursachen

Damit für die übrigen 70 Brandereignisse überhaupt eine Auswertung erstellt werden konnte, musste oftmals auf die „mutmaßlichste“ bzw. „wahrscheinlichste“ Brandursache zurückgegriffen werden (vgl. Abbildung 3).

Bei 31 Brandereignissen wurde eine Selbstentzündung angenommen. In diesen Fällen findet sich in den Unterlagen häufig die Formulierung „die Brandursache ist unbekannt,

¹ Trichterbrände ereignen sich gelegentlich in Müllverbrennungsanlagen. Wenn im aufgegebenen Material z.B. Hohlräume vorhanden sind, kann es passieren, dass sich der Abfall am Aufgabestößel entzündet und im Trichter hochbrennt. Die Aufgabetrichter sind aus diesem Grund bereits mit einer Trichterberieselung ausgestattet, die in diesem Fall jedoch wirkungslos blieb, da die Rückseite einer an der Trichterwand eingeklemmten Kunststoffmatte brannte.

vermutlich handelt es sich jedoch um eine Selbstentzündung“ wieder. Diesbezüglich muss angemerkt werden, dass die Einstufung „Selbstentzündung“ auf dem Ausschlussprinzip beruht. Als Brandursache wird häufig eine Selbstentzündung angenommen, wenn alle anderen Brandursachen mit Sicherheit ausgeschlossen werden können und die Umstände eine Selbstentzündung grundsätzlich ermöglichen könnten. Ein solcher Ausschluss ist jedoch, insbesondere auch mit Blick auf das große Schadensausmaß bei Bränden in Abfallbehandlungsanlagen, zumeist nur schwer möglich. Dadurch, dass aus den vorliegenden Unterlagen häufig nicht hervorgeht, inwieweit die anderen Brandursachen mit Sicherheit ausgeschlossen werden konnten, wurden alle „vermeintlichen“ Selbstentzündungen im Rahmen der Auswertung vorsorglich als ungesicherte Brandursache eingestuft.

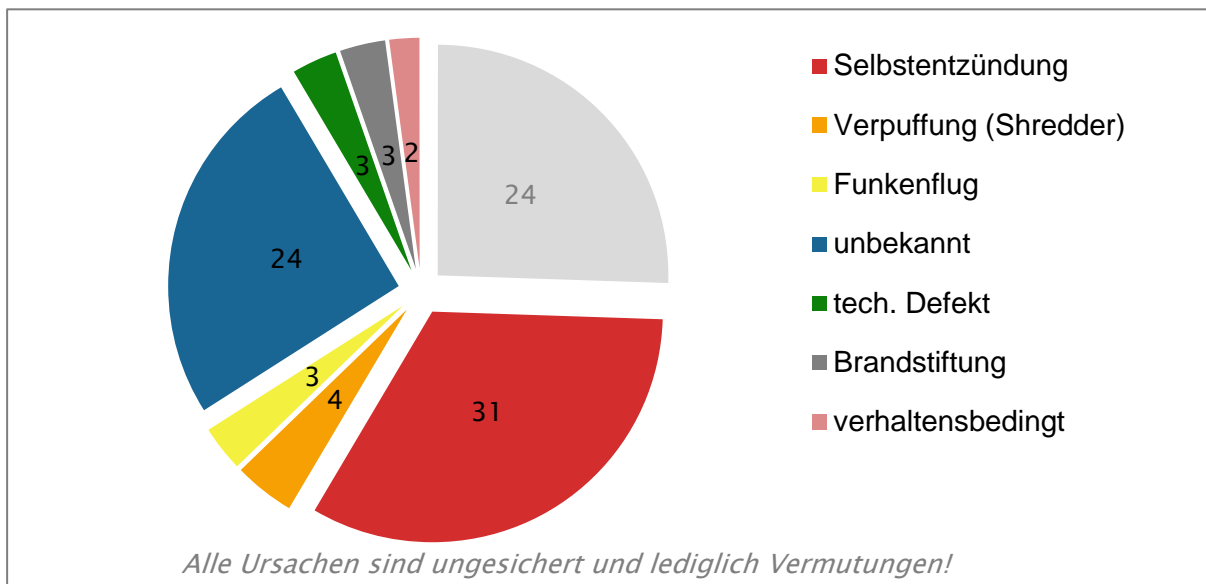


Abbildung 3 ungesicherte Brandursachen

Bei vier Brandereignissen ist dokumentiert, dass im Vorfeld des Brandes eine Verpuffung innerhalb eines Shredders wahrgenommen wurde. Eine solche Verpuffung kann z. B. hervorgerufen werden, wenn nicht sachgerecht entsorgte Abfälle (z. B. nicht restentleerte Behältnisse mit leicht entzündlichen Gasen/Flüssigkeiten) in einem nicht ex-geschütztem Zerkleinerer zerstört werden und mit einer potenziellen Zündquelle in Kontakt kommen.

Bei drei Brandereignissen wird vermutet, dass das Brandereignis durch Funkenflug ausgelöst wurde. In zwei dieser drei Fälle soll der Funkenflug durch einen Shredder ausgelöst worden sein, in einem Fall durch das „Abschaben“ eines Radladers.

Es ist davon auszugehen, dass auch weitere Brände, die hier z. B. als Selbstentzündung aufgeführt sind, ggf. auf Funkenflug oder eine Verpuffung zurückzuführen sind, da ein solches Ereignis oftmals unerkannt bleibt. Sofern ein solches Ereignis nicht bemerkt wird, kann sich ein Glutnest z. B. über die Förderbänder in sämtliche Anlagenbereiche verteilen und sich in einem Zwischen- oder Ausgangslager schnell zu einem Schwel- oder Vollbrand ausweiten.

Neben den Gefahren einer Selbstentzündung, die auf biologische oder chemische Erwärmungsprozesse zurückzuführen ist, bereiten den Betreibern auch zunehmend falsch entsorgte Abfälle Sorge. Neben Behältnissen mit leicht entzündlichen Stoffen (z. B.

Petroleum, Grillanzünder, Feuerzeuggas, ...), geraten auch immer wieder Lithium-Ionen Akkus, die heutzutage mittlerweile fast in allen Elektrogeräten verbaut werden, in den Hausmüll oder in die gelben Tonne. Sofern diese Akkus mechanisch zerstört (z. B. beim Abkippen vom LKW, bei der Aufnahme vom Radlader, durch einen Zerkleinerer, ...) oder durch metallische Gegenstände überbrückt werden, kann es zu einer Kurzschlussreaktion, einem thermischen Durchgehen kommen, bei dem auf der Oberfläche auch kleiner Akkus eine Temperatur > 800 °C auftritt. Dieses thermische Durchgehen kann hierbei auch noch längere Zeit nach der mechanischen Zerstörung ausgelöst werden. Ein weiterer problematischer Abfallstoff, der vereinzelt genannt wurde (insbesondere bei Baumischabfällen), ist ungelöschter Brandkalk (Calciumoxid), der in Verbindung mit Wasser unter starker Wärmeentwicklung reagiert. Eine Aussage darüber, inwieweit Brandereignisse auf solche Problemabfälle zurückzuführen sind, lässt sich nicht treffen.

Bei 24 Brandereignissen wurde in den vorhandenen Unterlagen als Brandursache entweder nur „unbekannt“ angegeben oder aber es wurde keine Aussage zur möglichen Brandursache getroffen. Diese Brände wurden daher in der Abbildung 3 als „unbekannt“ eingestuft. Bei elf dieser 24 Brandereignisse liegen keinerlei Anhaltspunkte zur Brandursache vor. Bei zwölf dieser 24 Brandereignisse wurde keine Aussage zur möglichen Brandursache getroffen. Anhand der Beschreibungen ist jedoch nicht auszuschließen, dass es sich hierbei möglicherweise um eine Selbstentzündung handeln könnte. Bei einem Brand dagegen ist die Ursache unbekannt, nur eine Selbstentzündung konnte ausgeschlossen werden.

Bei jeweils drei Bränden lagen anfänglich Hinweise dafür vor, dass es sich um Brandstiftung bzw. um technische Defekte handeln könnte. Inwieweit sich diese Hinweise später bestätigt haben, ließ sich anhand der Unterlagen nicht ermitteln.

Bei zwei Bränden lag der Anfangsverdacht nahe, dass das jeweilige Brandereignis „verhaltensbedingt“ ausgelöst wurde. In einem Fall war eine externe Firma mit Wartungsarbeiten beschäftigt, in dem anderen Fall wurde anfänglich gemutmaßt, dass zwei Mitarbeiter in dem entsprechenden Bereich geraucht haben. Inwieweit sich dieser Anfangsverdacht bestätigte, konnte anhand der Unterlagen nicht ermittelt werden.

Anlagenspezifische Auffälligkeiten bei den Brandursachen

Mit Blick auf die einzelnen Anlagentypen ergeben sich bei den Brandursachen folgende Auffälligkeiten:

- Bei Autodemontagebetrieben liegt die hauptsächliche Brandursache bei der Brandstiftung (3 von 6 Fällen).
- Bei Anlagen zur Behandlung von gefährlichen Abfällen ist die Brandursache, sofern bekannt, zumeist auf einen technischen Defekt (z. B. defekte Rohrleitungen) zurückzuführen.
- Bei den Anlagen zur Behandlung metallischer Abfälle und Schrottplätzen liegt die hauptsächliche Brandursache im Bereich technischer Defekt (Shredder, Fahrzeuge) und Funkenflug (ausgelöst durch Shredder).
- Bei den Anlagen, in denen verstärkt mit kunststoffhaltigen Abfällen umgegangen wird (vgl. lfd. Nr. 9-13 der Tabelle 1), ist die Brandursache zumeist nicht eindeutig bestimmbar oder weitestgehend unbekannt. Von 57 Brandereignissen in diesen

Anlagen wird in 26 Fällen eine Selbstentzündung bzw. in 4 Fällen eine Verpuffung im Shredder als Brandursache angenommen (53 % der Fälle). Die übrigen 27 Brandereignissen verteilen sich auf technische Defekte (14 Fälle), auf vorsätzliche Brandstiftung (2 Fälle), auf feuergefährliche Arbeiten (1 Fall) und in 10 Fällen wird die Ursache gänzlich nur mit „unbekannt“ angegeben oder aber es liegen keine weiteren Informationen vor.

Verteilung der technischen Defekte

Insgesamt wurden 22 Brände in Nordrhein-Westfalen durch einen technischen Defekt ausgelöst (bei 19 Bränden gesichert, bei drei Bränden „vermutlich“). Eine Aufspaltung der technischen Defekte ist der Abbildung 4 zu entnehmen.

Fast die Hälfte der technischen Defekte trat an Förderbändern auf. Die Brände wurden in diesen Fällen überwiegend durch heiß gelaufene Lager oder defekte Antriebsmotoren ausgelöst. Die übrigen zwölf Brände verteilen sich mit je drei Bränden auf defekte Rohrleitungen (auslaufendes Öl, das sich entzündet hat) und auf defekte Fahrzeuge (Radlader, Bagger, Gabelstapler), mit je zwei Bränden auf defekte Shredder (Verpuffungen sind hier nicht berücksichtigt) und auf eine defekte Elektrik sowie jeweils ein Brand, der auf eine defekte Abluftanlage und eine defekte Pulverisierungsanlage zurückzuführen ist.

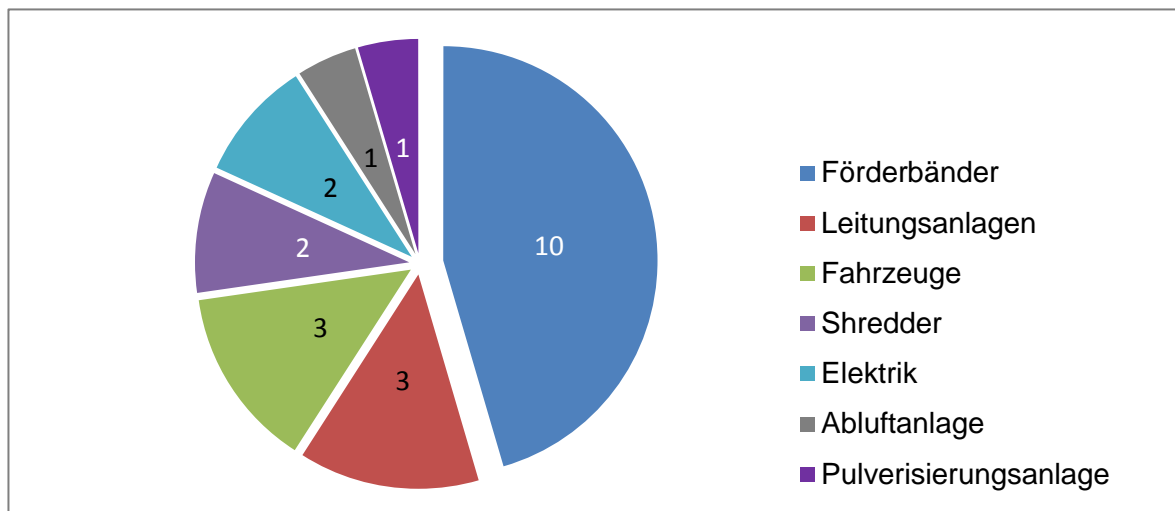


Abbildung 4 Technische Defekte

Ort der Brandentstehung

Die lokale Verteilung der Brände ist in Abbildung 5 dargestellt. In 24 Fällen lag die Brandquelle mutmaßlich in einem Freilager oder einem überdachten/teil-eingehausten Bereich (z.B. Lagerboxen, Containerabstellflächen, Ablagerungsfläche Deponien). In 34 Fällen lag die Brandquelle dagegen in einem Hallenlagerbereich. Dies zeigt, dass ca. 62 % der Brandereignisse in Lagerbereichen auftreten (davon ca. 60 % in Hallenlagern und ca. 40 % in Freilagern bzw. nur teil-eingehausten/überdachten Lagerbereichen). In welcher Form der Abfall dort gelagert wurde (z.B. lose Schüttung oder in gepressten Ballen), lässt sich anhand der Unterlagen zumeist nicht ermitteln. Es ist allerdings nur in drei Fällen die Rede davon, dass gepresste „Kunststoffballen“ in Brand geraten sind. Es ist daher davon auszugehen, dass überwiegend Abfall in „loser Schüttung“ in Brand geraten ist.

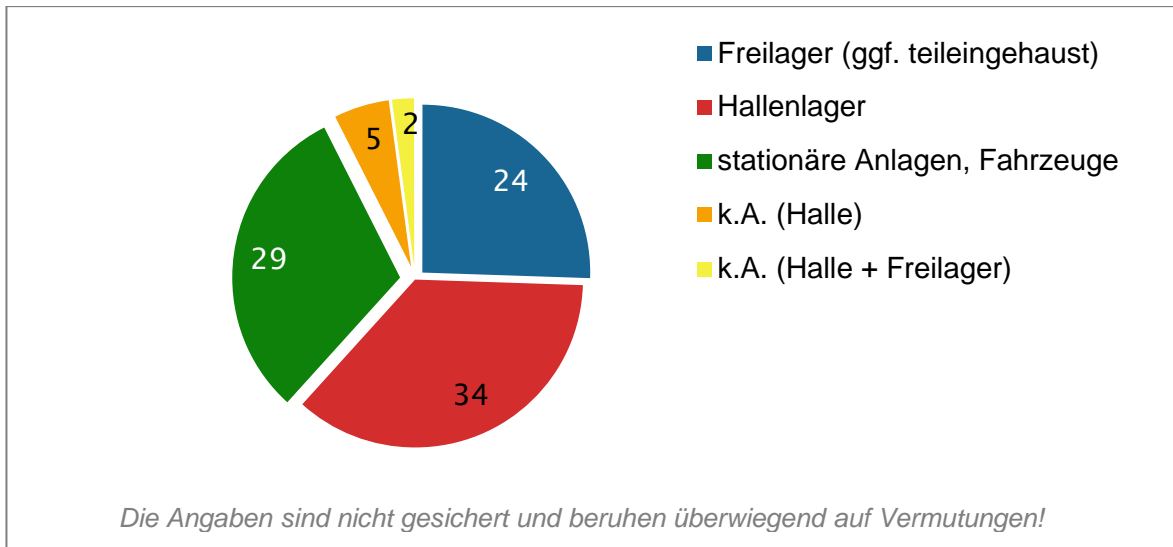


Abbildung 5 Lokale Verteilung der Brandquellen

In 29 Fällen lag die Quelle des Brandes mutmaßlich im technischen Anlagenbereich bzw. bei Fahrzeugen (tech. Defekte, Verpuffungen, Funkenflug). In den 29 Fällen sind neben den 23 technischen Defekten lediglich sechs Fälle von Verpuffungen oder Funkenflug enthalten. Tendenziell ist diese Zahl sehr gering. An dieser Stelle wird entsprechend nochmals darauf hingewiesen, dass Glutnester ggf. auch innerhalb des Aufbereitungsprozesses entstanden und unbemerkt über die Förderbänder in Lagerbereiche gelangt sein könnten.

In den technischen Defekten sind drei Fälle enthalten, die durch Fahrzeuge ausgelöst wurden, die im Hallenbereich abgestellt waren. Hieraus lässt sich die Empfehlung ableiten, dass Fahrzeuge außerhalb der Betriebszeiten nicht in Hallenbereichen oder zumindest mit ausreichendem Abstand zu brennbaren Material abgestellt werden sollten.

Bei den übrigen sieben Brandereignissen ist anhand der Unterlagen eine Aussage zum Entstehungsort nicht möglich. Hier lässt sich lediglich sagen, dass in fünf Fällen eine Halle und in zwei Fällen eine Halle in Kombination mit einem Freilager gebrannt haben.

3.1.4 Auffälligkeiten

- Bei ca. 2/3 aller in Nordrhein-Westfalen bewerteten Brandereignisse in Abfallbehandlungsanlagen sind kunststoffhaltige Abfälle zugegen. Dabei handelt es sich überwiegend um Anlagen, in denen kunststoffhaltige Abfälle gezielt aussortiert, mechanisch behandelt oder gelagert werden.
- Bei ca. 2/3 aller in Nordrhein-Westfalen bewerteten Brandereignisse in Abfallbehandlungsanlagen ist die genaue Brandursache weitestgehend unbekannt oder kann nur noch eingegrenzt werden.
- Zumeist (40 % aller Brandereignisse) wird eine Selbstentzündung (einschließlich Verpuffungen im Shredder, Funkenflug) angenommen oder aber die Brandursache wird gänzlich mit „unbekannt“ (26 % aller Brandereignisse) angegeben. Das übrige Drittel verteilt sich mit 23 % auf technische Defekte und mit 11 % auf „sonstige Ursachen“ (Brandstiftung, feuergefährliche Arbeiten, verhaltensbedingt). Betrachtet

man lediglich die Anlagen, in denen gezielt Kunststoffe aussortiert, behandelt oder gelagert werden, so verschiebt sich diese Verteilung noch weiter in Richtung der Selbstentzündung (52 % Selbstentzündung, 18 % unbekannt, 25 % technischer Defekt, 5 % Sonstiges).

- Technische Defekte treten bevorzugt (45 % aller Fälle) an Förderbändern auf. Zerkleinerungsaggregate (Shredder) sind hierbei auffällig, wenn man Verpuffungen als technischen Defekt berücksichtigen würde (9 % aller Fälle bzw. 23 % mit Verpuffungen).
- Bei ca. 2/3 aller in Nordrhein-Westfalen bewerteten Brandereignisse treten die Brände in Lagerbereichen auf (davon 60 % Hallenlager und 40 % Freilager, teil-eingehauste oder überdachte Flächen), in einem Drittel sind technische Einrichtungen (Maschinen, Fahrzeuge, Elektrik) betroffen.
- Es wird angenommen, dass i. d. R. Abfälle in loser Schüttung brennen. In lediglich drei Fällen lagen Hinweise vor, dass gepresste Kunststoffballen gebrannt haben.

3.2 Betrachtung einzelner Brandereignisse

Zu insgesamt 19 Brandereignissen liegen sehr umfangreiche Informationen, wie z. B. die Genehmigungsunterlagen, teilweise die Brandschutzkonzepte, die Einsatzberichte der Feuerwehren, Gutachten der Versicherungen bzw. Gutachten über die Brandursachenermittlung vor. Hierbei handelt es sich um Anlagen, in denen entweder Hausmüll, LVP oder gemischte Gewerbeabfälle aufbereitet wurden oder aber um Anlagen, in denen Ersatzbrennstoffe hergestellt wurden. Diese Brandereignisse wurden im Rahmen des Untersuchungsvorhabens detailliert aufgearbeitet. Aus Datenschutzgründen können an diese Stelle jedoch nur die wesentlichsten Erkenntnisse kurz zusammengefasst werden:

Bei allen Bränden werden die Löscharbeiten als aufwendig beschrieben und in allen Fällen musste die gesamte Brandlast, in diesen Fällen hauptsächlich Abfälle, aus den betroffenen baulichen Anlagen gefahren werden. Anschließend musste es auf Ablöschflächen mit Hilfe von Baggern auseinandergezogen und abgelöscht werden. Zudem zogen sich die Einsätze jeweils über mehrere Tage und waren sehr personal- und materialintensiv.

Festzustellen ist außerdem, dass bei den betrachteten Fällen die Maßnahmen des vorbeugenden Brandschutzes z. T. nicht bestimmungsgemäß wirkten. Beim Brand einer Abfallbehandlungsanlage überwand der Brand eine Brandwand, welche zwei Hallen voneinander trennte. Bei einem anderen Brandereignis funktionierte die Brandmeldung über die Brandmeldeanlage nicht, sodass die Feuerwehr nicht automatisch über den Brand informiert wurde. Im letzten betrachteten Fall löste die Sprinkleranlage der betroffenen Hallen zwar aus, konnten den Brand jedoch nicht unter Kontrolle halten bzw. eindämmen. Die konkreten Gründe dafür sind ungeklärt.

Die Annahme, dass es verstärkt in Anlagen mit kunststoffhaltigen Abfällen brennt, bestätigte sich sowohl bei der Auswertung der Brandereignisse in Nordrhein-Westfalen (vgl. Kapitel 3), als auch bei der detaillierten Betrachtung. So kam es z. B. innerhalb weniger Wochen zu drei Brandereignissen in einer Anlage.

3.3 Daten der Versicherer

3.3.1 Allgemeines

Durch das LANUV wurde in Abstimmung mit dem GdV ein Fragebogen erstellt, der an Versicherer von Anlagen, in denen es zu Brandereignissen gekommen ist, übersendet wurde. Die zentrale Verteilung, Bündelung und eine Anonymisierung wurde durch den GdV sichergestellt. Insgesamt wurden bundesweit 24 Versicherer angefragt, von denen sich 14 Versicherer beteiligten. Dies entspricht einer Rücklaufquote von etwa 60 %. Insgesamt ließ sich eine Datenbasis von 52 ausgefüllten Fragebögen zur Auswertung heranziehen.

3.3.2 Aufbau des Fragebogens

Der hier beschriebene Fragebogen besteht aus 25 Fragen, die sehr unterschiedliche Antworten zulassen. Es sind sowohl offene als auch geschlossene Fragen vorhanden. Bei einzelnen Fragen sind Mehrfachnennungen möglich, und zum Teil sollen bestimmte Antworten erläutert oder durch Freiantworten gestützt werden. Einige Frage beinhalten mehrere Fragenstellungen.

3.3.3 Schwierigkeiten bei der Auswertung

In Qualität und Umfang der Antworten ist eine breite, deutliche Streuung festzustellen. So lassen sich in der Mehrzahl der Fragebögen teilweise neben fehlerhaften oder missverständlichen Angaben auch zahlreiche unbeantwortete Fragen finden. Ein weiteres Problem sind die zum Teil nur schwer oder nicht objektiv bewertbaren Informationen über teilweise komplexe Schadensereignisse. Würden nur die vollständig und korrekt ausgefüllten Fragebögen berücksichtigt, bliebe eine Stichprobe im einstelligen Bereich übrig, was eine statistische Auswertung ausschließen würde. Aus diesem Grund dient die Auswertung der Fragebögen an dieser Stelle dem Zweck Trends und erste Schlussfolgerungen abzuleiten, die ggf. validiert werden müssen.

3.3.4 Auswertung

Frage 1: Um welche Art Abfallbehandlungsanlage hat es sich beim vorliegenden Brandereignis gehandelt?

Die Antworten sind breit über die zwölf wählbaren Anlagentypen verstreut. Zum Teil erfolgten Mehrfachnennungen. Die vier am häufigsten genannten Typen sind Sortieranlagen (26 %), Anlagen zur weitergehenden Aufbereitung (EBS/SBS-Herstellung) (24 %), Zerkleinerungsanlagen (18 %), und Umschlaganlagen (10 %). In Summe entfallen somit alleine 50 % der Nennungen auf Sortieranlagen und Anlagen zur Erzeugung von Ersatzbrennstoffen. Die 18 % der Zerkleinerungsanlagen und die 10 % der Umschlaganlagen dürften z. T. auf die Möglichkeit der Mehrfachnennung zurückzuführen sein.

Tabelle 2 Verteilung der Brandereignisse auf die Anlagenarten

Anlagenart	Anzahl	Anteil
Shredder-/Zerkleinerungsanlage	12	18 %
Sortieranlage	18	26 %
Weitergehende Aufbereitung	16	24 %
MBA	4	6 %
Kompostierung / Rotte	4	6 %
Vergärung	1	1 %
MVA	0	0 %
Trocknung	1	1 %
CPB	0	0 %
Umschlag	7	10 %
Abfallzwischenlager	3	4 %
Sonstige Anlage	2	3 %
Summe	68	100 %

Frage 2: Welche Abfallarten werden beim vorliegenden Betrieb behandelt und gelagert?

Die am häufigsten genannten Abfallarten sind Kunststoffabfälle (22 %), Gewerbeabfälle (16 %) sowie Papier, Pappe und Kartonagen (11 %). Daneben stehen mit je 7 % der Nennungen Restmüll, Sperrmüll, Altholz und Bioabfälle sowie mit 6 % der Nennungen Ersatzbrennstoffe noch etwas hervor. In der Regel werden in einem Betrieb mehrere Abfallarten gelagert, was sich auch darin widerspiegelt, dass von der Mehrfachnennungsmöglichkeit umfassend Gebrauch gemacht wurde. Insgesamt entfallen somit 51 % der Nennungen auf kunststoffhaltige Abfälle (LVP, Gewerbeabfälle, Restmüll, EBS). Auffällig ist jedoch, dass nur 6 % der Nennungen auf EBS entfallen.

Tabelle 3 Verteilung der Brandereignisse auf die Abfallarten
Mehrfachnennungen wurden gewertet.

Abfallart	Anzahl	Anteil
Restmüll	8	7 %
Kunststoff/LVP	26	22 %
Gewerbe	19	16 %
Sperrmüll	8	7 %
Altholz	8	7 %
Altreifen	1	1 %
EBS	7	6 %
PPK	13	11 %
Elektroaltgeräte	5	4 %
Bioabfall	8	7 %
Metalle	9	8 %

Abfallart	Anzahl	Anteil
Altbatterien	0	0 %
Öle / Fette	2	2 %
Altautos	1	1 %
gef. Abfälle	2	2 %
Sonstiges	3	3 %
Summe	120	100 %

Frage 3: *Wie hoch war die kumulierte Schadenssumme beim vorliegenden Brandereignis?*

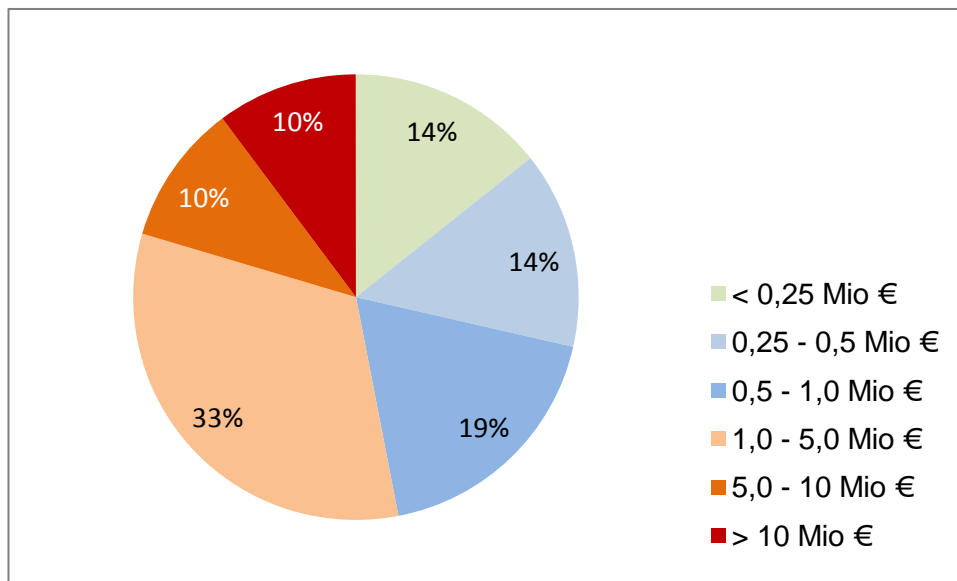


Abbildung 6 Schadenssummen
49 von 53 Fragebögen konnten bei der Auswertung dieser Frage berücksichtigt werden.

Frage 5: *Gibt es Hinweise darauf, dass im Vorfeld des Brandereignisses Extremwetterlagen (z.B. Hitzeperioden) vorherrschten?*

Mit einer Ausnahme, in der eine vorausgegangene Hochsommerperiode beschrieben wird, gibt es keine auf die Witterung bezogenen Hinweise.

Frage 4: *Zu welchem Zeitpunkt ist der Brand ausgebrochen?*

Ein signifikanter Unterschied zwischen Werktagen und Sonn- und Feiertagen sowie zwischen Betriebszeit und nicht-Betriebszeit ist nicht zu erkennen.

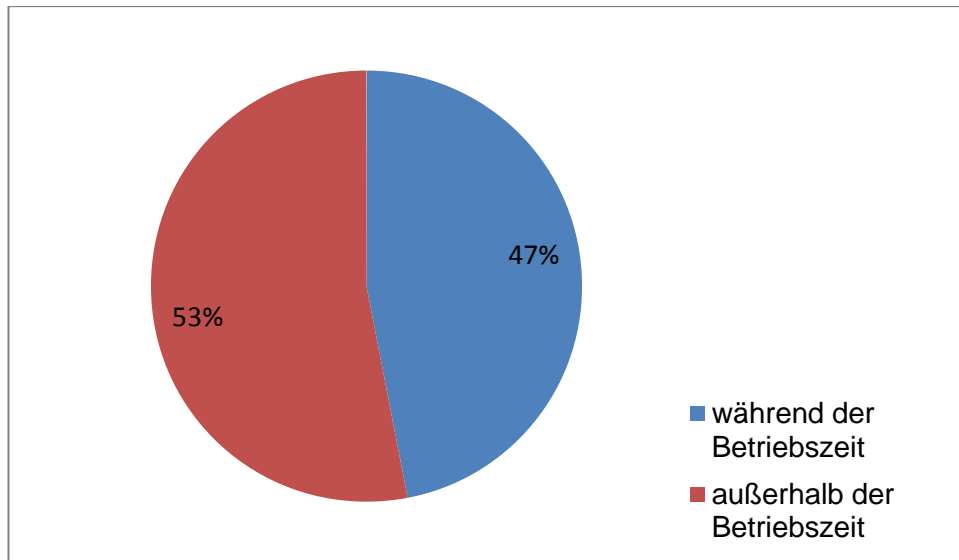


Abbildung 7 Verteilung der Brandereignisse während und außerhalb der Betriebszeit

Auffällig ist die Verteilung der Brandereignisse nach den Jahreszeiten, wo die Brände in den Sommermonaten mit 40 % deutlich häufiger vorkommen als in den Wintermonaten mit 18 %.

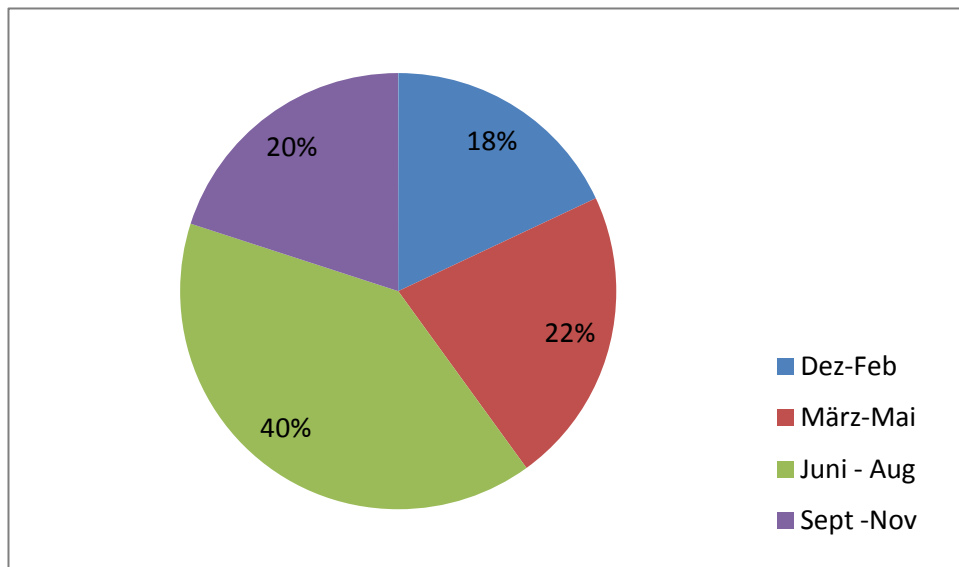


Abbildung 8 Verteilung der Brände auf die Jahreszeiten

Frage 6: *In welchem Anlagenbereich lag die Quelle des Brandereignisses?*

Bereits anhand der Mehrfachnennungen wurde ersichtlich, dass die Fragestellung teilweise zumindest missverständlich aufgefasst worden sein musste. Tendenziell wurde hier nicht nur die Quelle des Brandereignisses angegeben, sondern eher die vom Brandereignis betroffenen Anlagenbereiche. Dies würde zumindest die Mehrfachnennungen erklären. Eine Auswertung bzw. eine qualifizierte Aussage zu dieser Fragestellung wäre aus diesem

Grund eigentlich nicht möglich. Aufgrund der Bedeutsamkeit der Fragestellung werden die jeweiligen Nennungen im Folgenden dennoch dargestellt, um ggf. Tendenzen daraus ableiten zu können.

Aus Abbildung 9 wird ersichtlich, dass 38 % der Nennungen das Eingangslager und nur 18 % der Nennungen das Ausgangslager als Brandort beziffern. Auf die Lagerbereiche entfallen in Summe somit 56 % der Nennungen. Dies würde sich auch mit den Auswertungen zu den Brandereignissen in Nordrhein-Westfalen (Kapitel 3.1) decken, bei denen in 62% der Brandereignisse auf die Lagerbereiche entfielen. Auf den Behandlungsbereich (Verarbeitung) entfallen 38 % der Brandereignisse, was sich ebenfalls weitestgehend mit den Ergebnissen zu den Brandereignissen in Nordrhein-Westfalen deckt, bei denen 31 % der Brandereignisse auf diesen Bereich entfielen. Nur in 7 % der Ereignisse lag die Quelle eines Brandes in anderen Räumlichkeiten oder im Bereich der Elektrik.

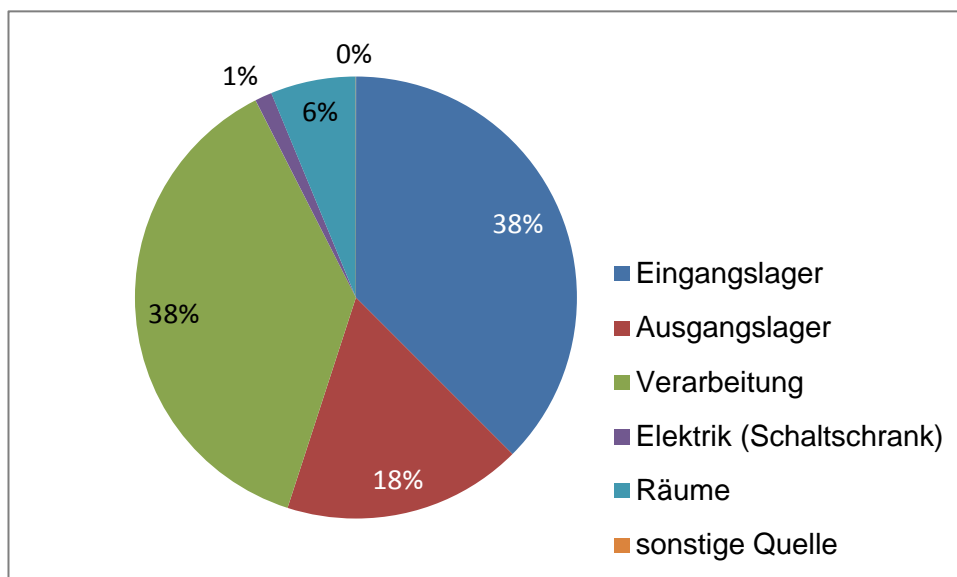


Abbildung 9 Räumliche Zuordnung des Brandbeginns

In Tabelle 4 werden die jeweiligen Nennungen nochmals weiter aufgeschlüsselt. Bei den Ein- und Ausgangslagern ist auffällig, dass über 60 % der Brandereignisse in vollständig geschlossenen Hallenbereichen auftreten. Die übrigen 40 % entfallen überwiegend auf teileingehaute/überdachte Flächen bzw. in Einzelfällen auf vollständig offene Lagerbereiche. Auch diese Erkenntnis deckt sich mit den Auswertungen zu den Brandereignissen in Nordrhein-Westfalen.

Auf den maschinellen Teil entfallen insgesamt 30 Nennungen, wobei Förderbänder mit zehn, Shredder mit sieben und Siebanlagen mit fünf Nennungen hervorstechen. Die Häufung der Nennungen „Förderbänder“ und „Shredder“ würde sich auch mit den Erkenntnissen zu den Auswertungen in Nordrhein-Westfalen decken, sofern man bei den Shreddern die dort genannten „Verpuffungen“ berücksichtigen würde.

Tabelle 4 Räumliche Zuordnung des Brandbeginns

Anlagenteil	Bereich	Anzahl	Anteil
Eingangslager	Eingangslager offen	3	4 %
	Eingangslager überdacht	9	11 %
	Eingangslager geschlossen	18	23 %
Ausgangslager	Ausgangslager offen	0	0 %
	Ausgangslager überdacht	5	6 %
	Ausgangslager geschlossen	9	11 %
Behandlung	Förderband	10	13 %
	Shredder/Zerkleinerer	7	9 %
	Siebung/ Sichtung	5	6 %
	Ballenpresse	1	1 %
	Pelletpresse	2	3 %
	Sonstiges Aggregat	5	6 %
Räume	Sozialraum	1	1 %
	Büroraum	1	1 %
	Werkstatt	0	0 %
	sonstige Räume	3	4 %
sonstige Quelle	Schaltschrank	1	1 %
Summe		80	100 %

Frage 7: *Konnte beim vorliegenden Brandereignis die genaue Brandursache ermittelt werden?*

Diese Frage wurde in 36 von 53 Fällen positiv beantwortet. Allerdings ließen sich die Brandursachen in einigen Fällen nur auf zwei Möglichkeiten eingrenzen. Häufigste nachgewiesene Ursache sind die Selbstentzündung des Abfalls [15] und technische Defekte [8]. Durch die ausgeprägte Zerstörung lassen sich in einigen Fällen keinerlei Anhaltspunkte für die Brandursache finden.

Frage 8: *Ist beim vorliegenden Brandereignis Abfall in Brand geraten? Lag der Brandherd innerhalb dieser Abfallmenge? Wie wurde der Abfall gelagert?*

In 3/4 der Fälle ist Abfall in Brand geraten, wobei auch der Brandherd mehrheitlich innerhalb der Abfallmenge lag. In 65 % der Fälle wurde der Abfall als lose Schüttung, in 15 % der Fälle als Ballen und in 16 % der Fälle wurde der Abfall in offenen Behältern oder Mulden gelagert.

Tabelle 5 Verteilung der Brandereignisse auf das Brandgut

Abfallagerung	Anzahl	Anteil
lose Schüttung	31	65 %
Ballenlagerung	7	15 %
gestapelt	1	2 %
Bigbag/FIBC	1	2 %
in offenen Behältern	4	8 %
in offenen Mulden	4	8 %
Summe	48	100 %

Frage 9: Welche sonstigen Erkenntnisse (Besonderheiten/Auffälligkeiten) liegen zur Brandursache vor?

Durch die geringe Aussagekraft der wenigen Antworten wird auf eine Auswertung dieser Frage verzichtet.

Frage 10: Wie wurde das Brandereignis bemerkt und wie wurde die Feuerwehr informiert?

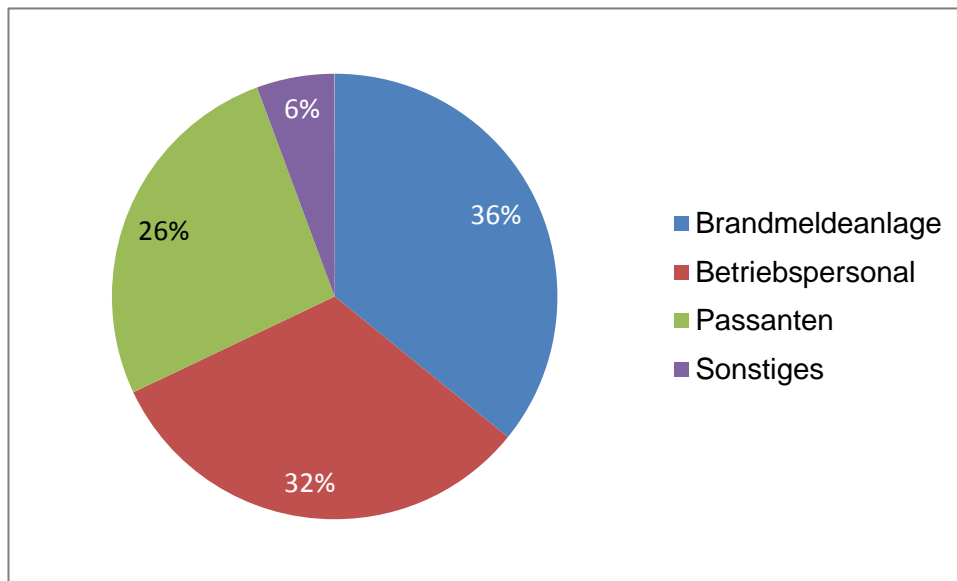


Abbildung 10 Brandentdeckung

Frage 11: *War auf der Anlage eine automatische Branderkennung/-melde-einrichtung vorhanden? Ist die automatische Branderkennung/-melde-einrichtung ausgelöst worden? Was für eine Branderkennung/-melde-einrichtung wurde auf der Anlage verwendet?*

Bei der Beantwortung dieser Frage gab es eine hohe Quote von offensichtlichen Fehlangaben. Aus den Antworten ließ sich lediglich schlussfolgern, dass eine knappe Mehrheit der Betriebe über eine Brandmeldeanlage verfügte.

Frage 12: *Wie erfolgte die Brandmeldung (z. B. über ständig besetzte Stelle)?*

Die Frage wurde scheinbar missverständlich aufgefasst oder konnte ggf. nicht beantwortet werden. Die Antworten sind nicht auswertbar.

Frage 13: *Stand eine automatische Löschtechnik / Brandbekämpfungseinrichtung zur Verfügung?*

Für die Auswertung konnten 47 Fragebögen berücksichtigt werden, in denen in fünf Fällen das Vorhandensein einer stationären Löschanlage angegeben wurde.

Frage 14: *Welcher Zeitraum ist ungefähr zwischen der Entstehung des Brandes (bzw. dem Eintrag des Glutnests) und dem Auslösen des Feueralarms verstrichen?*

In 23 von 45 Fällen konnte hierzu keine Angabe gemacht werden. In sechs Fällen wurde ein Zeitraum von unter einer Minute, in acht Fällen ein Zeitraum von bis zu 30 Minuten und in sieben Fällen ein Zeitraum von mehreren Stunden genannt. In einem Fall konnte der Zeitraum nur auf max. drei Tage eingegrenzt werden.

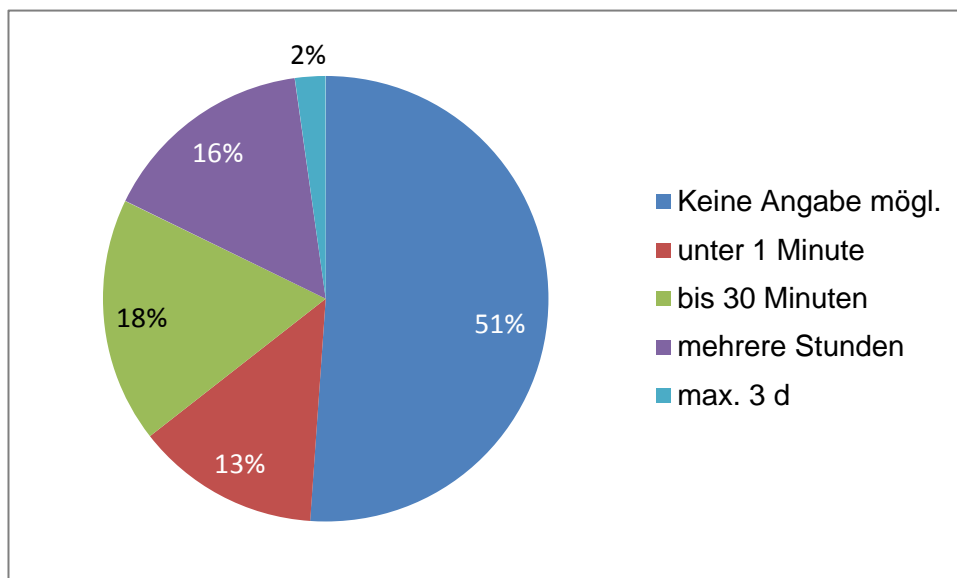


Abbildung 11 Zeitraum bis zum Auslösen des Feueralarms

Frage 15: *Wurden durch den Anlagenbetreiber eigene Brandbekämpfungsmaßnahmen vorgenommen? Welche Löschmittel standen dabei zur Verfügung?*

Nur bei jedem dritten Brandereignis wird von eigenen Lösversuchen berichtet. Diese wurden meist mit tragbaren Feuerlöschgeräten (57 % der Nennungen) oder mittels Wandhydranten (30 % der Nennungen) unternommen.

Frage 16: *Wie viel Zeit verging zwischen Eingang des Brandalarms bei der Leitstelle und dem Beginn der Brandbekämpfungsmaßnahmen?*

Die Mehrzahl der Antworten lag im Bereich von 11-15 Minuten, wobei im Hinblick auf vorliegende Einsatzdokumentationen davon auszugehen ist, dass die Eintreffzeit der Feuerwehr als Referenz angenommen wurde.

Tabelle 6 Zeit zwischen Eingang des Brandalarms und Beginn der Brandbekämpfung

Dauer	Anzahl	Anteil
weniger als 5 Minuten	2	5%
5 - 10 Minuten	8	20%
11 - 15 Minuten	16	40%
16 - 20 Minuten	4	10%
21 - 30 Minuten	1	3%
mehr als 30 Minuten	2	5%
nicht bekannt	7	18%
Summe	40	

Frage 17: *Wurden die Löscharbeiten durch besondere Bedingungen erschwert?*

Weniger als 30 % der Antworten bewerten diese Frage positiv. Neben ungünstigen Windverhältnissen werden unzureichende Kräfteansätze der alarmierten Feuerwehr, zu hohe Brandlasten und die Einsturzgefahr von Lagerhallen als erschwerend beschrieben.

Frage 18: *War eine Löschwasserrückhaltung vorhanden? Sind aus einer nicht vorhandenen bzw. nicht hinreichenden Löschwasserrückhaltung Umweltschäden entstanden?*

Nur in fünf der 48 verwertbaren Fragebögen gab es eine Löschwasserrückhaltung. Bis auf eine einzige Ausnahme (Bodenkontamination) sind jedoch durch abfließendes Löschwasser nach Einschätzung der Sachversicherer keine Umweltschäden entstanden.

Anmerkung: Das Ergebnis ist möglicherweise nicht repräsentativ, da die Fragebögen von den Sachversicherern bearbeitet wurden. Umweltschäden durch Löschwasser sind jedoch Haftpflichtschäden, so dass diese den Sachversicherern möglicherweise nicht bekannt waren.

Frage 19: *Ist der Brand von der Ausbruchsstelle auf andere Anlagenbereiche übergetreten?*

In 2/3 der Fälle konnte ein Übergreifen verhindert werden. Allerdings war eine genauere Auswertung der Antworten nicht möglich.

Frage 20: *Haben bauliche, technische oder organisatorische Maßnahmen dazu beigetragen, dass eine Ausbreitung des Brandes verhindert bzw. eingedämmt werden konnte?*

Bei dieser Frage geben 33 von 50 Befragten an, dass vorhandene Brandschutzmaßnahmen wirkungslos waren. Die übrigen 17 Befragten verwiesen mehrheitlich auf das funktionierende Konzept der baulichen Trennung. Lediglich zwei Befragte verwiesen auf automatische Löschtechnik.

Frage 21: *Gibt es Hinweise darauf, dass die Anlage nicht genehmigungskonform betrieben wurde? Wurde die Brandausbreitung hierdurch begünstigt bzw. Löscharbeiten hierdurch erschwert?*

Auffällig ist hier, dass nur in einem Fall Hinweise einer Überlagerung vorlagen.

Frage 22: *Wurden brandschutztechnische Konsequenzen aus dem Schadensereignis gezogen? Wurden Konzepte zusammen mit dem Versicherer oder anderen Stellen entwickelt? Wurden die Konzepte zu 100 % umgesetzt? Welche Investitionen für zusätzliche Brand- und Explosionsschutzmaßnahmen hat dies ca. erfordert?*

In 40 % der Fälle wurden brandschutztechnische Konsequenzen aus dem Ereignis gezogen. Exemplarisch sind hierbei die Notentleerung, stationäre Löschanlagen, Ausbildung von Brandabschnitten, Begrenzung der Lagerflächen/-höhen, Einrichtung und Freihaltung von Ablöschflächen sowie die bauliche Ertüchtigungen zu nennen. Die beiden Fragen nach Entwicklung und Umsetzung werden auf Grund der geringen Beteiligung nicht weiter behandelt. Die Investitionen wurden mit einer Spannweite von 100.000 € bis 1.000.000 € angegeben.

Frage 23: *Hat es neben dem reinen Sach- und Betriebsunterbrechungsschaden auch Personen- oder Umweltschäden gegeben?*

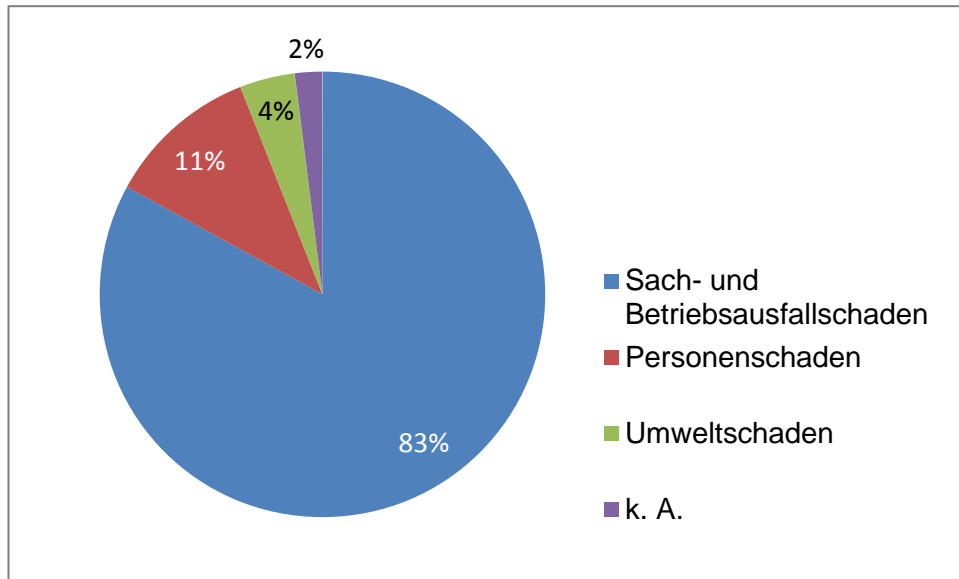


Abbildung 12 Schadensarten

Frage 24: *Wie lange war der Betrieb durch das Schadensereignis unterbrochen, stark eingeschränkt oder wurde der Betrieb sogar gänzlich eingestellt?*

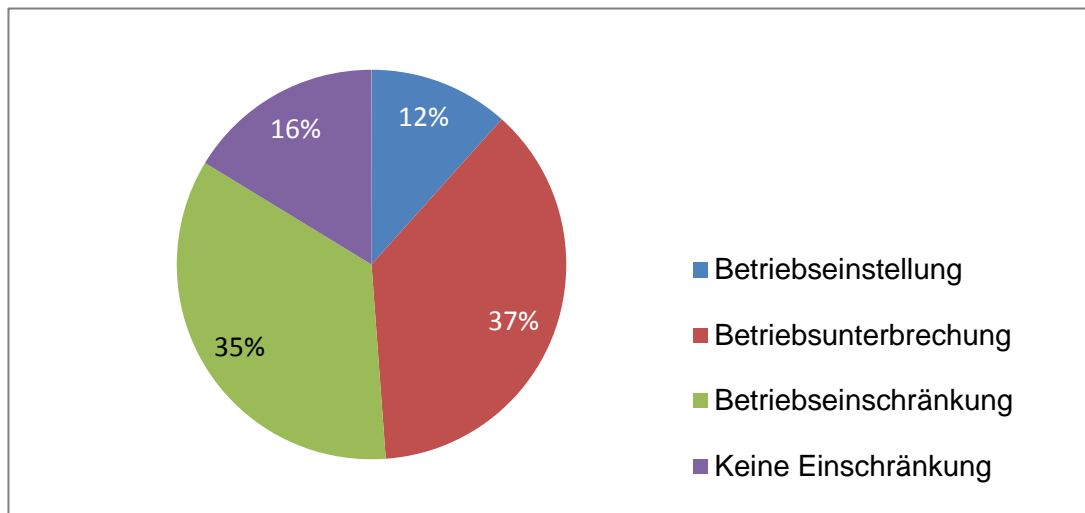


Abbildung 13 Einwirkungen auf den Betrieb

Unterbrechungen werden mit einer Spannweite von wenigen Wochen bis hin zu 17 Monaten angegeben.

Frage 25: Wäre das Schadensereignis oder das Schadensausmaß aus ihrer Sicht vermeidbar/reduzierbar gewesen?

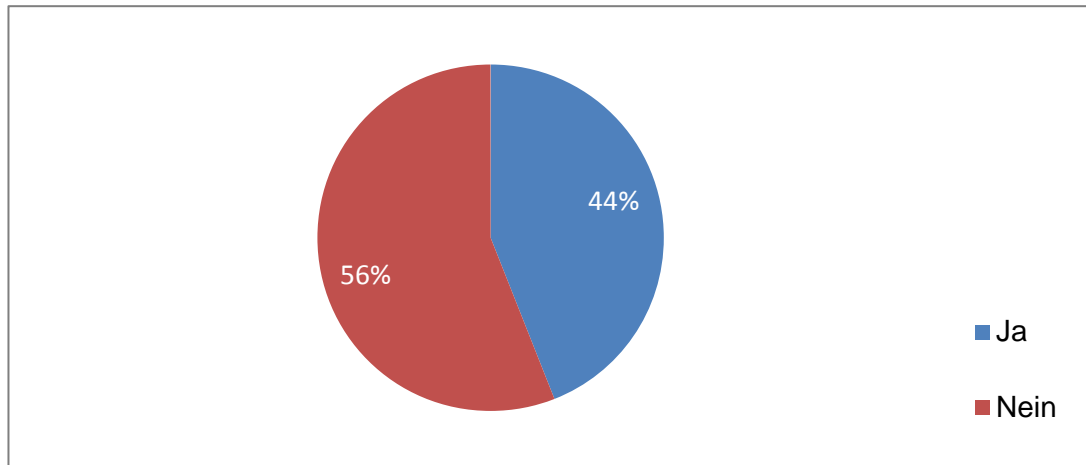


Abbildung 14 Einschätzung der Vermeidbarkeit von Bränden

Fragebögen in denen die Frage mit „Ja“ beantwortet wurde, enthielten meist sehr konkrete Lösungsstrategien (vgl. Tabelle 7) wie etwa Brandmelde- und/oder Löschanlagen. Auch die Einhaltung von Lagerflächen/-höhen und Abständen wird ebenso als Empfehlung gegeben, wie auch ein ausreichender Kräfteansatz der zuständigen Feuerwehr im Rahmen der Einsatzplanung.

Tabelle 7 Strategien zur Vermeidung und Schadensminimierung

Strategien zur Vermeidung und Verminderung	
organisatorisch	baulich, anlagentechnisch
aufmerksamere Medientrennung und Reinigung der Betriebsanlagen (3 x)	stationäre Löschanlage (11 x)
Einhaltung Lagerflächen/-höhen, Mindestabstände (3 x)	flächendeckende automatisch BMA (4 x)
Anwesenheit Wachdienst (2 x)	IR-Kamera und Löschmonitor (3 x)
Kontrolle der Aufgabestoffe	Funktionstüchtigkeit Feuerschutzabschlüsse (2 x)
Einsatzdokument zuständige Feuerwehr	Verbesserte Konstruktion - Vermeidung von-Feinstaubansammlungen (2 x)
Verbesserte Wartung	Verwendung nicht brennbarer Abluftrohre
Beurteilung Ex-Gefahren	Ertüchtigung der Brandabschnitte/ Brandbekämpfungsabschnitte
Verringerung der Bandlaufgeschwindigkeit	Ausweitung IR-Melder und Sprinkler
Vermeidbar durch Spannungsfreischaltung	Temperaturüberwachung der Abluftventilatoren (2 x)
Implementiertes Schutzkonzept	

4 Brandschutz in Abfallbehandlungsanlagen – Sachstand

4.1 Allgemeine Aspekte

Der vorbeugende Brandschutz besteht aus baulichen, anlagentechnischen und organisatorischen Maßnahmen, die sich gegenseitig ergänzen und objektspezifisch aufeinander abgestimmt werden müssen.

Der anlagentechnische Brandschutz besteht aus Brandmeldeanlagen, Löschanlagen und Rauch- und Wärmeabzugsanlagen. Wegen der besonderen Umgebungsbedingungen haben die verschiedenen Brandmeldetechniken unterschiedliche Vor- und Nachteile. Keine der Techniken kann alleine alle Brandszenarien abdecken. Daher wird allgemein eine Kombination verschiedener Sonderbrandmeldetechniken empfohlen. Insbesondere der alleinige Einsatz von Rauchansaugsystemen und Infrarottechnik ist umstritten. Die Auswahl der Brandmelder muss objektspezifisch erfolgen. Derzeit werden Rauchansaugsysteme, linienförmige Wärmemelder, Infrarotsysteme sowie Gassensor-Meldeeinheiten eingesetzt. Von großem Vorteil sind eine exakte, automatische Ortung des Brandherdes und eine darauf basierende direkte Löschansteuerung. Dies sorgt für eine effektive und schnelle Brandbekämpfung sowie einen geringen Löschmitteleinsatz. Auch die Löschanlage muss spezifisch für den Bereich oder die Anlage ausgewählt werden. Schaum hat sich in Abfallbehandlungsanlagen bewährt. Die aktuell eingesetzten Löschanlagen sind Wasser-/Schaumwerferanlagen, Druckluftschaum-Löschanlagen und in bestimmten Bereichen Sprühwasserlöschanlagen, Wassernebellöschanlagen und Trichterlöschanlagen. Die Ansteuerung des Kranes durch die Brandmeldeanlage, der sich daraufhin aus dem Brandbereich bewegt, kann Schaden verhindern und Kosten sparen. Im Brandfall muss ausreichend Löschwasser zur Verfügung stehen. Auch zu einer Rauch- und Wärmeabzugsanlage in Gebäuden wird geraten [5], [6], [7].

Im Bereich des organisatorischen Brandschutzes gibt es einige Besonderheiten für Abfallbehandlungsanlagen, durch die Brände vermieden werden können. Zum einen sollten die Lagermengen gering gehalten und ein schneller Umschlag angestrebt werden, um die Wahrscheinlichkeit und das Ausmaß eines Brandes im Lager zu reduzieren. Zum anderen sollten Störungen schnell behoben werden können und bei längeren Betriebsunterbrechungen die Ersatzwege bereits geklärt sein. Bei der Lagerung von Abfallstoffen wird die Führung eines Einlagerungsplans empfohlen. Die Lagergeometrie und Lagerzeiten sollten so gewählt werden, dass die Selbstentzündungsgefahr möglichst gering ist. Zur Überwachung des Lagers auf eine mögliche Selbstentzündung sollten regelmäßige Temperatur- und Gasmessungen mit Messsonden durchgeführt werden. Des Weiteren können bei regelmäßigen Kontrollgängen visuelle Auffälligkeiten auf eine starke Wärmeentwicklung hinweisen.

4.2 Kunststofflager-Richtlinie KLAR

In NORDRHEIN-WESTFALEN gilt die *Richtlinie über den Brandschutz bei der Lagerung von Sekundärstoffen aus Kunststoff - Kunststofflager-Richtlinie (KLAR)* [16].

Der Anwendungsbereich wird wie folgt beschrieben (§ 2 KLAR): „Diese Richtlinie gilt für die Lagerung von Sekundärstoffen aus Kunststoff - nachstehend als Stoffe bezeichnet - in

Lagermengen von mehr als 200 m³ in Form von Mono- oder Mischfraktionen in kompakter Form oder als Schüttgut, lose, in ortsfesten und ortsbeweglichen Behältern, in Lagergebäuden und im Freien.“

Die *KLAR* macht Vorgaben zur Lagerung in Gebäuden, im Freien, zu Flächen für die Feuerwehr, zur Lagerguthöhe, tragbaren Feuerlöschern, Löschwasserversorgung und betrieblichen Maßnahmen.

Die materiellen Anforderungen werden in Tabelle 8 vergleichend zusammengefasst.

4.3 VdS 2517 – Hinweise für den Brandschutz

Die *VdS-Hinweise 2517 Sortierung, Aufbereitung und Lagerung von Siedlungsabfällen und brennbaren Sekundärrohstoffen* sind Hinweise der deutschen Versicherungswirtschaft aus der Sicht der Industrie-Feuerversicherung. Sie nehmen auch Bezug auf die bauordnungsrechtlich relevante (Muster-)Kunststofflager-Richtlinie. Die Hinweise der Versicherer umfassen u. a. folgende Punkte.

Schutz gegen Brandstiftung

- Sicherung des Betriebsgeländes, Beleuchtung des Geländes nachts,
- personelle Bewachung mit Innen- und Außenrundgängen alle 2 h,
- Lagerabstand von 10 m zur Grundstücksgrenze,
- Abstand von 10 m von brennbaren Lagermaterialien zur Außenwand von Gebäuden

Baulicher Brandschutz

- Trennung verschiedener Betriebsgebäude durch Brandwände, Abstände oder Komplextrennwände voneinander (Brandabschnitte)
- Läger im Freien sollen durch 20 m breite Freistreifen oder durch Brandwände in Brandabschnitte unterteilt werden

Lagerorganisation

- Begrenzung der Lagerguthöhe auf 5 m bei Schüttgut und 4 m bei Blocklagerung
- Ausbildung von Brandabschnitten oder Lagerabschnitten

Brandschutzanlagen

- Läger im Freien sollten ab 2.000 m² mit Flammenmeldern oder Videokamerasystemen überwacht werden
- Sprinkler- oder Sprühwasserlöschanlagen sollen in Gebäuden mit Brandabschnittsflächen > 1.600 m² eingesetzt werden

Abwehrender Brandschutz

- Die Löschwasserversorgung soll 96 m³/h nicht unterschreiten, ab 3.200 m² Brandabschnittsfläche werden 288 m³/h über 3 h gefordert.

4.4 Vergleich der Regelungen

Tabelle 8 Vergleich der *KLAR* mit den *VdS Hinweisen 2517*

	KLAR	VdS	Bemerkungen
Lagerung im Gebäude			
Maximale Brandabschnittsfläche	5.000 m ² / 2.000 m ²		Der VdS verweist auf Landesregelungen
Lagerabschnitte	300 m ²	300 m ²	
Freistreifen zur Unterteilung	5 m	5m	
Löschanlage oder Entrauchung mit Brandmeldeanlage	ab 800 m ² Brandabschnitt	-	
Löschanlage	ab 1.600 m ² Brandabschnitt	ab 1.600 m ²	
Lagerung im Freien			
Maximale Brandabschnittsfläche	2.000 m ²	> 1.600 m ² zusätzliche Maßnahmen	
Freistreifen Brandabschnitt	10 m	20 m (Ziff. 6.2.2)	
Lagerabschnitte	400 m ²	400 m ²	
Freistreifen zur Lagerabschnitte	5 m	5m	
Lagerguthöhe	4-5 m	4-5 m	
Lagertiefe	20-40 m	20-40 m	
BMA		>2.000 m ²	
Allgemeine Anforderungen			
Mind. Löschwasserversorgung	≥ 96 m ³ /h über 2 h	≥ 96 m ³ /h über 2 h	
Löschwasserversorgung > 1.600 m ²	-	192 m ³ /h über 2 h	VdS fordert bei Brandabschnittsfläche n > 3.200 m ² mind. 288 m ³ /h über drei Stunden (Ziff. 8.3)

5 Physikalische und chemische Aspekte von Bränden

5.1 Allgemeine Aspekte

Für die Brandentstehung, also die Zündung des Brandgutes, ist neben dem Brandgut und dem Sauerstoff (meist aus der Luft) eine wirksame Zündquelle erforderlich. Diese muss in der Lage sein, die Aktivierungsenergie des Systems E_A zu überwinden. Ist die Aktivierungsenergiebarriere überwunden, verläuft die Verbrennungsreaktion selbständig und exotherm weiter ab.

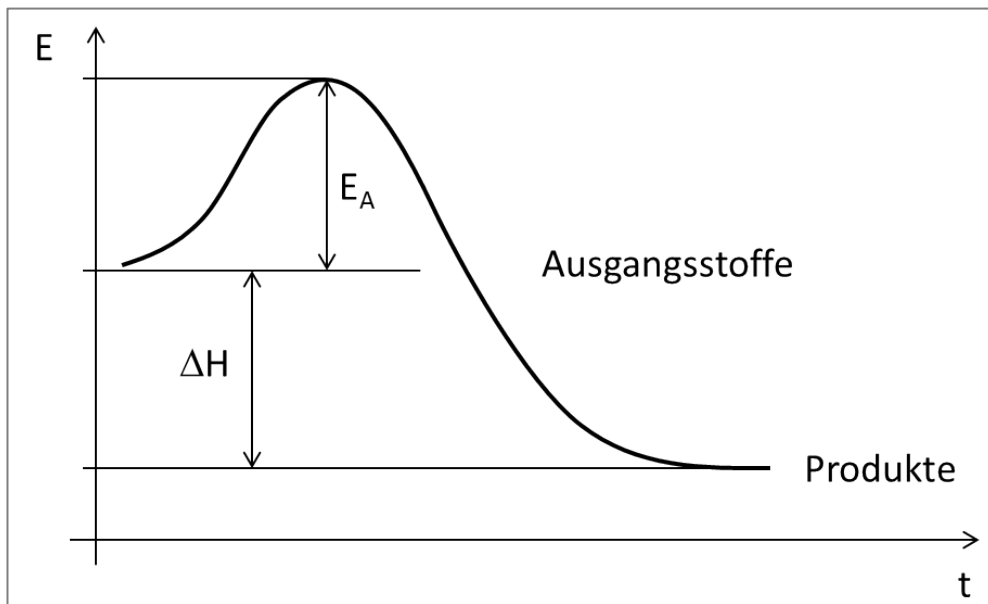


Abbildung 15 Energetischer Verlauf einer Verbrennung

Die Zündtemperaturen der an den hier betrachteten Kunststoffabfällen beteiligten Kunststoffe, liegen typischerweise zwischen 350-570 °C. Die Zündtemperaturen weiterer, häufig im Gemisch mit natürlichen oder zellulosebasierten Materialien auftretender Brennstoffe, wie Baumwolle oder Papier, liegen noch deutlich darunter im Bereich von 250-400 °C [5].

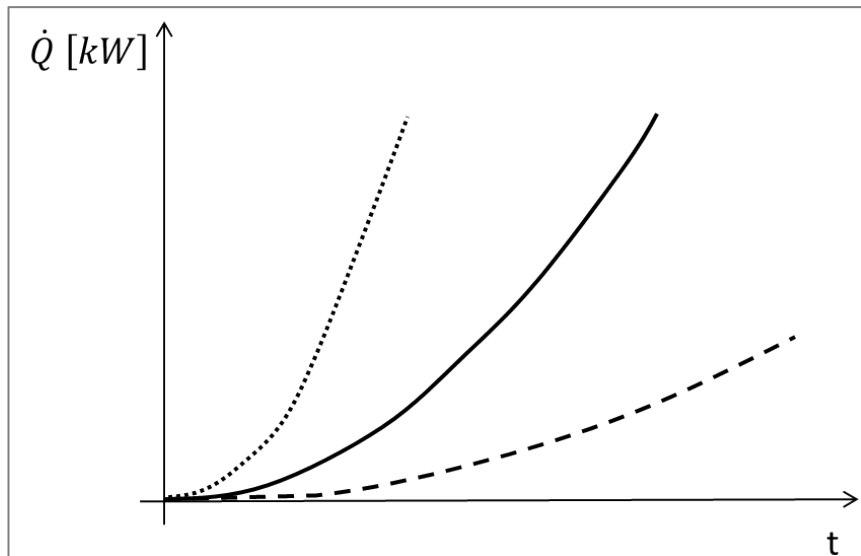


Abbildung 16 Zeitliche Entwicklung der Wärmefreisetzungsrates bei unterschiedlichem α

Nach der Zündphase und Schwelbrandphase beschreibt man den Verlauf der Wärmefreisetzungsrates über die Zeit meist mit einem quadratischen Ansatz, dem $\alpha \cdot t^2$ -Modell, wobei t die Zeit in Sekunden ist und α der sog. Brandentwicklungsfaktor, der als Größe die Geschwindigkeit der Brandausbreitung beschreibt und für eine „langsame“ bis „sehr schnelle“ Brandausbreitungsgeschwindigkeit unterschiedliche Werte annimmt [6].

$$\dot{Q} = \alpha \cdot t^2$$

Der Zusammenhang zwischen dem Brandgut, der Brandausbreitung und dem dargestellten Verlauf der Wärmefreisetzungsrates besteht im Wesentlichen aus dem unteren Heizwert und der Abbrandgeschwindigkeit, die wiederum neben den Stoffeigenschaften auch von der Lagerungsdichte usw. abhängt. D. h., der Wert von α ist u. a. abhängig vom unteren Heizwert H_u des Materials und der Abbrandgeschwindigkeit. Ein sehr heizwertreiches Material, das aber langsam abbrennt, führt zu einem kleineren Wert von α , als ein schnell abbrennendes Brandgut, das seine chemische Energie schneller in Form von Wärme freisetzt.

Tabelle 9 Beispiele für Abbrandfaktoren, untere Heizwerte und das Produkt daraus für 1 kg Material
m nach *DIN 18230*
Werte aus *DIN 18230-3*

Stoff	m-Faktor	unterer Heizwert [kWh/kg]	Wert für 1 kg [kWh]
Polyethylen-Granulat	0,8	12,2	9,76
Polyurethan-Weichschaum	1,2	6,4	7,68
Polystyrol-Formteile, dünnwandig	2,1	11,0	23,10
Polyvinylchlorid Rohre, horizontal	0,2	5,0	1,00
Polyamid-Folie	1,4	8,1	11,34

Man erkennt, dass die Polyamid-Folie zunächst den zweitgrößten Beitrag zur Wärmefreisetzungsrate liefert. Aufgrund des niedrigen m-Faktors tragen die horizontal gelagerten PVC-Rohre weniger schnell zur Wärmefreisetzungsrate bei, als der brennende PU-Weichschaum, obwohl ihre unteren Heizwerte eine ähnliche Dimension haben. Den größten Einfluss haben die dünnwandigen, ungeschäumten PS-Formteile, obwohl sie einen geringeren Heizwert haben als das PE-Granulat.

Geometrisch entspricht das $\alpha \cdot t^2$ -Modell bei einem in der Fläche homogenen Brandgut einer kreisförmigen Brandausbreitung. Da mit t^2 die Brandfläche zunimmt, nimmt auch die Wärmefreisetzungsrate quadratisch zu.

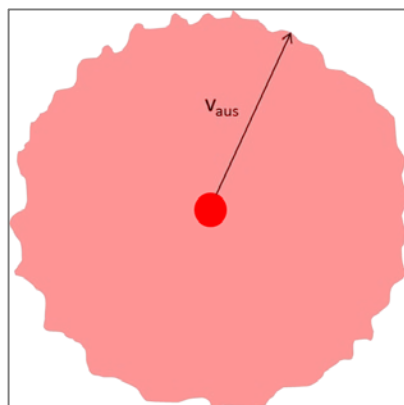


Abbildung 17 Geometrische Brandausbreitung

Bei Zündung in der Mitte würde sich ein Brand unter idealen Bedingungen in einem homogenen Brandgut kreisförmig ausbreiten. Die Brandfläche würde dabei mit t^2 zunehmen.

$$A = (v \cdot t)^2 \cdot \pi = v^2 \cdot \pi \cdot t^2$$

Bei homogenen Bedingungen könnte man eine spezifische flächenbezogene Wärmefreisetzungsrate pro Quadratmeter annehmen, so dass dann die Wärmefreisetzungsrate quadratisch zunehmen würde.

Als Brandausbreitungsgeschwindigkeiten treten bei Feststoffbränden Werte zwischen 0,1-0,5 m/min auf und es werden Abbrandraten von 0,8-1,5 kg/m²min erreicht, die sich unter ungünstigen Umständen auf bis zu 1,5-2,5 kg/m²*min steigern können.

5.2 Arten von Brandereignissen

Grundsätzlich lassen sich zwei Arten von Bränden in Abfallbehandlungsanlagen unterscheiden: Oberflächenbrände und Brände unter der Oberfläche (durch Selbstentzündungsprozesse).

5.2.1 „Oberflächenbrände“

Bei den meisten Brandereignissen in Zwischenlagern und Deponien liegen sogenannte „offene Brände“, „Freibrände“ oder „Oberflächenbrände“ vor, bei denen ein ungehinderter Sauerstoffzutritt gegeben ist.

5.2.2 „Verdeckte Brände“/„Selbstentzündungsprozesse“

Neben den o. g. Bränden werden in vielen Berichten zu Brandereignissen Selbstentzündungsprozesse im Innern des Lagerkörpers beschrieben [7], welche als Grund für die Brandentstehung genannt werden.

Typische Anzeichen für solche „verdeckten Brände“ können u. a. aus dem Lagerkörper austretender Rauch oder Wärmeschlieren, Brandgeruch im Umfeld des Lagers oder lokale Setzungserscheinungen an der Lageroberfläche sein. Sie sind weniger leicht festzustellen oder vorhersehbar [8].

5.3 Brandrauch

Brandrauch ist ein sehr komplexes, heterogenes Gemenge aus festen, flüssigen und gasförmigen organischen und anorganischen Komponenten. Daher treten sehr häufig an Brandstellen Schwierigkeiten bei der realistischen Beurteilung der Gefährlichkeit der Emissionen eines Schadenfeuers auf. Die Untersuchung von Brandrauch bei verschiedensten Bränden und Brandgütern zeigt allerdings eine Reihe von Gemeinsamkeiten und immer oder häufig auftretende Komponenten.

Es ist daher an dieser Stelle das Ziel, die wissenschaftlichen Erkenntnisse über die Zusammensetzung des Brandrauchs und der Entstehung der typischen Brandzersetzungsprodukte zu strukturieren und vorzustellen.

Eine sinnvolle Gliederung der Brandrauchinhaltsstoffe besteht zunächst in der Aufteilung in „anorganische Brandgase“ und „organische Brandzersetzungsprodukte“, wobei zu den organischen Zersetzungsprodukten auch der Ruß zu zählen ist.

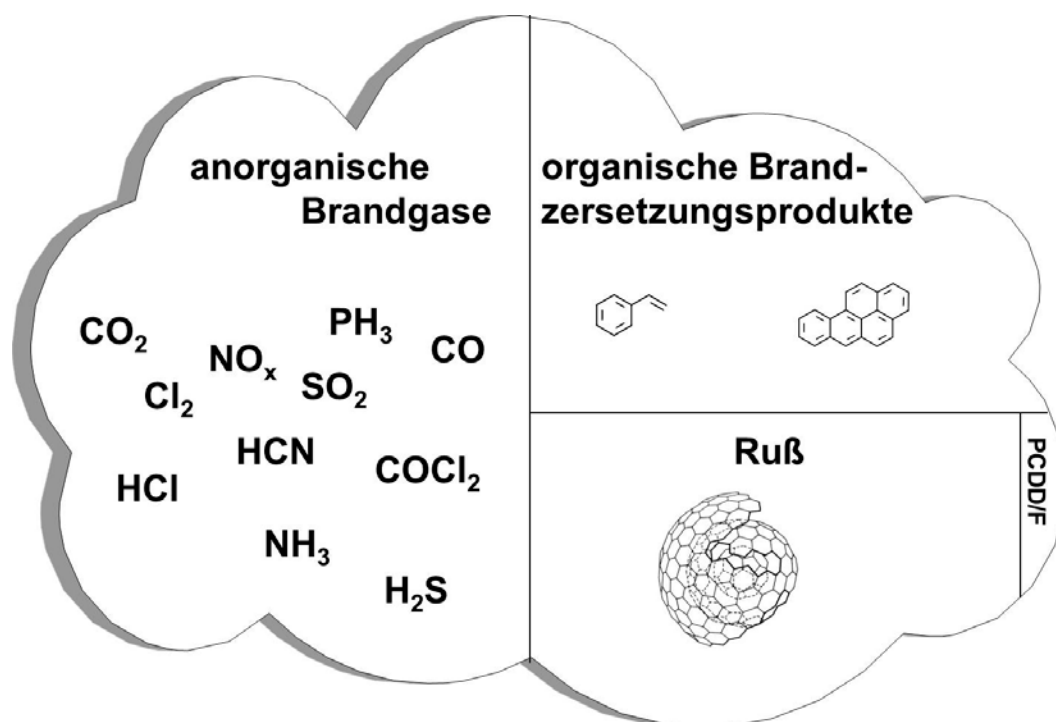


Abbildung 18 Allgemeine Zusammensetzung von Brandrauch

5.3.1 Anorganische Brandgase

Bei den anorganischen Brandgasen besteht ein einfacher Zusammenhang zwischen der Zusammensetzung des Brandgutes und den im Rauch enthaltenen Brandgasen: Im Brandrauch können nur die chemischen Elemente vorkommen, die im Brandgut enthalten sind. Der Brandrauch kann z. B. nur dann chlor-, stickstoff- oder schwefelhaltige Verbindungen enthalten, wenn in den Ausgangsstoffen (dem Brandgut) Chlor, Stickstoff oder Schwefel enthalten ist.

Von der unübersehbaren Vielzahl möglicher anorganischer Verbindungen treten unter normalen Bedingungen nur wenige im Brandrauch auf. Durch Auswertung von Literaturdaten [9] zeigte sich, dass insbesondere elf anorganische Gase als Brandgase im Rauch in Abhängigkeit vom Brandgut auftreten können (Abbildung 19). Für die akute Gefährdung während der Freisetzung von Brandrauch sind diese anorganischen Brandgase von größter Bedeutung. Sie können aufgrund ihrer Toxizität bei entsprechender Konzentration innerhalb kürzester Zeit den Tod oder ernste Gesundheitsschäden beim Menschen verursachen. Kritische Konzentrationen treten allerdings praktisch nur bei Bränden in Räumen auf oder in unmittelbarer Nähe des Quellortes, also direkt am Brandherd. Tabelle 10 zeigt die 11 + 2 anorganischen Brandgase mit einigen typischen Brandgütern, bei deren Verbrennung die jeweiligen Gase entstehen können. Durch die mittlerweile häufige Verwendung von Fluor, z. B. in Li-Ionen-Akkus, musste die Liste anorganischer Brandgase um zwei Verbindungen (COF₂, HF) erweitert werden.

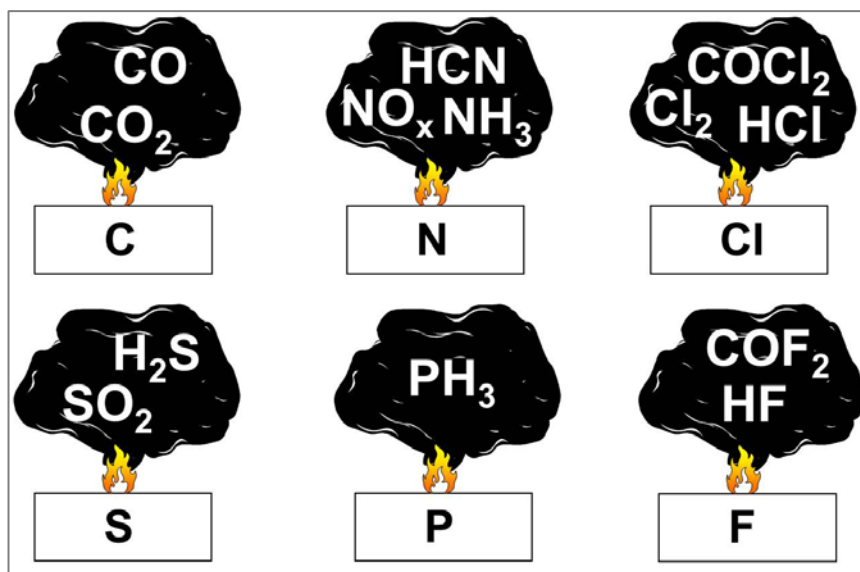
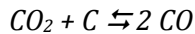


Abbildung 19 Zusammenhang zwischen der Elementarzusammensetzung des Brandguts und den anorganischen Brandgasen

Tabelle 10 Typische anorganische Brandgase

Gas	Formel	Herkunft
Kohlenmonoxid	CO	Kohlenstoffhaltige Brandgüter
Kohlendioxid	CO ₂	
Cyanwasserstoff (Blausäure)	HCN	Stickstoffhaltige Brandgüter (z. B. Nylon, PU-Schaum, Wolle, Federn, Horn, Düngemittel)
Nitrose Gase (z. B.: Stickstoffdioxid)	NO _x	
Ammoniak	NH ₃	
Phosgen	COCl ₂	Chlorhaltige Brandgüter (z. B. PVC)
Chlorwasserstoff	HCl	
Chlor	Cl ₂	
Schwefelwasserstoff	H ₂ S	Schwefelhaltige Brandgüter (Wolle, Federn, Horn, Gummi)
Schwefeldioxid	SO ₂	
Phosphorwasserstoff	PH ₃	Pflanzenschutzmittel
Fluorwasserstoff	HF COF ₂	Li-Ionen-Batterien, fluorierte brennbare Kältemittel

Kohlenmonoxid kommt neben Kohlendioxid bei jedem Brand kohlenstoffhaltigen Brandguts und damit bei allen Bränden im Wohn- und gewerblichen Bereich und auch bei Bränden in Abfallbehandlungsanlagen vor. In der Regel entstehen beide Gase immer nebeneinander, nur in unterschiedlichen Konzentrationen, da sie über das sog. Boudouard-Gleichgewicht



miteinander korrespondieren. Wie weit das Gleichgewicht auf der Seite des CO bzw. CO₂ steht ist von den äußeren Bedingungen wie Sauerstoffangebot, Druck und Temperatur abhängig.

Eine weitere, für Brände ebenso wichtige anorganische Komponente ist die Blausäure. Bei der Verschmelzung von Proteinen wie Federn oder Schafwolle oder bei der Zersetzung von stickstoffhaltigen Kunststoffen (PU-Schaum) entstehen in kurzer Zeit größere Mengen HCN.

Die prägende Komponente bei der Zersetzung von PVC ist der Chlorwasserstoff (HCl), in Wasser gelöst „Salzsäure“.

Schwefeldioxid spielt eine Rolle, wenn Gummi verbrennt. Bekanntermaßen findet Schwefel beim „Vulkanisieren“ von Gummi Verwendung. Hartgummi kann bis zu 50 % Schwefel enthalten, der bei der Verbrennung dann als SO₂ freigesetzt wird.

Vergleichsweise neu ist das Auftreten von Fluorwasserstoff in nennenswerten Konzentrationen im Brandrauch. Ursächlich dafür ist der immer häufigere Einsatz von Fluorverbindungen auch in massenhaft auftretenden Produkten, z. B. in dem kritisch diskutierten Kältemittel *HFO-1234 yf* (2,3,3,3-Tetrafluorpropen) oder bei der Zersetzung von sekundären Lithium-Ionen-Batterien. Lithium-Ionen-Akkus enthalten u. a. das Leitsalz LiPF₆, aus dem dann bei der thermischen Zersetzung HF entsteht. Als Zwischenprodukt entsteht bei bestimmten fluorhaltigen Substanzen (z. B. *HFO-1234 yf* oder Teflon) auch giftiges Carbonylfluorid (COF₂).

Die anorganischen Brandgase sind in der aktiven Phase des Brandes, und solange eine Brandstelle noch nicht ausreichend gelüftet ist, immer in teils hohen Konzentrationen anzutreffen. Sie sind für die akute Toxizität des Rauches verantwortlich. Das ist gerade in Hallen von Abfallbehandlungsanlagen mit brennenden Abfällen zu beachten.

Phosphorwasserstoff tritt nur bei Beteiligung von phosphorhaltigen Brandgütern auf. Das ist bei den hier betrachteten Abfällen auszuschließen.

5.3.2 Organische Brandzersetzungsprodukte

Kohlenstoffhaltige Brandgüter

Die Auswertung einer großen Zahl von Literaturdaten hinsichtlich der chemischen Strukturelemente der organischen Brandzersetzungsprodukte zeigt [10], dass es sich unabhängig vom Brandgut bei nahezu 80 % dieser Substanzen um aromatische Kohlenwasserstoffe handelt.

Abbildung 20 zeigt die Häufigkeit der bei der Datenauswertung ermittelten Substanzklassen. Neben den Aromaten zeigen noch aliphatische Kohlenwasserstoffe eine größere Häufigkeit als die anderen dargestellten Substanzklassen.



Abbildung 20 Verteilung der Daten aus der Literaturrecherche auf die verschiedenen chemischen Strukturklassen

Bei den aromatischen Substanzen ist eine Unterscheidung hinsichtlich ihrer Flüchtigkeit von Bedeutung. Neben relativ großen Mengen Benzol, Toluol, Styrol und Naphthalin, die leicht flüchtig sind, befinden sich im Brandrauch große Mengen schwerflüchtiger polycyclischer aromatischer Kohlenwasserstoffe (PAK). Diese aromatischen Kohlenwasserstoffe und PAKs entstehen immer bei einer Verbrennung organischer, d. h. kohlenstoffhaltiger Substanzen. Es ist dabei unerheblich, welches kohlenstoffhaltige Brandgut verbrennt.

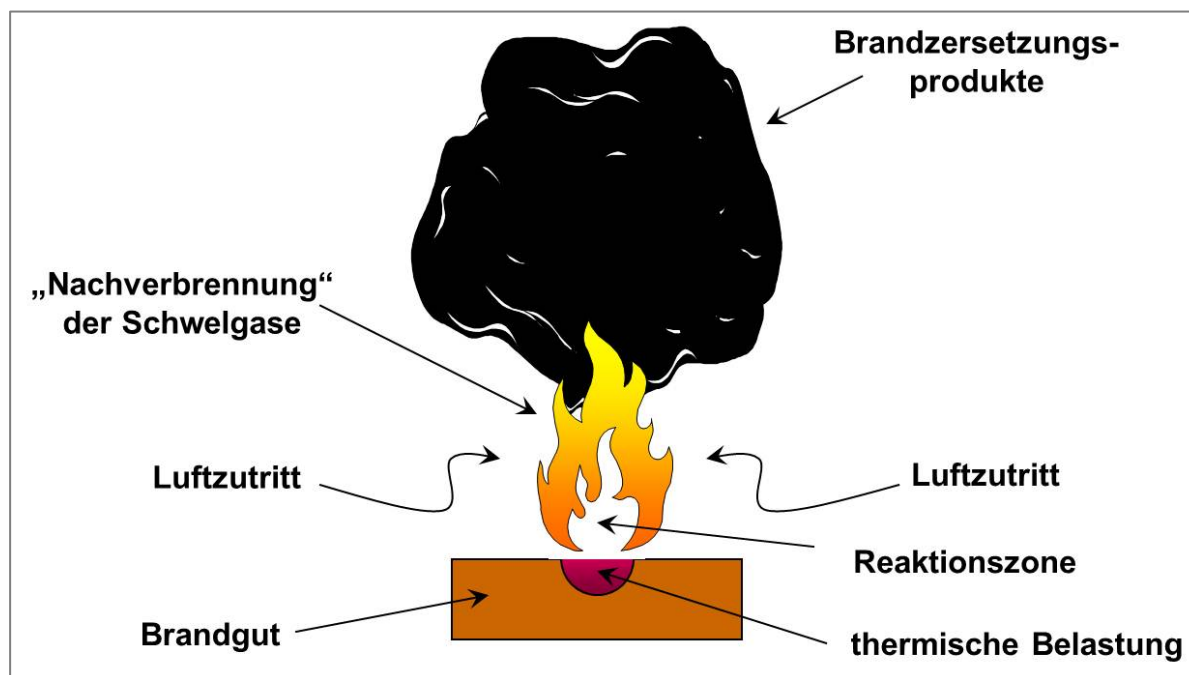


Abbildung 21 Schematische Darstellung verschiedener Reaktionszonen

Allerdings ist das Auftreten bzw. die Konzentration dieser Komponenten außerhalb der Flammen in einer Rauchwolke nur eine Frage der unvollständigen „Nachverbrennung“ an der Grenzfläche zwischen Flamme und Luft, also letztlich des Sauerstoffangebots (Abbildung 21). Bei einem gut ventilerten Vollbrand oder einer geregelten Prozesssteuerung, verbrennen kohlenstoffhaltige Materialien zu den energieärmsten Endprodukten der Oxidation: Kohlenstoffdioxid und Wasser. Unter unkontrollierten Bedingungen, wie bei einem realen Brand, herrscht häufig Sauerstoffmangel, so dass die intermediär generierten Produkte unverbrannt an die Umluft abgegeben werden können. Damit wird die Oxidation eines Teils des Brandgutes unterbrochen und bleibt unvollständig. Ein gut ventilierter Vollbrand besteht demnach zunächst aus „mikroskopisch kleinen Schwelbränden“ mit einer von den äußeren Randbedingungen beeinflussten Nachverbrennung der Zwischenprodukte.

Durch die thermische Aufbereitung des Brandgutes entstehen kleine reaktive Teilchen (kohlenstoffreiche Radikale und kleine Moleküle) in der Reaktionszone, die schnell zu stabileren Strukturen weiterreagieren. Aus thermodynamischen Gründen entstehen unter diesen Bedingungen in der Reaktionszone in erster Linie aromatische Strukturen, da diese in besonderem Maße stabil und energetisch günstig sind. In der Reaktionszone der Flamme findet ein „Wachstum“ zu immer größeren Strukturen statt, so dass im Rauch alle Stufen, von einfachen aromatischen Kohlenwasserstoffen wie Benzol über größere Moleküle wie Styrol, Inden und Naphthalin enthalten sind. Das Wachstum dieser aromatischen Komponenten geht letztlich über die Bildung polycyclischer aromatischer Kohlenwasserstoffe bis hin zur Entstehung von Ruß mit seiner typischen „fulleren-ähnlichen“ Struktur (s. Abbildung 22). Das Schema in Abbildung 23 verdeutlicht diesen „Wachstumsprozess“, der an eine geringe Sauerstoffkonzentration in der Reaktionszone gekoppelt ist.

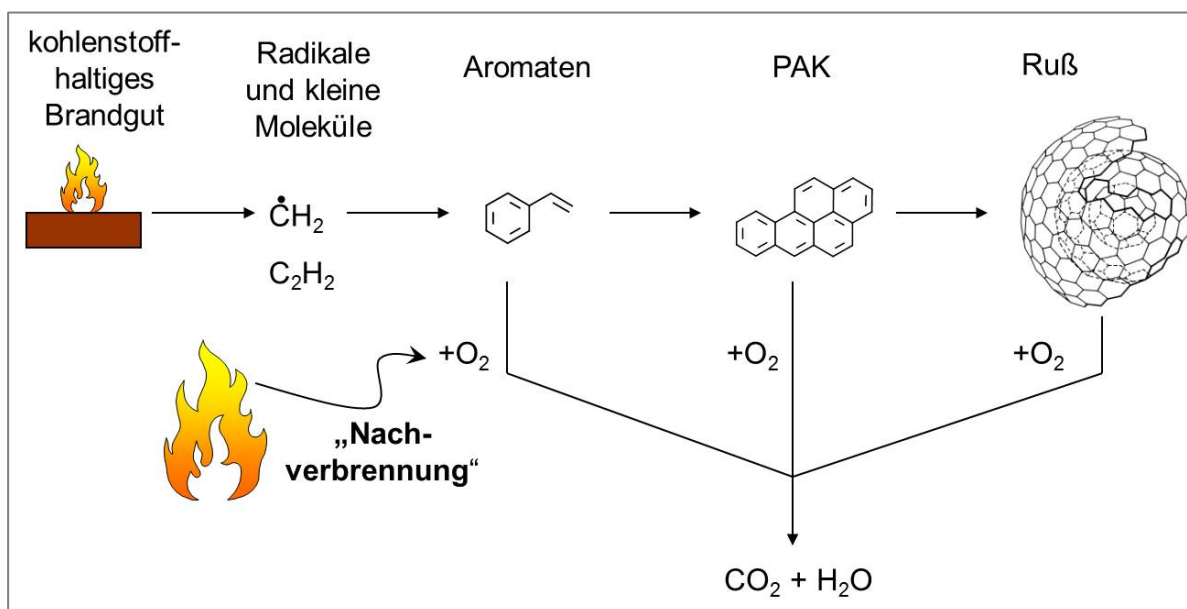


Abbildung 22 Grober Reaktionsablauf in der Flamme und bei der „Nachverbrennung“

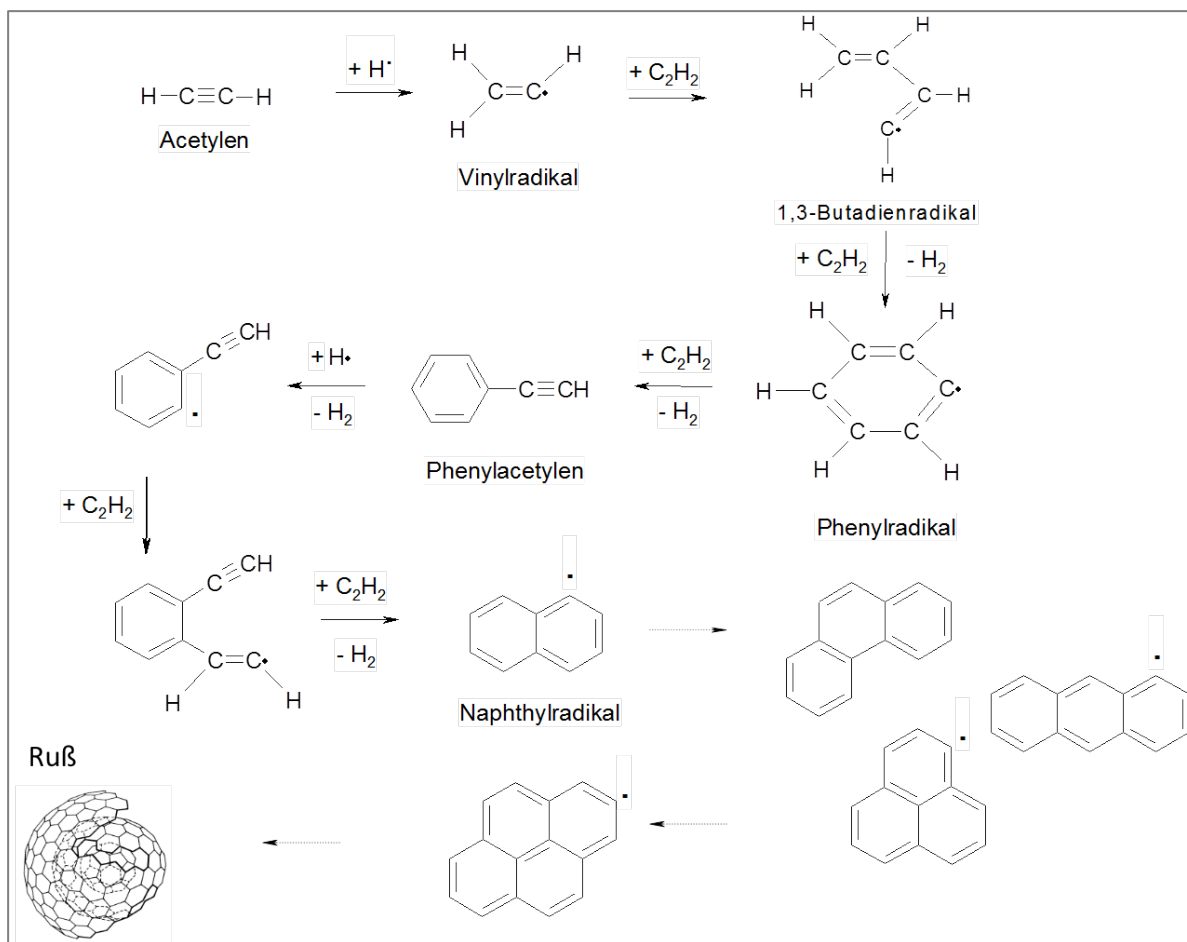


Abbildung 23 Reaktionsmechanismus zur Entstehung von Aromaten
nach [11]

Kohlenstoffhaltige Brandgüter mit Heteroelementen

Am Beispiel chlor- und stickstoffhaltiger Brandgüter soll der Einfluss der Heteroelemente auf die Art der Braundrauchinhaltsstoffe erläutert werden. Nach den oben vorgestellten Überlegungen zeigt sich, dass in der Reaktionszone der Flamme thermodynamisch günstige Verbindungen aus sehr reaktiven Teilchen entstehen. Ist Kohlenstoff an der Reaktion beteiligt, wird es immer zur Bildung aromatischer Systeme unterschiedlicher Größe kommen. Chlor und Stickstoff unterscheiden sich dahingehend, dass sich Stickstoffatome auf Grund ihrer elektronischen Struktur an aromatischen Systemen beteiligen und zur Stabilität beitragen können, während Chloratome dazu nicht in der Lage sind. Chlor kann nur Wasserstoffatome in diesen Molekülen ersetzen. Dies führt dazu, dass unter normalen Bedingungen mehr als 90 % des im Brandgut enthaltenen Chlors in anorganischer Form, hauptsächlich als Chlorwasserstoff abgegeben wird. Als organische Brandzersetzungsprodukte chlorhaltiger Materialien sind in erster Linie die einfachen aromatischen Kohlenwasserstoffe von Bedeutung, während chlororganische Verbindungen nur einen geringen Anteil haben.

Die Verbrennung stickstoffhaltiger Substanzen liefert dagegen neben einfachen Aromaten auch eine Vielzahl stickstoffhaltiger Aromaten, bei denen der Stickstoff in die aromatischen Systeme eingebunden ist.

Polyhalogenierte Dibenzo(p)dioxine und –furane (PCDD/F)

Wie zuvor beschrieben, wird der größte Teil des Chlors bei der üblichen Verbrennung chlorhaltiger Materialien als Chlorwasserstoff freigesetzt. Die Bildung chlororganischer Verbindungen ist nicht begünstigt. Das gleiche gilt auch für die polyhalogenierten Dioxine und Furane. Sie treten bei der Verbrennung zwar immer auf, solange Chlor vorhanden ist, allerdings sind die entstehenden Mengen normalerweise verschwindend gering und trotz der großen Toxizität der „Dioxine“ vernachlässigbar.

Das haben auch die Messungen nach Brandereignissen in Abfallbehandlungsanlagen in Nordrhein-Westfalen in der Regel gezeigt.

Drei Faktoren müssen jedoch bei der Verbrennung großer Mengen chlorhaltiger Brandgüter besondere Beachtung finden, da sie die Bildung der Dioxine und Furane nennenswert begünstigen:

1. Niedrige Verbrennungstemperaturen (erkennbar an starker Verrußung)
2. Anwesenheit von Kupfer in allen Formen (Kabel, Salze o. ä.), das als Katalysator bei der Synthese der Dioxine/Furane wirksam ist
3. Anwesenheit von Vorläufersubstanzen wie z. B. PCB (Polychlorierte Biphenyle)

Unter diesen Umständen ist es sinnvoll und notwendig, die Möglichkeit höherer Dioxin-Konzentrationen bei der Bewertung zu berücksichtigen. In den anderen Fällen sollte eine Überbewertung dieser Substanzen und auch der anderen Chlororganika unterbleiben, da die Aromaten und PAKs in sehr viel größeren Mengen vorhanden und daher gefährdungsbestimmend sind.

Ruß

Wie oben gezeigt, lässt sich ein Zusammenhang zwischen der Bildung einfacher aromatischer Substanzen wie Benzol und seine Derivate, der Entstehung größerer Aromaten in Form von PAKs und der Bildung von Ruß herstellen, da Rußpartikel letztlich von ihrer Struktur her sehr große „PAK“ sind, wie Abbildung 23 zeigt.

5.3.3 Zusammenfassende Beurteilung „Brandrauch“

Anorganische Brandgase bestimmen die akute Toxizität

Aufgrund der hohen Konzentrationen und der z. T. sehr großen Toxizität bestimmen die 11+2 häufigsten anorganischen Brandgase die Gefahrenbeurteilung während der Freisetzung von Brandrauch insbesondere im Nahbereich der Einsatzstelle.

Organische Brandzersetzungsprodukte – Aromaten und PAKs

Unabhängig von der Art kohlenstoffhaltiger Brandgüter entstehen bei ihrer Verbrennung große Mengen aromatischer Verbindungen. Neben Benzol, Toluol, Styrol, Inden, Naphthalin usw. sind auch in jedem Falle große Mengen PAK von Bedeutung.

Ruß als sichtbarer Aufenthaltsort der meisten organischen Substanzen

Nicht nur aufgrund des gemeinsamen Entstehungsortes, sondern auch bedingt durch das Adsorptionsvermögen des Rußes, ist zunächst der größte Teil der organischen Brandfolgeprodukte an den Ruß gebunden. Während die leichtflüchtigen Verbindungen durch warme Oberflächen, z. B. in Innenräumen, verdunsten bzw. verdampfen können,

bleibt ein Teil der mittelflüchtigen Verbindungen am Ruß haften. Die schwerflüchtigen Substanzen wie PAK (und sofern von Bedeutung auch die PCDD/F) bleiben nahezu vollständig am Ruß gebunden.

Der Vorteil dabei ist, dass Ruß eine sichtbare Komponente des Rauches ist und damit auch die anderen organischen Komponenten vor Ort als Verunreinigung erkannt werden können.

5.4 Abfließendes Löschwasser

Das beim Löschen von Bränden an einer Abfallbehandlungsanlage anfallende Löschwasser kann auf Grund seiner chemischen Zusammensetzung zu Schäden in Gewässern führen. Auch in kommunalen Kläranlagen kann das in großer Menge in einem relativ kurzen Zeitraum zufließende Löschwasser die biologischen Behandlungsstufen schädigen und damit indirekt eine Beeinträchtigung von Oberflächengewässern verursachen.

Das Schadstoffpotenzial des Löschwassers hängt von den in der Abfallbehandlungsanlage vorhandenen Materialien und den im Brandfall daraus resultierenden chemischen Verbindungen einerseits und von den zum Einsatz kommenden Löschmitteln andererseits ab. Nach bisheriger Einschätzung lässt sich die Gefährlichkeit des abfließenden Löschwassers nicht pauschal beantworten. Hier besteht noch weiterer Forschungsbedarf.

Aus dem begleitenden Arbeitskreis mitgeteilte Erfahrungen aus einer Reihe von Brandereignissen in Abfallbehandlungsanlagen zeigen, dass ein (ungedrosselter) Zufluss von Löschwasser auf Grund seiner chemischen Zusammensetzung zu einer Störung oder Schädigung der biologischen Stufen führen kann. Außerdem besteht die Gefahr, dass wegen schwer abbaubarer Inhaltsstoffe – zum Teil auch bedingt durch die eingesetzten Löschsäume – das Löschwasser innerhalb der relativ kurzen Aufenthaltszeit in der Kläranlage nicht oder nur unzureichend behandelt werden kann. Diese Gefahren sind umso größer, je stärker und schneller der Zufluss des Löschwassers zur Kläranlage erfolgt. Um Störungen in den biologischen Stufen der kommunalen Kläranlage - und damit einhergehend Gewässerverunreinigungen durch die anschließende Einleitung - vermeiden zu können, muss das Löschwasser vor der Ableitung in einem öffentlichen Kanalisationsnetz auf seine biologische Abbaubarkeit und mögliche einzelfallspezifische Schadstoffe hin überprüft werden. Ggf. ist die Ableitung in das Kanalisationsnetz durch Drosselung so zu steuern, dass eine Überlastung der biologischen Behandlungsstufen vermieden wird.

Vor dem Hintergrund dieser Erfahrungen ist davon auszugehen, dass aus verwaltungsrechtlicher Sicht bei dem abfließenden Löschwasser mindestens ein Gefahrenverdacht vorliegt, also das Tatsachenbild hinsichtlich der davon ausgehenden Gefahren noch unvollständig ist. Demnach muss bei Bränden in Abfallbehandlungsanlagen im Einzelfall eine Gefahrenbeurteilung des abfließenden Löschwassers anhand verschiedener Laborparameter durchgeführt werden. Es sind daher Maßnahmen zu treffen, damit anfallendes Löschwasser nicht unkontrolliert vom Gelände ablaufen und in ein Oberflächengewässer, in die Kanalisation oder auf eine unversiegelte Fläche – und damit in das Grundwasser - abfließen kann. Dies muss durch konstruktive Maßnahmen auf dem Anlagengelände, wie z.B. eine ausreichende Gefälleausbildung und Aufkantungen als Begrenzung einer befestigten Fläche, sichergestellt werden. Sofern keine anderen geeigneten Mittel in Frage kommen, ist ein Rückhaltebecken oder -raum ausreichender

Größe auf dem Anlagengelände zu schaffen. Nach der Gefahrenbeurteilung anhand der Laborparameter kann dann über die weitere Verfahrensweise zum Umgang mit dem Löschwasser entschieden werden. Die Nutzung von Rückhaltevolumina innerhalb des kommunalen Abwassernetzes wird gegenwärtig auch diskutiert. Dies müsste jedoch einzelfallspezifisch geklärt werden. Sofern über eine solche anlagenexternen Variante nachgedacht wird, sollten haftungsrechtliche Fragestellungen, aufgrund jüngster Gerichtsentscheidungen, unbedingt im Vorfeld geklärt werden.

Grundsätzlich sollten ohnehin alle Fragen zum Umgang mit anfallendem Löschwasser, sowie alle im Gefahrenfall zu treffenden Maßnahmen, bereits im Genehmigungsverfahren geklärt und mit der zuständigen Feuerwehr abgestimmt werden. Dabei sollte insbesondere auch die Frage geklärt werden, wie die erheblichen Löschwassermengen zurückzuhalten sind. Die im Vorfeld abgestimmten Maßnahmen sollten sowohl auf der Anlage, z.B. im Betriebshandbuch, als auch bei der zuständigen Feuerwehr vorgehalten werden, um mögliche Fehler innerhalb einer Gefahrenabwehrmaßnahme zu vermeiden.

6 Laboruntersuchungen und Simulationen

6.1 Grundlagen und Vorgehensweise

Die Eigenschaften und brandschutztechnischen Kennwerte der im Rahmen dieses Projekts betrachteten Abfälle sind sehr unterschiedlich und meist sehr heterogen, was eine Untersuchung und auch allgemeine Aussagen deutlich erschwert. Aufgrund der größeren Homogenität des Ersatzbrennstoffs, der vergleichsweise kleinen Partikelgröße und der Annahme eines mittleren bis hohen Heizwertes, wurde Ersatzbrennstoff als Untersuchungsmaterial stellvertretend für zahlreiche andere Abfälle ausgewählt. Zunächst wurde wegen seiner Verwendung angenommen, dass Ersatzbrennstoff ein Beispiel für eine besonders leicht brennbare Aufbereitung bzw. Mischung von kunststoffhaltigen und anderen Abfällen sei. Um für eine Brandsimulation und dem damit verbundenen Ableiten von Maßnahmen zur Eindämmung der Brandausbreitung Stoffparameter zu ermitteln, wurde daher zunächst eine thermogravimetrische Analyse einer Ersatzbrennstoff-Probe durchgeführt und anhand eines Realbrandversuches im Labormaßstab das Brandverhalten einer Ersatzbrennstoff-Probe untersucht. Es zeigte sich bei der Simulation und auch im Laborexperiment, dass der Ersatzbrennstoff nach Zündung durch eine definierte, kleine Zündquelle von selbst erlosch und damit dessen Kennwerte für die Brandsimulation unbrauchbar waren.

Für die weiteren Simulationen zur Überprüfung der Eignung der materiellen Anforderungen der *Kunststofflager-Richtlinie* auf Abfallbehandlungsanlagen wurden daher Kennwerte verschiedener Kunststoffe verwendet. Dabei wurde ein besonders hoher Heizwert als „worst-case“-Szenarium und ein eher mittlerer Heizwert angenommen, um die Bandbreite der Möglichkeiten abdecken und mit entsprechender Sicherheit Aussagen treffen zu können.

6.2 Laboruntersuchungen

Eingesetzte apparative Ausstattung für die thermogravimetrische Analyse (TGA):

- Thermowaage *Mettler Toledo TGA/DSC 1 STARe System* mit Gas-Controller GC 200 Star System

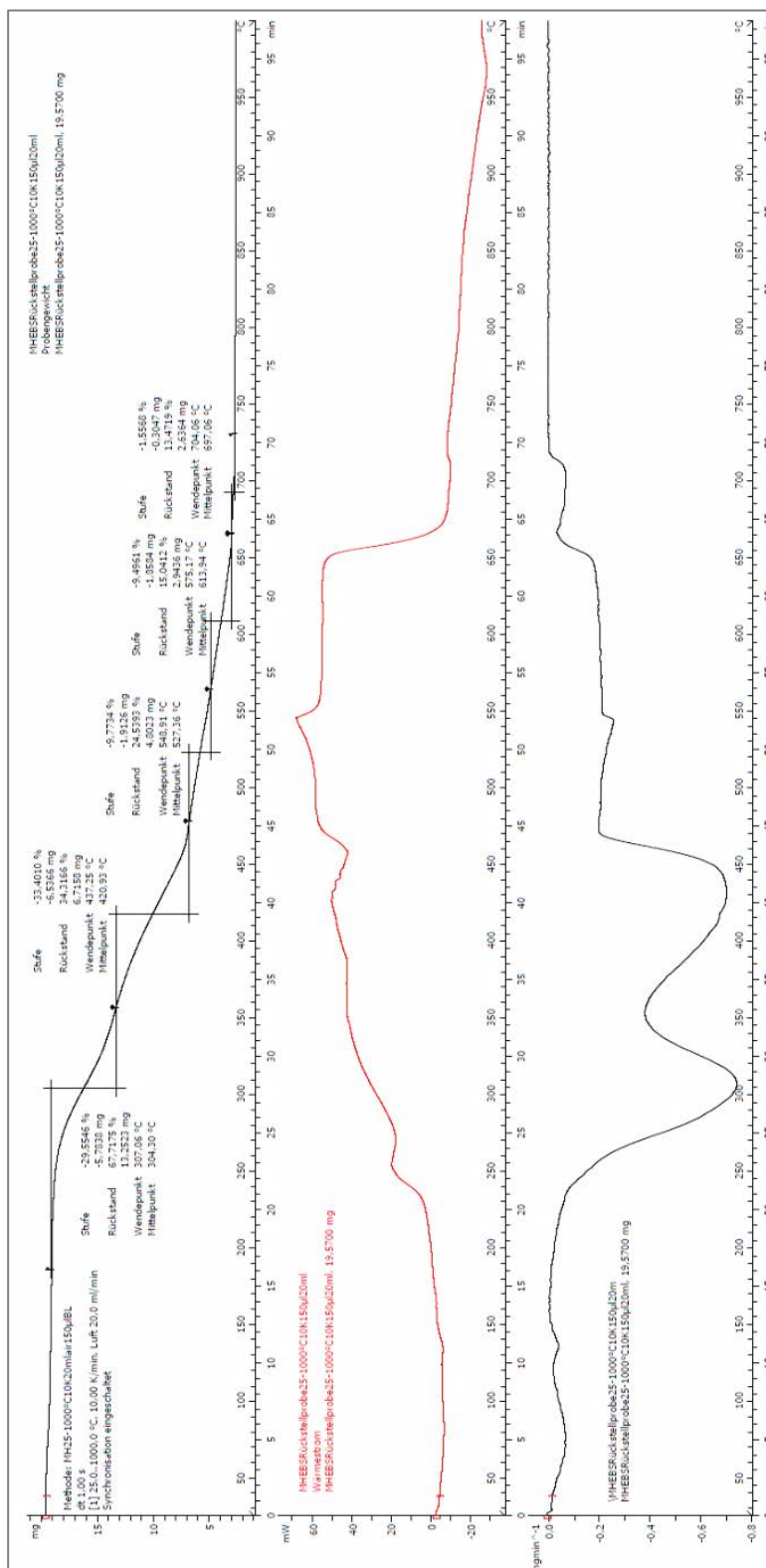


Abbildung 24 TGA-Kurve einer EBS-Probe
 oben: Masseverlust
 Mitte: Wärmestrom
 unten: Masseverlust/Zeit

Abbildung 24 zeigt die TGA-Kurve, d. h. den Masseverlust der Probe bei der jeweiligen Temperatur, sowie die DTA-Kurve, also die aufgenommene oder abgegebene Energie der

Probe bei der jeweiligen Temperatur. Die untere Kurve zeigt die erste Ableitung des Masseverlustes nach der Zeit. Man erkennt zwischen 200 °C und 700 °C insgesamt fünf unterschiedlich stark ausgeprägte Stufen (Zersetzungsschritte), die insgesamt exotherm verlaufen. In der Ableitungskurve unten erkennt man, dass bei 310 °C und 440 °C die Zersetzungsstufen mit der höchsten Massenverlustrate auftreten. In der DTA-Kurve (Mitte) zeigt sich bei ca. 460 °C vermutlich durch Folgereaktionen oder physikalische Effekte ein endothermer Zwischenschritt.

Um Brandszenarien, insbesondere Brände in Freilagerbereichen die nach der Kunststofflagerrichtlinie konzipiert sind, zu untersuchen, wurden die hieraus gewonnenen Stoffparameter anschließend in eine CFD (Computational Fluid Dynamics) -Simulation übertragen, um einen Brand zu simulieren, bei dem geprüft werden sollte, ob ein brennender Ballen mit den stofflichen/brandtechnologischen Eigenschaften des Ersatzbrennstoffes (EBS) einen, in einem definierten Abstand lagernden, weiteren Ballen entzünden kann. In der Simulation zeigte sich überraschenderweise, dass der Oberflächenbrand des EBS nach kurzer Zeit verlöschte.

Durch die unerwarteten Ergebnisse der Simulationen bestand der Anlass die Entzündbarkeit der vorliegenden EBS-Probe im kleinen Maßstab zu überprüfen. Hierzu wurde eine Probe (150 g mit einer Dichte von 0,21 g/cm³) zu einem Quader geformt und mit Hilfe eines Glühfadens an der Außenseite entzündet (vgl. Abbildung 25). Die Temperatur des Glühfadens beträgt 1 100 °C. Die Wärmeeinwirkung auf den Quader erfolgt für etwa drei Sekunden.

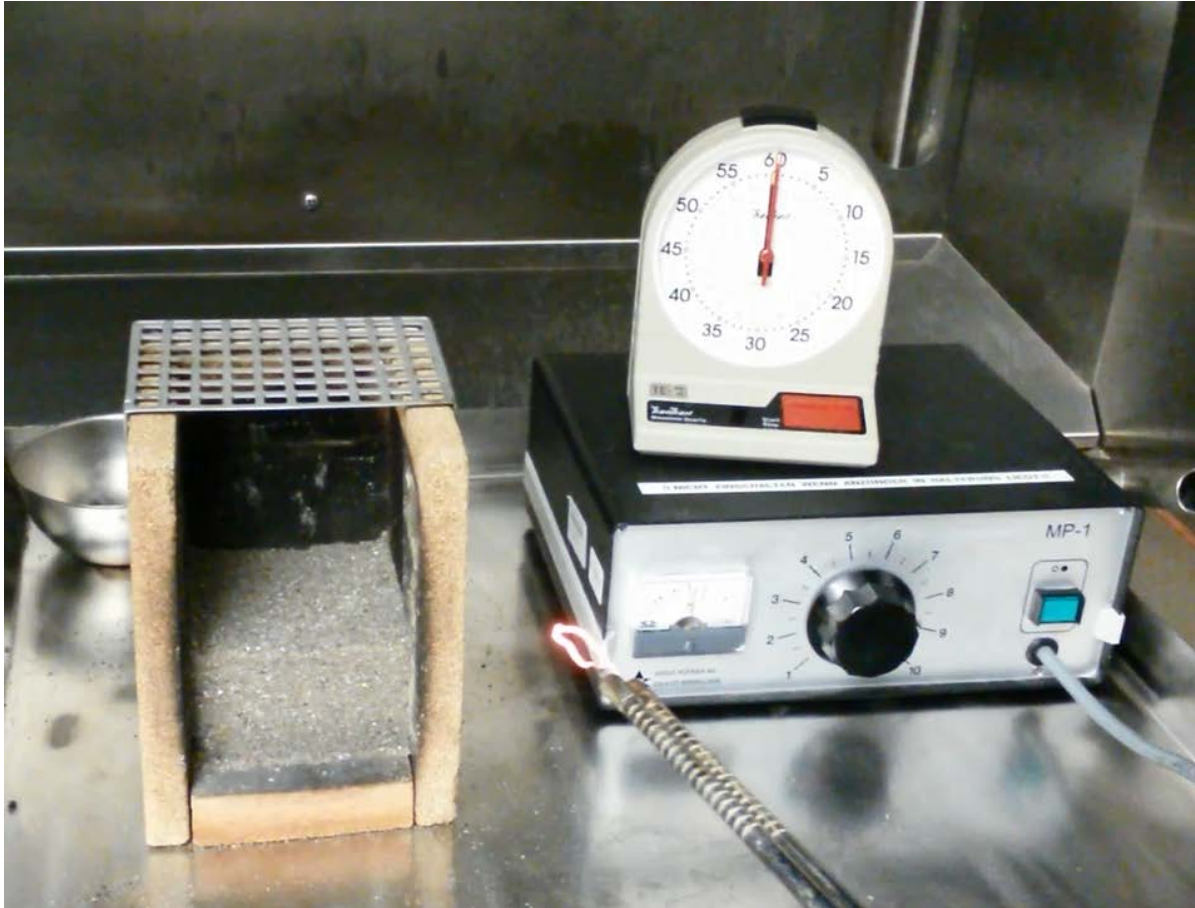


Abbildung 25 Versuchsaufbau

Nach einem sehr kurzen Aufflammen während der Zündung zeigt sich, dass die entstandenen Flammen schlagartig kleiner werden und nur noch eine etwa erbsengroße, nicht flackernde Flamme auf der Oberfläche zu sehen ist (vgl. Abbildung 26).

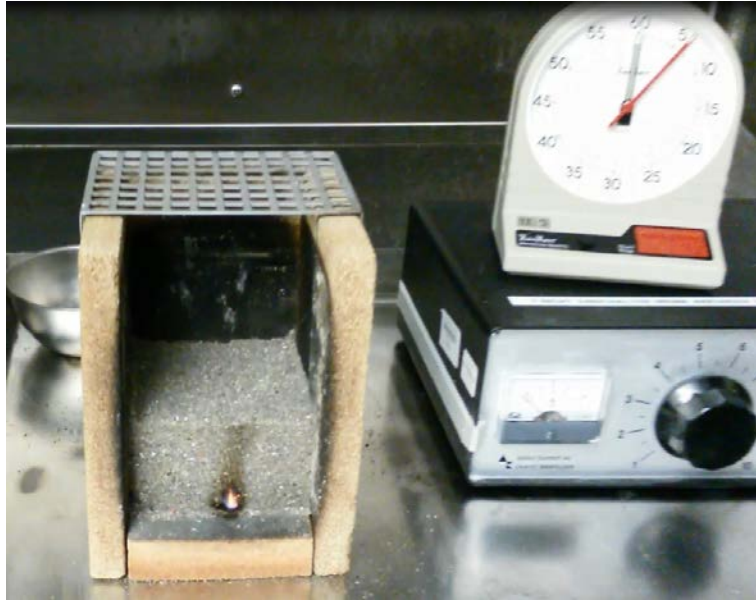


Abbildung 26 Geringe Flammenbildung

Etwa acht Sekunden nach Entfernen des Glühfadens erlischt die Flamme ohne äußere Einwirkungen und hinterlässt eine etwa 1 cm² große verkohlte Oberfläche (vgl. Abbildung 27).



Abbildung 27 Verkohlte Oberfläche

Der hier beschriebene Laborversuch diente der Validierung der vorangegangenen CFD (Computational Fluid Dynamics)-Simulation mittels FDS (Fire Dynamics Simulator). Festgehalten werden kann, dass die Simulation mit den stoffspezifischen Parametern ein identisches Verhalten wie der Laborversuch wiedergibt.

Eine Überprüfung der materiellen Anforderungen aus der *Kunststoff-Lagerrichtlinie* mittels CFD-Simulationen kann nur erfolgen, wenn Annahmen getroffen werden. Diese Annahmen liegen zunächst im „worst case“-Bereich um ein größtmögliches Schutzniveau abzudecken.

Da die im Rahmen des Kooperationsprojektes untersuchten Brandereignisse in der Regel deutlich drastischere Brandverläufe unter der Beteiligung von Ersatzbrennstoffen aufweisen, wird deutlich, dass eine einfache Übertragung nicht ohne weiteres möglich ist. Mögliche Gründe für das schlechte Brandverhalten können in der Zusammensetzung der Probe liegen. Da die Zusammensetzungen von Ersatzbrennstoffen stark variieren, kann keine allgemeingültige Aussage zu deren Brandverhalten getroffen werden. Der gepresste Quader ließ sich deutlich schlechter entzünden, als das gleiche Material in einer losen Schüttung. Wird diese brennende Schüttung aufgelockert, wird dem Feuer deutlich mehr Sauerstoff zugeführt und es kann sich leichter ausbreiten. Für EBS-Brände in der Praxis ergibt sich hieraus die Empfehlung, dass keine entzündeten Ersatzbrennstoffe mit einem Kran oder Radlader isoliert und ausgetragen werden sollten, sofern keine Maßnahmen zum Ablöschen unmittelbar eingesetzt werden können.

6.3 Simulationen

Ziel der Untersuchungen war vornehmlich, zu überprüfen, ob die in der Kunststofflager-Richtlinie genannten Parameter für die Freiflächenlagerung auch allgemein auf die Abfallbehandlungsanlagen übertragbar sind. Speziell ging es darum, herauszufinden, ob die in der *KLAR* genannten Abstände von fünf bzw. zehn Metern für die Kompartimentierung von Lagerflächen im Abfallbereich ausreichend sind. Problematisch waren dabei die große Inhomogenität der zu betrachtenden Lagergüter und die fehlenden Materialkennwerte.

Es wurde daher ein „worst-case“-Szenarium entwickelt, das hinsichtlich der spezifischen Abbrandrate und des Heizwertes so hoch liegt, dass anzunehmen ist, dass alle real auftretenden Gemenge kleinere Werte annehmen und die hier dargestellten Ergebnisse sich so interpretieren lassen, dass z. B. ab einer bestimmten Entfernung mit an Sicherheit grenzender Wahrscheinlichkeit nicht mehr mit einer Brandausbreitung zu rechnen ist.

Aus Gründen der Rechenzeit wurde ein Ausschnitt idealisierter Materialstapel angenommen, wobei sich der eine Stapel bereits im Vollbrand befand. Es wurde mit dem Simulationsprogramm *FDS5* dann die Temperatur auf dem gegenüberliegenden Stapel ermittelt. Ab einer bestimmten Grenztemperatur wurde die Entzündung angenommen. Dem Verfahren geschuldet, werden die Parameter eines durchschnittlichen Kunststoffes (PE) für die Simulation mit hohem Brennwert verwendet, da die Parameter von EBS, je nach Zusammensetzung, stark schwanken. Für die zweite Simulation wird zum Vergleich ein entsprechend niedrigerer Heizwert verwendet.

Generell ist die Wärmefreisetzung bei einem Brand vom Heizwert und der Abbrandgeschwindigkeit abhängig, d. h. die Wärmefreisetzung ist davon abhängig, in welcher Zeit die Verbrennungswärme (Heizwert) frei wird. Daher sind neben dem Heizwert des Materials auch andere Materialkennwerte wichtig, so z. B. die Lagerungsdichte. Ein sehr kompaktes Material hat meist eine geringere Abbrandgeschwindigkeit, d. h. es brennt prinzipiell länger, wobei pro Zeiteinheit weniger Wärme abgegeben wird, als bei einem schneller abbrennenden Material.

6.3.1 Simulation mit 5 m Abstand bei unterschiedlichen Windgeschwindigkeiten und hohem Heizwert

Tabelle 11 Eingangsparmeter bei hohem Heizwert

Simulation	Simulationsraumgröße	4 m * 7 m * 6 m (5 m Stapelabstand) 4 m * 12 m * 6 m (10 m Stapelabstand)
	Zellengröße	20 cm * 20 cm * 20 cm
	Anzahl Zellen	21.000 (5 m Stapelabstand) 36.000 (10 m Stapelabstand)
	Simulationsdauer	1200 s
Umgebungsbedingungen	Lufttemperatur	25 °C
	Luftgeschwindigkeit	variabel je nach Szenario
Brennstoff	Dichte	350 kg/m ³
	Spezifische Wärmekapazität	2,0 J/(kg*K)
	Wärmeleitfähigkeit	0,35 W/(m*K)
	Feuchte	0 %
	Heizwert	35.000 kJ/kg
	Zündtemperatur	200 °C
	Flächenbezogene Brandleistung	615 kW/m ²
Betonboden	Dichte	2.400 kg/m ³
	Spezifische Wärmekapazität	0,76 J/(kg*K)
	Wärmeleitfähigkeit	2,1 W/(m*K)

Als Zündkriterium wurde eine Zündtemperatur von 200 °C angenommen. Damit sind alle möglicherweise auftretenden Materialien oder Materialkombinationen erfasst, da die niedrigsten Zündtemperaturen bei ca. 250 °C liegen (zellulosehaltige Materialien, Naturstoffe).

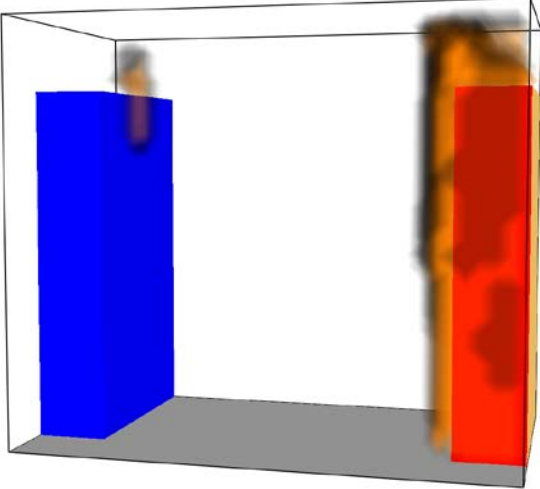
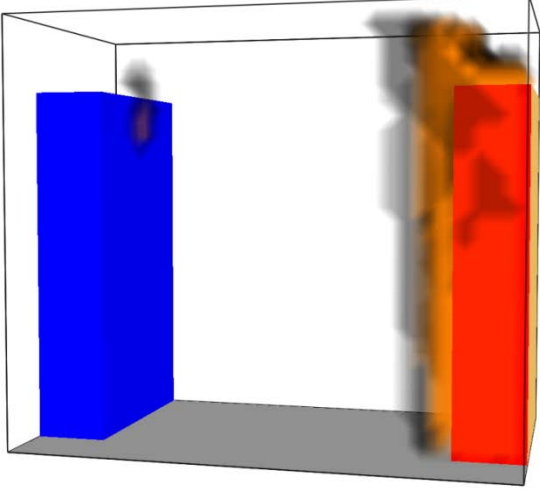
Abstand der Stapel	Windstärke	Ergebnis
5 m	0	 <p data-bbox="467 891 1062 925">Entzündung nach ca. 80 Sekunden Vollbrand</p>
5 m	1	 <p data-bbox="467 1518 1062 1552">Entzündung nach ca. 67 Sekunden Vollbrand</p>

Abbildung 28 Simulation bei 5 m Abstand und Windstärken 0 und 1

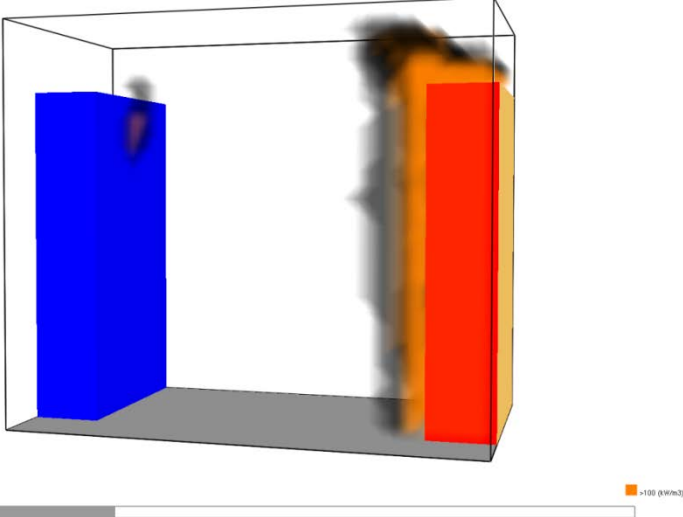
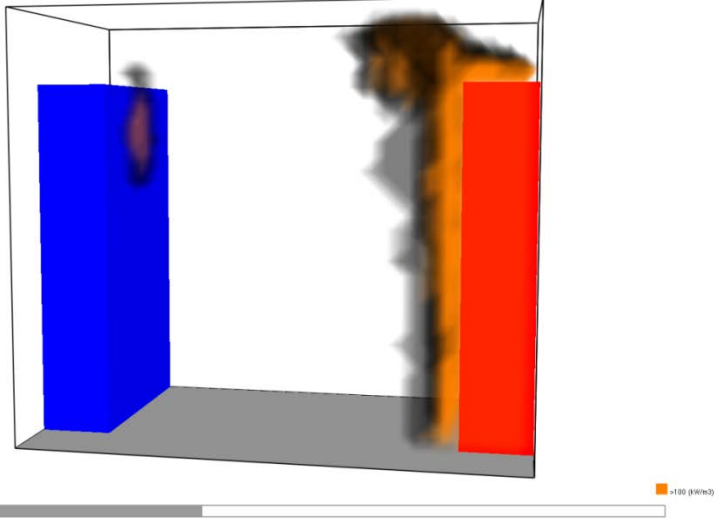
Abstand der Stapel	Windstärke	Ergebnis
5 m	2	 <p data-bbox="470 884 1061 918">Entzündung nach ca. 54 Sekunden Vollbrand</p>
5 m	3	 <p data-bbox="470 1512 1061 1545">Entzündung nach ca. 38 Sekunden Vollbrand</p>

Abbildung 29 Simulation bei 5 m Abstand und Windstärken 2 und 3

Unter der Annahme, der rechte (rote) Materialstapel befinde sich bereits im Vollbrand, kommt es bei Windstärken von 0-3 zwischen 38-80 s zur Entzündung des gegenüberliegenden Stapels. Da sich der Brand mit einer nicht näher definierten Geschwindigkeit in dem primär vom Band betroffenen Stapel bis zum Vollbrand ausbreitet, wird vom Brandbeginn bis zur Entzündung des Nachbarstapels naturgemäß eine deutlich längere Zeitspanne vergehen. Die Simulation zeigt zusammenfassend, dass die in der *KLAR* genannten 5 m als Abstand innerhalb eines Brandabschnittes zur Abtrennung von Lagerblöcken zu einer Verlangsamung der Brandausbreitung führt, sie sich aber dadurch nicht verhindern lässt.

6.3.2 Simulation mit 5 m Abstand bei unterschiedlichen Windgeschwindigkeiten und niedrigem Heizwert

Tabelle 12 Eingangsparmeter bei niedrigem Brennwert

Simulation	Simulationsraumgröße	4 m * 7 m * 6 m (5 m Stapelabstand) 4 m * 12 m * 6 m (10 m Stapelabstand)
	Zellengröße	20 cm · 20 cm · 20 cm
	Anzahl Zellen	21.000 (5 m Stapelabstand) 36.000 (10 m Stapelabstand)
	Simulationsdauer	1.800 s
Umgebungsbedingungen	Lufttemperatur	25 °C
	Luftgeschwindigkeit	variabel je nach Szenario
Ersatzbrennstoff	Dichte	350 kg/m ³
	Spezifische Wärmekapazität	2,0 J/(kg*K)
	Wärmeleitfähigkeit	0,35 W/(m*K)
	Feuchte	0 %
	Heizwert	14.000 kJ/kg
	Zündtemperatur	200 °C
	Flächenbezogene Brandleistung	250 kW/m ²
Betonboden	Dichte	2.400 kg/m ³
	Spezifische Wärmekapazität	0,76 J/(kg*K)
	Wärmeleitfähigkeit	2,1 W/(m*K)

Als Zündkriterium wurde eine Zündtemperatur von 200 °C angenommen. Damit sind alle möglicherweise auftretenden Materialien oder Materialkombinationen erfasst, da die niedrigsten Zündtemperaturen bei ca. 250 °C liegen (zellulosehaltige Materialien, Naturstoffe).

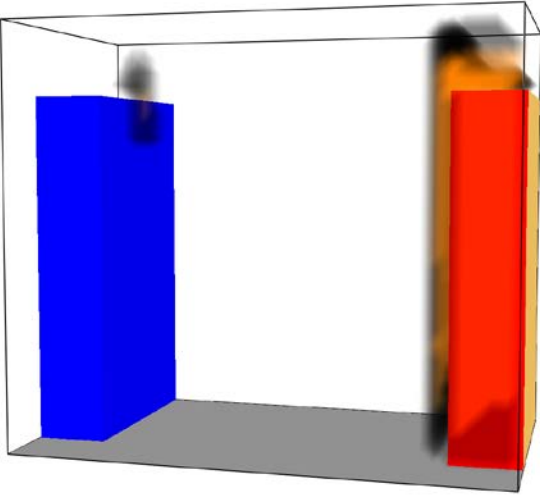
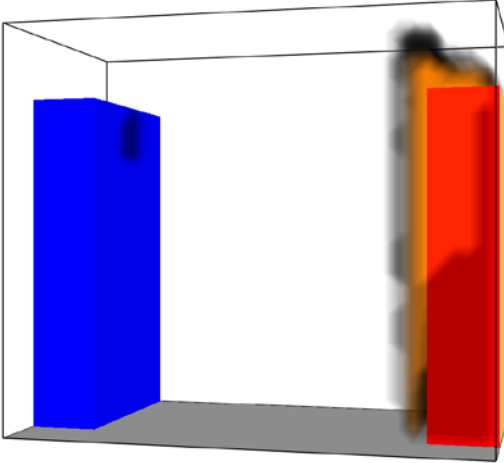
Abstand der Stapel	Windstärke	Ergebnis
5 m	0	 <p data-bbox="467 819 1023 878">Entzündung nach ca. 780 Sekunden Vollbrand</p>
5 m	1	 <p data-bbox="467 1431 1023 1464">Entzündung nach ca. 565 Sekunden Vollbrand</p>

Abbildung 30 Simulation bei 5 m Abstand und Windstärken 0 und 1 bei einem eher heizwertarmen Material

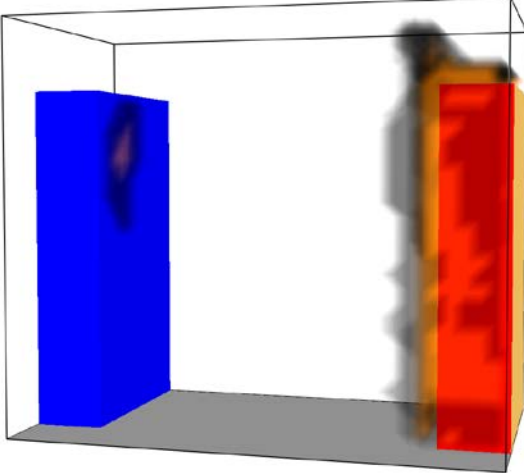
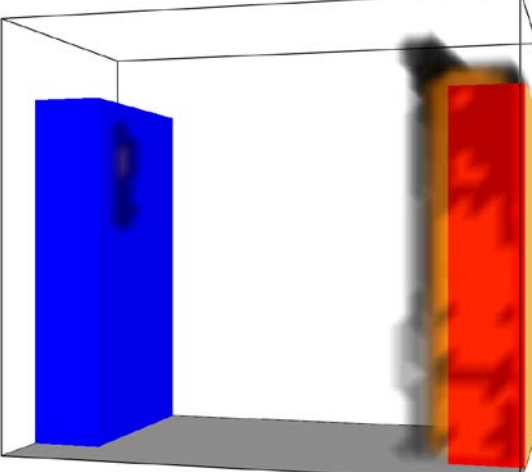
Abstand der Stapel	Windstärke	Ergebnis
5 m	2	 <p>Entzündung nach ca. 520 Sekunden Vollbrand</p>
5 m	3	 <p>Entzündung nach ca. 495 Sekunden Vollbrand</p>

Abbildung 31 Simulation bei 5 m Abstand und Windstärken 2 und 3 bei einem eher heizwertarmen Material

Unter der Annahme, der rechte (rote) Materialstapel befinde sich bereits im Vollbrand, kommt es auch bei einem Material mit niedrigem Heizwert bei Windstärken von 0-3 zwischen 780-495 s, also zwischen 13-8,25 min zur Entzündung des gegenüberliegenden Stapels. Da sich der Brand mit einer nicht näher definierten Geschwindigkeit in dem primär vom Brand betroffenen Stapel bis zum Vollbrand ausbreitet, wird vom Brandbeginn bis zur Entzündung des Nachbarstapels naturgemäß eine deutlich längere Zeitspanne vergehen. Die Simulation zeigt zusammenfassend, dass die in der *KLAR* genannten 5 m als Abstand innerhalb eines Brandabschnittes zur Abtrennung von Lagerblöcken zu einer deutlichen Verlangsamung der Brandausbreitung führt, sie sich aber dadurch nicht verhindern lässt. Es ist davon auszugehen, dass es auch hier zu einer Brandausbreitung kommt, bevor die

Feuerwehr wirksame Maßnahmen zur Verhinderung der Brandausbreitung durchführen kann.

6.3.3 Simulation mit 10 m Abstand bei unterschiedlichen Windgeschwindigkeiten und hohem Brennwert

Abstand der Stapel	Windstärke	Ergebnis
10 m	0	<p>Frame: 738 Time: 144.0</p> <p>Keine Entzündung innerhalb von 20 Minuten Vollbrand Maximale Oberflächentemperatur am Stapel 135 °C</p>
10 m	5	<p>Frame: 1000 Time: 1200.0</p> <p>Keine Entzündung innerhalb von 20 Minuten Vollbrand Maximale Oberflächentemperatur am Stapel 144 °C</p>

Abbildung 32 Simulation bei 10 m Abstand und Windgeschwindigkeiten von 0 und 5

6.3.4 Simulation mit 10 m Abstand bei unterschiedlichen Windgeschwindigkeiten und niedrigem Heizwert

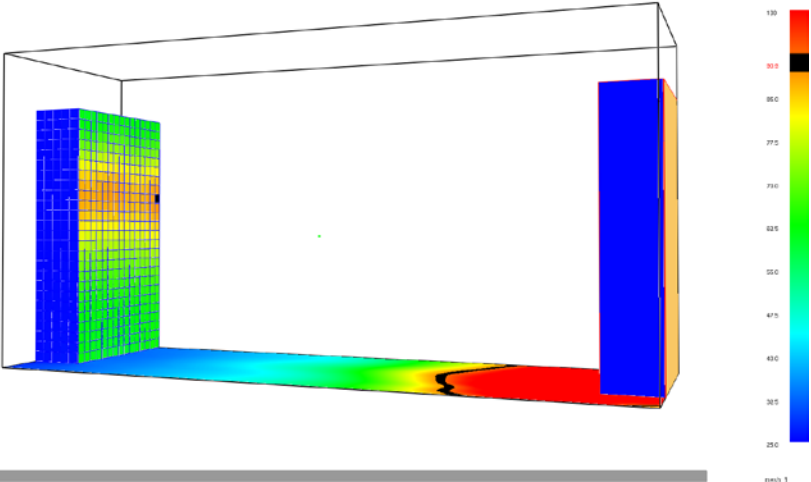
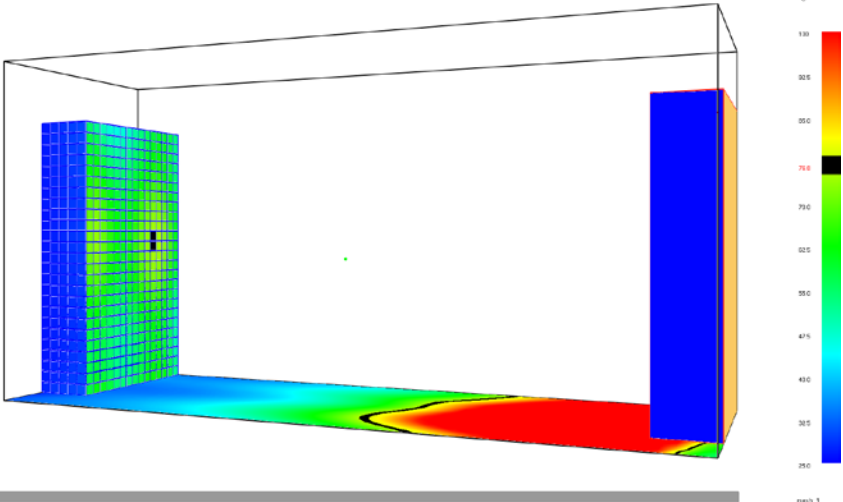
Abstand der Stapel	Windstärke	Ergebnis
10 m	0	 <p data-bbox="467 958 1118 1025">Keine Entzündung innerhalb von 30 Minuten Vollbrand Maximale Oberflächentemperatur am Stapel 90,9 °C</p>
10 m	5	 <p data-bbox="467 1547 1118 1612">Keine Entzündung innerhalb von 30 Minuten Vollbrand Maximale Oberflächentemperatur am Stapel 76,8 °C</p>

Abbildung 33 Simulation bei 10 m Abstand und Windstärken 0 und 5 bei einem Material mit eher niedrigem Heizwert

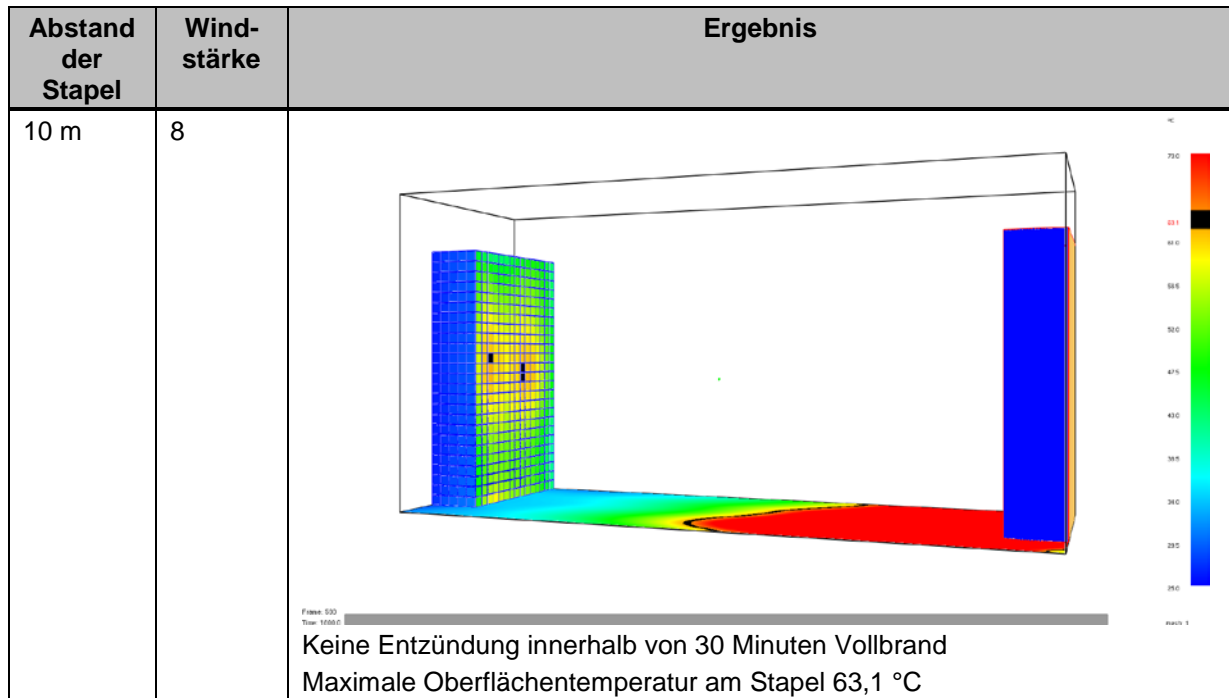


Abbildung 34 Simulation bei 10 m Abstand und Windstärken 8 bei einem Material mit eher niedrigem Heizwert

Unter der Annahme, der rechte (rote) Materialstapel befinde sich bereits im Vollbrand, kommt es bei Windstärken von 0 und 5 auch nach 20 bzw. 30 min nicht zu einer Entzündung des gegenüberliegenden Stapels. Die Simulation zeigt zusammenfassend, dass die in der *KLAR* genannten 10 m als Abstand zur Abtrennung von Brandabschnitten (Lagerabschnitten) im Freilager zur Verhinderung der Brandausbreitung auch bei der Lagerung von Abfällen ausreichen.

7 Untersuchung der vorgelegten Brandschutzkonzepte zu Gemeinsamkeiten, Unterschieden und Besonderheiten

Es wurden sieben vorliegende Brandschutzkonzepte für Abfallbehandlungsanlagen nach einem vereinheitlichten Schema zusammengefasst und miteinander verglichen. Das Ziel war, herauszufinden, welche Gemeinsamkeiten, Unterschiede und Besonderheiten dabei erkennbar sind.

Hier ist bei der Untersuchung vor allem aufgefallen, dass die Konzeptersteller die Abfallbehandlungsanlagen bauordnungsrechtlich völlig unterschiedlich einstufen und als unregelmäßige Sonderbauten völlig unterschiedliche Regelungen und Konzepte heranziehen. Insbesondere ist auffällig, dass die *Kunststoff-Lagerrichtlinie* mit ihrem Konzept zur Kompartimentierung der Kunststoffabfälle meist nicht angewandt wird, weil die Konzeptersteller aus dem Anwendungsbereich schließen, dass sie nicht anwendbar sei.

Qualitative Unterschiede zwischen den untersuchten Brandschutzkonzepten konnten in einigen Punkten des Vergleichs festgestellt werden. Zwei Konzepte enthalten nur unzureichende Informationen. In einem Brandschutzkonzept fehlen Angaben zur Löschwasserrückhaltung, zu Sonderlöschmitteln, zum Brandschutzbeauftragten und zur Feuerwehrumfahrt. In einem Abschnitt des Konzeptes wurde beschrieben, dass für das Brandschutzkonzept der Abfallbehandlungsanlage ein Brandschutzbeauftragter erforderlich wird und dass die Benennung eines Brandschutzbeauftragten aus diesem Grund im Brandschutzkonzept erwähnt werden muss. Genauere Informationen lassen sich jedoch dem Konzept nicht entnehmen, da es sich lediglich auf drei Rechtsgrundlagen stützt und keine Angaben zur Anwendung der *KLAR* enthält.

Das andere mangelhafte Brandschutzkonzept stützt sich ebenfalls nur auf drei aufgeführte Regelwerke, was bei der Komplexität der Anlage nicht ausreichend ist. Des Weiteren fehlen in diesem Brandschutzkonzept Informationen zur Lagerguthöhe und zu Sonderlöschmitteln. Alle Brandschutzkonzepte enthalten teilweise ungenaue, oder lückenhafte Informationen, sodass nicht immer festgestellt werden kann, ob die Anforderungen erfüllt werden. Bei dem Vergleich wird deutlich, dass vor allem die unklare, uneinheitliche Anwendung von Regelwerken dazu führt, dass die in den Brandschutzkonzepten beschriebenen Anforderungen hinterfragt werden müssen. Dies ist besonders bei beiden näher beschriebenen Brandschutzkonzepten signifikant. Dies führt dazu, dass bei jedem Vergleichspunkt einzeln geprüft werden muss, ob die Anforderungen der *KLAR* sowie der anderen Regelwerke erfüllt werden. Festzustellen ist auch, dass die meisten verglichenen Brandschutzkonzepte nur Fortschreibungen sind und somit nur Teile der Abfallbehandlungsanlagen, anstelle der gesamten Anlagen, betrachtet wurden. Da sich teilweise Anforderungen aufgrund der Größe einer Anlage ändern und durch die vielen kleinen Brandschutzkonzepte, und deren Fortschreibungen, nicht alle benötigten Informationen in allen Brandschutzkonzepten aufgeführt sind, sollte stets die gesamte Abfallbehandlungsanlage im Brandschutzkonzept betrachtet werden. Lediglich ein einziges Konzept konnte in diesem Bereich überzeugen, da es einzelne bestehende Brandschutzkonzepte zusammenfasst, um ein einheitliches Brandschutzkonzept zu erhalten. Bei dem Vergleich muss zudem beachtet werden, dass sich der Stand der Technik und auch die Regelwerke weiter entwickeln und dadurch Abfallbehandlungsanlagen, welche zu

verschiedenen Zeitpunkten errichtet wurden, unterschiedlichen Anforderungen unterliegen. Dieser Aspekt erschwert den Vergleich und sollte genauer untersucht werden. Um weitere Erkenntnisse gewinnen zu können, sind deutlich mehr Brandschutzkonzepte für eine solche Untersuchung erforderlich. Vor allem Brandschutzkonzepte von Abfallbehandlungsanlagen, welche schon lange bestehen und von keinem Brandereignis betroffen waren, könnten als positive Referenzobjekte genutzt werden.

Allerdings zeigt der Vergleich von Brandschutzkonzepten die nach einem Brand erstellt wurden, mit den ursprünglich genehmigten Konzepten, dass es ein deutliches Potential gibt, Abfallbehandlungsanlagen aus brandschutztechnischer Sicht sicherer zu gestalten. Durch diesen Vergleich wird eindeutig aufgezeigt, dass, wenn Bemühungen bestehen Abfallbehandlungsanlagen sicherer zu gestalten, es Möglichkeiten gibt, das Schutzniveau anhand der Brandschutzkonzepte positiv zu beeinflussen.

8 Voraussetzungen für den Feuerwehreinsatz

Nach § 17 Abs. 1 der *Landesbauordnung NRW (LBO)* [17] müssen bauliche Anlagen so beschaffen sein, dass u. a. auch wirksame Löscharbeiten möglich sind. Die folgenden Überlegungen und Empfehlungen dienen – auf der Basis der gewonnenen Erkenntnisse – der Realisierung dieses Schutzziels bei Anlagen zur Lagerung und Behandlung kunststoffhaltiger Abfälle.

8.1 Anfahrt und Flächen für die Feuerwehr

Bei der Planung der Anfahrt und der Flächen für die Feuerwehr auf dem Betriebsgelände sind folgende Aspekte von besonderer Bedeutung:

- Bei der Planung der Flächen für die Feuerwehr muss die *DIN 14090 – Flächen für die Feuerwehr auf Grundstücken* Berücksichtigung finden [18].
- Eine Zufahrt von der öffentlichen Verkehrsfläche ist ab einer Entfernung von 50 m vorzusehen.
- Es sind zwei voneinander unabhängige Zufahrten auf das Gelände vorzusehen, die möglichst in entgegengesetzter Richtung liegen oder zumindest einen gewissen Abstand voneinander haben. Es ist für eine ausreichende innere Erschließung der Betriebsfläche durch Feuerwehrfahrzeuge zu sorgen.
- Bei der Planung der Verkehrsflächen für die Feuerwehr auf dem Betriebsgelände ist zu berücksichtigen, dass die Feuerwehr in der Regel immer vorwärts das Gelände verlassen kann.
- Für Lagerflächen im Freien ist ab 2.000 m², für bauliche Anlagen ab einer Fläche von 5.000 m² ist jeweils eine Umfahrung vorzusehen.

Aufstellflächen sind für die Aufstellung von Hubrettungsfahrzeugen erforderlich, um von dort aus Wasserwerfer/Monitore vornehmen zu können.

8.2 Löschwasserversorgung

8.2.1 Grundsätze

Als Grundsatz nach *DVGW Arbeitsblatt W-405* [19] werden 192 m³/h über zwei Stunden für die Löschwasserversorgung angenommen.

Anhand des Konzepts der *Kunststoff-Lagerrichtlinie* zur Flächen- und Höhenbegrenzung im Freilager wird angenommen, dass maximal ein Brandabschnitt mit einer Fläche von max. 2.000 m² in Brand gerät. Grundsätzlich ist dann davon auszugehen, dass bei einer maximalen Brandfläche von 2.000 m² eine Löschwasserversorgung mit 192 m³/h über zwei Stunden nicht ausreichend ist. Es wird also über den Grundsatz hinaus immer ein Objektschutz notwendig.

Bei der bisherigen Planung wird davon ausgegangen, dass innerhalb der baulichen Anlagen eine stationäre Löschanlage vorhanden ist, sofern die baulichen Anlagen eine Lagerfläche von über 2.000 m² haben. D. h., der Bemessungsbrand für die Einsatzplanung umfasst eine Fläche von maximal 2.000 m², da alle darüber hinausgehenden Flächen mit stationären Löschanlagen gesichert werden müssen.

Bemessung des Objektschutzes, Berücksichtigung der Feuerwehr:

In der Annahme, ein Tanklöschfahrzeug wäre einschließlich Hin- und Rückfahrt nach 20 Minuten wieder gefüllt, könnten drei Tankfüllungen eines Tanklöschfahrzeuges pro Stunde eingesetzt werden. Das wäre bei einem *TLF 4000* eine Löschwasserbereitstellung von 12 m³/h.

Als Sonderlöschmittel ist vom Betreiber die Vorhaltung eines für die Wasserbevorratung ausreichenden Volumens an *Class A Foam* als Netzmittel zu fordern.

8.2.2 Bemessung des Löschwasserbedarfs

Nach [11] gilt für die normative Bemessung des Löschwassers:

$$\dot{V}_{ges} = \dot{V}_{Bbk} + \dot{V}_{Schutz} \quad (1)$$

mit

$$\dot{V}_{liq} = I_{Lösch} \cdot A_{Brd} \quad (2)$$

und

$$\dot{V}_{Schutz} = \sum_{i=1}^k n_i \cdot \dot{V}_{Str,i} \quad (3)$$

Für feste glutbildende Stoffe ergeben sich Löschintensitäten von 8-10 mm/min.

Die anzunehmende Brandfläche A_{Brd} ergibt sich für $t_{Brd} > 10$ min aus

$$A_{Brd} = \pi \cdot (0,5 \cdot v_{aus} \cdot t_{Brd1} + v_{aus} \cdot t_{Brd2})^2$$

mit

$$t_{Brd1} = 10 \text{ min} \quad \text{und} \quad t_{Brd2} = t_{Brd} - t_{Brd1}$$

$$v_{aus} = \text{mittlere lineare Brandausbreitungsgeschwindigkeit [m/min]}$$

$$t_{Brd} = \text{Zeit der ungehinderten Brandausbreitung}$$

Dabei wird angenommen, dass sich der Brand in den ersten zehn Minuten (t_{Brd1}) (Brandentwicklungsphase) nur mit der Hälfte der mittleren linearen Brandausbreitungsgeschwindigkeit ausbreitet, während in der anschließenden Brandausbreitungsphase (t_{Brd2}) die volle Brandausbreitungsgeschwindigkeit erreicht wird.

Nimmt man eine maximale Brandausbreitungsgeschwindigkeit v_{aus} von 1,2 m/min und eine Dauer der ungehinderten Brandausbreitung t_{Brd} von 20 min an, ergibt sich daraus eine Brandfläche A_{Brd} von 1.018 m². Sind die gelagerten Materialien nach den Regelungen der *KLAR* kompartimentiert, bedeutet das, dass sich in dieser Zeit bereits zwei Lagerabschnitte entzündet haben. Dies stimmt auch mit den durchgeführten Brandsimulationen überein. Es ergäbe sich damit eine abzulöschende Fläche von 800 m². Bei einer notwendigen Löschintensität von 10 mm/min ist dann eine Löschwasserzufuhr V_{liq} von 8 m³/min und insgesamt (nach *DVGW W-405*) über zwei Stunden ein Löschwasservorrat von **960 m³** für die Brandbekämpfung notwendig.

Für den Schutz der Umgebung muss man mindestens die Vornahme von zwei B-Rohren ohne Mundstück mit einem Volumenstrom von 800 l/min und damit für den Schutz V_{Schutz} von 1.600 l/min annehmen. Über eine Löschdauer von zwei Stunden ergibt sich damit für das Löschwasservolumen zum Schutz der Umgebung ein Volumen von 192 m³/h.

Damit ergibt sich ein Mindestlöschwasservolumen von $192 \text{ m}^3 + 960 \text{ m}^3 = 1.152 \text{ m}^3$.

Nach den üblichen Regelungen für die Löschwasserversorgung in der Bundesrepublik Deutschland, die im *DVGW-Arbeitsblatt W 405* fixiert sind, bedeutet das Folgendes:

Grundschutz

Es muss ein Grundschutz von 192 m³/h über zwei Stunden, entsprechend einem Löschwasservolumen von 384 m³ vorhanden sein. Die Sicherstellung des Grundschatzes gehört zu den Erschließungspflichten der Gemeinden (§ 1 Abs. 2 Satz 2 *FSHG NRW vom 10. Februar 1998* [20]).

Objektschutz

Darüber hinaus ist bei den hier betrachteten Anlagen (zusammenhängende Lagerfläche von max. 800 m² auch bei Kompartimentierung in zwei Lagerabschnitte) in der Regel mindestens noch ein Objektschutz für die Brandbekämpfung und den Schutz der Umgebung von 768 m³ erforderlich. Die Sicherstellung des Objektschatzes ist nach Feststellung der Bauaufsichtsbehörde auf Basis der Beurteilung der Brandschutzdienststelle Aufgabe des Eigentümers, Besitzers oder sonstigen Nutzungsberechtigten (§ 1 Abs. 2 Satz 3 *FSHG NRW vom 10. Februar 1998* [20]).

Zusammenfassend ergibt sich folgende Löschwasserbemessung:

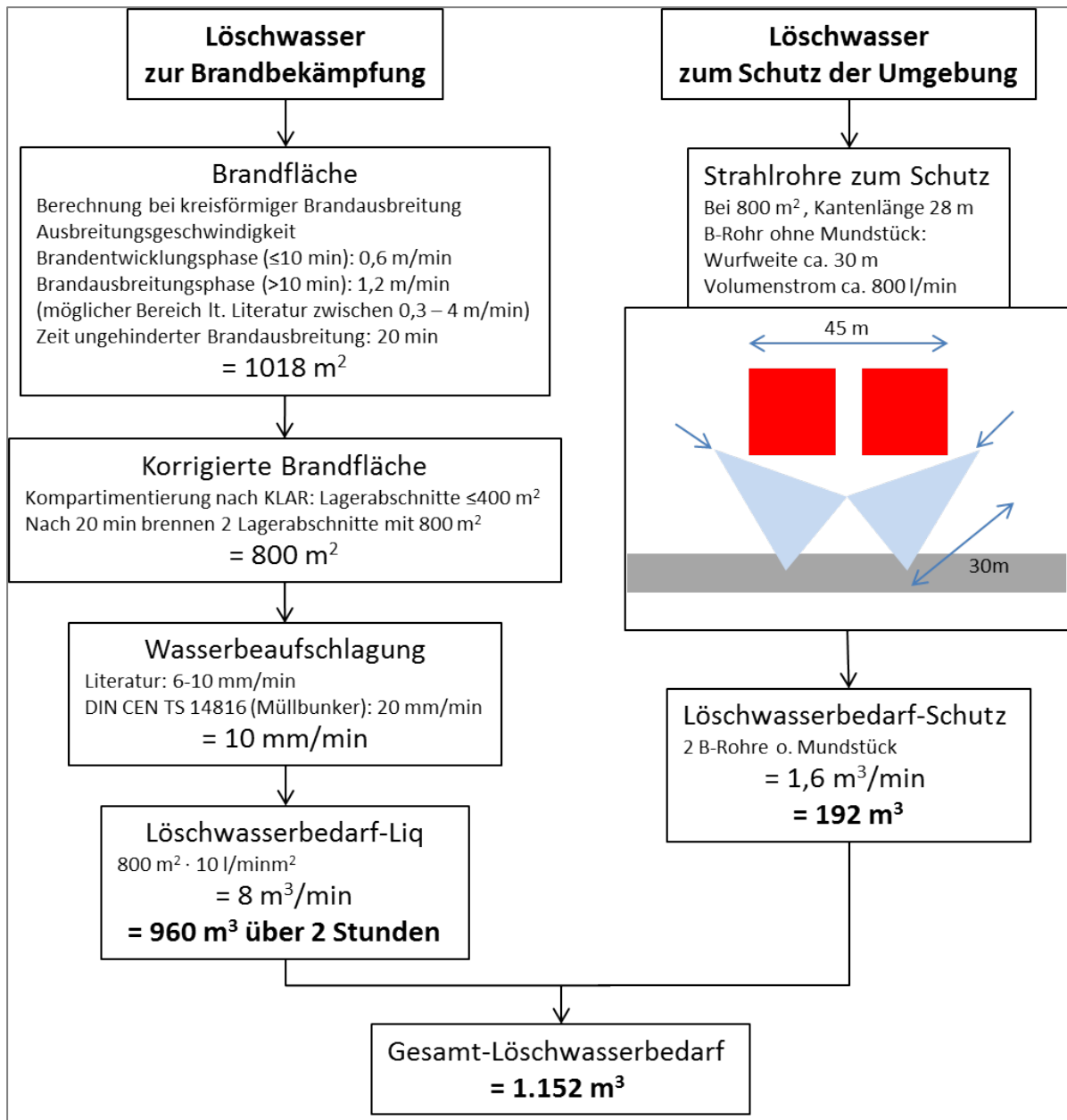


Abbildung 35 Exemplarische Bemessung des Löschwasserbedarfs

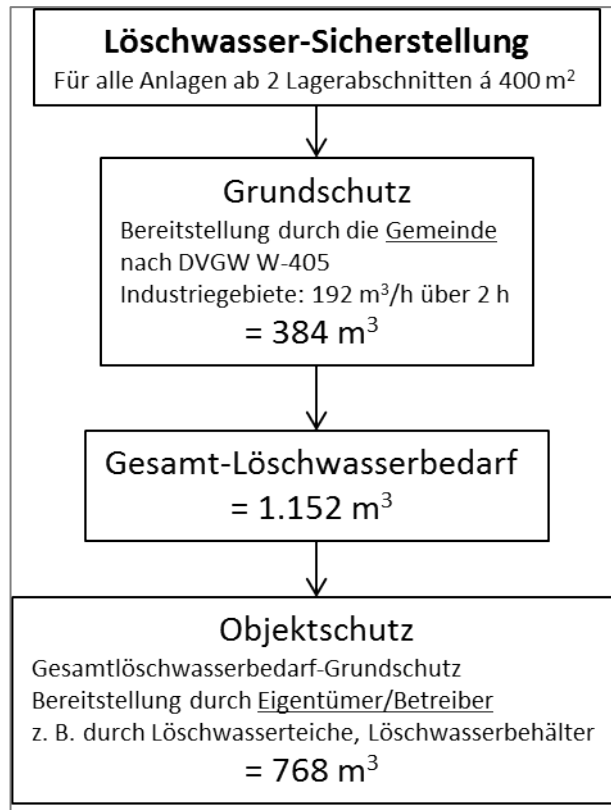


Abbildung 36 Sicherstellung des Löschwassers durch Grund- und Objektschutz

Bei größeren zusammenhängenden Flächen, besonderen Erschwernissen oder einer längeren Eintreffzeit der Feuerwehr muss der Objektschutz nach den o. g. Formeln entsprechend erhöht werden.

Mit Blick auf die in den Anlagen vorhandenen Flächen ist davon auszugehen, dass es sich bei der hier vorgestellten Löschwasserbemessung um das Mindestvolumen handelt, nach dem man annehmen kann, dass wirksame Löscharbeiten im Sinne der Landesbauordnung noch möglich sind.

Für die 960 m³ Löschwasser, die der unmittelbaren Brandbekämpfung dienen, kann im Rahmen des Objektschutzes auch die Bevorratung von wirksamen Zusätzen wie Schaummittel (*Class A-Foam*) erforderlich werden, wenn anzunehmen ist, dass wirksame Löscharbeiten nur mit Wasser nicht erfolgversprechend sind. Das ist bei einem sehr hohen Kunststoffanteil regelmäßig der Fall. Bei einer 1%igen Zumischung wären dann für 960 m³ 9,6 m³ Schaummittel durch den Betrieb vorzuhalten.

Als Maximum der Löschwasserbevorratung ergibt sich bei einer maximal anzunehmenden Brandfläche von 2.000 m² (s. o.) ein Löschwasserbedarf für die Brandbekämpfung von 2.400 m³. Das Löschwasservolumen für den Schutz der Umgebung muss in diesem Fall bei mindestens drei B-Rohren ohne Mundstück mit jeweils 800 l/min, insgesamt also mit 288 m³ angenommen werden. Insgesamt ergibt sich damit ein maximal notwendiger Löschwasservorrat von 2.688 m³.

8.3 Vorhaltung und Einsatz von Sonderlöschmitteln

In der Regel wird die alleinige Bekämpfung von Kunststoffbränden ausschließlich mit Wasser nicht zum Erfolg führen, insbesondere dann, wenn die Lagerkonfiguration das Eindringen von Wasser verhindert oder erschwert. Das ist z. B. regelmäßig bei gepressten Ballen von Kunststoffabfällen der Fall oder auch bei großen Schütthöhen und Schüttdichten. Da der Kunststoff wasserabweisend ist, kann das Löschwasser nur durch Spalten in das Brandgut eindringen. Dies wird durch die Oberflächenspannung des Wassers jedoch stark erschwert, da durch die Kombination aus Kohäsion und Adhäsion minimale Wassermengen das Eindringen weiterer Wasservolumina stark erschweren oder verhindern. Insbesondere tief unter der Brandgutoberfläche liegende Glutnester lassen sich daher alleine nur mit Wasser nicht erreichen und löschen.

Unter solchen Umständen muss die Oberflächenspannung des Löschwassers durch kontinuierliche Zugabe von oberflächenaktiven Substanzen (Tensiden) herabgesetzt werden. Durch die verringerte Oberflächenspannung kann das Löschwasser leichter durch die Fugen und Spalten im wasserabweisenden Brandgut hindurchsickern und erreicht so auch tieferliegende Glutschichten. Als Löschmittelzusatz kommen hier üblicherweise PFT-freie Schaummittel-Konzentrate in niedriger Dosierung zum Einsatz, z. B. 0,1 % *Class-A-Foam* oder auch Mehrbereichsschaummittel (MBS) in einer Konzentration < 3 % (typischerweise 0,5-1%).

Auch das Aufbringen einer Schaumschicht kann einsatztaktisch sinnvoll sein, z. B. zur zeitweisen Unterdrückung der Rauchfreisetzung, zur Verlangsamung der Brandausbreitung oder um noch nicht brennende Materialien auf der Oberfläche vor Entzündung zu schützen.

Aufgrund der anhaltenden Diskussionen um die umweltschädlichen (persistent, bioakkumulierend, ökotoxisch) perfluorierten Tenside (PFT) in bestimmten Schaummitteln, bestehen auch bei den Feuerwehren erhebliche Unsicherheiten hinsichtlich des Schaumeinsatzes. Dabei ist gerade bei Bränden großer Mengen kunststoffhaltiger Abfälle oft der Einsatz von Schaummittel als Netzmittel oder als Schwer- bzw. Mittelschaum unerlässlich bzw. ratsam.

Es muss daher an dieser Stelle eindringlich auf die Unterschiedlichkeit der Schaummittel und insbesondere darauf hingewiesen werden, dass die üblichen Standard-Schaummittel (Mehrbereichsschaummittel, Netzmittel) PFT-frei sind. Nur die wasserfilmbildenden Schaummittel (AFFF: aqueous film forming foam) sind auf perfluorierte Tenside als Filmbildner angewiesen.

Die Ausbildung eines dünnen Wasserfilms ist nur bei großflächigen Bränden brennbarer Flüssigkeiten notwendig, da ohne den sich schnell ausbreitenden Wasserfilm auf der Brandgutoberfläche, und den damit verbundenen Kühleffekt, die Zerstörungsrate des Schaums so hoch ist, dass kein oder nur sehr verzögert ein Löscheffekt eintritt. Dies betrifft z. B. Brände in Raffinerien (z. B. Tankbrände) oder Flugzeugbrände an Flughäfen. Der auf der Flüssigkeitsoberfläche spreitende Wasserfilm entsteht dadurch, dass die wasser- und ölabweisenden perfluorierten Ketten der PFT sich an der Wasseroberfläche anreichern und so das Wasser an dem dichtebedingten Einsinken in den flüssigen Brennstoff (z. B. Heizöl) hindern.

Dieser wasserfilmbildende Effekt von AFFF-Schaummitteln ist bei der Bekämpfung von Bränden kunststoffhaltiger Abfälle nicht notwendig, auch wenn die beteiligten Kunststoffe fast ausnahmslos oberflächlich Schmelzen bilden.

Wenn ohnehin nur die Oberflächenspannung des Löschwassers herabgesetzt werden, also eine Verschäumung nicht stattfinden soll, hat der Wasserfilm keinen Effekt. Aber auch dann, wenn Schwer- oder Mittelschaum zum Einsatz kommen soll, ist keine derart hohe Zerstörungsrate des Schaums zu erwarten, so dass auf filmbildendes Schaummittel bei Bränden fester, kunststoffhaltiger Abfälle grundsätzlich verzichtet werden sollte.

Für die Brandbekämpfung bei Bränden fester, kunststoffhaltiger Abfälle ist auf die Anwendung PFT-haltiger AFFF-Schaummittel aus ökologischen Gründen grundsätzlich zu verzichten! Es stehen ausreichend leistungsfähige PFT-freie Netzmittel und Schaummittel zur Verfügung, die zur Brandbekämpfung eingesetzt werden können.

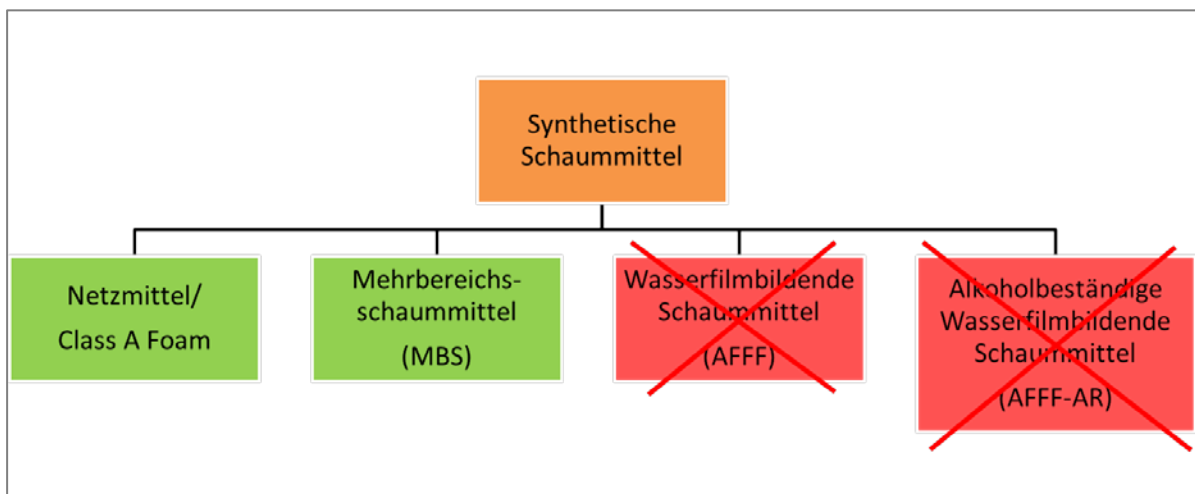


Abbildung 37 Für Brände fester Abfälle nutzbare synthetische Schaummittel

8.4 Freiflächen zum Auseinanderziehen von brennenden Abfällen

8.4.1 Für Lager im Freien

Entlang einer Kante eines Lagerplatzes im Bereich der Freifläche ist ein Abschnitt von 10 m für das Umschichten freizuhalten. Hintergrund ist, dass sich in den 5 m breiten, dann unmittelbar angrenzenden Streifen, Einsatzkräfte mit einem Radlader bewegen und in dem dann anschließend frei werdenden Streifen die Abfälle gelagert werden können. Auf diese Weise wird der Freistreifen quasi durch das Haufwerk durchgeführt.

8.4.2 Für Lagerung in Hallen

Bei der Lagerung in Hallen ist auf der Freifläche in der Nähe der Halle eine Fläche von 400 m² für die Auslagerung von brennendem Material zum Ablöschen vorzusehen.

Hintergrund ist, dass ein ganzer Lagerabschnitt ins Freie ausgelagert und dort abgelöscht werden kann. In der Halle wird dabei die Fläche eines Lagerabschnitts zur Umlagerung frei, so dass dort abgelöscht/umgelagert werden kann, wenn die Verrauchung der Halle das zulässt.

9 Erkenntnisse, Schlussfolgerungen und Empfehlungen

9.1 Brandentstehung und Brandursachen

Im Rahmen der Projektbearbeitung und auf Grundlage der ausgewerteten Daten lässt sich feststellen, dass eine Brandentstehung in Abfallbehandlungsanlagen nicht gänzlich vermeidbar ist.

Dabei zeigt sich, dass zum Beispiel zunehmend Lithium-Ionen-Akkumulatoren in den Abfällen mit angeliefert werden, die dann bei der mechanischen Zerstörung, zum Beispiel durch einen Radlader, thermisch durchgehen und dabei zu einer Entzündung der angelieferten Abfälle führen. Das Vorkommen von Li-Ionen-Akkus dürfte meist auf fehlerhaftes Entsorgungsverhalten zurückzuführen sein. Ansätze, z. B. kleine Elektrogeräte über die „gelbe Tonne“ zu entsorgen, sind aus Sicht des Brandschutzes sehr kritisch zu betrachten. Zugleich ist feststellbar, dass auch in den aufzubereitenden Abfällen, die naturgemäß einen vergleichsweise hohen Heizwert haben, teilweise in erheblichem Umfang thermische Prozesse stattfinden, die dann letztlich auch zu einer Selbstentzündung führen können. Auch andere Zündszenarien, wie beispielsweise eine adiabatische Kompression von brennbaren Treibgasen beim Überfahren einer Spraydose, können ursächlich für ein Brandereignis sein [15].

Singuläre, beeinflussbare und signifikant häufige Zündszenarien ließen sich nicht ermitteln.

9.2 Räumliche Aspekte und Risikobetrachtung

Hinsichtlich der Frage nach der räumlichen Brandentstehung bei großen Brandereignissen, ist nach den vorliegenden Ergebnissen feststellbar, dass diese zumeist (zu etwa 60 % der Fälle) im Bereich der Lagerung zu lokalisieren ist, dabei mehr als doppelt so häufig in der Anlieferung. Erstaunlich ist, dass nach bisheriger Einschätzung der dazwischen liegende mechanische Aufarbeitungsprozess in der Regel weniger problematisch ist. Das liegt auch daran, dass im Bereich der Anlieferung und im Bereich des Lagers vergleichsweise sehr viel höhere flächenbezogene Brandbelastungen vorhanden sind als im Bereich der mechanischen Aufarbeitung und die Verweilzeiten der Abfälle im Aufarbeitungsbereich verhältnismäßig gering sind. Da sich das Risiko als Produkt aus Eintrittswahrscheinlichkeit eines Schadensereignisses mit dessen möglichem Ausmaß ergibt, Risiko = Eintrittswahrscheinlichkeit * Schadensausmaß, lässt sich alleine schon aufgrund der hohen flächenspezifischen Brandlast im Bereich der Anlieferung und des Lagers ein deutlich höheres Risiko ermitteln.

9.3 Anlagentechnische Maßnahmen

Derzeit existiert keine Brandmeldetechnik, die alleine pauschal allen Belangen von Abfallbehandlungsanlagen zufriedenstellend gerecht wird. Videosysteme erkennen primär Oberflächenbrände, Rauchansaugsysteme erkennen selbst bei optimaler Planung und Umsetzung wegen der widrigen Umgebungsbedingungen häufig nur mit Schwierigkeiten oder Verzögerungen.

Brandmeldeanlagen sind unstreitig erforderlich, man muss aber in einem gewissen Ausmaß auch mit Ausfällen oder Verzögerungen der Brandmeldeanlagen rechnen.

Auch Löschanlagen bieten scheinbar nicht das Ausmaß an Sicherheit, das in anderen Bereichen (z. B. industrielle Lager) erreicht wird. Entweder verursachen sie durch Fehlauflösung auch nennenswerte Schäden (z. B. eine Sprühwasseranlage, die große Mengen EBS verwässert und damit unbrauchbar und wertlos macht) oder die Brandausbreitungsgeschwindigkeit und Wärmefreisetzung sind so groß, dass die Löschanlage unterlaufen wird. Mit Blick auf die großen Brandausbreitungsgeschwindigkeiten ist anzunehmen, dass Sprinkleranlagen nur im Ausnahmefall zur Anwendung kommen können und grundsätzlich eher Sprühwasserlöschanlagen geeignet sind, eine weitere Brandausbreitung zu verhindern.

Löschanlagen sind unstreitig in den geforderten Fällen notwendig und sinnvoll, sie bieten jedoch meist nicht das aus anderen Bereichen gewohnte Maß an Sicherheit. Tendenziell sind Sprühwasser-Löschanlagen zu bevorzugen.

9.4 Löschwasserversorgung und Abwehrender Brandschutz

In den meisten der betrachteten Fälle stand als Löschwasserversorgung kaum mehr als die nach dem *DVGW W-405-Arbeitsblatt* für Industriegebiete für den Grundsatz geforderte Löschwassermenge zur Verfügung. Das ist mit Blick auf die Abfallmengen, deren Heizwerte und Abbrandgeschwindigkeiten bereits ab einer Fläche von 800 m² völlig unzureichend. Der hohe Zeit-, Personal- und Materialaufwand der Feuerwehr führt dann meist zu einer längeren Phase der Brandausbreitung und damit auch zu einer höheren Fracht an luftgetragenen Schadstoffen, zu einer längeren Brandzeit und zu einer hohen Aufmerksamkeit in der Öffentlichkeit.

Grundsätzlich ist zusätzlich zum Löschwasser-Grundsatz von 192 m³/h über zwei Stunden (384 m³) immer auch ein ausreichender Objektschutz erforderlich. Dazu wird in der Regel eine Löschwasserbevorratung von 768 m³ als Objektschutz bei Anlagen mit mind. 800 m² zusammenhängender Lagerfläche erforderlich.

Meist fehlten vor Ort ausreichend große Flächen für die Feuerwehr, für die Entwicklung des Löscheinsatzes und Freiflächen zum Auseinanderziehen und Ablöschen des Brandgutes.

Fehlende Flächen für die Feuerwehr verzögern den Feuerwehreinsatz.

9.5 Umweltauswirkungen und Löschwasserrückhaltung

In den untersuchten Fällen waren keine messbaren luftgetragenen Schadstoffkontaminationen außerhalb des Anlagenbereiches vorhanden. Dies deckt sich mit allgemeinen Erfahrungen. In der Regel sind schon im Nahbereich die Konzentrationen der anorganischen Brandgase so gering, dass sie unterhalb entsprechender Grenzwerte liegen. Die längerfristigen Belastungen mit mittel- und schwerflüchtigen Komponenten, wie PAK, treten durch die strömungsmechanischen Effekte im Nahbereich kaum auf, da die

Thermik den Rauchgasplume nach oben treibt und dann durch Beimischung von Luft durch den Kegelmantel ein sehr starker Verdünnungseffekt eintritt.

Die Konzentrationen von polyhalogenierten Dibenzo-1,4-Dioxinen und –furanen liegt ebenfalls in der Regel unterhalb aller Grenzwerte, so dass in der Fläche keine Maßnahmen erforderlich sind.

Ohne die Anwesenheit von Kupfer ist mit relevanten PCDD/F-Konzentrationen in der Regel nicht zu rechnen. Dennoch wird bei Bränden insgesamt betrachtet, eine erhebliche Menge an Aromaten und PAK emittiert, die, wenn auch flächenbezogen in geringer Konzentration, vorzugsweise über den Luftpfad in die Umwelt gelangen.

Im projektbegleitenden Arbeitskreis liegen Erfahrungen vor, die zeigen, dass das abfließende Löschwasser hinsichtlich des großen Volumenstroms, der in kurzer Zeit auftritt, die Kläranlage schädigen kann. Dazu tragen die hohe organische Belastung (erkennbar am CSB-Wert) und auch Tenside der eingesetzten Netzmittel oder Löschsäume bei. Eine pauschale Bewertung dazu ist derzeit noch nicht möglich. Im Sinne des Besorgnisgrundsatzes ist jedoch davon auszugehen, dass über den Umgang mit dem anfallenden Löschwasser erst nach einer analytischen Charakterisierung entschieden werden kann.

Wegen dieses Gefahrenverdachts sind in der Regel vorbereitende Maßnahmen für die Rückhaltung des abfließenden Löschwassers notwendig.

9.6 Brandschutzplanungs- und Genehmigungspraxis

Wirklich auffällig ist in den vorgelegten Brandschutzkonzepten die uneinheitliche Einstufung als Sonderbau und die daraus resultierende sehr unterschiedliche Anwendung verschiedener Vorschriften auf Anlagen des gleichen Anlagentyps. Es wird in der Regel in den Brandschutzkonzepten daher keine Flächenbegrenzung für die Anlieferung und auch keine Höhen- oder Flächenbegrenzung für die Lagerung vorgenommen. Auf diese Weise kommen enorme Brandlastdichten zu Stande, die dann im Brandfall durch die Feuerwehr nicht mehr beherrschbar sind.

Mit der *Kunststoff-Lagerrichtlinie* existiert in Nordrhein-Westfalen eine in der Praxis bewährte Richtlinie für die Lagerung von Kunststoffen, die häufig aufgrund einer im Anwendungsbereich oder an anderer Stelle fehlenden formalen Zuordnung zu den Abfallbehandlungsanlagen für deren Beurteilung nicht oder nicht in vollem Umfang herangezogen wird. Teilweise wurde in Brandschutzkonzepten z. B. allein die kunststoffhaltige Fraktion „herausgerechnet“ und nur diese als Grundlage für die Mengengbegrenzung herangezogen.

Die in der *KLAR* genannten Freistreifen von 10 m Breite zur Unterteilung in Brandabschnitte, sind nach den vorliegenden Untersuchungen auch bei der Lagerung von heizwertreichen Abfällen ausreichend zur Verhinderung der Brandausbreitung.

Eine konsequente Anwendung der Kunststofflager-Richtlinie (KLAR) kann das Schadensausmaß bei Bränden in Abfallbehandlungsanlagen verringern.

Es fehlt in der Planungs- und Genehmigungspraxis sehr deutlich ein einheitlicher brandschutztechnischer Maßstab für die Brandschutzplanung und die Genehmigung solcher Anlagen sowie die konsequente Umsetzung der vorhandenen bauordnungsrechtlichen Vorschriften.

Es ist daher sinnvoll, den Anwendungsbereich der Kunststofflager-Richtlinie (KLAR) zu überarbeiten und ihn eindeutig auch um Abfallbehandlungsanlagen zu erweitern. Aus dem Anwendungsbereich sollte unmissverständlich hervorgehen, für welche Abfälle/Abfallgemische sowie für welche Abfallbehandlungsanlagen die KLAR anzuwenden ist.

9.7 Schlussfolgerungen/Empfehlungen

Die Heterogenität der angelieferten Abfälle, die Umgebungsbedingungen und zahlreiche weitere Unwägbarkeiten in Abfallbehandlungsanlagen machen es praktisch unmöglich, die Brandentstehung zu verhindern.

In Abfallbehandlungsanlagen ist im Vergleich zu anderen Industriezweigen grundsätzlich mit einer höheren Wahrscheinlichkeit der Brandentstehung zu rechnen.

In zahlreichen der untersuchten Fällen, wurde der Brand durch eine Brandmeldeanlage oder anwesende Mitarbeiter/Mitarbeiterinnen erkannt und gemeldet, gelegentlich waren die Bereiche sogar durch eine Löschanlage geschützt. Trotz allem kam es in den meisten Fällen zu einem großen Brandereignis, dass durch die Feuerwehr nur schwer und meist über Stunden bekämpft werden konnte.

Eine Risikominderung, und damit auch eine Reduzierung der Menge an Aromaten und PAK, die über den Luftpfad emittiert werden, lässt sich in Abfallbehandlungsanlagen folgerichtig nur erreichen, wenn

1. bauliche und organisatorische Maßnahmen konsequent umgesetzt werden, um die maximal zusammenhängenden Flächen, Lagerhöhen und Volumina an Abfällen und Produkten zu reduzieren,
2. indem die Regelungen der *Muster-Kunststoff-Lagerrichtlinie* konsequent in der Planung, der Genehmigung und in der Praxis angewandt und umgesetzt werden,
3. die Voraussetzungen für den Feuerwehreinsatz optimiert werden, insbesondere ein ausreichendes Löschwasservolumen über den Grundsatz nach *DVGW W-405* hinaus als Objektschutz zur Verfügung steht,
4. ausreichende Flächen für die Feuerwehr und das Ablöschen/Auseinanderziehen des Brandgutes vorhanden sind.

10 Brandschutztechnische Prüfung von Abfallbehandlungsanlagen

Im Brandfall führt eine ungehinderte Brandausbreitung in großer Mengen gelagerter oder aufbereiteter Abfälle zu einer enormen Rauchentwicklung mit Freisetzung nicht unerheblicher Mengen aromatischer Kohlenwasserstoffe und Ausbreitung über den Luftpfad.

Um dies, die Brand- und Rauchausbreitung, und deren negative Auswirkungen auf die Umwelt zu verhindern oder zu verringern, werden für Abfallbehandlungsanlagen ab einer Lagerfläche von 100 m² oder ab einer Lagermenge von 1.000 t folgende Maßnahmen empfohlen.

Das Ziel ist dabei einerseits, die gelagerten Mengen der angelieferten und aufbereiteten Stoffe so in Abschnitte zu unterteilen, dass eine Brandausbreitung auf die gesamte Lagermenge verhindert oder verzögert wird, und andererseits optimierte Voraussetzungen für einen schnellen und effektiven Feuerwehreinsatz zu schaffen.

10.1 Einstufung

Im Sinne von § 68 Abs. 1 Ziff. 3 und 15 *LBO NRW* [17] sind Abfallbehandlungsanlagen regelmäßig als Sonderbau einzustufen und bedürfen im Sinne des § 54 Abs. 2 Ziff. 5 besonderer Anforderungen.

Die Richtlinie über den Brandschutz bei der Lagerung von Sekundärstoffen aus Kunststoff – Kunststofflager-Richtlinie ist zu beachten.

10.2 Kompartimentierung

Die materiellen Anforderungen der *Kunststofflager-Richtlinie* sind grundsätzlich auch auf Abfallbehandlungsanlagen anwendbar und sollten in vollem Umfang umgesetzt werden.

Auszug aus der *Kunststofflager-Richtlinie* [16]:

KLAR 4. Lagerung von Stoffen in Gebäuden

- 4.1 Die Lagerung von Stoffen darf in Gebäuden nur in den Erdgeschossen erfolgen.
- 4.2 Das Lager ist durch Brandwände in Brandabschnitte von höchstens 5000 m² zu unterteilen.
- 4.3 Jeder Brandabschnitt ist durch mindestens 5 m breite Freiflächen in Lagerabschnitte von höchstens 300 m² zu unterteilen.
- 4.4 In einem Brandabschnitt müssen vorhanden sein
 - stationäre automatische Feuerlöschanlagen oder Rauchabzugsanlagen in Verbindung mit automatischen Brandmeldeanlagen, wenn der Brandabschnitt größer als 800 m² ist,
 - stationäre automatische Feuerlöschanlagen, wenn der Brandabschnitt größer als 1600 m² ist.

KLAR 5. Lagerung von Stoffen im Freien

KLAR 5.1 Als Lagerung von Stoffen im Freien gilt auch eine Lagerung innerhalb eines Brandabschnitts mit einem Dach, wenn

- die zulässige Lagerguthöhe durchgehend mindestens 2,5 m unterhalb der Unterkante des niedrigsten Teils des Dachs endet,
- der Brandabschnitt an mindestens zwei sich gegenüberliegenden Seiten vollflächig offen ist und
- die übrigen Seiten des Brandabschnitts, die nicht vollflächig offen sind, eine Länge von höchstens 45 m haben.

KLAR 5.2 Das Lager ist durch mindestens 10 m breite, nicht überdachte Freiflächen oder durch feuerbeständige Wände aus nichtbrennbaren Baustoffen in Brandabschnitte von höchstens 2000 m² zu unterteilen. Die Wände sind

- bei Brandabschnitten ohne Dächer mindestens 1 m über die zulässige Lagerguthöhe,
- bei Brandabschnitten mit Dächern nach Abschnitt 5.1 aus nichtbrennbaren Baustoffen bis unter die Dachhaut,
- bei Brandabschnitten mit Dächern nach Abschnitt 5.1 aus brennbaren Baustoffen mindestens 1 m über Dach

zu führen.

KLAR 5.3 Jeder Brandabschnitt ist durch mindestens 5 m breite Freiflächen oder durch feuerbeständige Wände aus nichtbrennbaren Baustoffen in Lagerabschnitte von höchstens 400 m² zu unterteilen. Die Wände sind mindestens 0,5 m über die zulässige Lagerguthöhe zu führen.

KLAR 5.4 Brand- und Lagerabschnitte dürfen folgende Lagertiefen nicht überschreiten:

- 40 m, wenn zwei sich gegenüberliegende Seiten für die Brandbekämpfung frei zugänglich sind,
- 20 m, wenn nur eine Seite für die Brandbekämpfung zugänglich ist.

KLAR 5.5 Lager im Freien müssen von den Grundstücksgrenzen einen Abstand von mindestens 10 m einhalten oder gegenüber Grundstücksgrenzen feuerbeständige Wände aus nichtbrennbaren Baustoffen ohne Öffnungen bis mindestens 1 m über der zulässigen Lagerguthöhe haben.

KLAR 6. Lagerguthöhe

Die Lagerguthöhe darf bei Schüttung 5 m, bei Blocklagerung 4 m nicht überschreiten.

Die zulässigen Lagerguthöhen sind deutlich sichtbar auszuschildern.“

10.3 Voraussetzungen für wirksame Löscharbeiten

Der schnelle und effektive Feuerwehreinsatz ist ein wichtiger Faktor für die Unterdrückung und Beendigung der Freisetzung von Schadstoffen in die Atmosphäre. Die Ermöglichung wirksamer Löscharbeiten dient damit auch dem Schutz der Umwelt.

10.3.1 Löschwasserversorgung

Die im *DVGW-Merkblatt W 405* für den Grundschutz genannten Löschwasservolumina sind in der Regel für Abfallbehandlungsanlagen nicht ausreichend. Es wird grundsätzlich immer eine darüber hinaus gehende Löschwasserbevorratung im Sinne des Objektschutzes erforderlich.

Wenn die Regelungen der *KLAR* eingehalten werden, ergeben sich innerhalb von Gebäuden Lagerabschnitte von 300 m², die grundsätzlich durch eine Brandmeldeanlage in Verbindung mit einer Entrauchung oder einer automatischen Löschanlage geschützt sind.

Es ergibt sich bezogen auf die Dynamik der Brandausbreitung eine maximal anzunehmende Brandfläche von 600 m^2 . Bei einer Lagerfläche von 600 m^2 ist eine Löschwasserbevorratung von mind. 912 m^3 insgesamt (Grundschutz und Objektschutz) erforderlich.

Wenn die Regelungen der *KLAR* eingehalten werden, ergeben sich für ein Freilager Lagerabschnitte von 400 m^2 . Auch hier ist für die Bemessung ein Brand von zwei Lagerabschnitten anzunehmen, also eine Brandfläche von 800 m^2 . Ab einer Lagerfläche von 800 m^2 ist daher darauf zu achten, dass in einem Radius von 300 m um die Anlage herum, in der Summe über alle Löschwasserentnahmestellen (Grundschutz und Objektschutz) ein Gesamtvolumen von 1.150 m^3 zur Verfügung steht.

Das minimal im Radius von 300 m notwendige Löschwasservolumen liegt bei 384 m^3 (max. 100 m^2 Brandfläche, $2 * 192 \text{ m}^3/\text{h}$ Grundschutz).

Darüber hinaus ist eine ausreichende Bevorratung von Netzmittel vor Ort erforderlich.

10.3.2 Löschwasserrückhaltung

In der Regel müssen Maßnahmen getroffen werden, die es erlauben, das anfallende Löschwasser zunächst chemisch zu charakterisieren. Erst dann kann entschieden werden, wie mit dem Löschwasser zu verfahren ist. Das bedeutet, dass in der Regel vorbereitende Maßnahmen zur Löschwasser-Rückhaltung erforderlich sind.

10.3.3 Freiflächen

Zum Auseinanderziehen sind Flächen auf dem Grundstück freizuhalten. Entlang eines Lagerabschnitts wird nach den hier vorliegenden Überlegungen in der Regel ein Freistreifen von 5 m als ausreichend angesehen.

11 Weiterer Forschungsbedarf

Die Untersuchungen zeigen, dass es einen deutlichen Bedarf an brandschutztechnischen Kennwerten für die verschiedenen Abfälle gibt, die dann eine Brandsimulation mit FDS ermöglichen. Für weitere, ggf. auch anlagenspezifische Brandsimulationen, die Maßnahmen zur Schadensreduzierung überprüfen können, fehlen verlässliche und verwendbare Kennwerte.

In diesem Zusammenhang sind auch weitere Untersuchungen zu den entstehenden Schadstoffen bei Bränden notwendig und sinnvoll. Dabei sollten auch Aspekte der Ökobilanzierung einfließen, so dass abgewogen werden kann, ob z. B. der Einsatz verschiedener Löschmittel gegenüber der Freisetzung großer Mengen organischer Brandzersetzungsprodukte über den Luftpfad ökologisch auch dann sinnvoll ist, wenn die Löschmittel in ein Oberflächengewässer eindringen können. Hier ist zu prüfen, welche Auswirkungen die im Brandfall freigesetzten Aromaten und PAKs haben, ob bestimmte Abfallfraktionen spezifische Brandzersetzungsprodukte generieren und wenn ja, in welcher Menge bzw. Ausbeute.

Mit Blick auf den enormen Bedarf an Löschwasser, ist es sinnvoll, die Löschtechnik, Löschtaktik, die flächenspezifische Wasserbeaufschlagung und die verwendeten Löschmittelzusätze in diesem Anwendungsbereich der Abfälle zu prüfen und zu optimieren.

Zugleich sind Untersuchungen erforderlich, die belastbare allgemeine Aussagen über die bei Bränden in Abfallbehandlungsanlagen anfallenden Löschwässer und ihre Gefahren ermöglichen.

Zudem sollte die Anwendbarkeit von Brandmeldern in Abfallbehandlungsanlagen vergleichend untersucht werden.

12 Quellen

- [1] Ministerium für Klimaschutz, Umwelt, Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen. *Abfallbilanz Nordrhein-Westfalen für Siedlungsabfälle 2010/2011*: undatiert.
- [2] BGS e.V. - Gütegemeinschaft Sekundärbrennstoffe und Recyclingholz e. V.. http://www.bgs-ev.de/fileadmin/bgs-ev/download/bgs-broschuere_NURANSICHT.pdf. Stand 23.01.2015.
- [3] Dehoust, Günter. (Ökoinstitut e.V., Freiburg) und Christiani, J. (HTP GmbH & Co. KG, Aachen). *Analyse und Fortentwicklung der Verwertungsquoten für Wertstoffe*. s.l. : UBA 40/2012, August 2012.
- [4] Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz NRW. *Informationssystem für Stoffe und Anlagen (ISA), Anlagen nach Nr. 8 der 4. BImSchV*: Stand 03.03.2015.
- [5] Wolf, S., Moors, A.. Brandschutz in Recyclingbetrieben - Eine kleine Argumentationshilfe für die Brandschutzaufklärung. *Schadenprisma*: 2013
- [6] Rospunt, J., Heuer, S., Heinemeyer, J., Büch, L.-H.. Untersuchung abfalltypischer Brandgefahren bei der Lagerung heizwertreicher Abfälle. *Müll und Abfall Fachzeitschrift für Behandlung und Beseitigung von Abfällen, Bd. 45, S. 242-248*: 2013
- [7] Holzer, Ch.. *Anforderungen an die Zwischenlagerung von heizwertreichen Abfällen*. Österreichisches Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft, Wien, 2007.
- [8] Autorenkollektiv, H.-D. Steinleitner und: Brandschutz- und Sicherheitstechnische Kennwerte gefährlicher Stoff, 1. Auflage, Leipzig: Staatsverlag der DDR, 1988.
- [9] Hosser, D.. *Leitfaden Ingenieurmethoden des Brandschutzes*. Braunschweig: vfdb, 2013
- [10] Moors, A. Recyclingmaterial aus Kunststoff - Gefahr durch Selbstentzündung. Düsseldorf. *Schadenprisma*: Verband der Öffentlichen Versicherer, 2006.
- [11] Roth, Weller. *Chemiebrände*. Landsberg: ecomed-Verlag, 1989.
- [12] Goertz, R. und Gregel, R. Untersuchungen zur Charakterisierung von Brandrauch. *Z. Umweltchem. Ökotox.* 9, Bd. 6, 361 - 368, 1997,
- [13] Drysdale, D. *An Introduction to Fire Dynamics*. Chichester: John Wiley & Sons, 2002.
- [14] Schott, T. Die objektbezogene Vorbereitung von Einsatzhandlungen der Feuerwehr. *DDR : Schulungsmaterial für die Aus- und Weiterbildung der Angehörigen der Feuerwehr*.
- [15] Pleß, G., Seliger, U. *Brandschutz bei recyclingfähigen Stoffen - Konzepte für Wertstoff-Zwischenlager des dualen Systems Deutschland (DSD) und für Reifenlager aus Sicht der mobilen Brandbekämpfung und Ableitung von Löschstrategien*. Heyrothsberge : Institut der Feuerwehr Sachsen-Anhalt, 1996. Teil 1: Analyse des Ist-Standes zum Brandschutz und zur stationären und mobilen Brandbekämpfung Forschungsbericht 107.

- [16] Ministerium für Bauen und Wohnen NRW. *Richtlinie über den Brandschutz bei der Lagerung von Sekundärstoffen aus Kunststoff - Kunststofflager-Richtlinie – KLAR*. RdErl. d. Ministeriums für Bauen und Wohnen v. 3.3.1998 II A 5 –235: MBl. NRW. 1998 S. 384
- [17] Der Minister für Bauen und Wohnen des Landes Nordrhein-Westfalen. *Bauordnung für das Land Nordrhein-Westfalen - Landesbauordnung (BauO NRW)* vom 1. März 2000, GV. NRW. 2000 S. 256
- [18] Deutsches Institut für Normung (DIN). *DIN 14090:2003-05, Flächen für die Feuerwehr auf Grundstücken*, Beuth-Verlag, 2003
- [19] Deutscher Verein des Gas- und Wasserfaches e.V. (DVGW). *Arbeitsblatt W 405-B1 - Bereitstellung von Löschwasser durch die öffentliche Trinkwasserversorgung; Beiblatt 1: Vermeidung von Beeinträchtigungen des Trinkwassers und des Rohrnetzes bei Löschwasserentnahmen – Entwurf*, 2015
- [20] Der Innenminister, Der Minister für Arbeit, Gesundheit und Soziales NRW. *Gesetz über den Feuerschutz und die Hilfeleistung (FSHG)* v. 10. Februar 1998, GV. NW. 1998 S. 122

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1	Schematische Darstellung einer LVP-Sortierung.....	13
Abbildung 2	gesicherte Brandursachen	19
Abbildung 3	ungesicherte Brandursachen	20
Abbildung 4	Technische Defekte	22
Abbildung 5	Lokale Verteilung der Brandquellen	23
Abbildung 6	Schadenssummen	27
Abbildung 7	Verteilung der Brandereignisse während und außerhalb der Betriebszeit	28
Abbildung 8	Verteilung der Brände auf die Jahreszeiten.....	28
Abbildung 9	Räumliche Zuordnung des Brandbeginns	29
Abbildung 10	Brandentdeckung.....	31
Abbildung 11	Zeitraum bis zum Auslösen des Feueralarms.....	32
Abbildung 12	Schadensarten.....	35
Abbildung 13	Einwirkungen auf den Betrieb	35
Abbildung 14	Einschätzung der Vermeidbarkeit von Bränden.....	36
Abbildung 15	Energetischer Verlauf einer Verbrennung	40
Abbildung 16	Zeitliche Entwicklung der Wärmefreisetzungsrate bei unterschiedlichem α	41
Abbildung 17	Geometrische Brandausbreitung.....	42
Abbildung 18	Allgemeine Zusammensetzung von Brandrauch	44
Abbildung 19	Zusammenhang zwischen der Elementarzusammensetzung des Brandguts und den anorganischen Brandgasen.....	45
Abbildung 20	Verteilung der Daten aus der Literaturrecherche auf die verschiedenen chemischen Strukturklassen	47
Abbildung 21	Schematische Darstellung verschiedener Reaktionszonen	47
Abbildung 22	Grober Reaktionsablauf in der Flamme und bei der „Nachverbrennung“	48
Abbildung 23	Reaktionsmechanismus zur Entstehung von Aromaten	49
Abbildung 24	TGA-Kurve einer EBS-Probe	54
Abbildung 25	Versuchsaufbau	56
Abbildung 26	Geringe Flammenbildung.....	57
Abbildung 27	Verkohlte Oberfläche	57
Abbildung 28	Simulation bei 5 m Abstand und Windstärken 0 und 1	60
Abbildung 29	Simulation bei 5 m Abstand und Windstärken 2 und 3	61
Abbildung 30	Simulation bei 5 m Abstand und Windstärken 0 und 1 bei einem eher heizwertarmen Material.....	63
Abbildung 31	Simulation bei 5 m Abstand und Windstärken 2 und 3 bei einem eher heizwertarmen Material.....	64
Abbildung 32	Simulation bei 10 m Abstand und Windgeschwindigkeiten von 0 und 5..	65

Abbildung 33	Simulation bei 10 m Abstand und Windstärken 0 und 5 bei einem Material mit eher niedrigem Heizwert.....	66
Abbildung 34	Simulation bei 10 m Abstand und Windstärken 8 bei einem Material mit eher niedrigem Heizwert	67
Abbildung 35	Exemplarische Bemessung des Löschwasserbedarfs.....	73
Abbildung 36	Sicherstellung des Löschwassers durch Grund- und Objektschutz	74
Abbildung 37	Für Brände fester Abfälle nutzbare synthetische Schaummittel.....	76

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1	Von Brandereignissen betroffene Anlagentypen	16
Tabelle 2	Verteilung der Brandereignisse auf die Anlagenarten.....	26
Tabelle 3	Verteilung der Brandereignisse auf die Abfallarten.....	26
Tabelle 4	Räumliche Zuordnung des Brandbeginns	30
Tabelle 5	Verteilung der Brandereignisse auf das Brandgut	31
Tabelle 6	Zeit zwischen Eingang des Brandalarms und Beginn der Brandbekämpfung.....	33
Tabelle 7	Strategien zur Vermeidung und Schadensminimierung	36
Tabelle 8	Vergleich der KLAR mit den VdS Hinweisen 2517	39
Tabelle 9	Beispiele für Abbrandfaktoren, untere Heizwerte und das Produkt daraus für 1 kg Material.....	42
Tabelle 10	Typische anorganische Brandgase	45
Tabelle 11	Eingangsparameter bei hohem Heizwert.....	59
Tabelle 12	Eingangsparameter bei niedrigem Brennwert.....	62

Abkürzungsverzeichnis

AFFF	<i>aqueous film forming foam</i>
AIDA	Abfall-Informationen-Datendrehscheibe
BDE	Bundesverband der deutschen Entsorgungs-, Wasser- und Rohstoffwirtschaft e. V.
BImSchG	Bundes-Immissionsschutzgesetz
BImSchV	Bundes-Immissionsschutzverordnung
BMA	Brandmeldeanlage
BUW	Bergische Universität Wuppertal
bvse	Bundesverband Sekundärrohstoffe und Entsorgung e. V.
CFD	Computational Fluid Dynamics
CP / CPB	Chemisch-physikalische (Abfall-)Behandlungsanlage
DTA	Differenz-Thermoanalyse
EBS	Ersatzbrennstoff
FDS	Fire Dynamics Simulator
FE	Eisen(-Metall)
FIBC	Flexible Intermediate Bulk Container (Bigbag)
FSHG	Gesetz über den Feuerschutz und die Hilfeleistung NRW
GdV	Gesamtverband der Deutschen Versicherungswirtschaft
IdF	Institut der Feuerwehren NRW
IFS	Institut für Schadenverhütung und Schadenforschung der öffentlichen Versicherer e. V.
IR	Infrarot
ISA	Informationssystem Stoffe und Anlagen
KLAR	Kunststoff-Lagerrichtlinie
KrWG	Kreislaufwirtschaftsgesetz
Kst-HK	Kunststoff-Hohlkörper
LANUV	Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz NRW
LBO	Landesbauordnung NRW
LVP	Leichtstoffverpackungen
MBA	Mechanisch-biologische Abfallbehandlungsanlage
MBS	Mechanisch-biologische (Abfall-)Stabilisierungsanlage
MBS	Mehrbereichsschaummittel
MKS	Mischkunststoffe
MKULNV	Ministerium für Klimaschutz, Umwelt, Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen
MVA	Müllverbrennungsanlage
NE	Nicht-Eisen(-Metall)

NIR	Nah-Infrarot
PAK	Polycyclische aromatische Kohlenwasserstoffe
PCB	Persistente chlorierte Biphenyle
PE	Polyethylen
PET	Polyester
PFT	Polyfluorierte Tenside
PO	Propylenoxid
PP	Polypropylen
PPK	Papier, Pappe, Kartonagen
PS	Polystyrol
PU	Polyurethan
PVC	Polyvinylchlorid
SBS	Sekundärbrennstoff
TGA	Thermogravimetrische Analyse
UBA	Umweltbundesamt
VdS	Verband der deutschen Sachversicherer



Schlussfolgerungen der Landesregierung

Ministerium für Klimaschutz, Umwelt,
Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz
des Landes Nordrhein-Westfalen

Ministerium für Bauen, Wohnen, Stadtentwicklung und Verkehr
des Landes Nordrhein-Westfalen

Ministerium für Inneres und Kommunales
des Landes Nordrhein-Westfalen

Brände in Abfallbehandlungsanlage

1. Anlass

Im Jahr 2013 war es in Nordrhein-Westfalen innerhalb weniger Wochen zu mehreren Großbränden in Abfallbehandlungsanlagen gekommen, die zu starker Resonanz in Presse und Öffentlichkeit geführt haben. Die Landesregierung hatte daraufhin mit Vorlage 16/1124 zum Thema „Großbrände in Recyclingbetrieben“ berichtet.

In diesem Zusammenhang wurde auch eine systematische Erfassung und Auswertung entsprechender Ereignisse angekündigt. Anhand dieser sollten mögliche Handlungsoptionen aufgezeigt werden, um den Risiken der Brandentstehung in Abfallbehandlungsanlagen vorzubeugen.

2. Untersuchungsvorhaben

Das Ministerium für Klimaschutz, Umwelt, Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen (MKULNV) hat dazu das Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz (LANUV) gebeten, ein entsprechendes Untersuchungsvorhaben durchzuführen und ggf. die Einbeziehung zusätzlichen externen Sachverständigen zu beauftragen. Aufgrund der in 2014 verhängten Haushaltssperre kam es zu zeitlichen Verzögerungen beim Abschluss der Kooperationsvereinbarung zwischen LANUV und der Bergischen Universität Wuppertal Fachgebiet Sicherheitstechnik / Abwehrender Brandschutz (BUW) und der Durchführung des Untersuchungsvorhabens.

In die Untersuchungen einbezogen wurde Datenmaterial der Umweltbehörden aus Nordrhein-Westfalen über 94 Brände in Abfallbehandlungsanlagen, davon umfangreiche Informationen (Genehmigungsunterlagen, Einsatzberichte der Feuerwehren, Gutachten der Versicherungen, Gutachten über die Brandursachenermittlung, Brandschutzkonzepte u.a.) zu 19 Brandereignissen und Datenmaterial von Versicherungsgesellschaften über 53 Brände in Abfallbehandlungsanlagen.

Darüber hinaus wurde mit Hilfe von Brandsimulationen und Laboruntersuchungen ermittelt, welche Abstände bzw. Freiflächen zwischen verschiedenen Lagerflächen unter brandschutztechnischen Aspekten in Abfallbehandlungsanlagen, die mit kunststoffhaltigen Abfällen umgehen, als sicher gelten können.

Der Abschlussbericht liegt nun vor.

2.1. Untersuchungsergebnisse

Die im Rahmen des Untersuchungsvorhabens erfolgte Auswertung der Unterlagen über die Brandereignisse in Abfallbehandlungsanlagen führte zu folgenden Erkenntnissen:

- In den betrachteten Fällen war eine Häufung von Bränden in Abfallbehandlungsanlagen festzustellen, die kunststoffhaltige Abfälle verarbeiten;
- In den Sommermonaten kam es häufiger zu Bränden als in den Wintermonaten;
- Der Brandentstehungsort war vorwiegend im Bereich der Lagerung (Ein- und Ausgangslager), also nicht im Verarbeitungsbereich, lokalisiert;
- In etwa 20 % der Brände war ein technischer Defekt als gesicherte Brandursache auszumachen, wobei der Schwerpunkt im Bereich der Förderbänder lag.

- Häufig war die Brandursache nicht mit Sicherheit festzustellen. Selbstentzündung wurde als Brandursache häufig vermutet.

Die Untersuchung kommt zu dem Ergebnis, dass eine Brandentstehung in Abfallbehandlungsanlagen, die mit kunststoffhaltigen Abfällen umgehen, nicht gänzlich vermeidbar ist. Zur Reduzierung der Ausmaße und Auswirkungen der Brände werden insbesondere Optimierungsmaßnahmen in den Bereichen des baulichen Brandschutzes und der Brandbekämpfung vorgeschlagen.

Es wurde ermittelt, dass die Einhaltung von Abständen zwischen Lagerflächen, wie sie in der Kunststofflagerrichtlinie (KLR)² vorgesehen sind, zur Verhinderung der Ausbreitung von Bränden in diesen Abfallbehandlungsanlagen ausreichend wären. Aufgrund des Geltungsbereichs der KLR finden ihre Regelungen jedoch bisher häufig keine Anwendung.

⇒ Grundsätzlich sollten zukünftig für diese Abfallbehandlungsanlagen die materiellen Anforderungen der KLR gelten.

Im Rahmen der Untersuchung wurde berechnet, dass die im DVGW-Merkblatt W 405³ für den Grundschutz genannten Löschwasservolumina in der Regel für Abfallbehandlungsanlagen nicht ausreichend sind. Eine darüber hinaus gehende Löschwasserbevorratung im Sinne des Objektschutzes wird grundsätzlich für erforderlich gehalten.

⇒ Für einen optimierten Feuerwehreinsatz sollte zukünftig das rechtlich vorgeschriebene Löschwasservolumen erhöht, die Vorhaltung geeigneter Schaummittel durch die Anlagenbetreiber sowie das Vorhandensein ausreichender Flächen für die Feuerwehr und das Ablöschen/Auseinanderziehen des Brandgutes sichergestellt werden.

3. Weiteres Vorgehen der Landesregierung

Seit Anfang 2015 hat sich eine gemeinsame Arbeitsgruppe der betroffenen Fachabteilungen des Umwelt-, Bau- und Innenressorts mit den Ergebnissen des Untersuchungsvorhabens auseinander gesetzt und auf der Basis der im Abschlussbericht formulierten Empfehlungen aus Sicht der Landesregierung erste Schlussfolgerungen und Handlungsableitungen für das weitere Vorgehen erarbeitet. Diese sind im Folgenden dargestellt.

3.1. Regelungen zum baulichen, organisatorischen und abwehrenden Brandschutz

Das Ministerium für Bauen, Wohnen, Stadtentwicklung und Verkehr (MBWSV) prüft eine Anpassung der Rechtsvorschriften für die (auch kurzfristige) Lagerung von Kunststoffabfällen und die Vorhaltung von ausreichenden Löschwasservolumina.

Das Institut der Feuerwehr Nordrhein-Westfalen (IdF NRW) wird die Erkenntnisse des Untersuchungsvorhabens und die sich daraus ergebenden Schlussfolgerungen im Rahmen der Aus- und Fortbildungen der Brandschutzdienststellen und Feuerwehren vermitteln.

² Richtlinie über den Brandschutz bei der Lagerung von Sekundärstoffen aus Kunststoff-Kunststofflager-Richtlinie - KLR [oder KLAR] RdErl. d. Ministeriums für Bauen und Wohnen v. 3.3.1998 II A 5 -235

³ Technische Regel „Bereitstellung von Löschwasser durch die öffentliche Trinkwasserversorgung“ des Deutschen Vereins des Gas- und Wasserfaches e.V.

Die Brandschutzdienststellen werden in geeigneter Form darüber informiert, dass geeignete Löschmittelzusätze (Netzmittel und Schäume) zur wirksamen Brandbekämpfung bei Abfallbehandlungsanlagen zur Verfügung stehen und darauf hingewiesen, im Genehmigungsverfahren, auf Basis der bereits vorhandenen Rechtsgrundlage, Auflagen zu deren Bevorratung durch den Betreiber zu fordern.

3.2. Überwachungsaktion

Das MKULNV plant eine exemplarische medienübergreifende Überwachungsaktion der Immissionsschutzbehörden in Abfallbehandlungsanlagen, die mit Kunststoffen umgehen. Die jeweilige kommunale Bauaufsicht und Brandschutzdienststelle erhalten Gelegenheit zur Teilnahme. Schwerpunkte der Überwachungsaktion werden die Überprüfung des genehmigten Zustands, der technischen Einrichtungen und der betriebsspezifischen Möglichkeiten der Brandgefahrenreduzierung sowie das Vorhandensein ausreichend großer Freiflächen für den Feuerwehreinsatz sein.

Die Ergebnisse der Überprüfungen werden dokumentiert und hinsichtlich der Mängelschwerpunkte ausgewertet.

3.3. Weitere Schlussfolgerungen und Maßnahmen

Systematische Erfassung der Brände in Abfallbehandlungsanlagen

Die Landesregierung führt die systematische Erfassung und Auswertung der Brandereignisse in Abfallbehandlungsanlagen fort.

Brandursachen

Hinsichtlich der häufig als Ursache genannten Selbstentzündungen bestehen kaum Vermeidungsmöglichkeiten. Die Abfallbehörden werden die Abfallerzeuger verstärkt und wiederholt auf die Notwendigkeit zur getrennten Entsorgung von Batterien (insbesondere Lithium-Ionen-Batterien) und Spraydosen auch vor dem Hintergrund der verstärkten Brandgefahr in Abfallbehandlungsanlagen hinweisen.

Die Immissionsschutzbehörden sollen im Rahmen der Überwachung insbesondere den Wartungszustand technischer Aggregate, die bei der Brandentstehung als Ursache gehäuft aufgetreten sind, überprüfen. Darüber hinaus soll die Aufnahme von konkreten Nebenbestimmungen in Genehmigungsbescheide durch die Immissionsschutzbehörden geprüft werden, z. B. die Wartung und Dokumentation technischer Einrichtungen.

Umgang mit Löschwasser

Unabhängig von der Löschwasserrückhalterichtlinie⁴ werden die zuständigen Behörden prüfen, ob und in welchem Umfang Maßnahmen im Genehmigungsverfahren zur Rückhaltung des Löschwassers notwendig sind.

⁴ Richtlinie zur Bemessung von Löschwasser-Rückhalteanlagen beim Lagern wassergefährdender Stoffe (LöRüRL) - RdErl. d. Ministeriums für Bauen und Wohnen v. 14.10.1992 - II A 5 - 190.6 (am 01.01.2003: MSWKS)

Bekanntmachung der Untersuchungsergebnisse

Es ist beabsichtigt, den Untersuchungsbericht sowie die Empfehlungen des Untersuchungsberichts und die Handlungsableitungen in den jeweiligen Bund-/Ländergremien der Fachressorts in geeigneter Form bekannt zu machen.

Landesamt für Natur,
Umwelt und Verbraucherschutz
Nordrhein-Westfalen
Leibnizstraße 10
45659 Recklinghausen
Telefon 02361 305-0
poststelle@lanuv.nrw.de

www.lanuv.nrw.de

