

Der Nutzen von intelligenter Videotechnologie in der Abfall- & Recyclingwirtschaft

White Paper



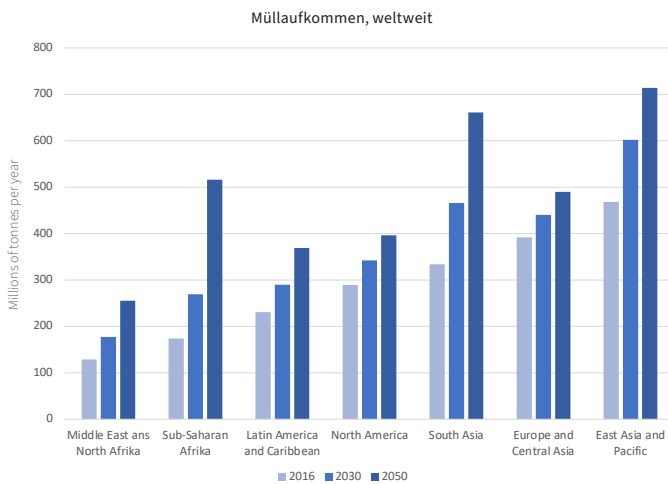
INHALT

1. Abfall als Zukunftsaufgabe – wir schieben einen wachsenden Berg vor uns her	3
Vom Wegwerfen zum Wiederverwenden	4
2. Schmutz, Staub, Witterung – wenn die Technologie gefordert ist	5
3. Materialien und Rohstoffe sind attraktiv für Einbrecher	6
So funktioniert Wärmebildtechnik	7
4. Brandschutz als zentrales Thema in der Abfallwirtschaft	8
Was, wenn Feuer einfach mitfährt? – Feuer in Müllfahrzeugen	8
Wie Thermaltechnologie große Areale und Materialmassen meistert	8
Brandgefährlich: Elektroschrott und Batterien	9
Es brennt immer wieder – eine heiße Stichprobe	9
5. Prozessoptimierung für höhere Wirtschaftlichkeit und Nachhaltigkeit	10
Videotechnologie als Werkzeug zur Prozessoptimierung	10
Zufahrts- und Zugangskontrolle	10
Arbeitssicherheit und Mitarbeiter-Management	11

1. Abfall als Zukunftsaufgabe – wir schieben einen wachsenden Berg vor uns her

Unser aller Zukunft hängt mehr denn je davon ab, wie wir die Zukunft unseres Abfalls bewältigen. Als integrierter Bestandteil der nachhaltigen Entwicklung kann nur eine zielgerichtete, effektive Abfallwirtschaft unseren globalen Fußabdruck verringern. Im Jahr 2010 hat die Weltbevölkerung rund 3,5 Mio. Tonnen Müll pro Tag produziert. 2016 waren es schon 5,6 Mio. Tonnen. Bis 2030 lautet die Prognose 7,2 Mio. Tonnen pro Tag, Tendenz

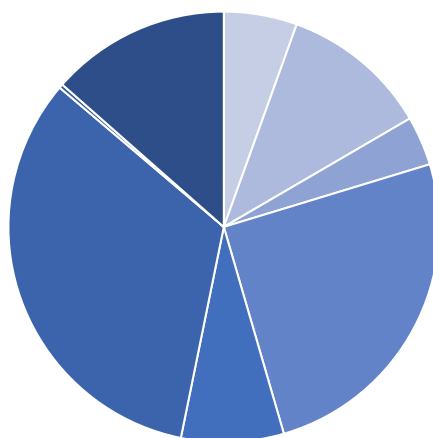
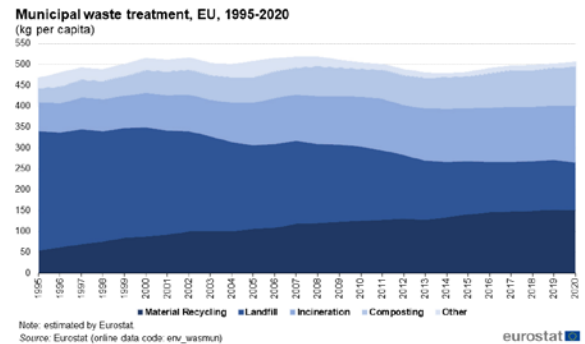
steigend. Der Umgang mit Müll ist eine der großen Herausforderungen unserer Zukunft. Die Branche ist weltweit gefordert mit zeitgemäßen und zukunftsweisenden Konzepten dazu beizutragen, dieses Problem zu bewältigen. Intelligente auf künstliche Intelligenz basierte Videotechnologie kann ein Baustein für diese Mammutaufgabe sein. Wie das funktionieren kann, werden wir in diesem Whitepaper beleuchten.



Die Thematik „Müll“ ist komplex. Es gibt etliche verschiedene Arten von Müll, die in unterschiedlichen Kontexten entstehen und die auch unterschiedlich entsorgt bzw. aufbereitet werden müssen. Mitunter werden vier Hauptarten unterschieden: Hausmüll besteht primär aus Papier/Pappe, Kunststoff, sowie verschiedenen organischen Abfällen, seien es Garten- oder Küchenabfälle. Gewerblicher Müll setzt sich vorwiegend aus Papier, Kunststoff und anderem Verpackungsmaterial zusammen. Industrieller Müll besteht zu großen Teilen aus Industrieschlamm und Asche. Auch Bauschutt nimmt hier einen gewichtigen Bereich ein. Gefahrstoffe (gesundheitsschädlicher Müll) stammen häufig aus der Industrie oder kommen von anderen Bereichen, wie beispielsweise aus Kliniken. Die Komponenten sind mitunter hoch giftig und bergen bei unsachgemäßer Handhabung Gefahren für Mensch und Umwelt.

Vom Wegwerfen zum Wiederverwenden

Eine zentrale Ursache der Müllproblematik liegt im verschwenderischen Umgang der „Wegwerfgesellschaft“ mit Rohstoffen. Heute werden jährlich etwa 60 Milliarden Tonnen an Rohstoffen verbraucht. Verglichen mit dem Wert von vor 30 Jahren ist das ein Anstieg von etwa 50 Prozent. Bis in die 1980er-Jahre lag der wesentliche Fokus der Abfallpolitik in der Beseitigung der Abfälle durch Deponierung und Verbrennung. Hiernach führte ein Paradigmenwechsel Schritt für Schritt zum Umdenken. Die Abfallvermeidung, das Reparieren, Aufbereiten und Wiederverwerten gewinnen bis heute mehr und mehr an Priorität.



■ Composting
 ■ Controlled Landfill
 ■ Sanitary landfill (with landfill gas collection)
 ■ Other
 ■ Incineration
 ■ Landfill (unspecified)
 ■ Open dump
 ■ Recycling

Eins ist klar: Auch bei der Wiederverwertung und Aufbereitung von Müll ist zumindest die vorübergehende Lagerung der Abfälle nötig. Das geschieht in den Abfallwirtschafts und Recyclingbetrieben oder teilweise direkt in der Industrie. Hierbei können Abfälle vielfältige Probleme verursachen, z.B. wenn sie giftig für Menschen und Umwelt sind. Zusätzlich besteht die Möglichkeit infektiöser, chemisch reaktiver, brennbarer oder explosiver Eigenschaften. All das bedarf der besonderen Behandlung, Beobachtung und dem Schutz, was durch intelligente Videotechnologie effektiv unterstützt werden kann.

Die Branche Abfallwirtschaft ist dynamisch und in stetiger Bewegung. Sowohl in der Zusammensetzung des Mülls, im Umgang mit dem Müll und was die Müllmenge betrifft. Das heißt, dass auch zum Einsatz kommende Videosysteme entsprechend anpassbar, flexibel und skalierbar für diese sich ändernden Strukturen des Marktes sein müssen.

Kurz-Zusammenfassung:

- Müllaufkommen wächst voraussichtlich bis 2030
- Verschiebung von Entsorgung zu Wiederverwertung
- Lagerung oder Zwischenlagerung von Müll ist erforderlich

2. Schmutz, Staub, Witterung – wenn die Technologie gefordert ist

Dort wo Müll gesammelt, verarbeitet und gelagert wird, lassen sich Schmutz und Staub nicht vermeiden. Grobe Maschinen, Schüttgüter und zerstoßene oder geschredderte Materialien sorgen für entsprechende Belastungen. Zudem erfolgt die Müllverarbeitung in großen Hallen oder auf Freiflächen, wo Schmutz und Staub von Natur aus auftreten.

Da ein Großteil der Lagerung im Freien passiert, sind Videosysteme, die in der Abfallwirtschaft zum Einsatz kommen, sämtlichen Witterungsbedingungen ausgesetzt. Sie müssen resistent sein gegen Feuchtigkeit, Kälte und Hitze. Das gilt umso mehr im Einsatz rund um die Müllverbrennung, wo Staub eine Schlüsselrolle spielt.

MOBOTIX Videokameras kommen beispielsweise bei der Zentralen Abfallwirtschaft Kaiserslautern im Bunkerbereich zum Einsatz, wo Materialien zur Verbrennung gesammelt und auf hohe Temperaturen hin überwacht werden, die durch Gärprozesse entstehen können. Auch im Holzkraftwerk Lohbrügge sind MOBOTIX Kameras besonders harten Arbeitsbedingungen ausgesetzt, allen voran die Kamera, die in den Brennraum blickt. Dort wird eine hochtemperaturfeste Kamera mit Gebläsekühlung zur visuellen Kontrolle des Verbrennungsvorgangs eingesetzt.



High-End-Kameras, wie die MOBOTIX Videosysteme, sind gemacht für Umgebungstemperaturen von -40 bis + 65 Grad. Die Schutzklassen IP66 und IK07 sorgen für beste Resistenz gegen äußere Einwirkungen (Feuchtigkeit und Stoßeinwirkungen). Überdies können solche Videosysteme mit speziellen Vandalismus oder Spezialgehäusen versehen werden, die sie für zahlreiche Anwendungen, auch in anspruchsvollstem Umfeld, einsatzbereit machen.



Kurz-Zusammenfassung:

- Raues Umfeld durch Staub und Schmutz
- Nässe, Hitze und Kälte auf Außenflächen und in Hallen
- Robuste MOBOTIX Videosysteme sind wetterfest und stoßfest

3. Materialien und Rohstoffe sind attraktiv für Einbrecher

Die große Menge an gelagerten Materialien und Rohstoffe, besonders zur Aufbereitung und Wiederverwertung, macht Betriebe der Abfallwirtschaft zum potenziellen Ziel von Einbrechern.

Erwartungsgemäß stehen Metalle oder Elektroschrott nach wie vor im Fokus potenzieller Diebe. Sie lassen sich gewinnbringend weiterverkaufen. Doch auch Materialien, die man gemeinhin gar nicht als attraktiv für Diebe einschätzt, wecken Begehrlichkeiten in kriminellen Kreisen. So zum Beispiel in Madrid, wo jährlich allein 67 000 Tonnen Altpapier im Wert von durchschnittlich 10 Millionen Euro verschwinden. Prognosen sagen, dass der jährliche Wert des (legalen) Handels mit Recyclingkarton und Papier von 4,3 Milliarden US-Dollar im Jahr 2017 bis 2024 auf 5,4 Milliarden US-Dollar steigen wird. Ein solch attraktiver Wachstumsmarkt macht die Materialien auch für illegale Händler attraktiv.

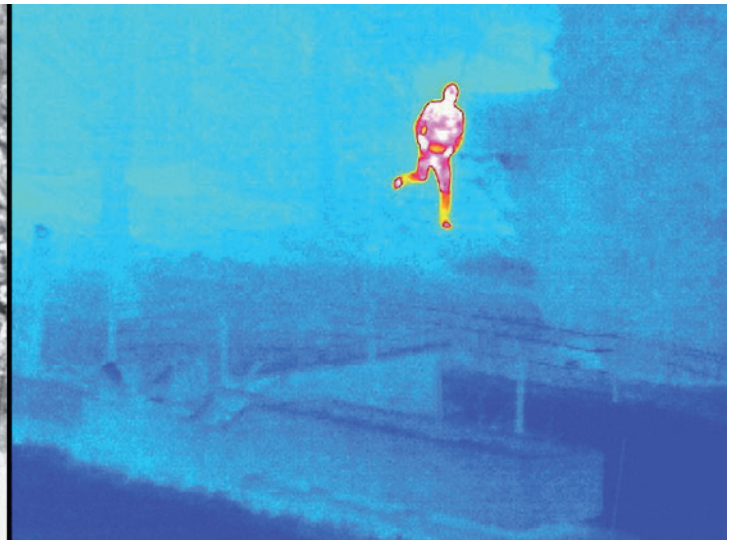
Es ist eine besondere Herausforderung, die großen Gelände effektiv gegen Eindringlinge zu schützen. Hier spielt die intelligente Videotechnologie ihre Stärken aus. Sie hat rund um die Uhr ein waches Auge auf das Gelände und kann Eindringlinge zuverlässig bei Tag & Nacht, sogar bei völliger Dunkelheit oder bei Sichtbehinderungen durch Staub oder Nebel zuverlässig erkennen.



Bei Tag und guter Sicht wachen optische Sensoren über das Gelände. Unterstützt durch intelligente Analysesoftware, wie beispielsweise der Bewegungs- und Objekterkennung, sorgen Videosysteme effektiv für besten Perimeterschutz. Dank der zuverlässigen Unterscheidung von Mensch und Tier können zudem Fehlalarme effektiv vermieden werden.



Beim Perimeterschutz in der Nacht punktet die Wärmebild-Technologie mit ihren Stärken. So können Bedrohungen selbst bei absoluter Dunkelheit oder ungünstigen Sichtverhältnissen wie Staub, Nebel oder Rauch frühzeitig erkannt werden. Wärmebildkameras können aus großen Entfernungen Objekte aufspüren. Verdächtige Personen, die sich hinter Büschen oder im Schatten verstecken, werden aufgrund ihrer thermischen Charakteristik von einem Wärmebildsystem einwandfrei erfasst. Perimeterschutz - auch in absoluter Dunkelheit gelingt mit Premium-Thermalkameras auch in sehr großen Außenbereichen ohne Zusatzbeleuchtung.

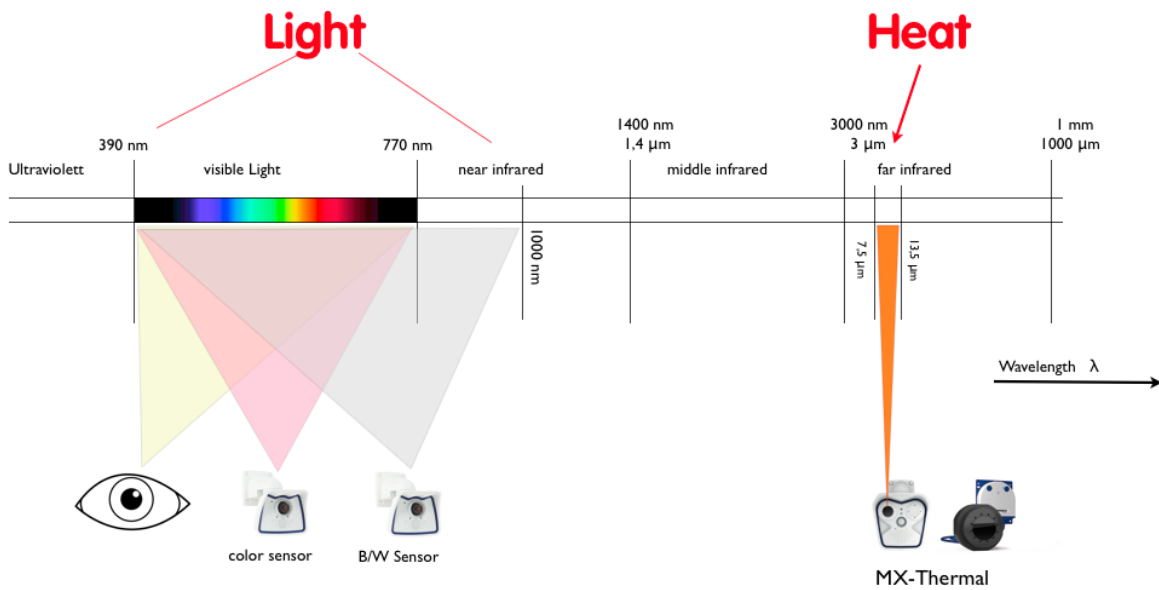


Die Detektion kann auch aus Entfernungen bis zu mehreren hundert Metern, also über große als auch schwer zugängliche Bereiche erfolgen. Und das unter Wahrung der Privatsphäre. Das erzeugte Temperaturprofil von Thermalkameras zeigt nämlich keine Details zur Personenidentifizierung. Sobald sich ein Objekt in einen relevanten Überwachungsbereich bewegt, können MOBOTIX Dualkamarasysteme automatisch vom Thermalsensor zum optischen Sensor umschalten und dabei hochauflösendes Video unter Wahrung der Privatsphäre aufzeichnen.

So funktioniert Wärmebildtechnik

Die Wärmebildtechnik ist ein berührungsloses bildgebendes Verfahren, das die für das menschliche Auge unsichtbare Wärmestrahlung (mittleres Infrarot) eines Objekts oder Körpers sichtbar macht. Bei der Wärmebildtechnik werden Temperaturverteilungen auf Flächen und Gegenständen erfasst und dargestellt. Die Bolometermatrix (Bildauflösung) ist bezüglich der Pixelanzahl beträchtlich niedriger als bei Kameras für den sichtbaren Spektralbereich.

Im Gegensatz zu Kameras mit optischen Bildsensoren kann eine Thermal-Kamera so geringe Temperaturunterschiede wie möglich erfassen und im Bild durch Farbunterschiede darstellen. MOBOTIX Thermalkameras können bereits minimale Temperaturunterschiede ab 0,05 °C visualisieren und liegen damit im derzeit für die allgemeine Nutzung verfügbaren Spitzenbereich.



Kurz-Zusammenfassung:

- Entsorgungs- und Recyclingbetriebe im Fokus von Einbrechern
- Optische Sensoren für den Perimeterschutz am Tag
- Thermaltechnologie für Durchblick selbst bei absoluter Dunkelheit

3. Brandschutz als zentrales Thema in der Abfallwirtschaft

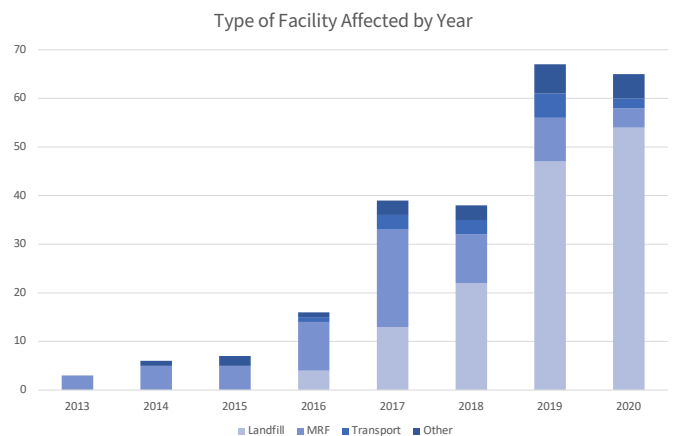
Der Brandschutz stellt an die Betriebe der Abfall- und Recyclingwirtschaft besondere Herausforderungen. Ein wesentlicher Aspekt sind die großen Freiflächen. Viele Betriebe erstrecken sich über mehrere Hektar große Flächen. Das Lagern und Verarbeiten des Mülls erfolgt in großen Hallen oder im Freien. Dort stoßen herkömmliche Brandmeldeanlagen und Detektionseinrichtungen an ihre Grenzen. So funktionieren Rauchansaug-

melder dort gar nicht, verspätet oder nur eingeschränkt- zumal die Videosysteme bereits alarmieren können, bevor überhaupt Rauch entsteht. Auch linienförmige Wärmemelder oder Apparaturen mit Fühler oder Sensoren liefern im Außenbereich und bei großen Müllmengen keine validen Ergebnisse.

Was, wenn Feuer einfach mitfährt? – Feuer in Müllfahrzeugen

In der Müllabfuhr kommt es immer wieder zu Bränden von Müllfahrzeugen, weil beim Beladen oder Transport von Abfällen Feuer entstehen. Ladungsbrände sind die häufigste Art von Lkw-Bränden in der Abfall- und Recyclingbranche. Oft gibt es kaum Anzeichen für ein Problem, bis das Material in den Lkw gekippt wurde. Durch den Fahrtwind wird dann Luft zugeführt. Häufig werden auch Batterie zur Gefahr. Müllwagen zerkleinern den Abfall mit bordeigenen Pressen. Dabei werden Batterien beschädigt, was dazu führen kann, dass sie den umgebenden Müll entzünden. So können sich die Feuer schnell zu einem frei brennenden

Problem entwickeln. Ist das Feuer erst einmal ausgebrochen, besteht die einzige sichere Möglichkeit, es zu löschen, darin, die Ladung auf den Boden zu kippen, wo es die Feuerwehr löschen kann. Eine Beispielstudie aus Kalifornien zeigt, dass dort die Brände von Müllabfuhr-LKW zugenommen haben. Zwischenzeitlich war jeder 14. Brand ein mobiler Brand in einem Fahrzeug. Hier können mobile Kamerasysteme mit Thermaltechnologie dazu beitragen, dass solche Brände möglichst früh erkannt oder ganz vermieden werden können.



Wie Thermaltechnologie große Areale und Materialmassen meistert

Allein das Volumen und die Wucht von Schüttgütern überfordern zahlreiche Melde- und Überwachungssysteme. Hier braucht es Systeme, welche die gesamte Szenerie zuverlässig erfassen können. Kameras mit der Thermal- bzw. Thermal TR-Technologie sind hier effektive Werkzeuge für die Brandfrühsterkennung. MOBOTIX Systeme mit TR-Technologie (Thermische Radiometrie) und kalibriertem High-End-Wärmebildsensoren im Industriestandard mit einer NETD von 50 mK messen die Wärmestrahlung im gesamten Bildbereich und ordnen pro Pixel einen Temperaturwert zu. Bis zu 20 verschiedene Temperaturereignisse können gleichzeitig in sogenannten Thermal-Radiometrie-Fenstern oder über das komplette

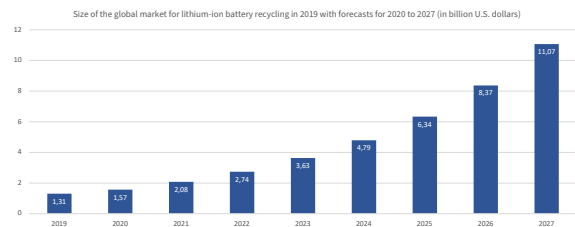
Sensorbild im Temperaturbereich von -40 bis 550 °C konfiguriert werden. Auf diese Weise können bereits im Vorfeld kritische Situationen analysiert und die nächsten Schritte zur Brandprävention eingeleitet werden. Selbst große Erfassungsbereiche wie Hallen oder Schüttgruben lassen sich damit abdecken. Mit intelligenter Videotechnologie können dabei auch Fehlalarme vermieden bzw. drastisch reduziert werden. So können Fahrzeuge wie bspw. Gabelstapler oder LKW erkannt werden. Wurde hier durch den heißen Auspuff oder warmen Motor bisher Alarm ausgelöst, so kann dies durch Deep Learning basierte Analysesoftware vermieden werden.

Brandgefährlich: Elektroschrott und Batterien

Die Digitalisierung lässt die Elektroschrottberge wachsen. Selbst Länder mit offiziellen Systemen zur Bewirtschaftung von Elektroschrott sind häufig mit niedrigen Sammel- und Recyclingquoten konfrontiert. In Deutschland sind es derzeit z.B. immerhin ca. 50 %. Doch der zunehmende Konsum an Elektro-Produkten, deren Kurzlebigkeit und die Schwierigkeiten, Elektrogeräte reparieren zu lassen, verstärken diesen Effekt. Einen besonderen Aspekt stellt die Entsorgung und das Recycling von Batterien dar. Der Einsatz von Lithium-Ionen-Batterien nimmt in der Industrie und in Privathaushalten stetig zu – besonders hinsichtlich der Nutzung erneuerbarer Energien und von E-Mobilität. Die Nutzung und Lagerung der Batterietechnologie ist für Unternehmen aus Industrie und Entsorgung/Recycling anspruchsvoll, insbesondere in Sachen Brandrisiko und Löschvorgänge.

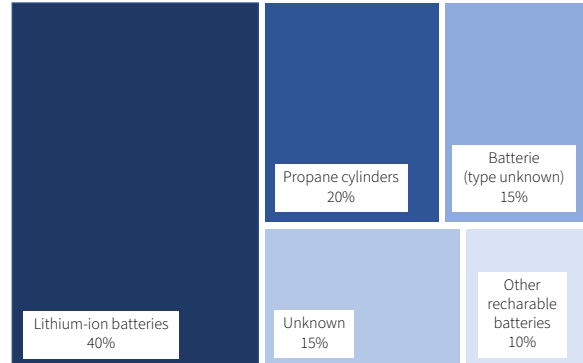
Beschädigte Lithium-Ionen-Batterien sind in der Abfallentsorgung und im Recycling ein immer wiederkehrendes Brandrisiko - besonders dann, wenn Batterien unsachgemäß und ggf. in artfremdem Abfall unerkannt entsorgt werden. Häufig landen Batterien unbeabsichtigt im Hausmüll und stellen damit für die Deponie - und wie vorab erwähnt für die Müllfahrzeuge - ein stetiges potenzielles Risiko dar, das mit bloßem Auge oder reiner optischen Überwachung gar nicht erkennbar ist. Besonders bei den Batterien ist die unmittelbare Entdeckung von steigenden Temperaturen wichtig. Charakteristisch für Lithium-Ionen-Speicher ist der hohe Energieinhalt pro Volumen. Ein besonderes Risiko von Batteriebränden ist der „Thermal Runaway“ (thermisches Durchgehen). Eine solche Kettenreaktion dauert vom Start bis zur Explosion weniger als 60 Sekunden. Diesem erhöhten Risiko sollte besondere Aufmerksamkeit gelten.

bis zu 1.000°C und mehr	Feuer mit hohen Temperaturen
mehr als 250°C	Abrupte Freisetzung von Energie
ab ca. 200°C	Exotherme Reaktion (Brand) beginnt, Explosion droht
ab ca. 125°C	Exotherme Reaktion (Brand) beginnt, Explosion droht
60°C	Erwärmung der Batterie/des Akkus



Es brennt immer wieder – eine heiße Stichprobe

Der California Product Stewardship Council, eine Organisation für ein stärkeres End-of-Life-Management führte 2018 eine Umfrage zu Bränden in Abfallentsorgungsanlagen in Kalifornien durch (California Product Stewardship Council, 2018). 83 % der befragten Abfallentsorgungsanlagen gaben an, dass in den letzten zwei Jahren ein Brand in ihrer Anlage ausgebrochen war. 40% dieser Brände wurden durch Lithium-Ionen-Batterien verursacht, weitere 25 % wurden durch andere Batterietypen ausgelöst (siehe Abbildung).



Weitere Informationen über MOBOTIX Wärmebildlösungen finden Sie auf <https://www.mobotix.com/de/loesungen/loesungspakete/batterien>

Kurz-Zusammenfassung:

- Große Flächen, große Materialmengen unterschiedlichster Ausprägung
- Brandgefahr im mobilen Einsatz (Müllfahrzeuge)
- Umfangreicher Brandschutz durch Thermal TR Technologie
- Vermeiden von Fehlalarmen durch Fahrzeuge
- Besonderes Risiko Lithium-Ionen-Batterien

5. Prozessoptimierung für höhere Wirtschaftlichkeit und Nachhaltigkeit

Wie viele andere Industriezweige ist auch die Abfall- und Recyclingwirtschaft einem extremen Kostendruck ausgesetzt, nicht zuletzt da viele Betriebe als kommunale oder staatliche Unternehmen ein besonderes Augenmerk auf Ihre Budgets aus Steuergeldern oder Gebühren legen. Auch die Betriebe der Abfall- und Recyclingwirtschaft müssen innovative Wege finden, um Kosten zu senken und die Effizienz zu steigern. Strenge Vorschriften in

den Bereichen, Umwelt- und Klimaschutz, Gesundheit, Sicherheit und in der Arbeitssicherheit zwingen die Branche ebenfalls dazu, nach neuen Wegen zu suchen, um die sauberer, sicherer und effizienter zu gestalten. Technologische Innovationen wie die intelligente Videotechnologie können ein wesentlicher Schlüssel für die Unternehmen sein, um die wachsenden Anforderungen zu meistern.

Videotechnologie als Werkzeug zur Prozessoptimierung

Aus finanzieller Sicht wirkt sich jeder einzelne der bereits genannten Brandvorfälle nachteilig auf das wirtschaftliche Ergebnis des Unternehmens aus. Trotz Versicherungen führen Maschinenausfälle, notwendige Anpassungen von Abfuhrwegen wegen fehlender LKW oder durch Löscharbeiten beschädigtes Material zu Mehraufwand oder Verlusten. Doch weit über den Diebstahl- und Brandschutz hinaus können Videosysteme mit intelligenter Analysesoftware dazu beitragen, dass die Unternehmen Geld sparen bzw. Prozesse effektiver gestaltet werden können.

Intelligente Videotechnologie kann beispielsweise die effektive Nutzung der Flächen begünstigen. So kann mit Farbmarkierungen in Containern oder Schüttgruben automatisch festgestellt werden, ob diese Abladestellen voll sind und geleert werden müssen. Das spart, besonders bei großen Arealen Zeit und Aufwand. Fast noch interessanter ist es, festzustellen, ob bestimmte Ablagestellen nicht effektiv genutzt werden. Beispielsweise gibt es Container oder Füllgruben, die zu leer sind. Dann sind Anpassungen der Behälter oder die alternative Nutzung der Plätze notwendig.

Füllstände von Schüttgruben oder Containern können mit intelligenter Videoanalyse automatisch erkannt werden. Dazu wurden die entsprechenden Behälter mit Farbflächen versehen. Die Analysesoftware der Kamera erkennt daraufhin, ob die Markierungen sichtbar oder verdeckt sind und kann daraus entsprechende Schlüsse ziehen.



Zufahrts- und Zugangskontrolle

Aufgrund der gelagerten Materialien und Stoffe, sowie des schweren Geräts und gefährlicher Maschinen wird der Zugang für Mitarbeiter und Besucher streng kontrolliert. Darüber hinaus gibt es spezielle sicherheitskritische Arbeitsbereiche, zu denen nur autorisiertes/geschultes Personal Zugang hat. Videotechnik in Verbindung mit anderen Zugangskontrollsystemen ermöglicht eine Reihe unterschiedlicher Zugangskontrolllösungen.

Diese reichen von der einfachen Identifizierung von Personen oder Fahrzeugen an einem Eingang bis hin zu automatischen Schleusen und Schranken, die durch eine vorqualifizierte Gesichts- und Nummernschilderkennung aktiviert werden. Auch die Dokumentation kann auf diese Weise automatisiert werden.

Arbeitssicherheit und Mitarbeiter-Management

In der Arbeitssicherheit und dem Mitarbeitermanagement setzen die Unternehmen in vielen Bereichen Videos ein. Vorfälle werden exakt aufgezeichnet und können im Rahmen von Mitarbeiterschulungen genutzt werden. Die Video Best-Practice-Prozesse helfen neuen Mitarbeitern richtig zu handeln und Fehler und Unfälle zu vermeiden. Manchmal ganz einfach, indem sie sehen, wie man etwas nicht tun sollte. Video ist zudem ein nützliches Instrument zur Erfassung und Aufklärung von Zwischenfällen am Arbeitsplatz und zur Bereitstellung von Beweisen für eine spätere Analyse. Intelligente Videotechnologie ist heute sogar in der Lage, Arbeitsschutzkleidung wie Helme oder Warnwesten zu erkennen. Fehlt solche Ausrüstung, können die entsprechenden Mitarbeiter automatisch darauf hingewiesen werden.



Kurz-Zusammenfassung:

- Rentabilität in der Abfallentsorgung und im Recycling
- Prozessoptimierung (Beispiele Flächen- Container-Management)
- Zugangs- und Zufahrtkontrolle
- Arbeitssicherheit und Mitarbeiter-Management

Quellen

Bayerischer Rundfunk; BBC News; California Product Stewardship Council; Statistik des DGUV; EPA United States Environmental Protection Agency; European Commission; Eurostat; EUWID Europäischer Wirtschaftsdienst GmbH 2022; Forti V., Baldé C.P., Kuehr R., Bel G. The Global E-waste Monitor 2020: Quantities, flows and the circular economy potential. United Nations University (UNU)/United Nations Institute for Training and Research (UNITAR) – co-hosted SCYCLE Programme, International Telecommunication Union (ITU) & International Solid Waste Association (ISWA), Bonn/Geneva/Rotterdam; Gilium & Hinternberger; Global Waste Management Outlook United Nations Environment Programme, 2015; Innofact Marktforschung; Recyclingnews; Reisinger & Krammer; Spiegel Magazin; Statista; UNU Global -E-Waste Monitor; US Pipeline and Hazardous Materials Safety Agency