

Statistische Betrachtung von Infrarot-Sensordaten in der Aufbereitung mit Relevanz zur Brandfrüherkennung

M. Autischer

SAMsoric GmbH, Leoben, Österreich

S. Holzschuster

Müllex-Umwelt-Säuberung GmbH, St. Margarethen an der Raab, Österreich

T.Nigl

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

KURZFASSUNG: Neue Zündquellen erschweren zunehmend die Lagerung und Aufbereitung von Abfällen, insbesondere durch Akkumulatoren oder Batterien kommt es immer wieder zu großen Schäden in abfallverarbeitenden Unternehmen. Zudem ist davon auszugehen, dass sich in den nächsten Jahren die in Verkehr gesetzte Menge an Akkumulatoren und Batterien stark erhöhen wird. Ohne geeignete Messsysteme ist es kaum möglich, Brände frühzeitig zu erkennen. Um mit dem zunehmenden Brandrisiko umzugehen und um brandbezogenen Gefahren entgegenzuwirken werden daher IR-Messsensoren eingesetzt. Diese Sensoren werden an verschiedenen Stellen platziert, an denen erfahrungsgemäß mit hohen Temperaturen zu rechnen ist, wie beispielsweise nach Zerkleinerungsaggregaten und anderen Aggregaten mit mechanischer Beanspruchung. Sensoren werden aber auch eingesetzt, um das Material am Ende der Verarbeitung noch einmal zu kontrollieren, bevor es in das Output-Lager befördert wird. Der vorliegende Beitrag wertet die Messdaten von mehreren Anlagenstandorten aus und vergleicht diese. Ziel ist es, Trends in den Daten zu erkennen, um mögliche Maßnahmen abzuleiten. Die Datengrundlage umfasst die Temperaturen der einzelnen Messpunkte sowie gemessenen Maximaltemperaturen. Diese Datengrundlage wird mit qualitativen Daten ergänzt, welche neben dem Grund der Temperaturüberschreitung auch das Material klassifiziert. In diesem Zuge wird auch eine statistisch signifikante Abhängigkeit mit dem verarbeiteten Material hergestellt und auch mit den im Einsatz stehenden Zerkleinerungsaggregaten in Bezug gebracht. Der Vergleich der Anlagenstandorte dient dabei der Abschätzung des Risikos für restmüllaufbereitende Unternehmen. Die zu vergleichenden Anlagen weisen teilweise die gleichen Inputmaterialien auf, unterscheiden sich jedoch im jährlichen Durchsatz. Der zu betrachtende Inputstrom umfasst neben gemischten Siedlungsabfällen, Gewerbeabfälle und Sperrmüll.

1 EINLEITUNG

Neue Zündquellen erschweren zunehmend die Lagerung und die Aufbereitung von Abfällen in der Abfall- und Entsorgungswirtschaft. Durch Akkumulatoren und Batterien kommt es immer öfter zu großen Schäden in abfallverarbeitenden Betrieben (Nigl & Pomberger 2020). Zudem ist gemäß Nigl et al. (2020) davon auszugehen, dass sich die in den nächsten Jahren stark gestiegenen Mengen in Verkehr gesetzter Akkumulatoren und Batterien im *End-of-Life* ankommen und diese Problematik verstärken. Aufgrund der mechanischen Energie, die direkt auf den Abfall übertragen wird, stellen auf Anlagenniveau insbesondere Zerkleinerungsaggregate einen Risiko-Hotspot dar.

Nach Untersuchungen von Nigl et al. (2019) finden etwas mehr als 10% der öffentlich dokumentierten Brandereignisse der österr. Abfall- und Entsorgungswirtschaft in Zerkleinerungsaggregaten statt. Wobei davon auszugehen ist, dass dieser Anteil in Wirklichkeit deutlich höher liegt, da Brandereignisse, die betriebsintern rasch gelöscht werden können, nicht in dieser Statistik abgedeckt sind (Nigl & Pomberger 2020). Ohne geeignete Messsysteme ist es kaum möglich, solche Brände frühzeitig zu erkennen. Um mit dem zunehmenden Brandrisiko umzugehen und um brandbezogenen Gefahren entgegenzuwirken werden daher IR-Messsensoren eingesetzt. Mit dem Ziel, Trends in den Daten zu erkennen und mögliche Maßnahmen abzuleiten, wurden im vorliegenden Beitrag die Messdaten mehrerer Anlagenstandorte ausgewertet und verglichen.

2 SAISONALE TEMPERATURVERTEILUNG

2.1 Sensordatenerfassung

Für die Datenerfassung wurde ein adaptierter Wärmebildsensor verwendet. Die typische Temperaturauflösung des Sensors ist nach den Herstellerangaben mit 100 mK bei einer Umgebungstemperatur von 30°C gegeben. Die durchschnittliche Entfernung des Sensors zu Materialoberfläche betrug bei allen Messstellen 1,2 m pm 0,5 m. Die verminderte Sensitivität durch diesen Abstand wurde entsprechend korrigiert.

2.2 Temperaturspektren

Für die Darstellung der von den Anlagen gewonnenen Temperaturdaten wurde eine spektrale Verteilung gewählt. Dabei wurden die Häufigkeiten über den aufgetretenen Temperaturen im jeweiligen Zeitraum aufgetragen.

2.3.1 EBS-Linie A

Abb. 2 und Abb. 2 zeigen eine schematische Darstellung von Anlagedaten einer EBS-Anlage in den Monaten Februar und Mai 2020.

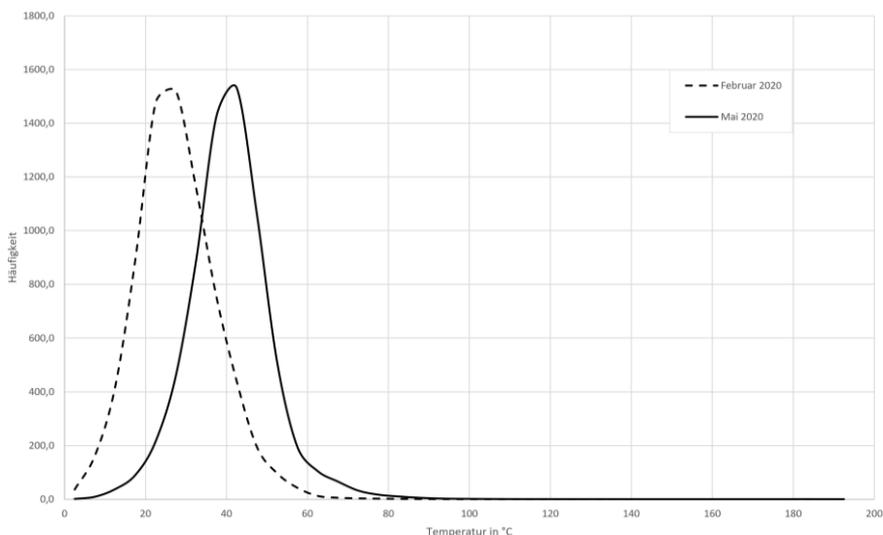


Abb. 1: Häufigkeiten der aufgetretenen Temperaturen im Februar und Mai 2020 direkt hinter der ersten Shredderstufe in einer EBS-Linie (Absolutwerte).

Aus Abb. 1 und 2 geht hervor, dass der überwiegende Teil der Temperaturen unter 80 °C lag. Gerade diese Temperaturen treten also im Normalbetrieb bei dieser Anlage auf. Deutlich ersichtlich ist auch die Verschiebung der Temperaturspektren um knapp 15 °C hin zu höheren Temperaturen, welche durch die Durchschnittstemperaturen in den Monaten Februar und Mai auch zu erwarten gewesen ist. Aufgrund der großen Wertunterschiede wurden für Abb. 2 einerseits die Temperaturen kleiner 80 °C ausgeblendet und weiters die Häufigkeitsachse in eine logarithmische Darstellung übergeführt und kumulativ dargestellt. Für die bessere Vergleichbarkeit wurden die Daten auf die Betriebsstunden der Anlage bezogen.

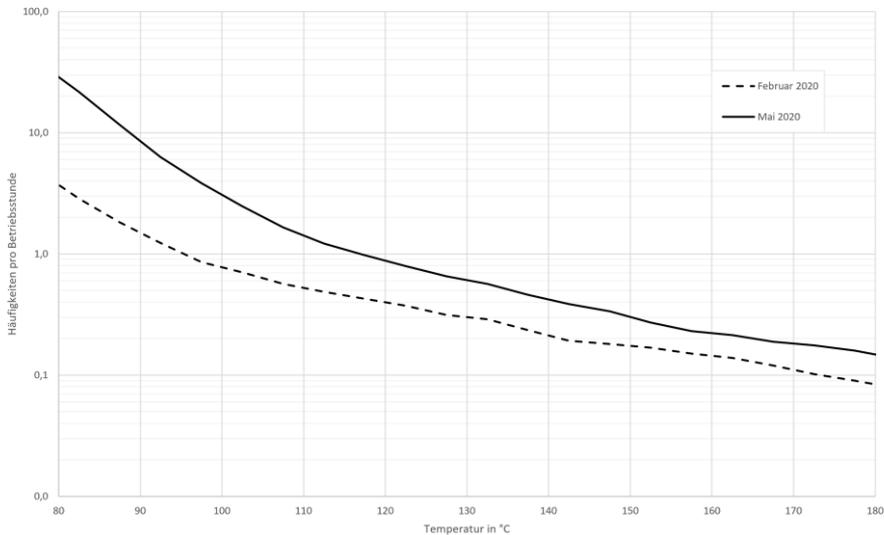


Abb. 2: Häufigkeiten der aufgetretenen Temperaturen im Februar und Mai 2020 direkt hinter der ersten Shredderstufe in einer EBS-Linie (kumulierte Werte pro Betriebsstunde).

2.3.2 EBS-Linie B

Für die Analyse der Temperaturdaten wurde für das vorliegende Anlagenkonzept ebenfalls dieselbe Methodik angewandt. Abb. 4 und Abb. 4 visualisieren die Temperaturhäufigkeiten der EBS-Linie B für die Monate März und Mai 2020.

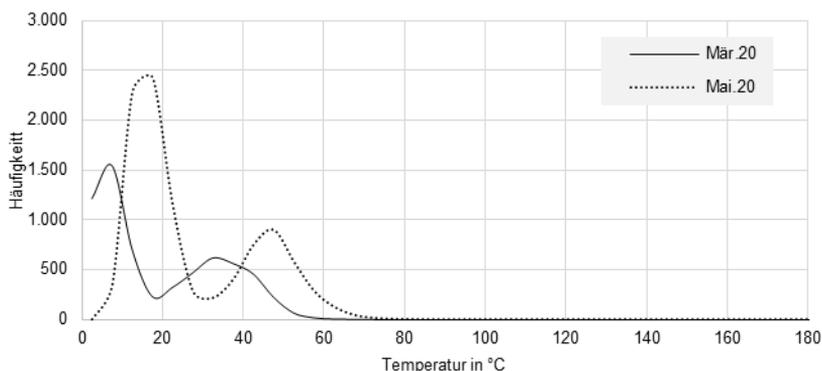


Abb. 3: Häufigkeiten der aufgetretenen Temperaturen im März und Mai 2020 direkt hinter der ersten Shredderstufe in einer EBS-Linie (Absolutwerte).

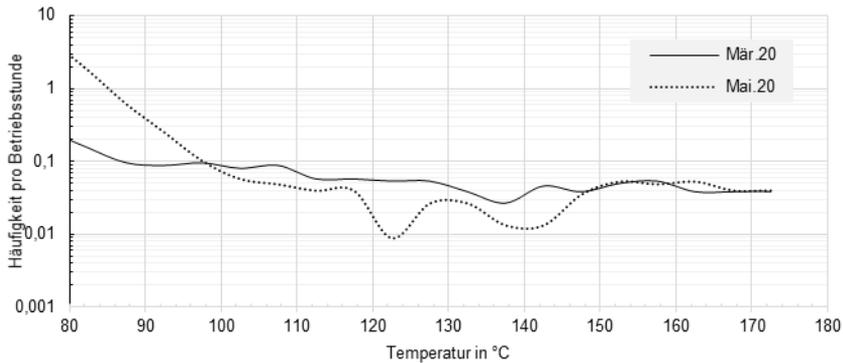


Abb. 4: Häufigkeiten der aufgetretenen Temperaturen im März und Mai 2020 direkt hinter der ersten Shredderstufe in einer EBS-Linie (kumulierte Werte pro Betriebsstunde).

Die Analyse von Abb. 3 und 4 zeigen, dass Temperaturen unter 80 °C am häufigsten auftreten. Des Weiteren ist ein Peak bei rund 35 °C im März bzw. bei rund 50 °C im Mai zu erkennen. Vergleicht man die Temperaturspektren mit Abb. 1, so sind diese charakteristischen Peaks nicht ersichtlich. Ein möglicher Grund könnte die Inputzusammensetzung bei der EBS-Linie B sein, welche rund 30% Hausmüll aufweist, während EBS-Linie A hauptsächlich Sperr- und Gewerbemüll aufbereitet.

Zur Bewertung von Temperaturen über 100 °C wurden demnach Temperaturen unter 80 °C ausgeblendet. Auch hier wurden zur besseren Vergleichbarkeit der Daten die Häufigkeiten auf die monatlichen Betriebsstunden bezogen sowie die Skalierung logarithmisch dargestellt. Zu erkennen sind Unterschiede in den betrachteten Zeiträumen. So weist das Temperaturspektrum im Mai 2020 wesentlich höhere Temperaturen im Temperaturbereich zwischen 80 und 100 °C auf, während im März 2020 Temperaturen zwischen 100 und 150 °C häufiger auftreten.

2.3 Jahresverlauf

2.3.1 EBS-Linie A

Für die EBS-Linie A wurde auch der Zeitraum über ein gesamtes Jahr von Juli 2019 bis Juni 2020 ausgewertet (Abb. 5). Um die Übersichtlichkeit zu bewahren wurden die charakteristischen Temperaturen beginnend bei 70 °C mit einem Abstand von 30 °C gestaffelt und vergleichend dargestellt. Der Vergleich der Temperaturüberschreitungen von 100°C zeigt die drei geringsten Häufigkeiten in den Monaten Jänner (0,12), März (0,46) und Dezember (0,52) und die beiden größten in den Monaten Mai (2,47) und Juni (2,28). Auch für die weiteren gewählten Temperaturen verhält es sich ähnlich.

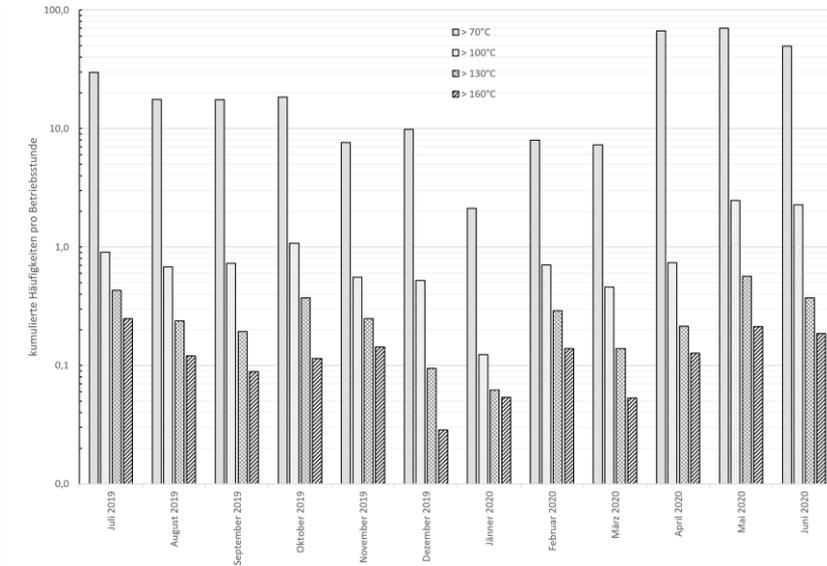


Abb. 5: Kumulierte Häufigkeiten pro Betriebsstunde der überschrittenen Temperaturen, für die Monate 07/ 2019 bis 06/ 2020 sowie die Temp. >70°C, >100°C, >130°C und >160°C.

2.3.2 EBS-Linie-B

Die Temperaturdaten stehen im betrachteten Anlagenkonzept ab Oktober 2019 zur Verfügung. Um den Jahresverlauf darzustellen, wurden die jeweiligen Temperaturhäufigkeiten pro Monat auf die Betriebsstunden bezogen und in Abb. 6 dargestellt.

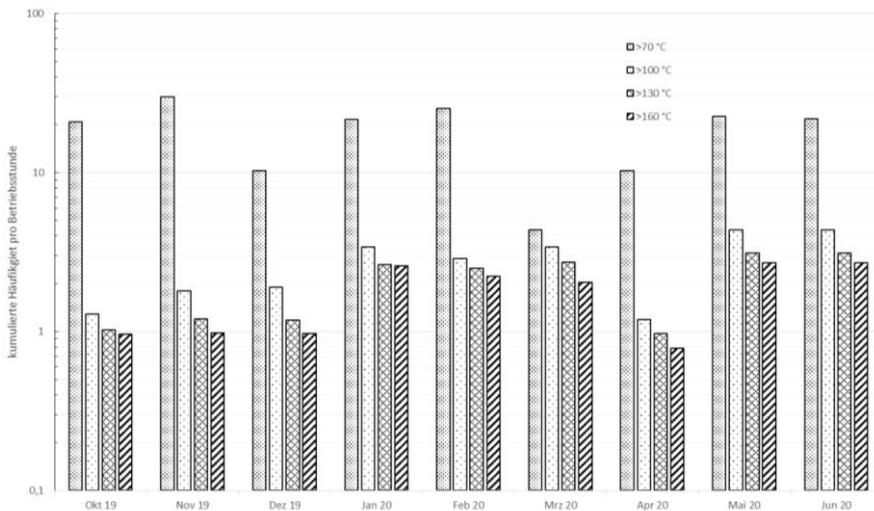


Abb. 6: Kumulierte Häufigkeiten pro Betriebsstunde der überschrittenen Temperaturen, für die Monate 10/2019 bis 06/2020 sowie die Temp. >70°C, >100°C, >130°C und >160°C.

Demnach wurde ein Abstand von 30 °C gewählt, beginnend bei 70 °C bis zu 160 °C. Auch hier sind Unterschiede zwischen den einzelnen Monaten deutlich zu erkennen. Betrachtet man die kumulierten Häufigkeiten pro Betriebsstunde größer 100 °C, so weisen die Monate April (1,19), Oktober (1,28) und November (1,80) die geringsten

Häufigkeiten auf, während die Monate Juli (4,36) und Mai (4,36) die größten Häufigkeiten aufweisen.

3 VERKNÜPFUNG ZU BATTERIEFUNDEN

Bei den betrachteten Anlagen wurde an verschiedenen weiteren Stellen die Temperaturen erhoben und bei der Überschreitung bestimmter Schwellwerte ein Bandstop ausgelöst. Im Anschluss wurden die heißen Partikel vom Bedienpersonal entfernt, charakterisiert (Unterscheidung in Batterie oder keine Batterie) und falls nötig gelöscht.

3.1 EBS-Linie A

In EBS-Linie A wurden dabei folgende Messpositionen in der Anlage herangezogen: Direkt nach der ersten und einzigen Zerkleinerungsstufe (1), am Ende des ersten Förderbandes nach einer aktiven Kühlstrecke mit Wasserbedüsung (2) und vor dem Eingang zum Trommelsieb (3). Die Werte, bezogen auf jeweils eine Arbeitsschicht von acht Stunden, sind in Tab. 1 dargestellt.

Tab. 1: Häufigkeit von gefundenen Batterien, Metallen und Resten.

Messposition	Auslösungen pro Schicht (8h)	Gefundene Batterien	Gefundener Rest
(1)*	1,01 ± 0,53	69 %	31 %
(2)**	1,45 ± 1,30	83 %	17 %
(3)***	0,66 ± 0,54	78 %	22 %

* Sensor nach der Zerkleinerung, ** Sensor nach der Kühlstrecke, *** Sensor nach der Metallabscheidung

3.2 EBS-Linie B

Für die Analyse der Daten der EBS-Linie B sind drei IR-Sensoren relevant, welche jeweils nach den Zerkleinerungsstufen positioniert sind. Die Messpositionen, welche in Tab. 2 zu finden sind, lauten wie folgt: Messposition direkt nach der Vorzerkleinerung (1), Messposition (2) und (3) finden sich im betrachteten Anlagenkonzept jeweils nach den Nachzerkleinerungsaggregaten. Zur Charakterisierung der Ursache wurde in dieser Anlage um die Kategorie Metalle erweitert und somit in Batterie, Metalle (Fe-Metalle, NE-Metalle) sowie Rest unterschieden. Der Rest besteht hauptsächlich aus Hartkunststoffpartikeln, die eine hohe Temperatur erreichen können, aber auch leicht entzündliche Stoffe, wie bspw. nicht restentleerten Druckgasverpackungen, etc.

Tab. 2: Häufigkeit von gefundenen Batterien, Metallen und Resten.

Messposition	Auslösungen pro Schicht	Gef. Batterien	Gef. Metalle	Gef. Rest
(1)*	0,09 ± 0,01	39 %	39 %	21 %
(2)**	0,22 ± 0,05	51 %	22 %	27 %
(3)***	0,21 ± 0,05	61 %	14 %	24 %

* Sensor Vorzerkleinerung, ** Sensor Nachzerkleinerung 1, *** Sensor Nachzerkleinerung 2

Tab. 2 legt offen, dass Batterien und Akkumulatoren vor allem in den Nachzerkleinerungsaggregaten beschädigt werden und sich dadurch häufig auch entladen und entzünden. 51% bzw. 61% der Schwellwertüberschreitungen in den Nachzerkleinerungsaggregaten konnte einer Batterie oder einem Akkumulator zugewiesen werden. Metalle finden sich seltener in den Nachzerkleinerungsaggregaten, da diverse Magnet- bzw. Wirbelstromscheider diese bereits aus dem Stoffstrom aussortieren. In der Vorzerkleinerung konnten 39% der Schwellwertüberschreitungen einer Batterie bzw. einem Akkumulator zugewiesen werden. Zudem konnte ebenfalls bei 39% der

Schwellschwertüberschreitungen ein Metall gefunden werden, welches die Schwellwerttemperatur überschritten hatte.

4 VERGLEICH DER VORLIEGENDEN ZERKLEINERUNGSTECHNOLOGIEN

Einen wesentlichen Beitrag zu diesem Ergebnis der Häufigkeit von potentiell brandgefährlichen Partikeln liefert die Zerkleinerungstechnologie. Im betrachteten Anlagenkonzept der EBS-Linie B werden sowohl reißende als auch schneidende Zerkleinerungsaggregate eingesetzt. In der Vorzerkleinerung wird ein Kammwalzenzerkleinerer (reißend) mit hydraulisch verstellbarem Gegenkamm eingesetzt, während in der Nachzerkleinerung zwei Einwellenzerkleinerer (schneidend) mit Siebeinsätzen zu finden sind. Da die Abstände der Sensoren zu den verschiedenen Zerkleinerern gleich groß sind, werden die gemessenen Temperaturen in der nachfolgenden Abb. 7 einander gegenübergestellt. Dabei wird die durchschnittliche Temperatur pro Tag über den betrachteten Zeitraum von fast einem Jahr aufgetragen. Des Weiteren ist die Durchschnittstemperaturlinie pro Monat zu erkennen (reißend avg, schneidend avg).

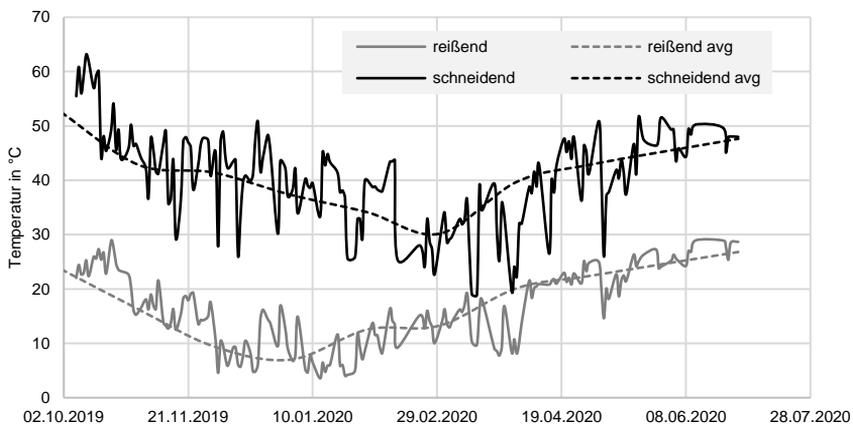


Abb. 7: Temperaturen des schneidenden und reißenden Vorzerkleinerungsaggregats.

Deutlich zu erkennen ist, dass die gemessenen Temperaturen des Stoffstroms beim schneidenden Zerkleinerungsaggregat deutlich über den Temperaturen beim reißenden Zerkleinerungsaggregat liegen. Die unterschiedlichen Temperaturen können auf die verschiedenen zerkleinerungsbestimmenden Parameter zurückgeführt werden. So verfügt das schneidende Zerkleinerungsaggregat über Siebkrbe mit einem definierten Lochdurchmesser und einer hydraulischen Nachdrckeinheit, während das reißende Zerkleinerungsaggregat über einen hydraulisch verstellbaren Gegenkamm verfügt. Bei den elektrischen Antrieben kann auch ein Unterschied festgestellt werden. Das schneidende Zerkleinerungsaggregat ist mit Frequenzumrichter ausgestattet, die die Drehzahl in Abhängigkeit der Frequenz ändern können, während der Antrieb des reißenden Zerkleinerungsaggregats nicht frequenzumgerichtet ist.

Lässt man die durchschnittliche Umgebungstemperatur pro Tag mit den gemessenen Temperaturen nach dem reißenden bzw. schneidenden Zerkleinerungsaggregat korrelieren, so ergibt sich nach Abb. 8 folgende Erkenntnis: Die gemessene Stoffstromtemperatur nach dem reißenden Zerkleinerungsaggregat steigt linear mit der durchschnittlichen Umgebungstemperatur ($R^2 = 0,72$). Beim schneidenden Zerkleinerungs-

aggregat nimmt die durchschnittliche Umgebungstemperatur keinen Einfluss auf die durchschnittlich gemessene Stoffstromtemperatur ($R^2 = 0,20$).

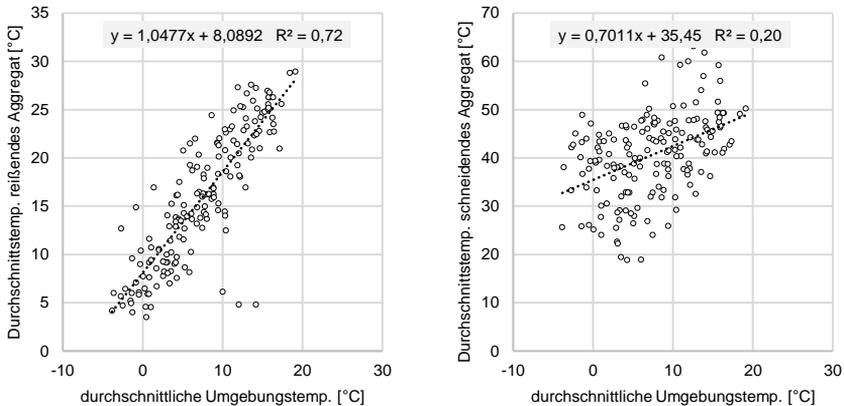


Abb. 8: Zusammenhang zw. der Durchschnittstemperatur des reißenden bzw. schneidenden Zerkleinerungsaggregats und der durchschnittlich gemessenen Umgebungstemperatur (n=173).

5 SCHLUSSFOLGERUNGEN BZW. ZUSAMMENFASSUNG

Die im vorliegenden Beitrag ausgewerteten und verglichenen Messdaten zeigen um Teil deutliche Unterschiede zwischen den betrachteten Anlagenstandorten. Aufgrund der dokumentierten Funde kann ein Zusammenhang zwischen den Auslösungen der IR-Sensoren und der Zusammensetzung des Inputmaterials abgeleitet werden. Akkumulatoren und Batterien sind im überwiegenden Maße für die temperaturbezogenen Schwellwertüberschreitungen bei Zerkleinerungsaggregaten verantwortlich.

Im Hinblick auf die eingesetzte Zerkleinerungstechnologie zeigen die Untersuchungen Unterschiede. So liegen die durchschnittlichen Temperaturen des schneidenden Zerkleinerungsaggregates deutlich über dem reißenden Zerkleinerungsaggregat. Darüber hinaus ist die durchschnittliche Stoffstromtemperatur bei reißender Zerkleinerung stark abhängig von der unmittelbaren Umgebungstemperatur, wohingegen diese auf die deutlich höhere Temperatur bei schneidender Zerkleinerung kaum einen Einfluss hat.

Abschließend wird festgestellt, dass gerade bei Abfallströmen wie gemischten Siedlungsabfällen, Gewerbeabfälle und Sperrmüll – in denen Akkumulatoren und Batterien regelmäßig als Fehlwürfe zu finden sind – die Anlagenüberwachung mittels IR-Sensortechnik wesentlich zur Risikoreduktion beiträgt.

LITERATUR

- Nigl T., Rübenaubauer W., Pomberger R. (2019) *Cause-oriented Investigation of the Fire Incidents in Austrian Waste Management Systems*. Detritus 9(March), S. 213-220.
- Nigl T., Pomberger R. (2020) *Brandrisiko durch Lithium-Ionen-Batterien: Sind unsere Anlagen noch versicherbar?* In: Holm O., Thomé-Kozmiensky S., Goldmann D., Friedrich B. (Hrsg.) *Recycling- und Sekundärrohstoffe*, Band 13. Neuruppin: TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky, 2020, S. 482-494.
- Nigl T., Schwarz T.E., Walch C., Baldauf M., Rutrecht B., Pomberger R. (2020) *Characterisation and material flow analysis of end-of-life portable batteries and lithium-based batteries in different waste streams in Austria*. Waste Management and Research 38 (6) 649-659.