

# Funktionierende Kreislaufwirtschaft am Beispiel der Altlampensammlung – Möglichkeiten kollektiver Rücknahmesysteme –

Sarah Tschachtli, Hermann Nordsieck, Christian Brehm und Wolfgang Rommel

1.	Bedeutung des Sammelsystems für die Getrennterfassung von Altlampen .....	364
2.	Gesamterfolg der Altlampensammlung gemessen an den Anforderungen des ElektroG.....	364
2.1.	Menge in Verkehr gebrachter Lampen.....	365
2.2.	Sammelmengen und -quote.....	366
2.3.	Verbleib nicht erfasster Lampen – Aufkommen von Gasentladungslampen im Hausmüll.....	366
3.	Zusammensetzung des Sammelguts.....	367
3.1.	Altlampen-Sortieranalysen: Ansatz, Grenzen und Möglichkeiten .....	368
3.2.	Anteile der Bauarten.....	370
4.	Historische Entwicklung .....	371
4.1.	Entwicklung des LED-Anteils .....	371
4.2.	Lampenalter .....	372
5.	Verwertungsverfahren.....	373
6.	Hindernisse der Verwertung .....	375
7.	Aussicht (Nutzen von kollektiven Rücknahmesystemen) .....	376
8.	Literatur.....	377

Seit Inkrafttreten des Elektro- und Elektronikgerätegesetz (ElektroG) müssen auch LED- und Gasentladungslampen in Deutschland getrennt gesammelt und zurückgenommen werden. Glühlampen und Halogenlampen sind vom ElektroG ausgenommen und können über den Restabfall entsorgt werden. Führende Lichthersteller haben

2005 das nicht gewinnorientierte Gemeinschaftsunternehmen Lightcycle gegründet, um die auch als Leuchtmittel bezeichneten LED- und Gasentladungslampen getrennt von den Leuchten zu erfassen, für die Hersteller zurückzunehmen und einem fachgerechten Recycling zuzuführen. Die Leuchten werden als Teil der Elektroklein- oder Elektro großgeräte erfasst.

## 1. Bedeutung des Sammelsystems für die Getrennterfassung von Altlampen

Die europäische Gesetzgebung definiert hohe Ansprüche an die europäischen Länder. Mit der Novelle des ElektroG [2] steht die Elektroaltgeräterücknahme und deren Akteure vor der Herausforderung, die Rücknahmemengen deutlich zu steigern. Ab 2019 gilt eine Sammelquote von 65 % der in Verkehr gebrachten Mengen.

2017 wurden alleine in Deutschland 7.347 Tonnen Altlampen (Leuchtmittel) durch das kollektive Rücknahmesystem gesammelt, zurückgenommen und fachgerecht verwertet. Dabei lag der Anteil der Lampen, die über die Abholanordnungen der Stiftung Elektro-Altgeräte-Register (ear) und damit über die gesetzliche Verpflichtung gesammelt wurden, bei rund einem Drittel. Der Großteil der Altlampen wurde über die ergänzende Sammlung in Handel, Industrie und Gewerbe zurückgenommen. 87 % der Bestandteile der gesammelten Altlampen konnten recycelt werden.

Seit Lightcycle seine Handelspartnerschaften ausbaut hat, ist zudem die Zahl der bundesweiten Sammelstellen auf über 10.000 gestiegen. Hiervon gibt es etwa 3.000 bei kommunalen Rücknahmestellen. Verbrauchernahe flächendeckende Rückgabemöglichkeiten wurden dadurch deutschlandweit geschaffen. Die Organisation der Sammlung und Rücknahme erfolgt durch das kollektive Rücknahmesystem. So konnte eine fachgerechte und einheitliche Erfassungsstruktur etabliert werden, die geeignet ist, sowohl Synergien zu schaffen als auch die Wiedererkennung sowie die Handhabung für die Verbraucher zu fördern und zu vereinfachen.

In den letzten Jahren konnten die Sammelmengen kontinuierlich gesteigert werden. Im Jahr 2017 wurden etwa 93 % aller abgegebenen Lampen in Deutschland zurückgenommen. Das ist deutlich mehr, als dem Marktanteil der beteiligten Inverkehrbringer bzw. Systempartner entspricht.

## 2. Gesamterfolg der Altlampensammlung gemessen an den Anforderungen des ElektroG

Betrachtet man das ElektroG, so beschäftigt sich ein Großteil der Paragraphen mit der kommunalen Sammlung. Dies reicht von der Erfassung an den kommunalen Wertstoffhöfen, über die ear-Abholkoordination bis hin zur Verwertung. Eine große Rolle spielt hierbei die Datenerfassung und die Regelung der Beziehung der Akteure im Bereich der kommunalen Sammlung. Außerhalb der kommunalen Sammlung finden sich kaum Regelungen, abgesehen von ein paar Grundsätzen.

Beim Aufbau des Herstellerrücknahmesystems für Altlampen wurde neben der Ausführung der kommunalen Sammlung vor allem auch darauf Wert gelegt, im gewerblichen Einsatz der Dual-Use Produkte sinnvolle, verbrauchernahe sowie einheitliche Erfassungsstrukturen zu schaffen. Hierzu wurde ein flächendeckendes Rückgabernetzwerk von 400 Großmengensammelstellen – vor allem bei privaten Entsorgungsunternehmen – eingerichtet, um dem gewerblichen Verbraucher, bzw. dessen Dienstleister aus Facility Management oder E-Handwerk deutschlandweit eine Rückgabestelle zu bieten.

Bei ordnungsgemäßer Abgabe und Befüllung der Transportbehältnisse ist die Rückgabe entgeltfrei. Dadurch wird dem Elektro-Handwerk eine einfache Abgabemöglichkeit geboten. Das E-Handwerk – insbesondere auch die Auszubildenden – werden regelmäßig über diese Möglichkeit der Rückgabe und das fachgerechte Recycling informiert. Darüber hinaus wurden sowohl rund 600 Sammelstellen bei Großverbrauchern (z.B. Industrieunternehmen, Universitäten, Behörden usw.) geschaffen, als auch die Möglichkeit, Direktabholungen zu beauftragen.

## 2.1. Menge in Verkehr gebrachter Lampen

Um den Erfolg der Lampensammlung zu bewerten, ist die Menge in Verkehr gebrachter Lampen heranzuziehen. Hier gibt es teilweise gravierende Unterschiede zwischen den von der Stiftung ear gemeldeten Zahlen und den nach Auswertung der Statistik-Daten von der Bundesrepublik an die Kommission gemeldeten Werten. Gemeinsam berichten beide Quellen in den letzten Jahren von stark abnehmenden Mengen in Verkehr gebrachter Gasentladungslampen (Bild 1). Die Veränderung ist zum Teil darauf zurück zu führen, dass Bauformen mit geringem Stückgewicht wie T5-Lampen oder Halogen-Metallampfen ältere und schwerere Lampen verdrängen. Dies bedeutet, dass die Stückzahl weniger stark als die Gesamtmasse abgenommen hat. Wesentlicher ist aber ein stark angestiegener Marktanteil der deutlich leichteren LED-Lampen.

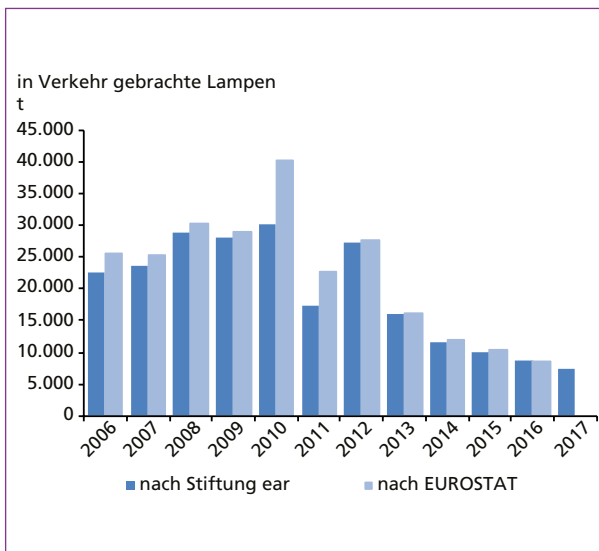


Bild 1:

Menge in Verkehr gebrachter Gasentladungslampen nach Angaben der Stiftung ear (die Masse der Werte bis 2011 wurde aus den Stückzahlen abgeleitet) und nach EUROSTAT

Quellen: Stiftung ear (2019): Geräteart-bezogene b2c-Inputmengen. Mitteilung auf der Website der Stiftung ear, Fürth (online abrufbar unter <https://www.stiftung-ear.de/de/service/statistische-daten/inputmengen>, letzter Zugriff 30.1.2019) EUROSTAT (2019): In Verkehr gebrachte Elektro- und Elektronikgeräte, Sammlung und Behandlung von Altgeräten, nach Jahr, Land, Geräte-Kategorie und Behandlungsart, in Anzahl (sofern verfügbar), Tonnen, Prozent (%) und kg pro Einwohner (online, Zugriff über <https://ec.europa.eu/eurostat/web/waste/key-waste-streams/weee>. Zuletzt abgerufen: 30.1.2019

Die Veränderungen bei den in Verkehr gebrachten Lampenarten wirken sich nur stark verzögert auf die Zusammensetzung der gesammelten Altlampen aus.

## 2.2. Sammelmengen und -quote

Die deutliche Abnahme der Mengen in Verkehr gebrachter Lampen (Bild 1) bildet sich in den Sammelmengen (noch) nicht ab. Obwohl mit einer Verzögerung zwischen dem in Verkehr bringen und dem Anfall als Altlampen zu rechnen ist, spricht das indirekt für einen Anstieg der Sammelquote und somit für den Erfolg einer ergänzenden Sammlung eines kollektivem Rücknahmesystems zusätzlich zu der Abholkoordination der Stiftung ear.

Die aktuellsten offiziellen Zahlen zu den Erfassungsquoten beschreiben die Situation im Jahr 2016. Diesen zufolge liegt die gemäß ElektroG berechnete Sammelquote bei 55,2 % der im Bezugszeitraum (2013 bis 2015) in Verkehr gebrachten Lampen. Damit wurde der bis 2019 geltende Zielwert der Erfassungsquote von 45 % merklich überschritten. Wird nur die Rücknahmemenge der Abholkoordination der Stiftung ear betrachtet, würde die geforderte Sammelquote von 45 % (jährlich ab dem 01.01.2016) etwa zur Hälfte erreicht, was bedeutet, dass der alleinige Fokus auf die Abholkoordination der ear zur Erreichung des gesetzlichen Ziels nicht ausreicht.

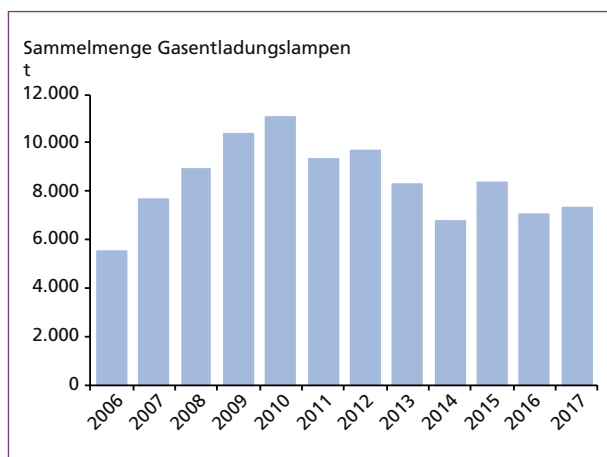


Bild 2:

Sammelmenge an Gasentladungslampen nach EUROSTAT (2017: Sammelmenge Light-cycle)

Quelle: EUROSTAT (2019): In Verkehr gebrachte Elektro- und Elektronikgeräte, Sammlung und Behandlung von Altgeräten, nach Jahr, Land, Geräte-Kategorie und Behandlungsart, in Anzahl (sofern verfügbar), Tonnen, Prozent (%) und kg pro Einwohner (online, Zugriff über <https://ec.europa.eu/eurostat/web/waste/key-waste-streams/weee>. Zuletzt abgerufen: 30.1.2019

## 2.3. Verbleib nicht erfasster Lampen – Aufkommen von Gasentladungslampen im Hausmüll

Abgesehen von Schwächen bei den Zahlen in Verkehr gebrachter Elektrogeräte stellt sich wie bei den sonstigen Elektroaltgerätekategorien auch bei Gasentladungslampen die Frage nach dem Verbleib der von der Altgerätesammlung nicht erfassten Geräte. Die Autoren gehen davon aus, dass (im Gegensatz zu manch anderen Elektroaltgeräten) statistisch nicht erfasste Exporte in andere Mitgliedsländer oder in das Nicht-EU-Ausland keine wesentliche Rolle spielen, weil damit kein Nutzen verbunden wäre.

Somit bleibt die Entsorgung über andere Abfallströme als Senke. Neben der Wertstoffsammlung und gegebenenfalls dem Sperrmüll bleibt als wahrscheinlichste Senke die Entsorgung mit dem Hausmüll.

Informations- und Aufklärungskampagnen sind eine elementare Grundlage, um das öffentliche Bewusstsein für die besondere Entsorgungsnotwendigkeit von Altlampen zu schärfen. Kontinuierliche zielgruppengerechte Kommunikation zu den bestehenden Rückgabemöglichkeiten sowie eine hohe Wiedererkennbarkeit sind die Basis, um beim Verbraucher über Kenntnis, Akzeptanz und Motivation die gesonderte Rückgabe zu erreichen. Laut der jährlich durchgeführten repräsentativen Emnid-Umfragen nennen bei der ungestützten Abfrage mittlerweile 76 % der Deutschen auf Anhieb eine korrekte Rückgabestelle von Altlampen für die fachgerechte Entsorgung, entweder die kommunale Sammelstelle auf dem Wertstoff-, Abfall- oder Recyclinghof oder den Handel. Um die breite Bevölkerung über den Weg zur nächsten Sammelstelle aufzuklären, wird auf eine starke Online-Präsenz gesetzt, kontinuierliche Informationsarbeit und regelmäßige öffentlichkeitswirksame Kampagnen. Vor Ort in den Städten und Gemeinden ist Lightcycle, oft in Kooperation mit der kommunalen Abfallwirtschaft präsent. An Schülerinnen und Schüler richtet sich die als UN-Dekadeprojekt ausgezeichnete Bildungsinitiative *Rohstoffexpedition im Rahmen der Lightcycle Rohstoffwochen*, die zum Thema Umweltschutz und Ressourcen-Schonung aufklärt.

Dennoch landen auch heute noch Gasentladungslampen im Hausmüll. Die bifa Umweltinstitut GmbH hat in dem Zeitraum von Ende 2011 bis Mitte 2017 insgesamt 34 Hausmüllanalysen in insgesamt 25 unterschiedlichen Entsorgungsgebieten öffentlich-rechtlicher Entsorgungsträger (Landkreise, Städte, Zweckverbände) im süddeutschen Raum (hauptsächlich Bayern) durchgeführt. Dabei wurden neben einer Vielzahl unterschiedlicher Parameter zur Darstellung der Hausmüllzusammensetzung auch die Anzahl der in der Stichprobe vorgefundenen Energiesparlampen je Untersuchungscluster bzw. Schichtung dokumentiert und ausgewertet. Bei diesen Analysen wurden im Mittel 0,19 Gasentladungslampen (bzw. deren Reste) je Einwohner und Jahr ermittelt. Im Umkehrschluss kann daher abgeleitet werden, dass im Jahresmittel jeder fünfte Einwohner eine Gasentladungslampe in den Hausmüll wirft.

Das Ergebnis unserer Untersuchungen liegt etwas höher als die von Sander et al. [3] ermittelte Zahl von 0,1 Lampen je Einwohner und Jahr.

Die Einzelergebnisse zeigen sehr große Streuungen. Eine nähere Betrachtung der erhobenen Werte für Energiesparlampen im Hausmüll hinsichtlich Unterschiede zwischen Siedlungsstrukturen oder verschiedenen Jahreszeiten ergab deshalb keine signifikanten Ergebnisse.

### 3. Zusammensetzung des Sammelguts

Das Sammelgut enthält die Vielfalt der unterschiedlichen Bauarten von Gasentladungslampen, die in privaten Haushalten und im gewerblichen Bereich eingesetzt werden. Während vor der Einführung von Kompaktleuchtstofflampen (*Energiesparlampen*,

1980) neben Glühlampen nur röhrenförmige Entladungslampen und Hochdruck-Quecksilberdampflampen zur Verfügung standen, werden heute neben diesen Lampentypen verschiedenste weitere Bauarten wie Kompaktleuchtstofflampen mit und ohne integriertes Vorschaltgerät, Halogen-Metallampflampen und andere Hochintensitätslampen sowie LED eingesetzt. All diese Bauarten finden sich im Sammelgut.

Die Unterschiede in der Bauart bedeuten Unterschiede beim Recycling. Kenntnisse über die Zusammensetzung des Lampengemisches können neben der zur Identifizierung des Anteils an LED im Sammelgut (Unterscheidung der Unterkategorie von Elektroaltgeräten nach ElektroG) auch zur Bewertung der Recyclingfähigkeit herangezogen werden. Ausgehend von einer Untersuchung zur Bestimmung des mittleren Lampengewichts im Jahr 2007 wurde die Zusammensetzung des Sammelguts mehrfach im Rahmen von Sortieranalysen ermittelt. Bei diesen Untersuchungen sind die Eigenheiten des Sammelguts und die des Erfassungssystems zu berücksichtigen.

### 3.1. Altlampen-Sortieranalysen: Ansatz, Grenzen und Möglichkeiten

Altlampen werden von Lightcycle bundesweit über zwei Sammelkanäle erfasst. Dies sind einerseits die Sammelstellen in der Abholkoordination der Stiftung ear bei öffentlich-rechtlichen Entsorgungsträgern (Sammlung nach §13 Abs. 1 ElektroG), andererseits die ergänzende Rücknahme des kollektiven Rücknahmesystems *Lightcycle* (Sammlung nach §16 Abs. 5 ElektroG). Im Rahmen des kollektiven Rücknahmesystems werden sowohl Sammelstellen betrieben, bei denen Lampen aus der Kleinmengensammlung im Handel zusammengefasst und auch größere Mengen (> 50 Stück) angenommen werden, als auch Direktabholungen bei Großverbrauchern, bei denen mehr als etwa 1 Tonne Altlampen pro Jahr anfallen, durchgeführt.

Somit sind insgesamt drei Arten von Sammelstellen zu unterscheiden:

- Sammelstellen in der Abholkoordination der Stiftung ear bei öffentlich-rechtlichen Entsorgungsträgern,
- eigene Sammelstellen des kollektiven Rücknahmesystems Lightcycle und
- Direktabholungen bei Anfallstellen als Teil des kollektiven Rücknahmesystems.

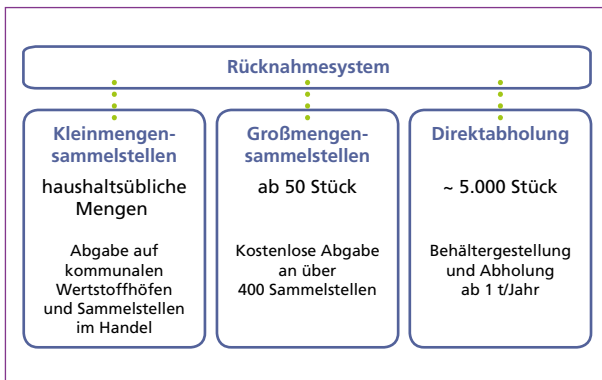


Bild 3:

Überblick über das Altlampen-Rücknahmesystem

Quelle: Lightcycle Retourlogistik und Service GmbH

Das Sammelgebiet umfasst das Gesamtgebiet der Bundesrepublik Deutschland. Es ist in mehrere Sammelregionen aufgeteilt, in denen verschiedene Logistikfirmen beauftragt sind.

Für die Sammlung werden zwei Arten von Transportbehältern eingesetzt:

- Rungenpaletten zur Aufnahme stabförmiger Lampen (> 60 cm Länge) und
- Gitterboxen mit Einleger zur Aufnahme der Lampen anderer Bauart.

Die Zusammenstellung der Sortierproben erfordert eine sorgfältige Planung der Stichprobenahme, um die Unterschiede zwischen Sammelkanälen, Regionen und Sammelbehältern sowie gegebenenfalls auftretende saisonale Schwankungen berücksichtigen zu können. Diese Planung wird nachfolgend kurz skizziert:

Mit den beiden Arten der für die Sammlung eingesetzten Transportbehälter werden sehr unterschiedliche Lampen erfasst, so dass Rungenpaletten und Gitterboxen getrennt betrachtet werden. Während auf den Rungenpaletten nur stabförmige Lampen gesammelt werden, deren Einzelgewicht sich hauptsächlich aufgrund der Länge und des Durchmessers der Lampen unterscheidet, findet sich in den Gitterboxen ein Gemisch von Lampen sehr unterschiedlicher Bauart und Größe. Die Einzelgewichte verschiedener Lampen schwanken zwischen etwa 8 und 800 g. Bei einseitiger Befüllung mit sperrigen Lampen kann das Nettogewicht einer Gitterbox recht gering sein (< 50 kg) oder aber bei kleinformatigen kompakten Lampen sehr hoch (> 250 kg). Auch bei Rungenpaletten kommt es vor, dass einzelne Transportbehälter einseitig mit relativ kurzen Lampen oder sehr langen Lampen gefüllt sind. Der Bereich der Gewichte je Transportbehälter geht bei den Rungenpaletten von rund 150 bis 400 kg (jeweils netto). Damit gibt das mittlere Gewicht je Transportbehälter einen Anhaltspunkt dafür, ob Veränderungen in der Zusammensetzung des Lampengemisches zu befürchten sind.

Als Basisdaten zur Planung der Sortieranalysen werden die mittleren Nettogewichte der Transportbehälter ausgewertet. Diese zeigen regelmäßig keine saisonalen Trends, so dass davon ausgegangen werden kann, dass das Lampengemisch eine zeitlich stabile Zusammensetzung hat. Zwischen den Sammelregionen sind hingegen geringe Unterschiede festzustellen. Mit den unterschiedlichen Sammelkanälen werden unterschiedliche Quellen der Altlampen angesprochen. In der Praxis befinden sich in den verschiedenen Sammelkanälen aus fast jedem Herkunftsbereich Lampen. So finden sich in den Sammelbehältnissen aus der ear-Abholkoordination nicht nur Lampen aus scheinbar privaten Haushalten oder Kleingewerbe, sondern beispielsweise auch Lampen aus der Straßenbeleuchtung oder von Großverbrauchern. Ebenfalls finden sich in der gewerblichen Sammlung auch Altlampen aus privaten Haushalten, die beispielsweise durch das E-Handwerk gesammelt und entsorgt werden. Daher sind Unterschiede in den mittleren Nettogewichten der Transportbehälter aus den verschiedenen Sammelkanälen nur teilweise vorhanden.

Der Ansatz der Stichprobenentnahme umfasst daher eine doppelte Schichtung: einerseits die Schichtung nach Art des Transportbehälters, andererseits eine Schichtung nach Sammelkanal. Eventuelle Unterschiede zwischen den Sammelregionen werden

durch proportionale Auswahl von Stichprobeneinheiten berücksichtigt. Die Zahl der Stichprobeneinheiten je Schicht ist annähernd doppelt so groß wie es die einschlägigen Sortierrichtlinien für Hausmüllsortieranaysen fordern. Unter Zugrundelegen normalverteilter Werte können dadurch für die wichtigsten Ergebnisse der Sortieranaysen Vertrauensbereiche von weniger als 5 % bzw. besser als 0,5 %-Punkte erreicht werden.

Aus den Ergebnissen der Sortieranaysen ist es möglich, die mittleren Lampengewichte und die Anteile häufig auftretender Bauarten mit guter Präzision zu ermitteln. Insbesondere kann eine Veränderung der Zusammensetzung des Sammelguts verfolgt werden. Mit vertretbarem Aufwand ist es jedoch nicht möglich, den Anteil selten auftretender Lampentypen mit sehr hoher Präzision zu bestimmen.

### 3.2. Anteile der Bauarten

Die Lampen stellen eine eigene Kategorie als auch eine eigene Sammelgruppe nach ElektroG dar. Diese bestehen aus der Geräteart der Gasentladungslampen als auch der sonstiger Lampen (insbesondere den LED-Lampen). LED- und Gasentladungslampen sind vom Aussehen vielfach identisch und werden auch als Ersatz oder Austauschlampen gegenseitig eingesetzt. Langfristig wird die LED-Lampe die Gasentladungslampe in vielen Einsatzbereichen ersetzen.

Anhand der Ergebnisse von Sortieranaysen der eingesammelten Altlampen ist ersichtlich, dass aus der Vielfalt der Bauarten von LED- und Gasentladungslampen hinsichtlich der Stückzahlen die klassischen stabförmigen Lampen und die Kompaktleuchtstofflampen besonders relevant sind. Von den übrigen Bauarten sind stückzahlmäßig die Hochdruckentladungslampen wichtig. Diese kommen in sehr unterschiedlichen Ausführungen und Größen vor (Bild 4).

Von den stückzahlbezogenen Anteilen kann auf die Massenanteile rückgeschlossen werden, wenn die Lampengewichte herangezogen werden. Diese betragen für die auf Rungenpaletten transportierten stabförmigen Lampen > 60 cm Länge im Mittel knapp 200 g/Stk., für die in Gitterboxen gesammelten Lampen (stabförmig ≤ 60 cm Länge, Kompaktleuchtstofflampen, sonstige Bauformen, nicht stabförmige LED) rund 70 g/Stk.

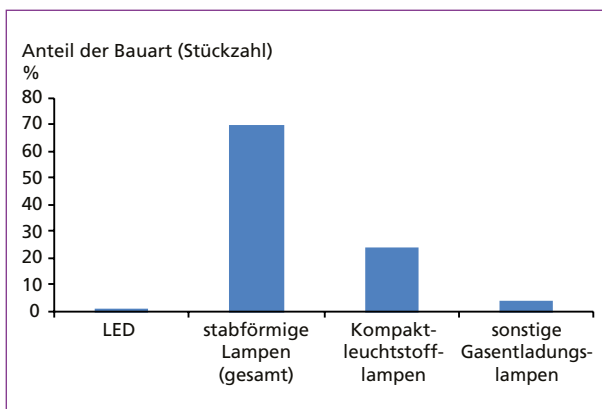


Bild 4:

Stückzahlanteile der Lampenbauarten im Sammelgut (Stand 2017)



## 4. Historische Entwicklung

Die Veränderungen von Anteilen der Lampentypen bei den in Verkehr gebrachten Lampen sind mit Verzögerung auch im Sammelgut zu beobachten. Typisch hierfür ist zum Beispiel das Ausscheiden von *dicken* stabförmigen Lampen des Typs T12 aus den stabförmigen Lampen bis 1,8 m Länge oder das Ausscheiden von Kompaktleuchtstofflampen mit konventionellem integriertem Vorschaltgerät. Hingegen war eine Zunahme von Hochdruckentladungslampen geringer Größe als Ergebnis durchgeführter Sortieranalysen festzustellen. Derartige Lampen werden vielfach zur Schaufensterbeleuchtung oder zum Ausleuchten von Verkaufsflächen eingesetzt. Im Laufe der letzten 10 Jahre haben die Veränderungen der Zusammensetzung des Sammelguts zu einer Abnahme des mittleren Lampengewichts von 187,2 auf 163,2 g je Lampe geführt (Bild 5).

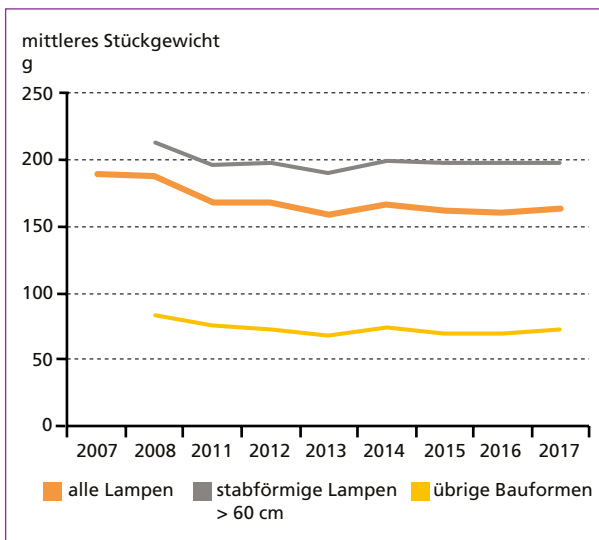


Bild 5:

Veränderung des mittleren Lampengewichts

### 4.1. Entwicklung des LED-Anteils

LED-Lampen traten zunächst als Ersatz von Glüh- und Halogenlampen in einzelnen Gitterboxen auf. Die Anzahl und der Massenanteil werden seit 2012 ermittelt. Mittlerweile kann von einem regelmäßigen Auftreten von LED-Lampen in den Gitterboxen gesprochen werden. Inzwischen (2018) liegt im Sammelgut aus den Gitterboxen der Masseanteil von LED-Lampen bei  $3,9 \pm 0,9$  % (gewogenes Mittel der Schichten). Den Untersuchungen der letzten Jahre zufolge steigt die Häufigkeit von stabförmigen LED-Lampen auch auf den Rungenpaletten zwar langsam, aber kontinuierlich an. Mittlerweile werden auf mehr als der Hälfte der Rungenpaletten stabförmige LED-Lampen vorgefunden. Der Massenanteil liegt derzeit bei  $0,6 \pm 0,2$  % (gewogenes Mittel der Schichten), siehe Bild 6.

Eine Detailauswertung der Daten zeigt, dass im gewogenen Mittel die Hälfte der 2017 insgesamt von Lightcycle gesammelten LED-Lampen über das ergänzende kollektive Rücknahmesystem erfasst wurde.

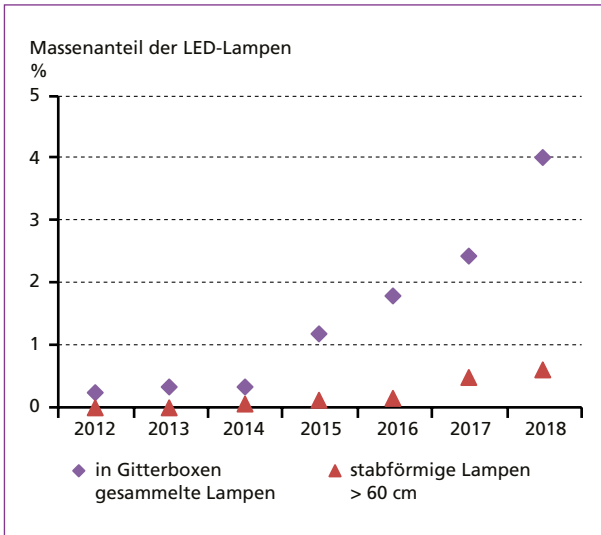


Bild 6:

Entwicklung des LED-Anteils an den in Gitterboxen bzw. Rungenpaletten gesammelten Lampen

## 4.2. Lampenalter

Anhand gesetzlich vorgeschriebener Kennzeichnungen ist eine Zuordnung des Zeitraums des Inverkehrbringens von Gasentladungslampen möglich. Das ermöglicht die Unterteilung von drei Altersgruppen:

- jünger als 13.08.2005: alle Lampen
  - mit unterstrichenem Tonnensymbol (oder Angabe eines entsprechenden Produktionsjahrs, nicht aber Lampen, die andere Mülltonnensymbole tragen)
  - LED-Retrofit Lampen,
- jünger als 01.01.1996 und älter als 13.08.2005: alle Lampen
  - mit CE-Kennzeichen aber ohne unterstrichenem Tonnensymbol und
- älter als 01.01.1996: alle Lampen
  - ohne CE-Kennzeichen.

Schon vor 2005 wurden viele Lampen mit einem Tonnensymbol gekennzeichnet, dieses war aber nicht mit dem Jahr bzw. dem Unterstrich versehen. Dank dieses Details war bislang eine eindeutige Unterscheidung der vor bzw. nach August 2005 verkauften Lampen möglich. Seit August 2015 muss das Herstellungsjahr bzw. der Unterstrich unter dem Tonnensymbol nicht mehr angebracht werden, damit entfällt die Unterscheidung zwischen ganz jungen Lampen und solchen, die zwischen 1996 und Mitte 2005 in Verkehr gebracht wurden. Viele der aktuell verkauften Lampen sind weiterhin mit dem unterstrichenen Tonnensymbol gekennzeichnet, so dass ein aus der Änderung der Kennzeichnungsvorschriften resultierender Fehler noch vernachlässigt werden kann. LED werden ausnahmslos der Gruppe *jünger als 13.8.2005* zugeordnet.

Die Unterscheidung der Kennzeichnung ist sehr zeitaufwendig, sie wird daher nur an einem Teil der Stichprobe durchgeführt. Für die Bestimmung der Altersgruppe wird beim Zählen der Lampen systematisch jede 10. Lampe zur Seite gelegt.

Mit Verlauf der Zeit wird seit dem Stichtag der Anteil der Lampen der Altersgruppe *jünger als 13.8.2005* naturgemäß zunehmen. Inzwischen besteht mehr als die Hälfte des Sammelguts aus Lampen, die nach Inkrafttreten des ElektroG 2005 in Verkehr gebracht wurden. Dementsprechend nehmen die Anteile der beiden anderen Altersgruppen ab. Auffällig ist die geringe Abnahme bei den Lampen, die keines der oben genannten Symbole tragen (Bild 7). Dazu trägt einerseits bei, dass das Lampenalter nicht normal, sondern rechtsschief verteilt ist. Allgemein unterliegt die Lebensdauer von elektrischen und elektronischen Geräten einer stark rechtsschiefen Weibull-Verteilung. Hinzu kommt, dass wenig genutzte Lampen kaum einem Verschleiß ausgesetzt sind.

Die ältesten Lampen im Sammelgut, deren Alter recht eindeutig zu identifizieren ist, sind die mehr als 30 Jahre alten Kompaktleuchtstofflampen mit konventionellem Vorschaltgerät, beispielsweise die damals weit verbreitete Lampe Philips SL 18, die 1980 auf den Markt kam. Die jüngsten Lampen, deren Zeitpunkt des Verkaufs eingegrenzt werden kann, sind Frühausfälle aktueller Modelle von LED-Lampen.

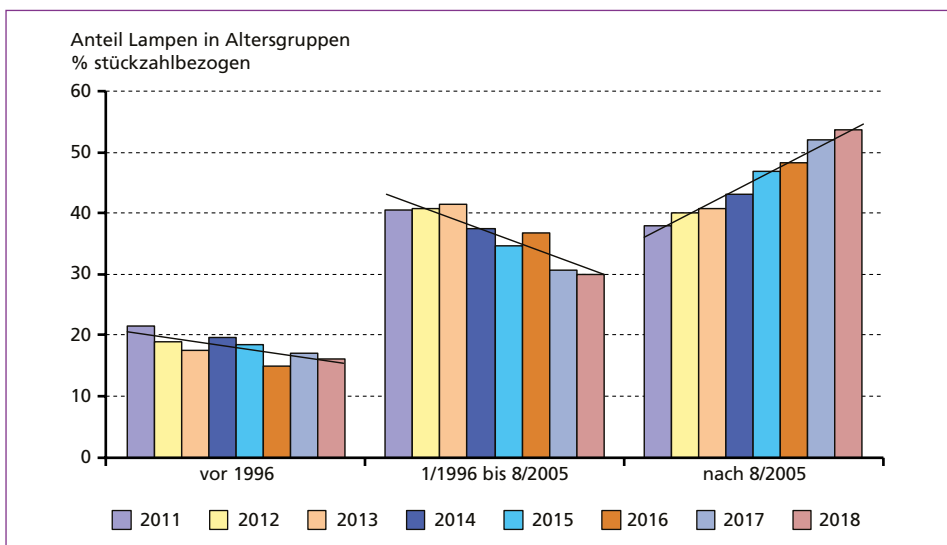


Bild 7: Aufteilung der Lampen in die Altersgruppen bezogen auf Stückzahl (alle Lampen)

## 5. Verwertungsverfahren

Das Recycling stofflich verwertbarer Lampenbestandteile wie Glas und Metalle setzt eine Schadstoffentfrachtung voraus. Auf diesem Schritt folgen Aufbereitungsschritte, bei denen die stofflich verwertbaren Fraktionen auf die zum Einsatz oder zum Einschleusen in bestehende Recyclingverfahren erforderliche Reinheit gebracht werden.

Von den Sammelstellen werden die Altlampen zusammengeführt und durch beauftragte Speziallogistikunternehmen zu den Verwertungsanlagen transportiert. Bei der Behandlung der Altlampen sind laut ElektroG ökologische Standards wie das Separieren schadstoffhaltiger Stoffe und Bauteile zu erfüllen. In den Recyclingverfahren werden die Altlampen in drei Hauptfraktionen getrennt (Bild 8). Für stabförmige Lampen kommen vor allem das Kapp-Trenn- und das Glasbruch-Wasch-Verfahren zum Einsatz. Nicht-stabförmige Lampen werden in verschiedenen Varianten einer Zerlegung bzw. Zerkleinerung und mechanischen Aufbereitung unterzogen.

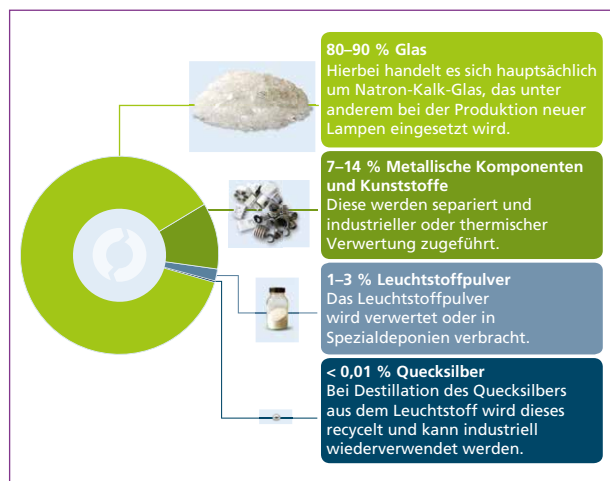


Bild 8:

Haupt-Output Fraktionen bzw. verwertbare Bestandteile von Altlampen beim Recycling

Quelle: Arbeitsgemeinschaft Lampen-Verwertung (AGLV)

Das Kapp-Trenn-Verfahren wird ausschließlich für stabförmige Leuchtstofflampen genutzt. Das Verfahren kann in drei Arbeitsschritte unterteilt werden: Zerlegung der Altlampen, Leuchtstoffabtrennung und Sammlung des Glases. Bei der Altlampenzерlegung werden zunächst die Lampenenden abgetrennt. Anschließend wird der quecksilberhaltige Leuchtstoff aus der Glasröhre ausgeblasen. Im nächsten Schritt wird das gereinigte Natron-Kalk-Glas der Röhre in einem Brecher zerkleinert und über einen Wirbelstromabscheider zur Abtrennung von Metallresten geführt. Die abgetrennten Lampenenden enthalten das nicht zusammen mit dem Natron-Kalk-Glas verwertbare Einschmelzglas (bei Altlampen vielfach Bleiglas), Aluminium-Endkappen, unter anderem als Isolator eingesetzte Kunststoffe und Anschlussdrähte bzw. -stifte.

Das Glasbruch-Wasch-Verfahren hat den Vorteil, dass es sich im Prinzip für Lampentypen aller Art sowie für das Recycling von Lampenbruch eignet. Zu Beginn werden die Lampen zerkleinert und anschließend mittels Wasser vom Leuchtstoff gereinigt. In einem Sedimentationsbecken und einem Lamellenklärer setzt sich das quecksilberhaltige Leuchtstoffpulver ab. Das Glasbruchgemisch wird durch Sieben, Metallabscheidung und optische Sortierung in die Bestandteile Natron-Kalk-Glas, Einschmelzglas, Kunststoffe und Metalle getrennt.

Auch die übrigen Verfahren zur Behandlung von Altlampen setzen auf die Teilschritte Zerlegung bzw. Zerkleinerung, Abtrennung des quecksilberhaltigen Leuchtpulvers und Auftrennen in verwertbare Fraktionen.

Bei allen Verfahren wird auf eine Unterdruckatmosphäre und Abluftreinigungssysteme geachtet, so dass keine Schadstoffe entweichen können – auch das unter Normalbedingungen flüchtige Quecksilber nicht.

Das Natron-Kalk-Glas lässt sich energiesparend bei der Produktion neuen Glases verwenden, so dass der Produktkreislauf hier geschlossen ist.

Bedingt durch die unterschiedliche Zusammensetzung des Einschmelzglases kann ein Teil dieses Glases nicht zur Neuproduktion von Natron-Kalk-Glas eingesetzt werden. Auch diese Fraktion wird jedoch zum größten Teil stofflich verwertet. Auch das beim Zerlegen von Hochdruckentladungslampen anfallende Mischglas kann nicht ohne weiteres zusammen mit dem Natron-Kalk-Glas verwertet werden. Neben der Hauptmenge sehr reinen Natron-Kalk-Glases wird daher mit diesen anderen Glasarten (Einschmelzglas und Mischglas) eine einzelne Unterfraktion von Glas geringerer Qualität erzeugt.

Die Metalle werden im Nachgang der Lampenzerlegung und Schadstoffentfrachtung weiter aufgetrennt, so dass sie ebenfalls als Sekundärrohstoff verwertet werden können. Dies geschieht teilweise im Zug der Altlampenbehandlung, teilweise aber auch in Betrieben, die auf die Aufarbeitung und Trennung verunreinigter Mischmetalle spezialisiert sind.

Die Mischfraktion *Elektronik-Platinen, Kunststoffe und Metallsockel* aus der Zerlegung von Kompaktleuchtstofflampen wird an Elektronikschrotterwerter abgegeben. Für die in den Lampen als Sockel bzw. Gehäuse und in den Platinen integrierter Vorschaltgeräte verbauten Kunststoffe ist eine Auftrennung in verwertbare Kunststoffarten derzeit nicht darstellbar, so dass sie energetisch verwertet werden. Mit der energetischen Verwertung werden gegebenenfalls die in Kunststoffteilen eingesetzten Flammschutzmittel zerstört.

## 6. Hindernisse der Verwertung

Ein gravierendes Hindernis für die Verwertung des Natron-Kalk-Glases war das Ende der Leuchtstofflampenproduktion in Deutschland. Alle Verwerter haben aber neue Verwertungswege für das Natron-Kalk-Glas gefunden.

Die Qualität des Mischglases aus der Verwertung von Hochintensitätslampen wird eingeschränkt durch die Werkstoffe, aus denen die Brenner gefertigt sind. Die Brenner bestehen aus Quarzglas oder durchscheinender Keramik, Materialien, die bei der Glasherstellung stören. Die Verwertung als Ersatzbaustoff (z.B. für Drainagen) oder in der Baustoffindustrie unterliegt der Konkurrenz durch andere für diese Zwecke geeignete Abfallstoffe. Der Anteil an Mischglas kann hier nicht genau beziffert werden. Eine Abschätzung aus dem Anteil der Lampen in *sonstigen Bauformen* lässt einen Höchstwert von einigen Prozent der gesamten Outputströme erwarten.

Für das Leuchtstoffpulver besteht derzeit keine Möglichkeit des Recyclings. Die Anlage der Firma Solvay in La Rochelle (ehemals Rhodia) zur Rückgewinnung der Selten-Erd-Elemente aus Leuchtstoffen wurde Anfang 2017 aus Wirtschaftlichkeitsgründen stillgelegt.

Neben dem Marktgeschehen, das die Akzeptanz der Materialien und Kosten bzw. Erlöse bestimmt, ist langfristig mit Veränderungen bei der Verwertbarkeit des Sammelguts zu rechnen. Bei dem zu erwartenden Anstieg des Anteils der LED-Lampen ist mit geringeren Anteilen hochwertig verwertbaren Glases zu rechnen und mit einer Zunahme der Platinen- und Kunststoff-Fraktion. Moderne LED-Lampen haben nur noch selten Metall-Gehäuse, so dass auch längerfristig nur ein geringfügiger Anstieg des Anteils der leicht verwertbaren Metall-Fractionen im Output des Lampenrecyclings zu erwarten ist. Die Verwertungsverfahren werden sich dieser Herausforderung stellen müssen, wenn die Recyclingquote langfristig über 80 % bleiben soll.

Die Verwertung der Output-Fractionen kann auch aufgrund einer als unzureichend angesehenen Schadstoffentfrachtung eingeschränkt werden. Derzeit gilt für das Glas zur Verwertung ein Quecksilber-Grenzwert von 5 mg/kg. Dieser wird von den Verfahren direkt oder nach einer thermischen Nachbehandlung eingehalten.

Für die Metall-, Kunststoff- und Mischfractionen ist kein gesetzlicher Grenzwert festgelegt. Die einschlägige Norm (DIN EN 50625 [1]) sieht vor, dass eine Quecksilberkonzentration von 100 mg/kg in den Fractionen zur Verwertung nicht überschritten werden soll. Dieser Wert wird bei allen Lampenverwertern für die Fractionen zur Verwertung eingehalten. Dazu ist teilweise eine Vorbehandlung durch Ausheizen und/oder mechanische Nachbehandlung zur Entstaubung erforderlich. Dem Erfolg derartiger Nachbehandlungsschritte sind technische Grenzen gesetzt.

Wenn, wie in Österreich und der Schweiz, wesentlich geringere Grenzwerte vorgeschrieben werden (dort 10 mg/kg), hat das nicht zwangsläufig eine bessere Schadstoffentfrachtung zur Folge. In Österreich werden Altlampen nur noch gesammelt, aber nicht mehr verwertet, sondern zur Verwertung in Nachbarländer exportiert. Wenn Grenzwerte festgelegt werden, die bei der Lampenverwertung nicht eingehalten werden können, kann das auch dazu führen, dass einzelne Chargen aufbereiteten Materials entsorgt werden müssen, obwohl sie stofflich verwertet werden könnten. Wenn die mit dem Recycling verwertungsfähiger Sekundärrohstoffe verbundene Umweltentlastung verhindert wird, könnte das Festlegen extrem niedriger Grenzwerte den Zweck einer Gesamtminimierung der Umweltbelastung verfehlen.

## 7. Aussicht (Nutzen von kollektiven Rücknahmesystemen)

Informations- und Aufklärungskampagnen von kollektiven Rücknahmesystemen schärfen das Bewusstsein der Deutschen für die besondere Entsorgungsnotwendigkeit der Altlampen.

Die wichtigste Zielgruppe sind neben den Verbrauchern die professionellen Anwender, die die Leuchtmittel austauschen. Hier trägt die Kooperation mit dem Zentralverband der Deutschen Elektro- und Informationstechnischen Handwerke (ZVEH) dazu bei, die fachgerechte Entsorgung im Berufsalltag der E-Handwerker zu verankern. Regelmäßige Anzeigen und kontinuierliche Medienarbeit sollen das Themenbewusstsein stärken. Die Informations- und Aufklärungskampagnen haben bei Lightcycle nicht nur einen hohen Stellenwert, sondern auch einen schriftlich fixierten Rahmen: 2010 hat sich das

Unternehmen zusammen mit dem ZVEH, Handelsverbänden, dem Bundesverband der Verbraucherzentralen und dem Bundesumweltministerium dazu verpflichtet, die Verbraucher über die besondere Entsorgungsnotwendigkeit zu informieren und die Abgabe der Altlampen einfacher zu gestalten. Die Initiative setzt die Produktverantwortung der Hersteller in der Rücknahme vorbildlich um. Lightcycle ist das einzige Altlampenrücknahmesystem in Deutschland mit einem proaktiven und nachhaltigen Kommunikationsansatz.

Richtige Entsorgung ist immer eine bewusste Handlung eines Bürgers. Deshalb sind zielgruppengerechte Informations- und Aufklärungskampagnen neben einfachen und wiedererkennbaren Rückgabemöglichkeiten wesentliche Voraussetzungen, um höhere Rücklaufmengen erzielen zu können. Nur durch eine höhere Rückgabebereitschaft, kann ein Mehr an fachgerechter Entsorgung erreicht werden.

Herstellerrücknahmesysteme können, durch entsprechende Anforderungen, viel dazu beitragen, dass eine Sammlung außerhalb der ear-Abholkoordination, erfolgreich im Handel, der Industrie und im Gewerbe stattfindet. Hierzu gibt es neben der Altlampensammlung in Deutschland zahlreiche Beispiele auch in den Europäischen Nachbarländern. Dort sind die Sammelziele der EU in Reichweite, während Deutschland im Europäischen Mittelmaß verharrt.

## 8. Literatur

- [1] DIN EN 50625-2-1 (2015): Anforderungen an die Behandlung von Elektro- und Elektronik-Altgeräten (WEEE) - Teil 2-1: Anforderungen an die Behandlung von Lampen; Deutsche Fassung EN 50625-2-1:2014. Beuth Verlag, Berlin
- [2] ElektroG (2017): Elektro- und Elektronikgerätegesetz vom 20. Oktober 2015 (BGBl. I S. 1739), das zuletzt durch Artikel 16 des Gesetzes vom 27. Juni 2017 (BGBl. I S. 1966) geändert worden ist.
- [3] Sander, K.; Schilling, S.; Wagner, J.; Günther, M. (2015): Maßnahmen zur Optimierung der Entsorgung von quecksilberhaltigen Gasentladungslampen und anderen Lampenarten. Umweltbundesamt (Hrsg.) TEXTE 03/2015, Dessau, 2015

### Ansprechpartner



**Dipl.-Ing. Sarah Tschachtli**  
bifa Umweltinstitut GmbH  
Projektmanagerin  
Nachhaltige Siedlungsabfallwirtschaft  
Am Mittleren Moos 46  
86167 Augsburg, Deutschland  
+49 821-7000-174  
stschachtli@bifa.de

### Weitere beteiligte Institutionen

Lightcycle Retourlogistik und Service GmbH

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.dnb.de> abrufbar

Stephanie Thiel • Olaf Holm • Elisabeth Thomé-Kozmiensky  
Daniel Goldmann • Bernd Friedrich (Hrsg.):  
**Recycling und Rohstoffe** – Band 12

ISBN 978-3-944310-46-6 Thomé-Kozmiensky Verlag GmbH

Copyright: Elisabeth Thomé-Kozmiensky, M.Sc., Dr.-Ing. Stephanie Thiel, Dr.-Ing. Olaf Holm  
Alle Rechte vorbehalten

Verlag: Thomé-Kozmiensky Verlag GmbH • Neuruppin 2019

Redaktion und Lektorat: Dr.-Ing. Stephanie Thiel, Dr.-Ing. Olaf Holm,  
Elisabeth Thomé-Kozmiensky, M.Sc.

Erfassung und Layout: Elisabeth Thomé-Kozmiensky, Claudia Naumann-Deppe,  
Janin Burbott-Seidel, Ginette Teske, Sarah Pietsch, Roland Richter,  
Cordula Müller, Gabi Spiegel

Druck: Beltz Grafische Betriebe GmbH, Bad Langensalza

Dieses Werk ist urheberrechtlich geschützt. Die dadurch begründeten Rechte, insbesondere die der Übersetzung, des Nachdrucks, des Vortrags, der Entnahme von Abbildungen und Tabellen, der Funk-sendung, der Mikroverfilmung oder der Vervielfältigung auf anderen Wegen und der Speicherung in Datenverarbeitungsanlagen, bleiben, auch bei nur auszugsweiser Verwertung, vorbehalten. Eine Vervielfältigung dieses Werkes oder von Teilen dieses Werkes ist auch im Einzelfall nur in den Grenzen der gesetzlichen Bestimmungen des Urheberrechtsgesetzes der Bundesrepublik Deutschland vom 9. September 1965 in der jeweils geltenden Fassung zulässig. Sie ist grundsätzlich vergütungspflichtig. Zuwiderhandlungen unterliegen den Strafbestimmungen des Urheberrechtsgesetzes.

Die Wiedergabe von Gebrauchsnamen, Handelsnamen, Warenbezeichnungen usw. in diesem Werk berechtigt auch ohne besondere Kennzeichnung nicht zu der Annahme, dass solche Namen im Sinne der Warenzeichen- und Markenschutz-Gesetzgebung als frei zu betrachten wären und daher von jedermann benutzt werden dürfen.

Sollte in diesem Werk direkt oder indirekt auf Gesetze, Vorschriften oder Richtlinien, z.B. DIN, VDI, VDE, VGB Bezug genommen oder aus ihnen zitiert worden sein, so kann der Verlag keine Gewähr für Richtigkeit, Vollständigkeit oder Aktualität übernehmen. Es empfiehlt sich, gegebenenfalls für die eigenen Arbeiten die vollständigen Vorschriften oder Richtlinien in der jeweils gültigen Fassung hinzuzuziehen.