



# ABSCHLUSSBERICHT ZUSAMMENFASSUNG



Ökobilanz für das Recycling von  
Polyurethan-Schaumdosen nach  
dem PDR-Verfahren



PE INTERNATIONAL AG  
Hauptstraße 111-113  
D-70771 Leinfelden-Echterdingen

Telefon 0711 341817-0  
Telefax 0711 341817-25

E-Mail [info@pe-international.com](mailto:info@pe-international.com)  
Web [www.pe-international.com](http://www.pe-international.com)

**Auftraggeber:**



PRODUKTE DURCH RECYCLING

PDR Recycling GmbH + Co KG  
Am alten Sägewerk 3  
D-95349 Thurnau

T +49 9228 950-0  
F +49 9228 950-50

E-Mail [info@pdr.de](mailto:info@pdr.de)  
Web [www.pdr.de](http://www.pdr.de)

© 12/2015 PDR, Thurnau / klimaneutrale Printproduktion



PRODUKTE DURCH RECYCLING



# Ökobilanz für das Recycling von Polyurethan-Schaumdosen nach dem PDR-Verfahren

Auftraggeber:  
PDR Recycling GmbH + Co KG

1. Auflage Mai 2012
2. überarbeitete Auflage Juli 2013
3. überarbeitete Auflage Dezember 2015

**Autoren:**  
Thilo Kupfer · Kaisa Grönman · Alexander Liedke  
PE INTERNATIONAL AG

## Nomenklatur

Abkürzung	Erläuterung
ADP	Abiotic Depletion Potential (dt. Abiotischer Ressourcenverbrauch)
AP	Acidification Potential (dt. Versauerungspotential)
EP	Eutrophication Potential (dt. Eutrophierungspotential)
GWP	Global Warming Potential (dt. Treibhauspotential)
MDI	Methylendiisocyanat
NMVOG	Non-Methane Volatile Organic Substances (dt. nichtmethanhaltige flüchtige organische Verbindungen)
ODP	Ozone Depletion Potential (dt. Ozonabbaupotential)
POCP	Photochemical Ozone Creation Potential (dt. Photooxidantienbildungspotential, Sommersmogpotential)
PUR	Polyurethan

## Kurzzusammenfassung

Ziel der Studie ist es, einen ökologischen Vergleich der weitgehend stofflichen Verwertung von Polyurethanschaumdosen nach dem „System PDR“ gegenüber anderen Verwertungsverfahren durchzuführen.

Der Bilanzraum umfasst den Teil des Lebensweges der PU-Schaumdosen, der im Verantwortungsbereich des Entsorgers liegt. Dies bedeutet eine Bilanzierung des Lebensendes der PU-Schaumdosen von der Sammelstelle bis hin zum Beginn eines neuen Lebenszyklus von im Recycling gewonnenen Stoffen und Energien. Um diesen Systemraum von weiteren Lebenszyklen der Sekundärrohstoffe freischneiden zu können, werden Gutschriften für alle Stoffe und Energien vergeben, die aufgearbeitet in einen neuen Lebenszyklus eintreten. Die funktionelle Einheit der Studie ist das Recycling einer PU-Schaumdose durchschnittlicher Zusammensetzung mit einem Gewicht von 241g, inklusive anteiliger Transportverpackung.

Beim *System PDR* werden die Dosen in einem geschlossenen System in ihre Bestandteile zerlegt, diese werden so weit möglich stofflich verwertet. Nur Bestandteile, die nicht stofflich recycelt werden können, gehen in die energetische Verwertung. Insbesondere werden Anstrengungen unternommen, die Doseninhaltsstoffe Prepolymeregemisch und Treibmittelgemisch stofflich zu verwerten. Es werden bei der Modellierung des *Systems PDR* nur wenige unbedeutende Vorketten abgeschnitten und es sind nur wenige Allokationen nötig.

Im Gegensatz zum *System PDR* werden im Konkurrenzsystem mit seiner gemischten stofflichen Verwertung und Verbrennung die Doseninhaltsstoffe Prepolymeregemisch und Treibmittelgemisch verbrannt. Bezüglich der Systemgrenzen, Allokationen und Annahmen unterscheidet sich das Konkurrenzsystem nur wenig vom *System PDR*.

Die weitgehend stoffliche Verwertung von PU-Schaumdosen nach dem *System PDR* ist der Kombination aus stofflicher Verwertung und Verbrennung nach dem Konkurrenzsystem umweltlich überlegen. Im *System PDR* sind in den Wirkkategorien Versauerung, Eutrophierung (Überdüngung) und Treibhauseffekt höhere umweltliche Aufwendungen für die Verwertung der Stoffströme nötig als im Konkurrenzsystem, allerdings wird dieser Nachteil durch die höheren Gutschriften mehr als ausgeglichen. Bei der Wirkkategorie Photooxidantienbildung (Sommersmogpotential) ist das *System PDR* auch bei den Aufwendungen überlegen. Es sind sowohl die Aufwendungen geringer als beim Konkurrenzsystem, als auch die Gutschriften höher. Auch beim Verbrauch von Primärenergie ist das *System PDR* umweltlich deutlich vorteilhafter.

Sensitivitätsuntersuchungen zeigen, dass auch diejenigen Parameter, die einen großen Einfluss auf das Endergebnis haben, bei Variation nicht zu einer Veränderung des Endergebnisses führen. Der ökologische Vorteil des *Systems PDR* gegenüber dem Konkurrenzsystem ist so groß, dass das Ergebnis der Studie durch diese Variation nicht verändert wird.

Eine Optimierung der Transporte der Dosen zu PDR zur stofflichen Verwertung ist daher der Hauptpunkt, auf den sich die Bemühungen von PDR zur Verbesserung der Umweltleistung in der nächsten Zeit konzentrieren sollten.

## 1 Ausführliche Zusammenfassung

### 1.1 Zusammenfassung Aufgabenstellung und Ziel der Untersuchung

Ziel der Studie ist es, einen ökologischen Vergleich der weitgehend stofflichen Verwertung von PU-Schaumdosen nach dem „System PDR“ gegenüber anderen Verwertungsverfahren durchzuführen.

Aus der Menge der möglichen Verfahren wurden zwei Wege ausgewählt: Die weitgehend stoffliche Verwertung nach dem *System PDR* und ein „Konkurrenzsystem“ mit einer Kombination aus stofflicher Verwertung und Verbrennung des nicht der stofflichen Verwendung zugeführten Teils.

Der Bilanzraum umfasst den Teil des Lebensweges der PU-Schaumdosen, der im Verantwortungsbereich des Entsorgers liegt. Dies bedeutet eine Bilanzierung von der Sammelstelle bis hin zum Beginn eines neuen Lebenszyklus der im Recycling gewonnenen Stoffe und Energien. Nach dem *System PDR* können zusätzlich zu der Verpackung aus den den Markt dominierenden 1-K-Dosen Treibmittel und Prepolymer, aus 2-K-Dosen das Treibmittel stofflich recycelt werden. Dabei werden auch die für das Recycling notwendigen stofflichen und energetischen Aufwendungen berücksichtigt. Das Bezugsjahr für die Studie ist das Jahr 2011.

Zielgruppe für die Studie ist zunächst PDR selbst. Des Weiteren soll die Studie auch der interessierten Öffentlichkeit zugänglich gemacht werden.

Die Durchführung und Berichterstattung der Studie orientiert sich an den Grundsätzen für Ökobilanzen, die in DIN ISO 14040 und DIN ISO 14044 festgelegt sind.

### 1.2 Zusammenfassung Besonderheiten der Methodik

Die Studie umfasst das Lebensende eines Lebenszyklus einer PU-Schaumdose, soweit er im Einflussbereich des Entsorgers liegt. Um diesen Systemraum von weiteren Lebenszyklen der Sekundärrohstoffe freischneiden zu können, werden Gutschriften für alle Stoffe und Energien vergeben, die aufgearbeitet in einen neuen Lebenszyklus eintreten. Dieses Vorgehen entspricht einer Systemraumerweiterung. Die vergebenen Gutschriften werden jeweils separat ausgewiesen und nicht mit den Aufwendungen der Aufbereitung verrechnet.

### 1.3 Zusammenfassung Systembeschreibung, tatsächlicher Untersuchungsrahmen

Die funktionelle Einheit der Studie ist das Recycling einer PU-Schaumdose durchschnittlicher Zusammensetzung, inklusive anteiliger Transportverpackung, so wie sie nach der Sammlung angeliefert wird. Im Jahr 2011 wiegt eine durchschnittliche PU-Schaumdose (ohne Transportverpackung) 241 g.

Systemgrenze der Untersuchung ist der Lebensabschnitt „Lebensende“ eines Produktlebenszyklus einer PU-Schaumdose. Neben teilentleerten 1-K-Dosen und 2-K-Dosen aus dem deutschen Post-User-Markt nimmt PDR auch Fehlproduktionen oder überlagerte Ware (sogenannte „Sonderposten“) direkt vom Hersteller/Handel zurück. Ab der Sammelstelle ist die gebrauchte PU-Schaumdose in der Verantwortung des Entsorgungsbetriebes, und verlässt diesen Verantwortungsbereich wieder, sobald die durch Aufbereitung gewonnenen Sekundärrohstoffe in neuen Produkten eingesetzt werden. Alle Schritte von der Abholung der gebrauchten Dosen über die Verwertung, Aufbereitung und Wieder- oder Weiterverwendung bis hin zu ihrem erneuten Einsatz in neuen Produkten sind damit Teil des Systems, ebenso die Beseitigung nicht recycelbarer Bestandteile. Der Bilanzraum des Referenzszenarios „System PDR“ ist in Abbildung 1-1 dargestellt. Stoffliche und energetische Betriebsmittel innerhalb des Bilanzraums sind inklusive ihrer Herstellung bilanziert.

Zu Anfang des Recyclingvorgangs werden die PU-Schaumdosen von Hand aus dem Rücksendekarton entnommen und von Verunreinigungen getrennt. Über ein Förderband gelangen sie in die automatische Aufbereitungsanlage. In einem geschlossenen System werden die Dosen dann in ihre Bestandteile zerlegt:

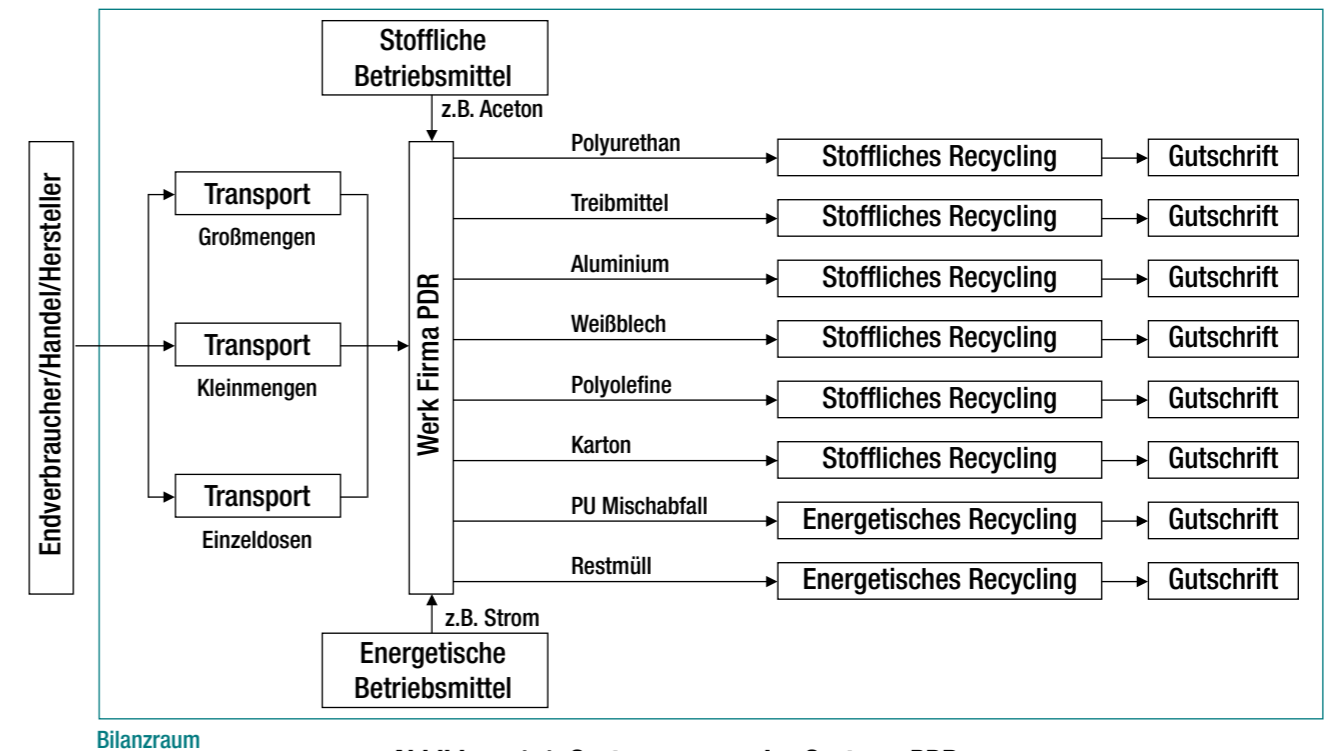


Abbildung 1-1: Systemgrenzen des Systems PDR

- Die Weißblech- und Aluschnitzel werden nach einem Reinigungsvorgang in Verhüttungsbetrieben wieder aufgeschmolzen.
- Treibmittelreste werden vollständig abgesaugt, unter Tiefkälte verflüssigt und später in der Abfüllung technischer Produkte erneut eingesetzt.
- Es wird ein Lösungsmittel eingesetzt, um das Prepolymergemisch zurückzugewinnen. Nach einem Filter- und Destillationsvorgang wird das Prepolymergemisch zur Substitution von Polyolen und Isocyanaten für technische Anwendungen genutzt.
- Die Kunststoffkappen gehen als Mahlgut an einen Kunststoffverarbeiter.
- Defekte Rücksendekartons gehen an die Papierindustrie als Rohstoff für Recyclingkartons. Brauchbare Kartons werden wiederverwendet.

Diese Ökobilanz beschäftigt sich mit der Frage, ob ein mögliches konkurrierendes Unternehmen oder PDR selbst mit einem Verfahren, das gebrauchte Verpackungen von PU-Schaumdosen teils stofflich verwertet und teils verbrennt, nicht ökologisch vorteilhafter handeln kann, als PDR es mit dem von ihr gegenwärtig praktizierten Verfahren der weitgehend stofflichen Verwertung zu tun in der Lage ist. Aus diesem Grund können im Vergleichsszenario „Konkurrenzsystem“ viele Gegebenheiten des *Systems PDR* übernommen werden. Die Systemgrenzen des Konkurrenzsystems entsprechen daher weitgehend denen des „Systems PDR“ dargestellt.

Um ein unkontrolliertes Entweichen der Treibmittel in die Umwelt zu verhindern, müssen die PU-Schaumdosen auch im Konkurrenzsystem in einer Inertgasatmosphäre kontrolliert angestochen werden. Das entweichende Treibmittel wird aufgefangen und kann in einer SMVA verbrannt werden.

Das Prepolymeregemisch kann technisch in einer gegen die Umwelt abgedichteten Kammer ausgehärtet werden. Im ausgehärteten Zustand sind die Stoffe gesundheitlich unbedenklich und können energetisch in einer MVA verbrannt werden.

Analog zur weitgehend stofflichen Verwertung durch PDR, werden auch im Vergleichsszenario „Konkurrenzszenario“ die Bestandteile der PU-Schaumdose, die sich ohne große Probleme stofflich verwerten lassen, mit einer stofflichen Verwertung bilanziert. Dies betrifft die Stoffströme Alu-Schrott, Weißblech-Schrott, Polyolefine (Schutzkappen der Dosen) und Karton (Verpackung der Dosen).

Bezüglich der Systemgrenzen, Allokationen und Annahmen unterscheidet sich das Konkurrenzszenario nur wenig vom *System PDR*.

#### 1.4 Zusammenfassung Sachbilanz

Das Modell für die beiden Systeme ist in der Software zur Ganzheitlichen Bilanzierung „GaBi 5“ von PE INTERNATIONAL aufgebaut. Das Modell ist auf einem Satz freier Parameter aufgebaut, die aus dem Umweltbericht der PDR entnommen werden können.

Das *System PDR* ist dem Konkurrenzszenario bezüglich des Verbrauchs von Primärenergie deutlich überlegen.

#### 1.5 Zusammenfassung Wirkungsabschätzung

Es werden in dieser Studie die Wirkkategorien Treibhauseffekt (GWP 100), Versauerung (AP), Überdüngung (EP) und Photooxidantienbildung (POCP) betrachtet.

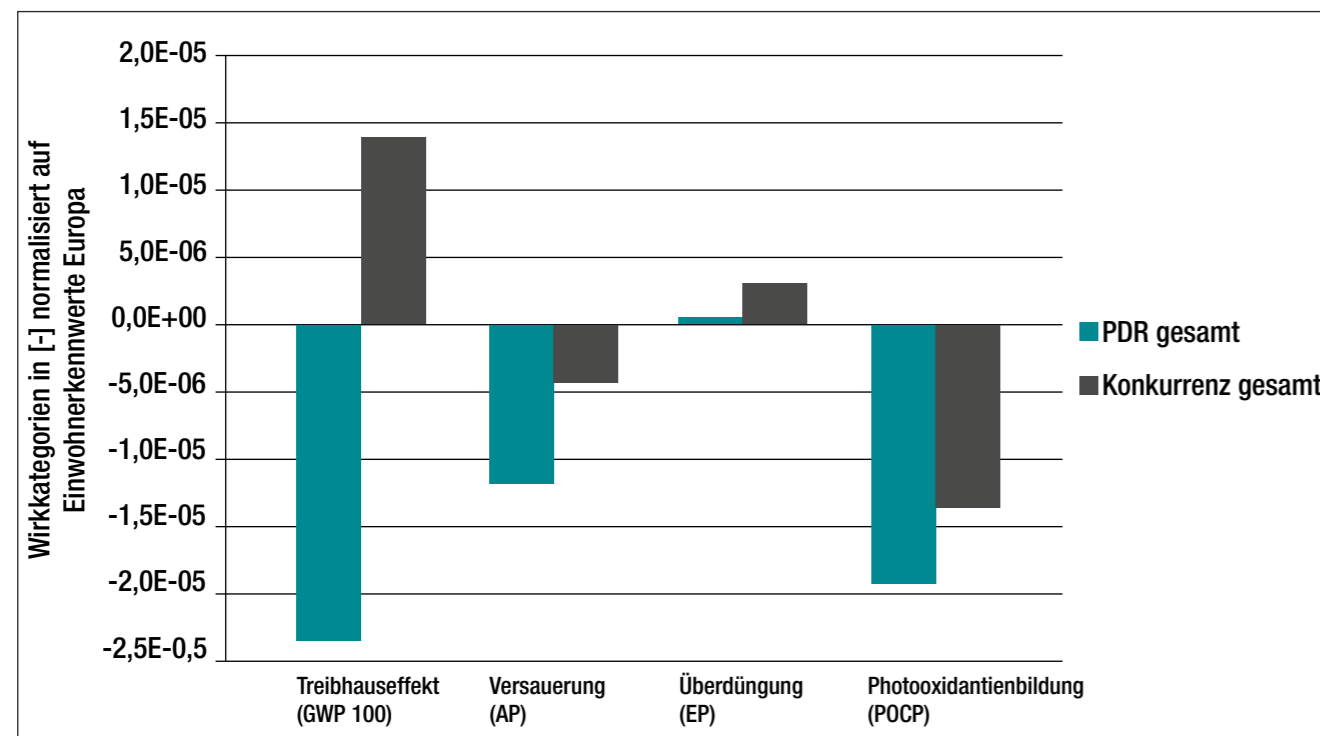


Abbildung 1-2: Bewertung Systemvergleich; Wirkkategorien normalisiert auf Europa in 2010 pro funktionelle Einheit

Die weitgehend stoffliche Verwertung von PU-Schaumdosen nach dem *System PDR* ist der stofflich/energetischen Verwertung nach dem Konkurrenzszenario in allen vier Wirkkategorien umweltlich überlegen.

Im *System PDR* sind in den Wirkkategorien Versauerung, Überdüngung und Treibhauseffekt höhere umweltliche Aufwendungen für die Verwertung der Stoffströme nötig als im Konkurrenzszenario, allerdings wird dieser Nachteil durch die höheren Gutschriften mehr als ausgeglichen. Bei der Wirkkategorie Photooxidantienbildung ist das *System PDR* auch bei den Aufwendungen überlegen. Es sind sowohl die Aufwendungen geringer als beim Konkurrenzszenario, als auch die Gutschriften höher.

#### 1.6 Zusammenfassung Bewertung

Die Ergebnisse dieser Studie in den einzelnen Wirkkategorien zeigen für jede der untersuchten Wirkkategorien einen eindeutigen umweltlichen Vorteil des *Systems PDR* gegenüber dem betrachteten Konkurrenzszenario. Es wird daher auf eine Gewichtung verzichtet, sie bringt für das Ergebnis der Studie keinen zusätzlichen Erkenntnisgewinn.

#### 1.7 Zusammenfassung Sensitivität wichtiger Parameter

Es werden diejenigen Parameter auf ihre Sensitivität untersucht, die einen großen Einfluss auf das Endergebnis erwarten lassen und bei denen Abschätzungen getroffen wurden, die mit einer höheren Unsicherheit behaftet sind.

Das Ergebnis der Sensitivitätsuntersuchungen zeigt, dass auch diejenigen Parameter, die einen großen Einfluss auf das Endergebnis haben, bei Variation nicht zu einer Veränderung des Endergebnisses führen. Der umweltliche Vorteil des *Systems PDR* gegenüber dem Konkurrenzszenario ist so groß, dass das Ergebnis der Studie durch diese Variation nicht verändert wird. Auch bei höheren Aufwendungen von PDR für Transport, höheren Gutschriften für energetische Verwertungen und höheren Emissionen im Werk Thurnau ist der umweltliche Vorteil gegenüber dem Konkurrenzszenario gegeben.

#### 1.8 Zusammenfassung Schlussfolgerungen

Mit der Verwertungsmethode der PDR steht ein Verwertungsweg zur Verfügung, der sich mit den Zielen und Anforderungen des Kreislaufwirtschaftsgesetzes (KrW-/AbfG vom 27.9.1994, § 5 und § 6) deckt. Da der Untersuchungszeitraum das Jahr 2011 erfasst, konnte auf das am 01.07.2012 in Kraft getretene Kreislaufwirtschaftsgesetz nicht Bezug genommen werden. Die Bezugnahme auf das neue Kreislaufwirtschaftsgesetz führt indessen allein deshalb zu keinen anderen Ergebnissen, weil die in Bezug genommenen Vorschriften der §§ 5 und 6 KrW, /AbfG inhaltlich – soweit hier von Relevanz – vollständig den Bestimmungen der §§ 7, 8 KrWG entsprechen. Das Verfahren ist technisch möglich und wirtschaftlich zumutbar. PDR hat einen Markt für die bei der Verwertung entstehenden Materialfraktionen Prepolymergemisch und Treibmittelgemisch aufgebaut. Mit dieser Studie wird belegt, dass die weitgehend stoffliche Verwertung der PUR-Schaumdosen umweltlich vorteilhaft gegenüber der Kombination aus stofflicher Verwertung und Verbrennung eines Konkurrenzszenarios ist.

Der Einsatz von Lösungsmitteln zur Gewinnung von Prepolymergemisch als Stoffstrom zur stofflichen Verwertung lohnt sich angesichts der hohen Gutschriften für die stoffliche Verwertung des Prepolymergemisches.

Es existiert bereits eine vollständige Vermarktung des Treibmittelgemisches, die Transporte wurden in den letzten Jahren optimiert und die Emissionen im Werk Thurnau sind durch die thermisch-regenerative Nachverbrennung zurückgegangen. Die Effizienz, sowohl in Bezug auf den Stoffeinsatz als auch für den Energiebedarf, wurde pro Dose verbessert.

Eine Optimierung der Transporte der Dosen zu PDR zur stofflichen Verwertung ist daher der Hauptpunkt, auf den sich die Bemühungen von PDR zur Verbesserung der Umwelleistung in der nächsten Zeit konzentrieren sollten.