

Energiebilanz des Recyclings gebrauchter Butyl-Fahrradschläuche

Ist die Herstellung neuer Fahrradschläuche aus alten Butyl-Schläuchen im Vergleich zur Neuproduktion aus Rohöl überhaupt ökologisch sinnvoll?

Zur Beantwortung solcher Fragen wird in der Regel eine vergleichende Ökobilanz erstellt. Was ist das? Eine Ökobilanz berücksichtigt alle Einflüsse, die ein Prozess oder die Herstellung eines Produktes auf die Umwelt haben. Dazu zählen beispielsweise die Entnahme von Erzen oder Rohöl aus der Erde, der Verbrauch von Wasser, die Belastung der Umwelt mit Abfällen, Abwässern und Abgasen, ihre toxischen Wirkungen und ihre Klimarelevanz. Diese Einflüsse werden in standardisierter Form zusammengefasst. Dadurch können Produkte, die auf unterschiedlichem Weg hergestellt werden, hinsichtlich ihrer Umweltrelevanz miteinander verglichen werden.

Eine detaillierte Ökobilanz erfordert eine große Zahl von Daten, die für komplexe Prozesse nicht immer verfügbar sind. In solchen Fällen beschränkt man sich häufig auf eine vergleichende Energiebilanz, da die Energiedaten fast immer vorhanden sind. Außerdem ist der Verbrauch an Energie erfahrungsgemäß ein guter Maßstab für die Gesamtheit der Einflüsse auf die Umwelt. Eine solche Energiebilanz hat die EPEA Internationale Umweltforschung GmbH im Jahr 2015 im Auftrag der Ralf Bohle GmbH für das Recycling alter Fahrradschläuche erstellt.

Im Fall der Fahrradschläuche werden zwei Wege („Szenario A“ und „Szenario B“) der Herstellung von Butylkautschuk verglichen, nämlich das Recycling alter Butyl-Schläuche und die Neuproduktion von Butylkautschuk aus Erdöl. Dabei beschränkt sich die Betrachtung auf den Teil der Schlauchproduktion, der tatsächlich unterschiedlich ist, nämlich die Herstellung der noch nicht vulkanisierten Gummimischung.

Die Produktion der Schläuche erfolgt in Jakarta/Indonesien. Daher müssen für das Recycling die alten Butyl-Schläuche von den Händlern in Deutschland gesammelt, per Postpaket nach Reichshof geschickt, dann per LKW nach Antwerpen transportiert und zuletzt mit dem Container nach Jakarta verschifft werden. In einer Fabrik nahe Jakarta werden die Ventile aus dem Schlauch geschnitten und das Gummi in einer speziellen Anlage devulkanisiert. Das erhaltene Produkt, das Devulkanisat, kann nach Zugabe von Vulkanisationschemikalien bei der Herstellung neuer Schläuche an Stelle frischer Gummimischung verarbeitet werden. Die Energiebilanz hierfür ist:

A. Szenario Schlauchrecycling

1. Transport der alten Schläuche nach Reichshof per Postpaket (DHL) ¹	1,5 MJ/kg
2. Transport Reichshof – Antwerpen Hafen per LKW (Distanz 260 km) ²	1,1 MJ/kg
3. Transport Antwerpen – Jakarta per Containerschiff (Distanz 15.800 km) ²	2,4 MJ/kg
4. Devulkanisation bei R&R nahe Jakarta (Stromverbrauch 0,72 kWh _{el} /kg) ³	7,8 MJ/kg
Gesamter Energieverbrauch (Rohöl)	<u>12,8 MJ/kg</u>

Wird dagegen der Schlauch ausschließlich aus Neumaterial, d.h. Rohöl produziert, ergibt sich folgendes Bild:

B. Szenario Neumaterial⁴

1. Synthese von Butylkautschuk (70% x 55,8 MJ/kg) ⁴	39,1 MJ/kg
2. Synthese von Ruß (30% x 126,5 MJ/kg) ⁴	37,9 MJ/kg
3. Gutschrift für die Verbrennung der alten Schläuche in einer MVA ⁵	- 13,0 MJ/kg
Gesamter Energieverbrauch (Rohöl)	<u>64,0 MJ/kg</u>

Um den Energieverbrauch zu veranschaulichen: Bei der Verbrennung eines Liters Rohöl wird eine Energie von knapp 40 MJ als Wärme freigesetzt.

Der Vergleich der Szenarien A und B zeigt, dass für einen ausschließlich aus Devulkanisat (= Recyclat) hergestellten neuen Fahrradschlauch trotz des aufwändigen Transports der alten Schläuche nur ein Fünftel der bei der Produktion aus Neumaterial verbrauchten Energie benötigt wird. Momentan werden etwa 20% Recyclat bei der Neuproduktion eingesetzt. Die tatsächliche Energie- bzw. Rohölsparsnis bei der Herstellung eines neuen Schlauches liegt daher im Augenblick bei gut 15%. Eine Steigerung des Recyclatanteils wird angestrebt.

Bemerkenswert ist auch, dass die Produktion des als Füllstoff verwendeten Rußes noch (energie-)aufwändiger als die Butylkautschukherstellung selbst ist. Da der Ruß bei der Devulkanisation im Gummi verbleibt, wird er ebenfalls wiederverwendet.

Die in der wissenschaftlichen Literatur angegebenen Energieverbräuche für die Kautschuksynthese streuen stark. Die Ursachen dafür sind nicht ohne weitere Recherche erkennbar. Sie liegen vermutlich in der Wahl unterschiedlicher Rahmenbedingungen für die jeweiligen Berechnungen. Da sich in mehreren Quellen Werte finden ⁴, die deutlich über den in Szenario B, Zeile 1 genannten 55,8 MJ/kg liegen, ist der energetische Vorteil des Recyclings gegenüber der Neuproduktion wahrscheinlich noch größer als der Faktor 5.

Erläuterungen:

1. Die Energiebilanz für den Transport per DHL-Postpaket basiert auf einem Datensatz von DHL (persönliche Kommunikation mit GoGreen/DHL am 13. Juli 2015). Danach erfordert der Transport eines 4,4 kg-Paketes mit einem Volumen von 27 Litern über eine Distanz von 380 km eine Gesamtenergie („well to wheel“) von 7,5 MJ. Da die Entfernungen zwischen den Fahrradhändlern und der Logistik-Zentrale in Reichshof individuell verschieden sind, wurde für die Berechnung die mittlere einwohnergewichtete Entfernung zwischen Reichshof und allen deutschen Städten über 500.000 Einwohner angesetzt. Sie beträgt 370 km. Als mittlere Paketgröße wurden 21 kg und 90 Liter angenommen (Schüttdichte der Gummischläuche: 0,23 kg/l). Der Mittelwert aus volumengeführtem und gewichtsgeführtem Energieverbrauch ergibt sich zu 1,5 MJ/kg.
2. Daten entnommen aus „Primärenergiefaktoren von Transportsystemen“ der ESU-Services; Bericht erstellt im Auftrag des Bundesamtes für Energie der Schweiz (http://www.esu-services.ch/fileadmin/download/Transportsysteme_v2.2_2011.pdf; download am 22.10.2014)
3. Angabe des Betreibers der Devulkanisationsanlage R&R in Indonesien; bei der Umrechnung von kWh (elektrisch) in MJ (Rohöl) wurde ein Wirkungsgrad thermisch > elektrisch von 33% angesetzt.
4. Annahme einer vereinfachten Formulierung aus 70% Butylkautschuk und 30% Ruß. Da die LCA-Daten für reinen Butylkautschuk nicht verfügbar waren, wurden die des Elastomers SBR genutzt. Quelle: T. Amari. Resource recovery from used rubber tires. Resources Policy, Volume 25, Issue 3, 1999, 179–188. In einer parallel durchgeführten Berechnung wurden die Daten des chemisch dem Butylkautschuk sehr ähnlichen jedoch nicht vulkanisierten Polyisobutylen ermittelt. Hier ergibt sich ein Wert von 73,7 MJ/kg (zum Vergleich SBR: 55,8 MJ/kg). Mit diesem Wert wäre das Recycling sogar um einen Faktor 6 sparsamer als die Neuproduktion. Quelle: ([http://bau-umwelt.de/download/CY3ebc0060X14455318d36X73be/EPD MON_20130274_IBA1_DE.pdf](http://bau-umwelt.de/download/CY3ebc0060X14455318d36X73be/EPD_MON_20130274_IBA1_DE.pdf); download am 28.10.2015)
5. Im Szenario B werden die Fahrradschläuche nach der Nutzung nicht eingesammelt und recycelt. Vielmehr werden sie einzeln über den Restmüll entsorgt. Dieser wird in Deutschland stets einer thermischen Behandlung (Verbrennung) in einer Müllverbrennungsanlage (MVA) unterworfen. Die dabei entstehende elektrische und thermische Energie kann genutzt werden. Daher muss diese Energie in der Bilanz vom ursprünglichen Aufwand für die Herstellung des Schlauches abgezogen werden („Gutschrift“). Aus verschiedenen Gründen ist der energetische Wirkungsgrad einer MVA sehr niedrig. Er liegt im Durchschnitt bei 32,5% (Summe elektrisch + thermisch). Es wird daher nur ein kleiner Teil des Material-Heizwertes von 40 MJ/kg genutzt. Quelle: IAA Dresden und INTECUS. Nutzung der Potenziale des biogenen Anteils im Abfall zur Energieerzeugung. Studie im Auftrag des Umweltbundesamtes (2010), S.70 (http://tu-dresden.de/die_tu_dresden/fakultaeten/fakultaet_forst_geo_und_hydrowissenschaften/fachrichtu_ng_wasserwesen/iaa/publikationen/Endbericht_19072010.pdf; download am 18.2.2015)

(Update vom 3. November 2015 / EPEA GmbH / ChSi)