



Ökobilanz - Beispiel 2

Warum wurde diese Studie als Beispiel ausgewählt?

Die Erstellung von Ökobilanzen ist eine komplexe und sehr zeitintensive Arbeit. Aus diesem Grund ist eine ausführliche Darstellung des Aufbaus und der Durchführung von Ökobilanzen im Rahmen des „Nachhaltigen organischen Praktikums (NOP)“ nicht möglich. Um jedoch einen Einblick zu gestatten, wie die Forderungen der Normenreihe DIN/ISO 14040 ff. in der Praxis umgesetzt werden, soll nachfolgend ein Praxisbeispiel nachvollzogen werden. Als Beispiel wurde die von der Deutschen Bundesstiftung Umwelt geförderte „*Vergleichende Ökobilanz für Loose-fill-Packmittel aus Stärke bzw. Polystyrol*“ (Würdinger *et al.*, 2002) herangezogen. Neben der Herangehensweise sind bei der ausgewählten Studie vor allem auch die Ergebnisse interessant. Diese zeigen, dass der Einsatz nachwachsender Rohstoffe nicht per se ökologisch vorteilhaft ist.

Hintergrund der Studie

„Biologisch abbaubare Werkstoffe auf Basis nachwachsender Rohstoffe werden seit langem als Lösung für viele drängende Umweltprobleme diskutiert, entwickelt und gefördert. Dennoch steht eine breite Markteinführung immer noch aus. In der Diskussion wird dies häufig auf Unklarheiten bezüglich der ökologiebezogenen Bewertung zurückgeführt, die wiederum auf das Kundenverhalten, die Produktentwicklung oder die Entsorgung rückwirken. Bisher wurden kaum Forschungsergebnisse veröffentlicht, die eine verlässliche Einschätzung des Umweltnutzens solcher Werkstoffe erlauben“ (Würdinger *et al.*, 2002). Die Frage, ob Kunststoffe auf der Basis nachwachsender Rohstoffe künftig mehr gefördert werden sollten, gab Anlass zu dieser Untersuchung. Dazu wurden als relevanter Untersuchungsgegenstand exemplarisch zwei Loose-fill-Packmittelsysteme, die auf dem nachwachsenden Rohstoff Stärke und dem aus fossilen Rohstoffen hergestellten Material Expandiertes Polystyrol (EPS) basieren, ausgewählt.



Abb. 1: Loose Fill Packmittel

Untersuchungsziel und Untersuchungsrahmen

Zielstellung

An einem praxisrelevanten Beispiel soll untersucht werden ob der Einsatz von Kunststoffen auf der Basis nachwachsender Rohstoffe aus ökologischer Sicht sinnvoll ist. Als praxisrelevantes Beispiel wurden Loose-fill-Packmittelsysteme ausgewählt. Die zu vergleichenden Produktsysteme waren dabei:

- Verpackungssysteme auf Basis expandierten Polystyrols (EPS)
- Verpackungssysteme auf Basis expandierter Stärke (nachwachsender Rohstoff)
- Verpackungssysteme auf Basis Recyclingmaterials (Recycling Polystyrol).

Um eine Übersichtlichkeit des Praxisbeispiels zu gewähren und den Umfang der Darstellung in Grenzen zu halten wird im weiteren Verlauf der Arbeiten die Produktvariante drei (Verpackungssystem auf Basis Recyclingmaterial) nicht weiter berücksichtigt.

Funktion und Funktionelle Einheit

Als Funktion der zu untersuchenden Produktsysteme wurde deren Verwendbarkeit als Füllmaterial für Transportverpackungen angesehen. Bei der Untersuchung wurde davon ausgegangen, dass sich die verschiedenen Produktsysteme in ihren technischen Eigenschaften nicht unterscheiden. Als funktionelle Einheit der Bilanzierung wurde das Volumen der Loose-fill-Packmittel gewählt. Alle Daten und Ergebnisse beziehen sich auch ein Packmittelvolumen von 100 m³.



Untersuchungsrahmen

Der Untersuchungsrahmen grenzt die zu untersuchenden Systeme zur Umwelt hin ab. Die für die Betrachtung gewählten Systemgrenzen wurden in der Studie „from cradle to grave“ gewählt, d.h. alle relevanten Stoff- und Energieflüsse von der Exploration der Rohstoffe, Förderung, Transport, Vorprozesse und eigentlicher Herstellungsprozess und Gebrauch der Produktsysteme bis hin zur Entsorgung werden berücksichtigt.

Abschneidekriterien (Detailgrenzen)

Bei der durchgeführten Untersuchung wurden alle Stoff- und Energieströme eines betrachteten Prozesses, die kleiner als 1% bezogen auf die Masse des gewünschten Outputs waren, abgeschnitten. Die Summe der abgeschnittenen Prozesse durfte dabei 5% der Masse des gewünschten Outputs nicht übersteigen. Stoffströme eines Prozesses mit einem Anteil kleiner 1% bezogen auf die Masse des gewünschten Outputs wurden trotzdem berücksichtigt, wenn sie für die gesamte Ökobilanz hinsichtlich toxischer oder energetischer Aspekte von Interesse waren.

Geographischer und zeitlicher Bezug

Den Bezugsraum der Betrachtungen bilden die politischen Grenzen der Bundesrepublik Deutschland. Werden Stoffe in anderen Ländern bereitgestellt (z.B. Erdöl) dann ist das Herkunftsland, gewichtet nach dem jeweiligen Marktanteil des Stoffes in Deutschland Bezugsraum. Als Referenzjahr für die Betrachtungen wurde das Jahr 1997 gewählt.

Wie wurde die Sachbilanz erstellt?

Berechnete Szenarien

Um die Zielstellung, die Frage nach dem Sinn des Einsatzes von Kunststoffen auf Basis nachwachsender Rohstoffe, zu beantworten, wurden eine Reihe unterschiedlicher Szenarien aufgestellt und berechnet. Solche Szenarien sind wichtig, um den Einfluss verschiedener Faktoren auf das zu untersuchende System zu berücksichtigen. Im Bereich der Loose-fill-Packmittel auf der Basis von expandierter Stärke wurden z.B. 20 verschiedene Szenarien untersucht. Eine Auswahl der untersuchten Szenarien zeigt Abbildung 2.



Herstellung	Maisstärke	Kartoffelstärke II (Verregnung des Gesamt- abwassers)	Weizenstärke (konventionell produzierter Weizen)	Maisstärke	Weizen extensiv
Nutzung	Einmalige Nutzung	Einmalige Nutzung	Einmalige Nutzung	Betriebsinterne Wiederverwer- tung (Vierfach- nutzung)	Betriebsinterne Wiederverwer- tung (Zweifach- nutzung)
Entsorgung	Erfassung mit Restmüll und Beseitigung im Beseitigungs- mix	Erfassung mit Restmüll und Beseitigung im Beseitigungs-mix	Erfassung mit Restmüll und Beseitigung im Beseitigungs- mix	Erfassung mit Restmüll und Beseitigung im Beseitigungs- mix	Erfassung mit Bioabfall und Kompostierung

Abb. 2: Auswahl von untersuchten Szenarien – Loose-fill-Packmittel aus expandierter Stärke

Teilprozesse eines Prozessszenarios

Ähnlich dem Bereich der Loose-fill-Packmittel aus expandierter Stärke wurden auch im Bereich expandiertes Polystyrol verschiedene, sich in Teilbereichen unterscheidende Szenarien erstellt und untersucht. Exemplarisch für diese Szenarien soll nachfolgend die Herstellung von Packmitteln aus Primärpolystyrol (EPS) dargestellt werden (Abb. 3). Für das dargestellte Szenario wurde eine einmalige Nutzung der Loose-fill-Packmittel und im Anschluss eine Entsorgung über den Wertstoffhof und ein werkstoffliches Recycling angenommen.

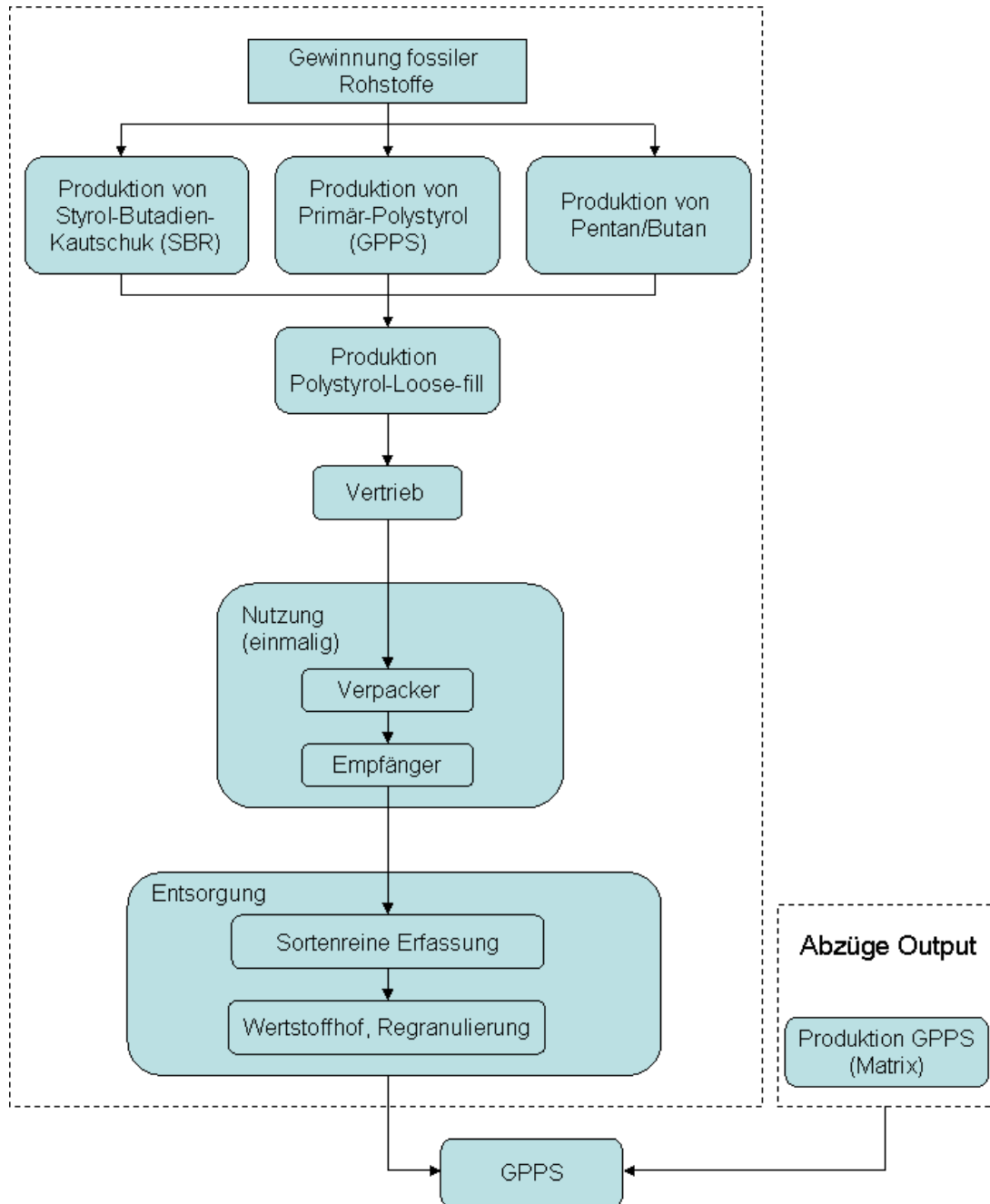


Abb. 3: Teilprozesse eines EPS-Szenarios

Um den Umfang der Untersuchungen zu verdeutlichen, wird in Abbildung 4 die Produktion von Primärpolystyrol noch einmal detailliert aufgezeigt.

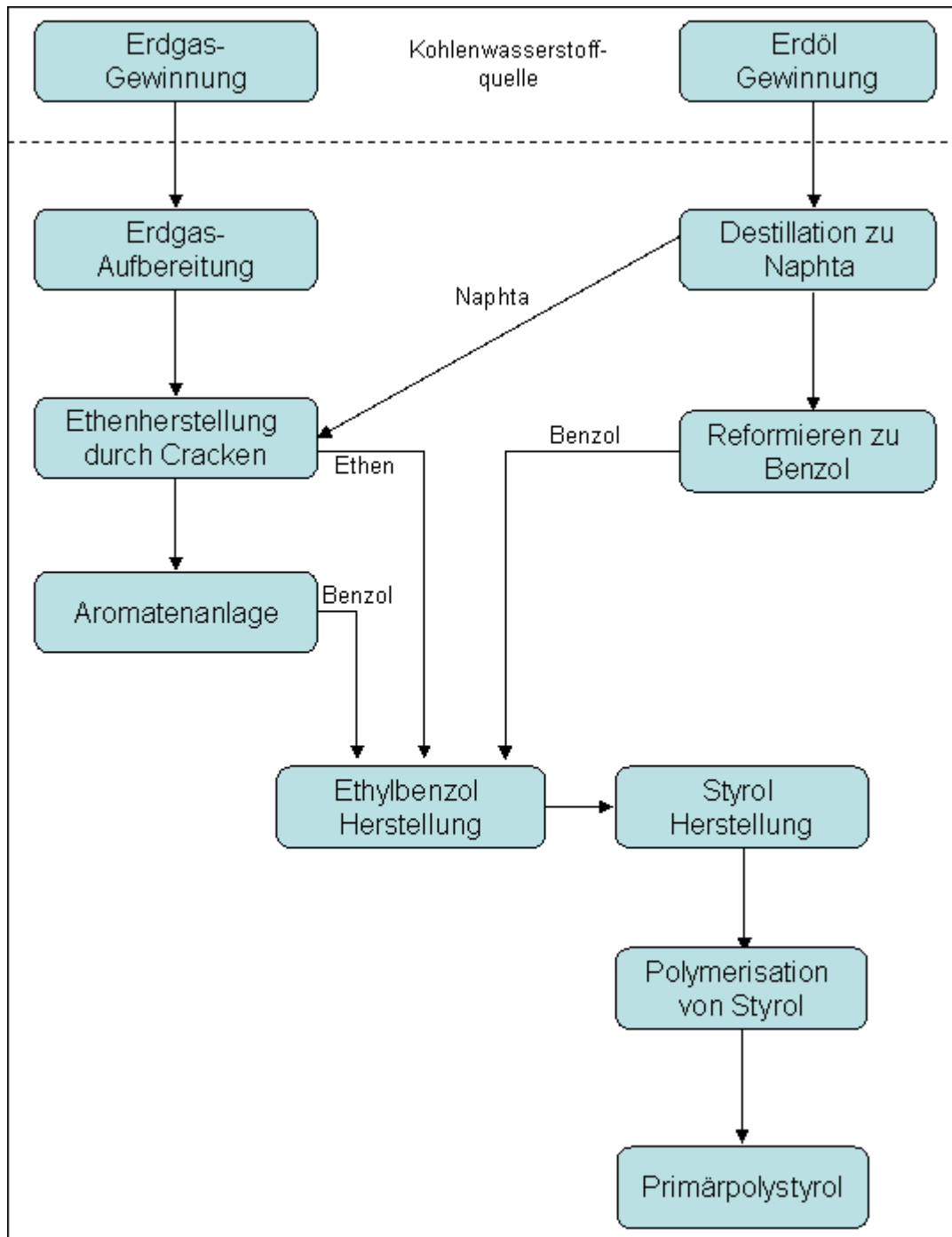


Abb. 4: Fließbild - Produktion von Primärpolystyrol

Wie ist das Vorgehen bei der Datensammlung?

Um das „Herzstück“ einer Ökobilanz, die Sachbilanz, zu erstellen, wurden nun die relevanten Stoff- und Energieströme der zur Herstellung des Endproduktes benötigten Teilprozesse gesammelt. Die prozessspezifischen In- und Outputdaten wurden abgeleitet und aufbereitet



und im Anschluss daran die Sachbilanzergebnisse erfasst bzw. berechnet. Dabei wurden die im Abschnitt Untersuchungsziel und Untersuchungsrahmen festgelegten Vorgaben stets eingehalten oder diese auf die Notwendigkeiten, die sich aus der Sachbilanzerstellung ergaben, angepasst. Im Anschluss an die Erstellung der Sachbilanz wurde die Wirkungsauswertung durchgeführt.

Die Auswertung

Entsprechend der Vorgaben des ISO Norm 14042 besteht die Wirkungsauswertung einer Ökobilanz aus den drei Teilen:

- Auswahl der zu betrachtenden Wirkungskategorien
- Zuordnung der Sachbilanzergebnisse zu den Wirkungskategorien (Klassifizierung)
- Berechnung der Wirkungsindikatorergebnisse (Charakterisierung).

Für die betrachtete Studie wurden die im folgenden Abschnitt beschriebenen Wirkungskategorien ausgewählt.

Verwendete Wirkungskategorien

Treibhauseffekt
Stratosphärischer Ozonabbau
Photochemische Oxidantienbildung
Eutrophierung und Sauerstoffzehrung
Versauerung
Gesundheitsschäden und gesundheitliche Beeinträchtigung des Menschen
Schädigung und Beeinträchtigung von Ökosystemen
Ressourcenbeanspruchung
Flächennutzungen

Tab. 1: verwendete Wirkungskategorien

Im Anschluss an die Auswahl Wirkungskategorien müssen die in der Sachbilanz ermittelten Parameter wie z.B. die Kohlendioxid- oder Methanemissionen den verschiedenen Umweltwirkungen zugeordnet werden.



Klassifizierung

Bei der Klassifizierung müssen die Sachbilanzparameter den jeweiligen Umweltwirkungen zugeordnet werden. Hierbei kann ein Sachbilanzparameter auch mehreren Wirkungskategorien zugeordnet werden.

Treibhauseffekt	CO ₂ , CH ₄ , N ₂ O
Ozonabbau	N ₂ O
Photooxidantienbildung	Benzol, CH ₄ , NO _x , Formaldehyd, NMVOC, VOC, Pentan, Butan
Eutrophierung	NO _x , NH ₃ , P-ges., CSB, N-ges., NH ₄ , Nitrat
Versauerung	H ₂ S, HCl, HF, NH ₃ , NO _x , SO ₂
Humantoxizität	As, BaP, Benzol, Cd, Cr, PCDD/F, Ni, Pb, SO ₂ , Dieselpartikel, Biozide
Ökotoxische Wirkung	AOX, Chlorid, NH ₄ ⁺ , H ₂ S, HF, NH ₃ , NO _x , SO ₂
Ressourcenbeanspruchung	Erdöl, Erdgas, Braunkohle, Steinkohle
Naturraumbeanspruchung	Fläche

Tab. 2: Klassifizierung

Charakterisierung

Bei der Charakterisierung müssen die einer Wirkungskategorie zugeordneten Sachbilanzparameter in gemeinsame Maßeinheiten überführt werden. Dies ist notwendig, da unterschiedliche Stoffe unterschiedlich stark zu einer Umweltwirkung beitragen. So hat z.B. Methan ein rund 25 fach höheres Treibhauspotential als Kohlendioxid, das Treibhauspotential von Lachgas (N₂O) ist im Vergleich zu CO₂ gar 320 mal höher. Im nächsten Schritt müssen aus den umgewandelten Sachbilanzergebnissen die Indikatorergebnisse gebildet und die Ergebnisse ausgewertet werden.



Die erzielten Ergebnisse

Aufgrund der gewählten Szenarien wurde bei der betrachteten Ökobilanz kein eindeutiger ökologischer Vorteil eines Produktes ermittelt. Nachfolgend werden exemplarisch einige Ergebnisse¹ der Studie vorgestellt.

Die Entsorgung ist wichtig

Der Vergleich zwischen den Stärke- und den EPS-Szenarien zeigt sehr deutlich, dass die Verwendung des Begriffes „CO₂-neutral“, der synonym für die Neutralität hinsichtlich des Treibhauseffektes verwendet wird, auf die aus nachwachsenden Rohstoffen hergestellten Stärke-Loose-fill-Packmittel nicht prinzipiell zutrifft, aber durchaus erreicht werden könnte. Letzteres ist jedoch nur möglich, wenn spezifische Voraussetzungen erfüllt werden: Da eine werkstoffliche Verwertung nicht durchführbar ist, gehört dazu vor allem unabwendbar die energetische oder rohstoffliche Verwertung der gebrauchten Stärke-Loose-fill-Packmittel. Der Beitrag zum Treibhauspotential ist bei einer Entsorgung über den Beseitigungsmix aufgrund deponierungsbedingter Methanemissionen sowie bei der Kompostierung wegen einem fehlenden energetischen Zusatznutzen trotz der Verwendung eines nachwachsenden Rohstoffes sehr hoch. Positiv wirkt sich ein Verzicht auf Zusätze auf fossiler Rohstoffbasis aus. Beides zusammen kann dann tatsächlich zu leicht negativen Werten bei den für das Treibhauspotential errechneten Beiträgen führen. Über den verstärkten Einsatz weiterer regenerativer Energieträger ließe sich auch dieses Ergebnis noch weiter verbessern.

Die Wiederverwendung der Packmittel reduziert die Umweltlasten deutlich

Die Wiederverwendung der Loose-fill-Packmittel stellt materialunabhängig eine sehr wirksame Maßnahme dar, um die mit dem Loose-fill-Packmittel-Einsatz verbundenen Umweltbelastungen zu reduzieren. Dies liegt zum einen daran, dass die Vertriebs- und Nutzungsphase zu den Ergebnissen der Wirkungsabschätzung nur in geringerem Umfang beiträgt. Entsprechend wirken sich die mit der Wiederverwendung einhergehenden Einsparungen beim Materialverbrauch und verringerten Aufwendungen in der Loose-fill-Packmittel-Produktion sehr direkt auf die Ergebnisse aus. Dies gilt auch für den Rückgang der Abfallmengen, der sich in

¹ Die Ergebnisse wurden (teilweise gekürzt) der Zusammenfassung zum Endbericht (DBU-Az. 04763) entnommen. Der vollständige Endbericht kann bei der Deutschen Bundesstiftung Umwelt unter Angabe des Aktenzeichens angefordert werden.



nahezu allen Fällen positiv bemerkbar macht. Zum Anderen ist der günstige Einfluss einer Wiederverwendung von Loose-fill-Packmitteln wesentlich auch darauf zurückzuführen, dass Loose-fill-Packmittel anders als beispielsweise Mehrwegverpackungen im Getränkebereich ohne Reinigung und ohne bzw. mit nur relativ geringen Transportaufwendungen wieder verwendet werden können.

Insgesamt führt deshalb eine zweifache Wiederverwendung nahezu bei allen Indikatoren zu einer Halbierung der Ergebnisse, eine vierfache Wiederverwendung zu einer Viertelung.

Vergleich der EPS- und Stärke-Szenarien

Zwischen den verschiedenen Szenarien zum Loose-fill-Packmittel-Einsatz gibt es sehr deutliche Unterschiede bezüglich der Umweltauswirkungen. Dabei ergeben sich jedoch weder für die Stärke- noch für die Polystyrol-Verwendung grundsätzliche Vorteile. Entscheidend für das umweltbezogene Abschneiden ist vor allem die konkrete Ausgestaltung der Materialbereitstellung sowie der Entsorgung und hierbei insbesondere auch, welcher Wert dem Zusatznutzen aus der Entsorgung sowie den in den Sekundär-Polystyrol-Szenarien verwendeten Polystyrol-Abfällen zugemessen wird.

Folglich entscheidet nicht die Rohstoffherkunft über die Umweltrelevanz der Szenarien, sondern die Art der im jeweiligen Lebensweg kombinierten Prozesse. Offensichtlich wird dabei auch, dass es sowohl sehr gute EPS- als auch Stärke-Szenarien gibt – und jeweils in beiden Fällen auch Ausprägungen, die deutlich ungünstiger abschneiden. Dabei ist die Variationsbreite zwischen materialgleichen Szenarien ähnlich hoch wie innerhalb der Gesamtheit der Szenarien. Unabhängig von der Materialart gibt es damit sowohl bei einer Stärke- als auch bei einer EPS-Verwendung beträchtliche Optimierungspotentiale. Die Stärke-Szenarien haben nur dann eine Chance, ähnlich positiv abzuschneiden wie die guten EPS-Szenarien, wenn die Loose-fill-Packmittel nach Gebrauch energetisch verwertet werden.

Biologische Abbaubarkeit als Vorteil?

Die biologische Abbaubarkeit der Stärke-Loose-fill-Packmittel ist keine Eigenschaft, die für den Produktzweck erforderlich ist. Ihr Vorteil wird im Bereich der Entsorgung gesehen, wo sie sich aber nur dann vorteilhaft auswirkt, wenn die Stärke-Loose-fill-Packmittel über eine Vergärung mikrobiell zu Biogas umgesetzt werden und dieses anschließend mit hohen



Wirkungsgraden energetisch genutzt wird. Werden die Stärke-Loose-fill-Packmittel dagegen deponiert, so führt die biologische Abbaubarkeit sogar dazu, dass die Freisetzung von unter anaeroben Bedingungen daraus gebildetem Methan größere Beiträge zum Treibhauseffekt erbringt als die Verbrennung der EPS-Loose-fill-Packmittel. Auch die Kompostierung als weiterer Entsorgungsweg, der auf die biologische Abbaubarkeit angewiesen ist, schneidet gegenüber einer energetischen Verwertung deutlich ungünstiger ab. Damit zeigen die Ergebnisse sehr deutlich, dass die biologische Abbaubarkeit allein noch kein Kriterium für die Umweltverträglichkeit und Nachhaltigkeit eines Materials oder Produktes darstellt. Entscheidend ist vielmehr, welchen konkreten Entsorgungsweg dieses nach Gebrauch geht und wie sich die biologische Abbaubarkeit auf die Nutzungsdauer und Haltbarkeit des Produktes auswirkt. Deutlich getrennt davon zu sehen sind jedoch die Fälle, in denen die biologische Abbaubarkeit eine wesentliche Eigenschaft bei der Produktnutzung darstellt. Angesichts dieser Ergebnisse werfen die Autoren abschließend die Frage auf, ob es nicht ein lohnendes Ziel wäre, Kunststoffe aus nachwachsenden Rohstoffen zu entwickeln, die eben nicht biologisch abbaubar, sondern langlebig und damit mehrfach verwendbar sind und die dann auch werkstofflich sowie am Ende energetisch verwertet werden können.