

# Ökobilanz - Beispiel 1

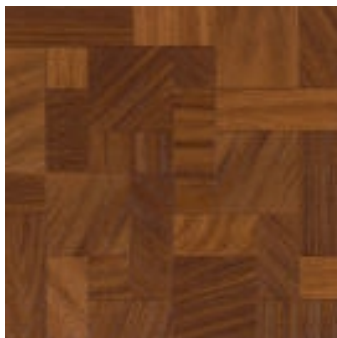
## Warum wurde diese Studie als Beispiel ausgewählt?

Die Anforderungen an eine Ökobilanz, wie sie die Norm ISO/DIN 14040 ff. vorgibt, sind mitunter schwer verständlich. Um die abstrakten Angaben der Norm transparenter zu machen, wurde die Studie „*Ökologische Bilanzierung ausgewählter Lackrohstoffe: Vergleich von Bindemitteln auf nativer und petrochemischer Basis*“ [1] als Beispiel ausgewählt. Die Studie wurde angelehnt an die Vorgaben der ISO Norm durchgeführt. Abweichend von der Norm wurde der Schritt der Wirkungsauswertung sowie der Schritt „critical review“ nicht ausgeführt. Die bei der Bilanzerstellung (ohne Wirkungsauswertung) jeweils notwendigen Schritte lassen sich dennoch an diesem Beispiel gut nachvollziehen.

## Der Hintergrund der Studie

Dem Einsatz nachwachsender Rohstoffe wird künftig eine immer stärkere Bedeutung zukommen [siehe auch "*Nachwachsende Rohstoffe*", *Glossar*]. Um konkurrenzfähig zu sein, müssen die aus diesen Rohstoffen durch Veredlung hergestellten Produkte dabei den auf Basis petrochemischer Rohstoffe erstellten Produkten technisch und ökonomisch gleichwertig sein und eine höhere Nachhaltigkeit aufweisen.

In der ausgewählten Studie sollten die Umweltauswirkungen eines auf petrochemischem Wege hergestellten Lackbindemittels für Holz- und Holzwerkstoffe mit einem auf nachwachsender Rohstoffbasis erzeugten Bindemittel verglichen werden. Damit sollte die Konkurrenzfähigkeit aus ökologischer Sicht überprüft werden.



**Abb. 1: Parkettefläche, versiegelt mit UV-härtenden Lacken**

## **Wie wurden die Rahmenbedingungen für die Bilanz festgelegt?**

### **Das Ziel der Untersuchung**

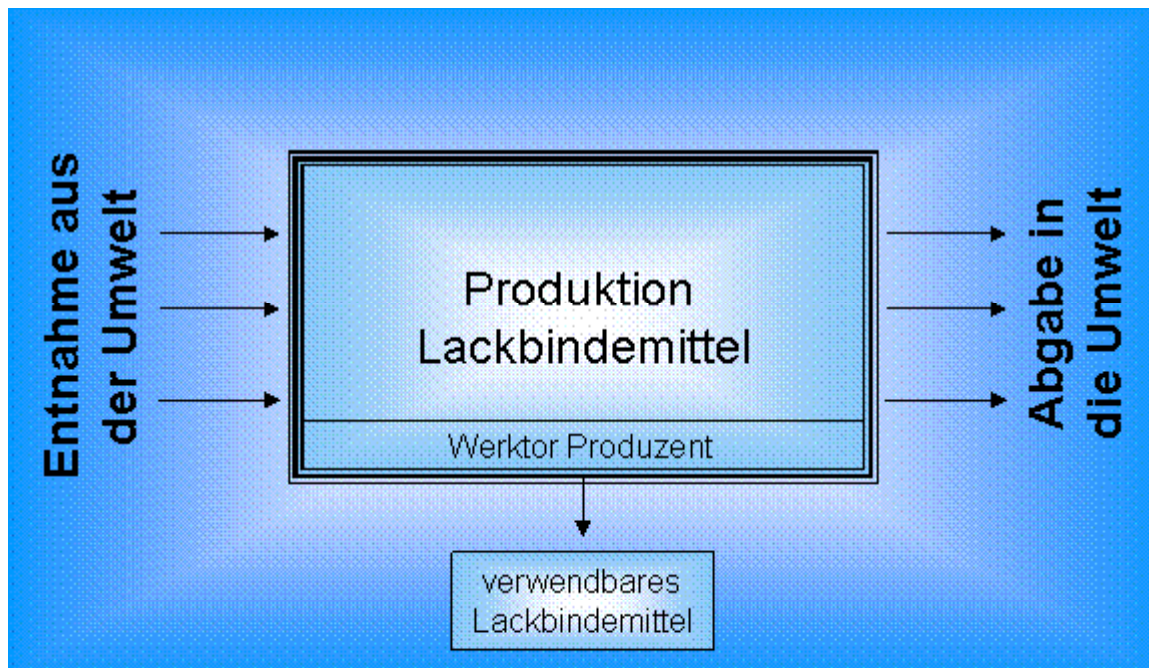
Ziel der betrachteten Studie war, die aus der Herstellung des auf dem nachwachsenden Rohstoff Leinöl basierenden Lackbindemittels *Leinölepoxids* (ELO) resultierenden Umweltlasten ganzheitlich zu erfassen. Als Referenz sollte ein auf petrochemischer Basis produziertes Lackbindemittel bestehend aus einem *Tripropylenglykoldiacrylat* (TPGDA) und *Bisphenol-A-diglycidetheracrylat* (DGEABA) Gemisch (50:50) herangezogen werden.

### **Die gewählte Funktion bzw. Funktionelle Einheit**

Als Funktion wurde in der vorgestellten Arbeit der Herstellungsweg der untersuchten Lackbindemittel betrachtet. Es wurde davon ausgegangen, dass die anwendungstechnischen Eigenschaften der Bindemittel (z.B. Reaktivität, Kratzfestigkeit, Haftung, Acetontest) gleich sind und diese im gleichen Bereich zum Einsatz kommen können. Als funktionelle Einheit (Nutzeneinheit) wurde eine Tonne des verarbeitungsfähigen Lackbindemittels festgelegt. Dies bedeutet, dass alle Energie- und Stoffströme zur Erstellung der Funktionellen Einheit erfasst und bilanziert werden müssen.

### **Der für die Untersuchung geltende Bilanzrahmen**

Entsprechend dem Ziel einer ganzheitlichen Betrachtung wurden, ausgehend vom jeweils betrachteten Verfahren, alle mit der Erfüllung des technischen Nutzens des Verfahrens in Zusammenhang stehenden vor- und nachgelagerten Prozesse betrachtet. Das bedeutet, dass auch die nicht anlagengebundenen Bereiche wie Rohstoff- und Energiebereitstellung in die Untersuchung einbezogen wurden. Die innerhalb der Systemgrenzen auftretenden Stoff- und Energieströme wurden in der Regel von ihrer Entnahme aus bzw. bis zu ihrer Abgabe in die Umwelt verfolgt und inventarisiert. Die Umwelt dient als Quelle (z.B. Entnahme von Rohöl aus der Lagerstätte) bzw. als Senke (z.B. CO<sub>2</sub>-Emissionen in die Atmosphäre) von Stoffströmen. Systemgrenze stellt das Werktor des jeweiligen Herstellers des verarbeitungsfähigen Lackbindemittels dar. Die Systemgrenze Werktor konnte gewählt werden, da für die unterschiedlichen Produkte technische Äquivalenz angenommen wurde. Dies bedeutet, dass ein Unterschied in Verarbeitung, Entsorgung etc. nicht besteht.



*Abb. 2: Untersuchungsraum Lackbindemittel*

Bei der Auswahl des Bilanzrahmens mussten weitere Festlegungen getroffen werden die nachfolgend beschrieben sind.

#### *Abschneidekriterien (Detailgrenzen)*

In der Regel wurden in der vorgestellten Arbeit keine Stoffströme abgeschnitten. Bei ausreichender Datenlage wurden alle für die Auswertung benötigten Ströme vom Eintritt, bis zum Verlassen des Bilanzraumes verfolgt und bewertet.

#### *Allokation*

In der betrachteten Arbeit wurde die gesamte Prozessenergie, dem Anteil der jeweiligen Produkte an der Gesamtproduktion entsprechend zugeteilt. Ebenso wurde mit den während der Produktion entstehenden Emissionen und Abfällen verfahren. Auch diese wurden dem Anteil am Gesamtoutput des Prozesses entsprechend auf die Produkte verteilt.

#### *Gutschriften*

Es wurde im vorgestellten Projekt davon ausgegangen, dass Intermediate nicht an einem Verbundstandort produziert werden und es zu keiner Nutzung der Abwärme kommt. Nur für die Herstellung von Acrylsäure wurden aufgrund der guten Datenlage Gutschriften berücksichtigt. Auch für die Nutzung oder Verwertung von Kuppelprodukten wurde kein Bonus gutgeschrieben, sondern jeweils nur auf die Möglichkeit hingewiesen.

### *Geographischer und zeitlicher Bezug*

Den Bezugsraum der Betrachtungen bildeten die politischen Grenzen der Bundesrepublik Deutschland. Wurden Stoffe in anderen Ländern bereitgestellt (z.B. Erdöl) dann war das Herkunftsland, gewichtet nach dem jeweiligen Marktanteil des Stoffes in Deutschland Bezugsraum. Als Referenzjahr für die Betrachtungen wurde das Jahr 1999 gewählt.

### **Wie wurde die Sachbilanz erstellt?**

Im folgenden Abschnitt sollen Einzelheiten der Sachbilanzerstellung genauer dargestellt werden. Dadurch können der zeitliche Umfang und die Anforderungen an die Datenmenge demonstriert werden.

Aufgrund der Tatsache, dass zwei verschiedene Herstellungswege verglichen werden und diese Herstellungswege wiederum aus unterschiedlichen Schritten bestehen, wurde eine Feingliederung des Bilanzraumes vorgenommen. Die Vorgehensweise ist nachstehend beschrieben.

### **Feingliederung des Bilanzraums**

Für den Vergleich der beiden Herstellungswege wurde der Bilanzraum in den Bereich *Leinölepoxid* und den Bereich *petrochemisches Lackbindemittel* gegliedert. Weitere Untergliederungen richten sich nach der logischen Abfolge der Wertschöpfungskette des jeweiligen Bilanzraumes. So wurde der Bilanzraum *Leinölepoxid* entsprechend der Wertschöpfungskette in die in Abbildung 3 dargestellten Teilprozesse unterteilt.

Im Bilanzraum *Leinölepoxid* ist zu beachten, dass eine Sensitivitätsanalyse im Arbeitsschritt Ölgewinnung/Raffination durchgeführt wurde. Hier wurde sowohl eine zentrale, als auch eine dezentrale Ölgewinnung untersucht.

Der Bilanzraum *petrochemisches Lackbindemittel* wurde ebenfalls entsprechend dem Produktionsweg unterteilt. Es ergibt sich damit die in Abbildung 4 dargestellte Einteilung.

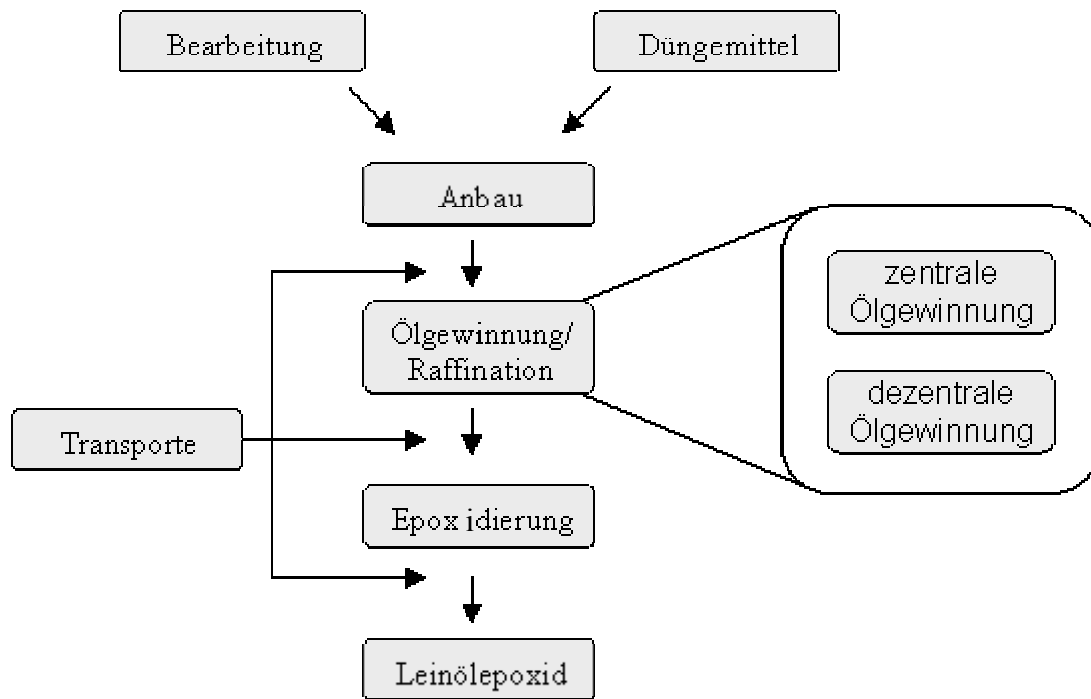


Abb. 3 Gliederung des Bilanzraumes Leinölepoxid

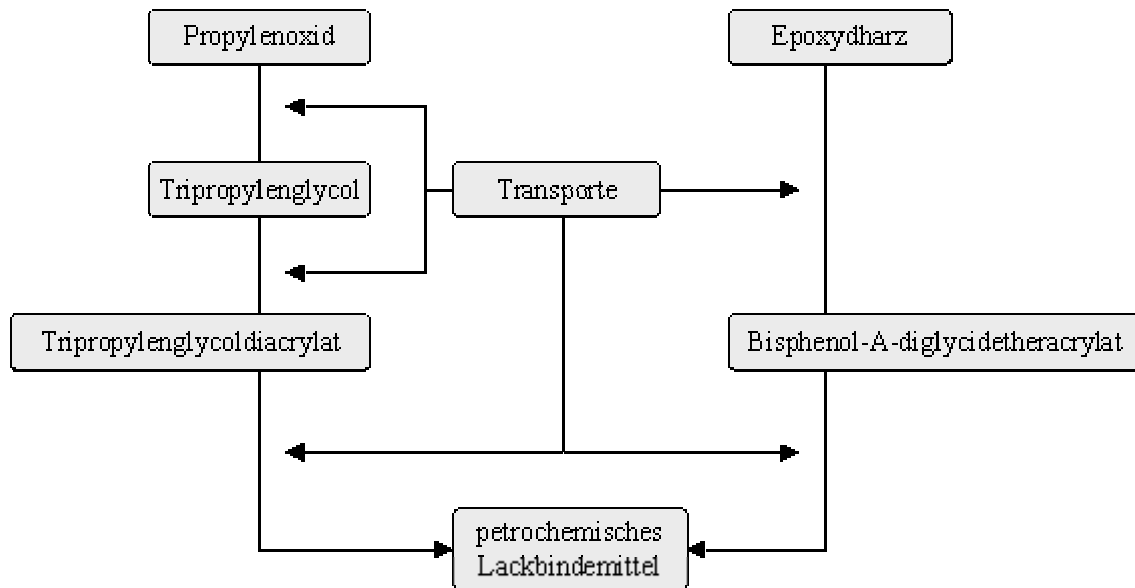
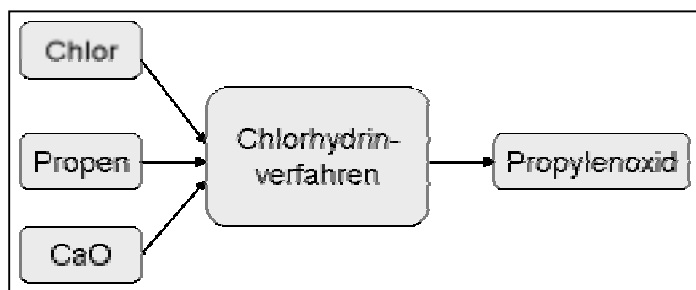


Abb. 4 Gliederung des Bilanzraumes petrochemisches Lackbindemittel

### Beispiele für Teilprozesse

Um den Umfang der Arbeiten bei der Erstellung einer Sachbilanz zu demonstrieren, wird die Sachbilanzerstellung für den Teilbereich „Propylenoxid“ genauer erläutert, auf die auch in der Auswertung speziell eingegangen wird. Dabei wird angenommen, dass Propylenoxid mittels

Chlorhydrin-Synthese gewonnen wird. Das über den Erdölcrackprozess gewonnene Propen wird in der Chlorhydrin-Synthese zu Propylenoxid (PO) umgesetzt. Dabei reagieren in einer ersten Stufe Propen und Chlorgas zu Chlorpropanol und anderen Intermediaten. Chlorpropanol wird nun in einem zweiten Schritt in einen Verseifer geleitet und mit Calciumhydroxid zu PO umgesetzt. Über das Abwasser wird das als Kuppelprodukt entstehende Calciumchlorid in einen Vorfluter abgegeben. Die zur Reaktion benötigte Energie wird in Form von Dampf zugeführt. Unter anderem aufgrund dieser großen Salzfrachten wurden Verfahren entwickelt, die Propylenoxid auf anderem Wege synthetisieren. Jedoch besitzt das Chlorhydrinverfahren in Deutschland noch immer die größte Verbreitung.



*Abb. 5: Edukte Chlorhydrinsynthese*

Die Edukte der Chlorhydrinsynthese sind bereits in anderen Prozessen hergestellt worden, sind damit also Vorketten der Propylenoxidherstellung.

#### *Vorkette Propen*

Bilanziert wurde die Produktion von Propen ab der Entnahme der Rohstoffe aus der natürlichen Ressource inklusive der damit verbundenen Prozesse. Nach der Förderung von Erdöl erfolgt dessen Reinigung und Aufarbeitung in der Raffinerie. Dabei wird Erdöl durch fraktionierte Destillation in verschiedene Fraktionen (schweres Heizöl, Benzin, verschiedene Mitteldestillate, Flüssiggase, Naphta und Raffineriegase) zerlegt. Die Naphta-Fraktion (Siedebereich zwischen 65 °C und 200 °C) wird anschließend im Steam-Cracker weiterverarbeitet. Dabei wird die Fraktion mit Wasserdampf in mehreren Schritten von 500 – 650 °C auf 750 - 875 °C erhitzt. Hauptbestandteile des Prozesses, der zur Spaltung größerer Moleküle führt, sind Ethen, Propen, Buten sowie weitere Olefine und Diolefine. Durch rasches Abkühlen der Gase und Waschen mit Wasser werden unerwünschte Neben- und Rückreaktionen verhindert. Aus der entstandenen Gasmischung kann schließlich Propen abgetrennt werden.

#### *Vorkette Chlor*

Die Produktion von Chlor wurde inklusive der Entnahme der Rohstoffe aus der natürlichen Ressource und der damit verbundenen Prozesse bilanziert. Das wichtigste Verfahren zur Herstellung von Chlor ist die Chloralkali-Elektrolyse mit den drei Prozessvarianten: Amalgam-Verfahren, Diaphragma-Verfahren und Membran-Verfahren. Allen gemein ist die Elektrolyse einer Natriumchlorid-Lösung unter paralleler Produktion von Wasserstoff, Chlor und

Natriumhydroxid. Im Amalgam-Verfahren findet die Elektrolyse in einer Quecksilber-Zelle mit einer Titan- oder Graphit-Anode und einer Quecksilber-Kathode statt. An der Anode bildet sich gasförmiges Chlor während das Natrium an der Kathode mit dem Quecksilber als Amalgam abgezogen wird. In einem Amalgam-Zersetzer reagiert das Natrium mit Wasser an einer Katalysatoroberfläche (Graphit) zu Wasserstoff und Natriumhydroxid.

Im Diaphragma-Verfahren sind Anoden- und Kathoden-Raum durch ein Diaphragma getrennt. Die Natriumchlorid-Lösung reagiert im Anodenraum zu Chlor, durchströmt das Diaphragma und bildet an der Kathode Wasserstoff bzw. Natriumhydroxid. Durch das Diaphragma wird eine Vermischung von Wasserstoff und Chlor verhindert, was die spätere Aufarbeitung der Produkte erleichtert.

Beim Membran-Verfahren sind Anoden- und Kathodenraum durch eine wasserundurchlässige, jedoch ionendurchlässige Membran getrennt. Die Natriumchlorid-Lösung reagiert im Anodenraum zu Chlor, während Wasser im Kathodenraum zu Wasserstoff und Hydroxid zerlegt wird. Die Natrium-Ionen diffundieren durch die Membran in den Kathodenraum, wo sie als Natronlauge abgezogen werden. Die Allokation im Mehrproduktsystem Chloralkalielektrolyse wurde entsprechend der beschriebenen Grundsätze durchgeführt.

#### *Calciumhydroxid*

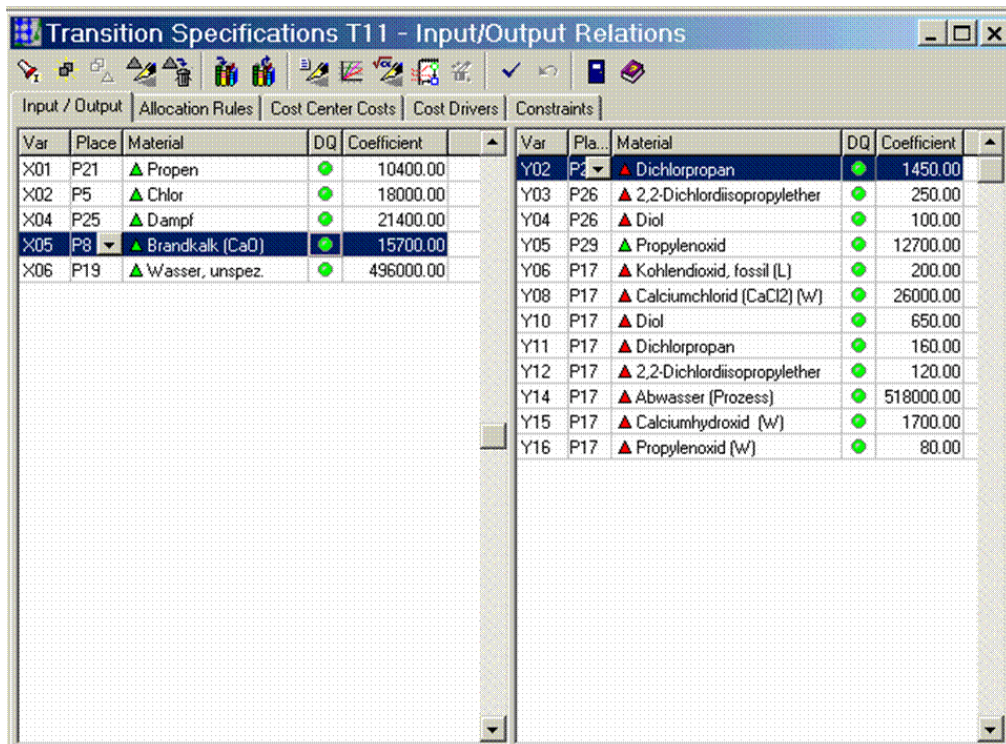
Zur Herstellung von Calciumhydroxid muss Kalkstein gebrannt werden. In einem zweiten Schritt wird das entstandene Calciumoxid mit Wasser zu Calciumhydroxid abgelöscht. Kalkstein wird im Tagebau gefördert. Dabei wird zuerst eine Erdschicht abgetragen. Mit entsprechenden Steinbruchmaschinen wird anschließend der Kalkstein abgebaut. Unter dem Prozess des Kalkbrennens versteht man die Zersetzungsreaktion des Kalksteins durch die Zufuhr thermischer Energie:  $\text{CaCO}_3 \rightarrow \text{CaO} + \text{CO}_2$ . In der Technik wird die Zersetzung bei 900-1100°C durchgeführt. Das Brennen des Kalks kann in verschiedenen Formen von Öfen erfolgen. In der Studie wurde das Brennen von Kalk in einem mit Steinkohle befeuerten Drehrohrofen mit einem Energiebedarf von 5200 MJ/t Branntkalk bilanziert. Pro Tonne stückigen Branntkalks müssen 1755 kg Kalkstein in den Brennprozess eingebracht werden. Neben dem Bedarf an Steinkohle besteht für den Betrieb des Ofens noch ein Strombedarf von ca. 130 MJ/t Branntkalk. Als prozessbedingte Luftemissionen sind im Prozess des Kalkbrennens die CO<sub>2</sub>-Emissionen zu bilanzieren, die bei der so genannten Entsäuerung des Kalks auftreten. Die Ofensteinmasse enthält 767 kg gebundenes Kohlendioxid, von denen während des Brennprozesses 755 kg/t Branntkalk freigesetzt werden. Für die beim Brennen entstehende Staubmenge wird ein Wert von 0.17 kg/t Branntkalk angenommen.

#### *Dampf*

Die für die Herstellung von PO benötigte Energie wird in Form von Dampf bei 40 – 60 bar bereitgestellt. Eine Tonne Dampf entspricht dabei einer Primärenergie von 3150 MJ. Diese Energie wird durch einen Energieträgermix aus 31.1 % Kohle, 4.1 % Heizöl EL, 18.3 % Heizöl S und 46.5 % Erdgas erzeugt.

## Wie ist das Vorgehen bei der Datensammlung?

Um die Sachbilanz zu erstellen, wurden die relevanten Stoff- und Energieströme der zur Herstellung des Endproduktes benötigten Teilprozesse gesammelt. Die prozess-spezifische In- und Outputdaten wurden abgeleitet und aufbereitet und im Anschluss daran die Sachbilanz-ergebnisse 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 ergeben angepasst. Nachfolgende Abbildung (Abb. 6) zeigt beispielhaft den Input/Output der Chlorhydrinsynthese:



| Var | Place | Material           | DQ | Coefficient |
|-----|-------|--------------------|----|-------------|
| X01 | P21   | ▲ Propen           | ●  | 10400.00    |
| X02 | P5    | ▲ Chlor            | ●  | 18000.00    |
| X04 | P25   | ▲ Dampf            | ●  | 21400.00    |
| X05 | P8    | ▲ Brandkalk (CaO)  | ●  | 15700.00    |
| X06 | P19   | ▲ Wasser, un spez. | ●  | 496000.00   |

| Var | Pla... | Material                      | DQ | Coefficient |
|-----|--------|-------------------------------|----|-------------|
| Y02 | P2     | ▲ Dichlorpropan               | ●  | 1450.00     |
| Y03 | P26    | ▲ 2,2-Dichlordiisopropylether | ●  | 250.00      |
| Y04 | P26    | ▲ Diol                        | ●  | 100.00      |
| Y05 | P29    | ▲ Propylenoxid                | ●  | 12700.00    |
| Y06 | P17    | ▲ Kohlendioxid, fossil (L)    | ●  | 200.00      |
| Y08 | P17    | ▲ Calciumchlorid (CaCl2) (w)  | ●  | 26000.00    |
| Y10 | P17    | ▲ Diol                        | ●  | 650.00      |
| Y11 | P17    | ▲ Dichlorpropan               | ●  | 160.00      |
| Y12 | P17    | ▲ 2,2-Dichlordiisopropylether | ●  | 120.00      |
| Y14 | P17    | ▲ Abwasser (Prozess)          | ●  | 518000.00   |
| Y15 | P17    | ▲ Calciumhydroxid (w)         | ●  | 1700.00     |
| Y16 | P17    | ▲ Propylenoxid (w)            | ●  | 80.00       |

Abb. 6: Input/Output – Chlorhydrinsynthese zur Herstellung von Propylenoxid

In der gezeigten Input/Output Bilanz sind jeweils die Verhältnisse der jeweiligen Stoffe angegeben. Die Gewichtseinheit ist damit frei wählbar. Im Anschluss an die Erstellung der Sachbilanz erfolgte die Auswertung auf Grundlage der Sachbilanzergebnisse.

## Die Auswertung

Wie bereits beschrieben, wurde bei der betrachteten Arbeit eine Wirkungsauswertung nicht durchgeführt. Für den Vergleich des Herstellungsweges der beiden Lacke nach Ihrer Umweltauswirkung wurden lediglich vier Sachbilanzparameter herangezogen. Aufgrund dieser Vorgehensweise konnten aus der Bilanz keine absoluten Ergebnisse ermittelt werden. Allerdings erlaubt ein solches Vorgehen bestehende Tendenzen zu bestimmen und Optimie-

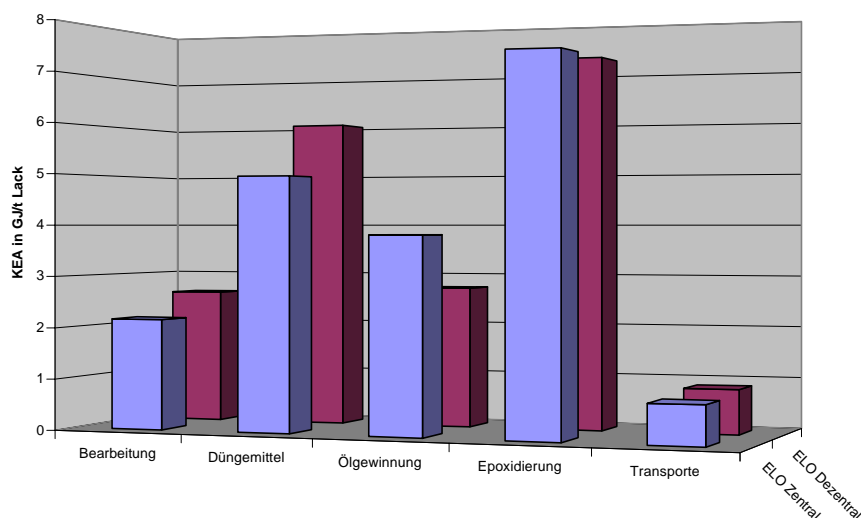
rungspotentiale aufzuzeigen. Bei der Auswertung wurden sowohl die einzelnen Prozessabschnitte innerhalb eines Bilanzraumes gegeneinander als auch die beiden Produkte miteinander verglichen. Nach folgenden Kategorien wurde ausgewertet:

- Kumulierter Energieaufwand (KEA)
- Kohlendioxid Emissionen (CO<sub>2</sub>)
- Stickoxid Emissionen (NO<sub>x</sub>)
- Ressourcenverbrauch (Energieträger)

Die Kohlendioxid- und die Stickoxidemissionen sowie der Verbrauch an nicht regenerativen Energieträgern sind mehrheitlich an die Erzeugung und den Verbrauch von Energie gekoppelt. Vor diesem Hintergrund werden in dieser Zusammenfassung nur die Ergebnisse des Kumulierten Energieaufwands (KEA) dargestellt. Der Kumulierte Energieaufwand KEA gibt die Gesamtheit des primärenergetisch bewerteten Aufwandes an, der in Zusammenhang mit der Herstellung, Nutzung und Beseitigung eines ökonomischen Gutes entsteht bzw. diesem ursächlich zugewiesen werden kann.

### **Kumulierter Energieaufwand - Bilanzraum Leinölepoxid**

Bilanziert wurden die unterschiedlichen Prozessbestandteile der Herstellung von epoxidiertem Leinöl. Die in der Sachbilanz gegliederten Werte für KEA (KEA fossil, KEA Wasserkraft, KEA Kernenergie, KEA unspezifiziert) wurden zu KEA gesamt zusammengefasst.



**Abb. 7: KEA – Bilanzraum Leinölepoxid**

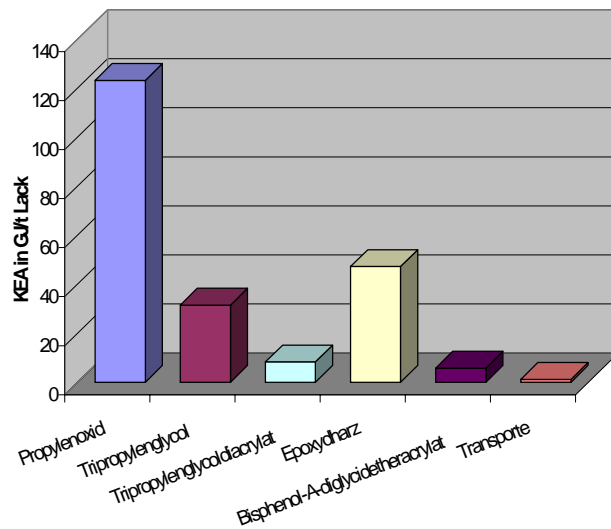
Der Prozessschritt Transporte beinhaltet alle im Stoffstromnetz ausgewiesenen Transportschritte. Die Transporte von Düngemitteln wurden jedoch dem Bereich Düngemittel zugeordnet. In der graphischen Darstellung (*Abb. 7*) ergibt sich für die beiden Szenarien folgendes Bild:

Wie ersichtlich ist, liegen die Werte des Kumulierten Energieaufwands bei der Bearbeitung und beim Prozessabschnitt Düngemittel im Szenario „dezentrale Verarbeitung“ leicht über den Werten der „Zentralen Verarbeitung“. Diese Unterschiede werden durch die Art der Ölgewinnung hervorgerufen. Die Ölgewinnung verläuft bei der „dezentralen Verarbeitung“ ohne einen Extraktionsschritt. Bei einem Entölungsgrad von 81 % verbleiben damit pro Tonne Saat rund 76 kg Öl im Leinkuchen. Es muss somit mehr Saat angebaut werden, um die zur Weiterverarbeitung benötigten Mengen Rohleinöl zu erzeugen, somit wird mehr Energie benötigt.

Ein höherer Energieaufwand bei der zentralen Ölgewinnung lässt sich über die Tatsache erklären, dass hier eine Extraktion durchgeführt wird, für die thermische Energie benötigt wird. Der Schritt der Extraktion fehlt beim Szenario „dezentrale Verarbeitung“. Auch bei den Transportprozessen gibt es Unterschiede im Energieaufwand. Diese lassen sich dadurch erklären, dass der angenommene Transportanteil der Binnenschifffahrt bei der Weiterverarbeitung der Saat in einer zentral gelegenen Ölmühle sehr hoch ist, während bei einer dezentral gelegenen Ölmühle das dort gewonnene Leinöl über die Straße zur Weiterverarbeitung befördert wird.

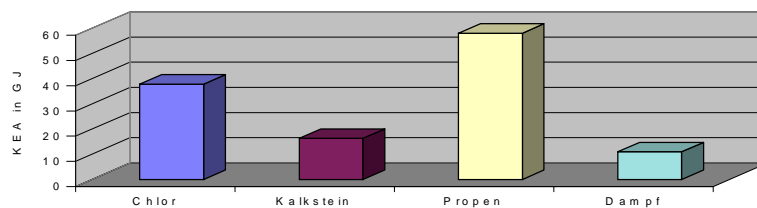
### **Kumulierter Energieaufwand - Bilanzraum petrochemisches Lackbindemittel**

Entsprechend der Bearbeitung des Bilanzraumes Leinölepoxid wurden auch hier die unterschiedlichen Arten des Kumulierten Energieaufwands zu KEA gesamt zusammengefasst (*Abb. 8*). Die im Prozessabschnitt Transporte zusammengefassten Transportschritte entsprechen den im Stoffstromnetz ausgewiesenen Beförderungsprozessen. Die Prozessabschnitte Tripropylenglykoldiacrylat und Bisphenol-A-diglycidetheracrylat beinhalten bereits die Energiegutschrift aus der Acrylsäureproduktion.



**Abb. 8: KEA – Bilanzraum petrochemisches Lackbindemittel**

Der Energieaufwand für die Produktion von Tripropylenglykoldiacrylat wird bestimmt durch die Herstellung von Propylenoxid. Auch die gesamte Energieaufwendung zur Produktion von einer Tonne des verarbeitungsfähigen Lackes wird durch die hohen KEA Werte der Propylenoxidproduktion dominiert. Es sind vor allem die Prozesse der Gewinnung der Vorprodukte Propen und Chlor für die sehr hohe Energiemengen bereitgestellt werden müssen. Zur Veranschaulichung wurden die Werte des Kumulierten Energieaufwandes der PO-Produktion nebeneinander gestellt (Abb. 9).



**Abb. 9: KEA - Produktion Propylenoxid**

Auch die Produktion von Tripropylenglykol weist einen hohen Energiebedarf aus. Dies ist auf den großen Überschuss Wasser zurückzuführen. Es werden große Energiemengen benötigt, um dieses Wasser in die Dampfphase zu überführen und den für die Reaktion benötigten Druck bereitzustellen.

Mit rund 8 GJ ist die Herstellung von TPGDA ein Prozessabschnitt, der im Vergleich zur für die Lackproduktion benötigten Gesamtenergie wenig Energie verzehrt. Unter anderem entsteht dieser Wert durch eine Gutschrift, die aus der Produktion der Acrylsäure herrührt. Dort werden pro Tonne Acrylsäure 18.8 GJ thermische Energie gutgeschrieben, die an andere Abnehmer weitergeleitet wird und so die Einsparung von Primärenergieträgern ermöglicht.

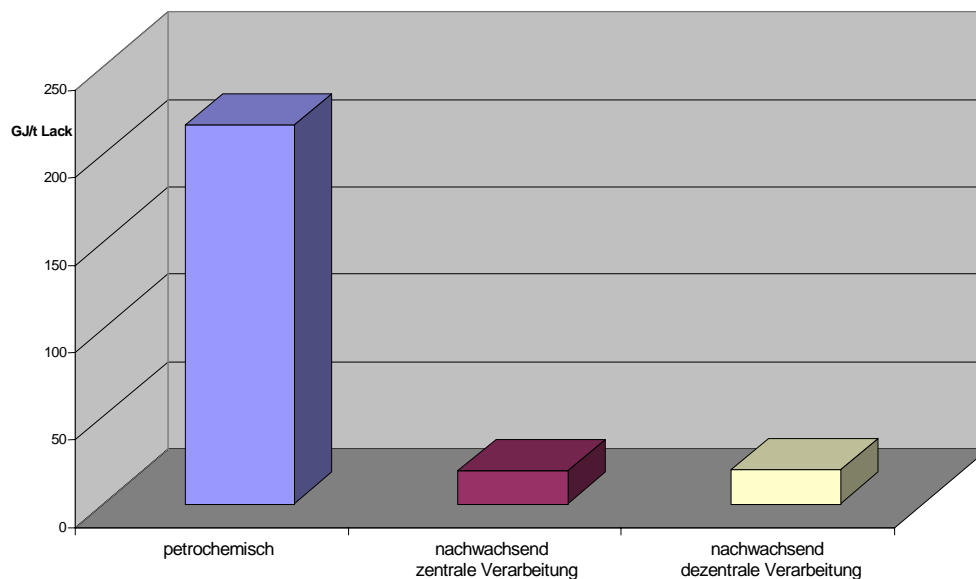
DGEBA wird über mehrere Syntheseschritte aufgebaut, die alle im Prozessabschnitt Epoxidharz zusammengefasst sind. Neben der Propylenoxidproduktion ist dies ein weiterer energieintensiver Arbeitsschritt.

Die Produktion von DGEABA aus dem Epoxidharz erfolgt unter den gleichen Reaktionsbedingungen wie die Herstellung von TPGDA. Auch hier kommt Acrylsäure zum Einsatz und die bei der Acrylsäureherstellung entstehende thermische Energie kann dem Prozess gutgeschrieben werden. Diese Gutschrift führt zu einem geringen Energieverbrauch des Teilprozesses im Vergleich zur, für die Herstellung des Lackbindemittels verbrauchten, Gesamtenergie.

Transportprozesse sind offensichtlich eine für den Kumulierten Energieaufwand des petrochemisch hergestellten Lackes nicht ins Gewicht fallende Größe. Gleichwohl tragen sie zu einem hohen Gesamtenergieverbrauch bei.

### **Kumulierter Energieaufwand - Vergleich der Bilanzräume**

In der abschließenden Bewertung des Kumulierten Energieverbrauchs wurden die verschiedenen Bilanzräume einander gegenübergestellt (*Abb. 10*). Hierbei zeigen sich für den auf Basis petrochemischer Rohstoffe hergestellten Lack wesentlich höhere KEA Werte als für ELO.



**Abb. 10: KEA - Vergleich der Bilanzräume**

## Diskussion

Anhand der Ergebnisse lässt sich ableiten, dass unter den gegebenen Randbedingungen und den ausgewerteten Kategorien der Einsatz von Leinölepoxid als UV-härtbarer Lack sinnvoll ist. Die Ergebnisse sind jedoch nicht als absolut und endgültig anzusehen. Im vorliegenden Projekt wurden, wie in der Bilanzierung üblich, auf Literaturdaten und Angaben von Herstellern zurückgegriffen und eigene Berechnungen und Schätzungen in die Sachbilanz aufgenommen. Aufgrund dieser Methodik ist ein größerer Fehlerbereich der Ergebnisse möglich. Mit sich ändernden Randbedingungen ist ebenfalls eine Änderung der Ergebnisse wahrscheinlich. So könnten Neuerungen im Syntheseweg des petrochemischen Lackbindemittels starke Verbesserungen der Werte dieses Bilanzraumes mit sich bringen. Schon die Substitution der Propylenoxidproduktion durch ein weniger energie- und stoffintensives Verfahren könnte die Umweltlast des petrochemischen Lackbindemittels deutlich senken. Auch die Nutzung der Abwärme von Prozessabschnitten an einem Verbundstandort, hätte eine Reduktion der Emissionen und des Ressourcenverbrauches zur Folge. Unter den gegebenen Bedingungen sind die Unterschiede in den beiden Bilanzräumen jedoch teilweise so deutlich, dass eine Umkehrung der beschriebenen Vorteile in ihr Gegenteil wenig wahrscheinlich ist.

Mit der Studie konnte gezeigt werden, dass nachwachsende Rohstoffe umso vorteilhafter sind, je komplexer das petrochemische Konkurrenzprodukt ist bzw. je mehr Syntheseschritte zu dessen Herstellung benötigt werden. Das wird besonders dann deutlich, wenn die Pflanze

ein chemisch anspruchsvolles, "hochveredeltes" Produkt bereitstellt. Hier zeigt sich auch, dass eine "chemische" Nutzung von Bioprodukten den ökologischen Vorrang vor deren thermischer Nutzung haben sollte. Die durch eine industrielle Nutzung der nachwachsenden Rohstoffe eingesparte Primärenergie scheint höher, als die durch die Nutzung nachwachsender Rohstoffe als Energiepflanzen bereitstellbare Energie.

Vorraussetzung für Vorteile bei der Nutzung nachwachsender Rohstoffe ist eine ertragreiche Pflanze mit einer pro Anbaufläche hohen Ausbeute am gewünschten Stoff. Der Vorteil der nachwachsenden Rohstoffe minimiert sich oder kann sich in das genaue Gegenteil verkehren, wenn die Erträge pro Anbaufläche gering sind. Wichtig ist also der Aufwand und die Zahl der Arbeitsschritte für die Produktion eines Stoffes.

- 
- [1] Bartmann, D., Peters, H., Lott, A., Sack, W., Metzger, J.O., Diehlmann, A., Kreisel, G. 2000. *Strahlenpolymerisierbare lösemittelfreie Schutz- und Dekorationsbeschichtungen für Holz und Holzwerkstoffe auf Basis nachwachsender heimischer Rohstoffe*. DBU-Az. 08150.