

ABSCHLUSSBERICHT

Ökobilanzieller Vergleich der Herstellung von High-Solid-Alkydharz mit Acrylat

Bei diesem Bericht handelt es sich um eine Version, bei der Informationen aus Vertraulichkeitsgründen entfernt wurden.

ifu Hamburg GmbH
Max-Brauer-Allee 50
22765 Hamburg
Tel.: +49-(0)40-480009-0
Website: www.ifu.com

Hamburg, Dezember 2011

Inhalt

1	Ziel der Studie, Untersuchungsrahmen und Systemgrenze.....	3
2	Herstellung des HS-Alkyds.....	3
3	Herstellung von Acrylat	5
4	Bewertung.....	6
5	Diskussion	12
6	Literaturverzeichnis	16
7	Anhang.....	17

1 Ziel der Studie, Untersuchungsrahmen und Systemgrenze

Ziel der Studie ist es, die Umweltauswirkungen der Herstellung von High-Solid-Alkydharz (HS-Alkyd) mit dem Referenzprozess der Herstellung von Acrylatharz (Acrylat) zu vergleichen. Beides sind Bindemittel, die anschließend zu Anstrichen weiter verarbeitet werden. Sowohl für das HS-Alkyd, als auch für das Acrylat wird „cradle to gate“ als Systemgrenze gewählt. Dies bedeutet, dass die Herstellung inklusive aller Vorketten modelliert wird. Die Weiterverarbeitung, Nutzung der Endprodukte sowie deren Entsorgung wird nicht betrachtet.

Das Vorgehen erfolgt in Anlehnung an ISO 14040 und 14044 (siehe auch Abbildung 1). Es handelt sich bei dieser Arbeit um eine Vorstudie. Eine vollständige Ökobilanz inklusive einem *critical review*, welches bei einer vergleichenden, für die Öffentlichkeit bestimmten Ökobilanz gefordert ist, wird hier nicht durchgeführt. Als funktionelle Einheit wird die Herstellung von 15 000 kg HS-Alkyd gewählt. Dies entspricht der typischen Größe für eine Charge. Da HS-Alkyd einen deutlich höheren Festkörperanteil aufweist als das Acrylat, wird diesem eine entsprechend höhere Menge Acrylat gegenüber gestellt, um die gleiche Menge Festkörper zu betrachten.

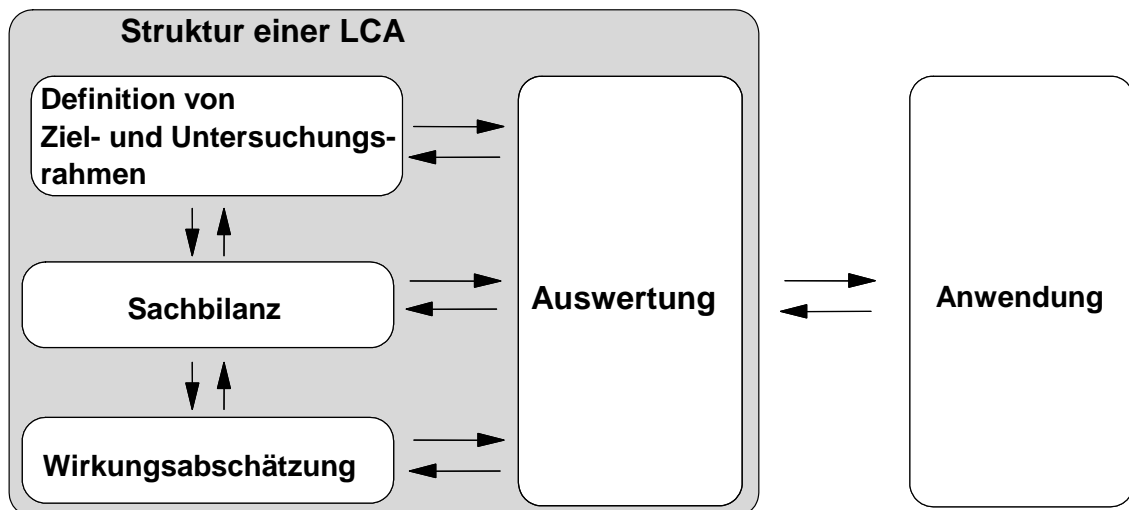


Abbildung 1: Struktur einer LCA nach ISO 14040 und ISO 14044

Die Modellierung der verschiedenen Szenarien wird im Stoffstrom-Programm Umberto (ifu Hamburg GmbH) durchgeführt. Zur Modellierung der Vorketten wurden Daten aus der Ecoinvent-Datenbank (Swiss Center for Life Cycle Inventories 2007) genutzt. Die benötigten Daten zur Herstellung des HS-Alkyds sowie des Acrylats werden von der HOBUM Oleochemicals GmbH zur Verfügung gestellt. In Kapitel 2 werden die Modelle zur Herstellung von HS-Alkyd beschrieben, wobei drei verschiedene Szenarien modelliert wurden, in Kapitel 3 die Herstellung von Acrylat.

Anschließend erfolgt die Bewertung mittels der CML-Methode (Institute of Environmental Sciences 2001) und zusätzlich mit dem Ecoindicator 99 (EI99). Die Ergebnisse werden in Kapitel 4 zusammenfassend dargestellt und in Kapitel 5 abschließend diskutiert.

2 Herstellung des HS-Alkyds

HS-Alkyd wird zu einem beträchtlichen Teil aus Fettsäuren aus nachwachsenden Rohstoffen hergestellt. Für diesen Bericht werden drei verschiedene Szenarien betrachtet,

die sich bezüglich der Herstellung der Fettsäuren unterscheiden. Die Hauptbestandteile des HS-Alkyds sind in Abbildung 2 aufgeführt. Neben Fettsäure sind dies Phthalsäureanhydrid (PSA) sowie Pentaerythrit und aromatenfreies Testbenzin. Dazu kommt weiteres Lösungsmittel zur Reinigung. Es entsteht Reaktionswasser, das in der thermischen Nachverbrennung (TNV) verbrannt wird. Die entstehende Wärme wird wiederum dem Prozess zugeführt.

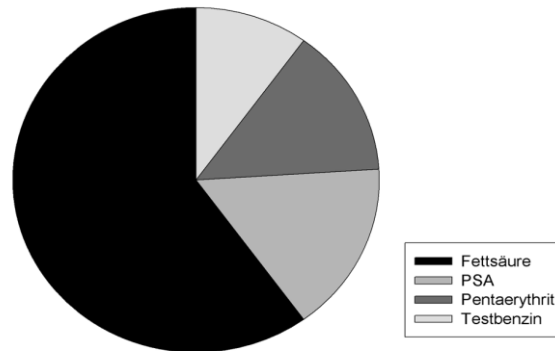


Abbildung 2: Zusammensetzung des HS-Alkyds. Fettsäuren aus nachwachsenden Rohstoffen machen 60% der Rohstoffe aus.

Tabelle 1 gibt für die Transitionen jeweils die Prozesse an. Abbildung 3 zeigt das modellierte Netz.

Tabelle 1: Prozesse des Modells

Transition	Name, Quelle
T1	Zusammensetzung laut Abbildung 2, zusätzlich Energiebedarf und Reinigung
T2	Subnetz, Herstellung von Fettsäuren
T3	PSA, "phthalic anhydride, at plant" (Swiss Center for Life Cycle Inventories 2007)
T4	Pentaerythritol "penta-erythritol, at plant" (Swiss Center for Life Cycle Inventories 2007)
T5	Testbenzin, "white spirit, at plant" (Swiss Center for Life Cycle Inventories 2007)
T6	Verrechnung Wärme, teilweise Nutzung der Wärme aus TNV, restliche Wärme aus T9
T7	Angepasster Prozess „hazardous waste, to hazardous waste incineration plant“ (Swiss Center for Life Cycle Inventories 2007), Anteil der Wärme (Y838-Y841) geht in die TNV
T9	„heat, unspecific, in chemical plant“ (Swiss Center for Life Cycle Inventories 2007)

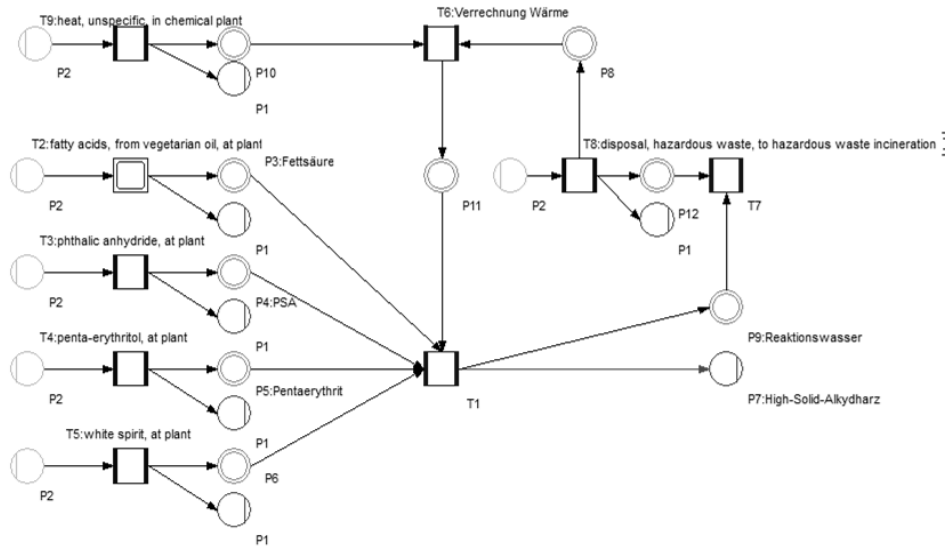


Abbildung 3: Struktur des Modells zur Herstellung von HS-Alkyd

Es wurden insgesamt drei HS-Alkyd-Szenarien modelliert, die sich jeweils in der Herkunft der Fettsäuren unterscheiden. Diese werden im Folgenden als Alkyd 1, Alkyd 2 und Alkyd 3 bezeichnet. Weitere Informationen zur Modellierung der Szenarien inklusive Allokation sind in der Originalfassung dieses Berichts zu finden. Bei allen Alkydszenarien kommen Fettsäuren pflanzlicher Herkunft zum Einsatz. Abbildung 4 zeigt die Struktur des Subnetzes ‚Fettsäuren‘ eines der Szenarien.

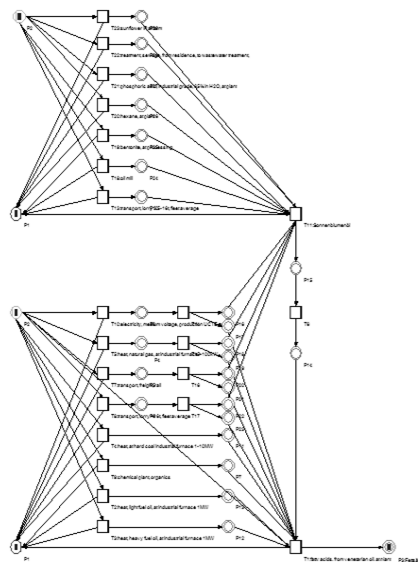


Abbildung 4: Struktur des Subnetzes T2 zur Herstellung von Fettsäuren

3 Herstellung von Acrylat

Die Herstellung von Acrylat wurde auf Grundlage des Ecoinvent-Datensatzes „Acrylatbinder“ modelliert. Dieser wurde um Butylglykol ergänzt. Zum Einstellen des pH-Wertes wurde Ammoniak verwendet. Die benötigte Energie wird durch den Prozess „electricity, medium voltage, production UCTE, at grid“ zur Verfügung gestellt. Als Bio-

zid kommt Glutaraldehyd zum Einsatz. Bei der Reinigung fallen saure Abwässer an, die entsorgt werden müssen.

Tabelle 2: Verwendete Prozesse Acrylat

Transition	Name, Quelle
T1	acrylic binder, 34% in H2O, at plant (Swiss Center for Life Cycle Inventories 2007)
T2	Ammoniak "ammonia, liquid, at regional storehouse" (Swiss Center for Life Cycle Inventories 2007)
T3	Butylglykol, "ethylene glycol monoethyl ether, at plant" (Swiss Center for Life Cycle Inventories 2007)
T8	Elektrizität "electricity, medium voltage, production UCTE, at grid" (Swiss Center for Life Cycle Inventories 2007)
T9	Glutaraldehyd (ifu Hamburg GmbH 2010)

4 Bewertung

Die Bewertung der Modelle erfolgte mit dem **Bewertungssystem CML** (Institute of Environmental Sciences 2001). In Tabelle 3 werden die drei Alternativen jeweils in den verschiedenen Wirkungskategorien untereinander verglichen. Um den Einfluss der vorgenommenen Allokationen auf das Endergebnis darzustellen, befindet sich eine entsprechende Tabelle mit den Szenarien, in denen die Preis- durch eine Masseallokation ersetzt wurde im Anhang. Zusätzlich wurden die Szenarien jeweils mit dem Ecoindicator 99 bewertet (s.u.).

Tabelle 3: Vergleich der Wirkungskategorien. Grün ist jeweils die Variante mit den geringsten Auswirkungen in der entsprechenden Wirkungskategorie markiert. Die darauffolgenden Alternativen sind jeweils nach der Reihenfolge gelb, orange, rot markiert. Die Abweichung zum besten Prozess der Wirkungskategorie wird in % angegeben.

Wirkungskategorie	Alkyd 1	Alkyd 2	Alkyd 3	Acrylat
Versauerungspotential	64%	39%	143%	
Klimawandel	3%	15%	54%	
Eutrophierungspotenzial	18%	303%	394%	
Ionisierende Strahlung	25%		5%	63%
Gerüche	2231%		12%	69%
Landnutzung	24438%	8712%	9535%	
Stratosphärischer Ozonabbau	67%	52%	90%	
Sommersmog		64%	68%	58%
Ressourcenverbrauch	12%		15%	14%
Humantoxizität	7%		21%	492%
Toxizität, Süßwasser, Sediment	33%		185%	50%
Toxizität, Süßwasser, Wasser	31%		411%	52%

Toxizität, Meer, Wasser	30%		16%	49%
Toxizität, Meer, Sediment	31%		16%	44%
Toxizität, terrestrisch	41%	739%	832%	

Die **Abbildungen 5 bis 7 zeigen einen normierten Vergleich** der Wirkungskategorien. Bei der Normierung werden die berechneten, potentiellen Umweltauswirkungen auf die jeweilige Gesamt-Umweltauswirkung eines Gebietes bezogen. Damit gelingt es, die Umweltwirkungen in ein Verhältnis zur jeweiligen Gesamtemission zu bringen und die Wirkungskategorien können so bezüglich ihres Anteils am jeweiligen Gesamtpotential untereinander verglichen werden. Als Normierungsgrundlage wurden die Werte für „EU25+3“ aus dem Jahr 2000 (veröffentlicht von Sleeswijk et al., 2008) gewählt. Wegen der stark abweichenden Größenordnung werden die Toxizitätswerte und Ressourcenverbrauch getrennt von den restlichen Wirkungskategorien dargestellt. Für die Wirkungskategorie „Gerüche“ liegt keine Normierungsgrundlage vor.

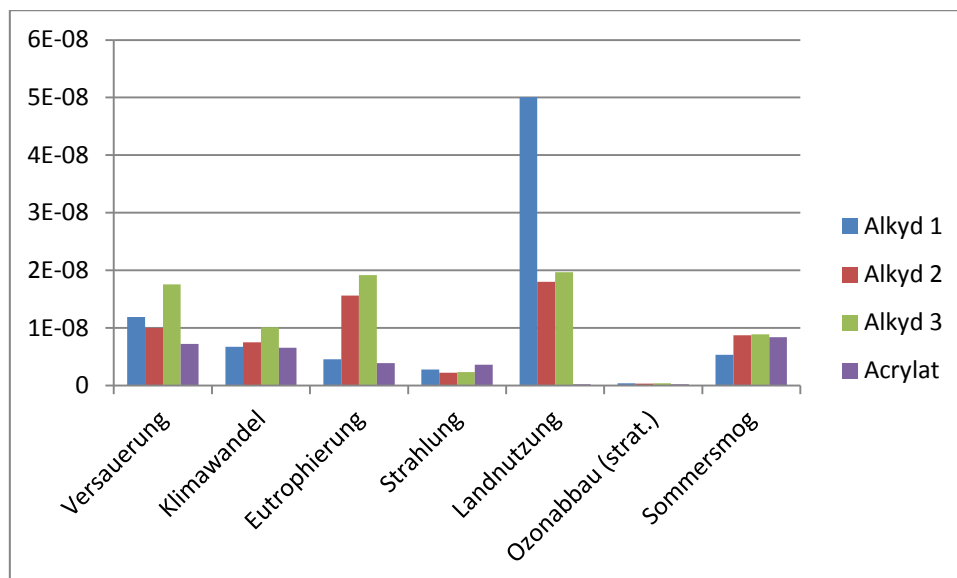


Abbildung 5: Vergleich der Wirkungskategorien (normierte Werte) für die verschiedenen Szenarien.

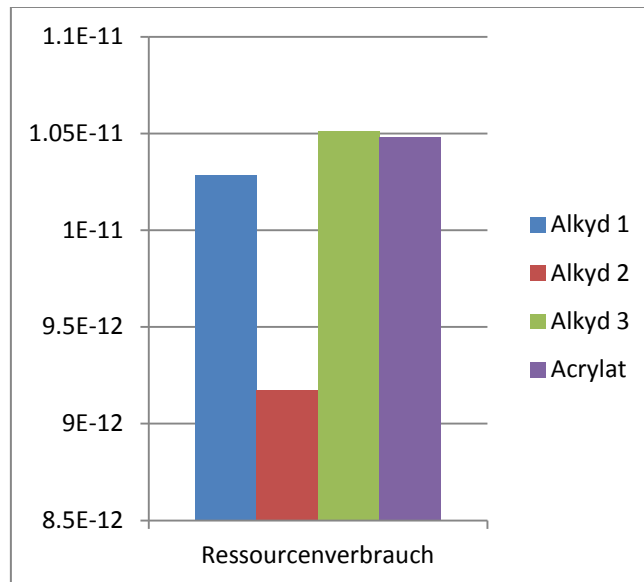


Abbildung 6: Normierte Darstellung der Wirkungskategorie "Ressourcenverbrauch".

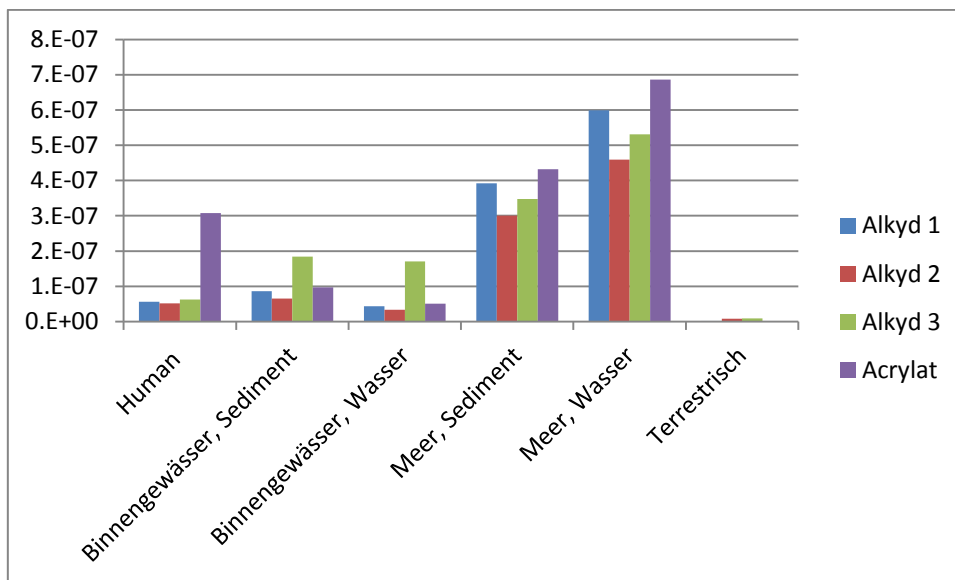


Abbildung 7: Vergleich der Wirkungskategorien für Ökotoxizität (normierte Werte) für die verschiedenen Szenarien.

Die Berechnung der jeweiligen Wirkungskategorien mit der CML Methode erfolgt nach objektiven, wissenschaftlichen Modellen. Eine objektive Bewertung dieser Kategorien untereinander gibt es nicht. Das Umweltbundesamt nutzt daher den Ansatz der Hierarchisierung: Welche Wirkungskategorie hat eine größere ökologische Relevanz?

Dafür ordnen Schmitz und Paulini (1999) verschiedene Wirkungskategorien Prioritäten von A bis E zu. In die Klasse A, der die höchste Priorität zugeordnet wird, fallen dabei beispielsweise der Klimawandel, der stratosphärische Ozonabbau sowie die „Naturraumbeanspruchung“. Eutrophierung und Versauerung fallen in die Gruppe B. Diese Hierarchisierung für die verschiedenen Wirkungskategorien ist in Tabelle 4 zusammengefasst. Laut Schmitz und Paulini (1999) ist eine zusammenfassende Hierarchisierung der ökotoxikologischen Wirkungskategorien nicht möglich.

Tabelle 4: Hierarchisierung nach "ökologischer Gefährdung" laut (Schmitz und Paulini 1999)

Wirkungskategorie	Ökologische Gefährdung
Naturraumbeanspruchung	A
Stratosphärischer Ozonabbau	A
Treibhauseffekt	A
Eutrophierung (terrestrisch und aquatisch)	B
Versauerung	B
Ressourcenbeanspruchung	C
Photochemische Oxidantenbildung / Sommersmog	D

In den Abbildungen 8 und 9 sind die Alkyd-Szenarien 1 und 2 dem Acrylat-Verfahren mit dieser Hierarchisierung gegenübergestellt. Dabei wurden unterschiedliche Allokationsmethoden, einmal nach Masse und einmal nach Preis, angewendet.

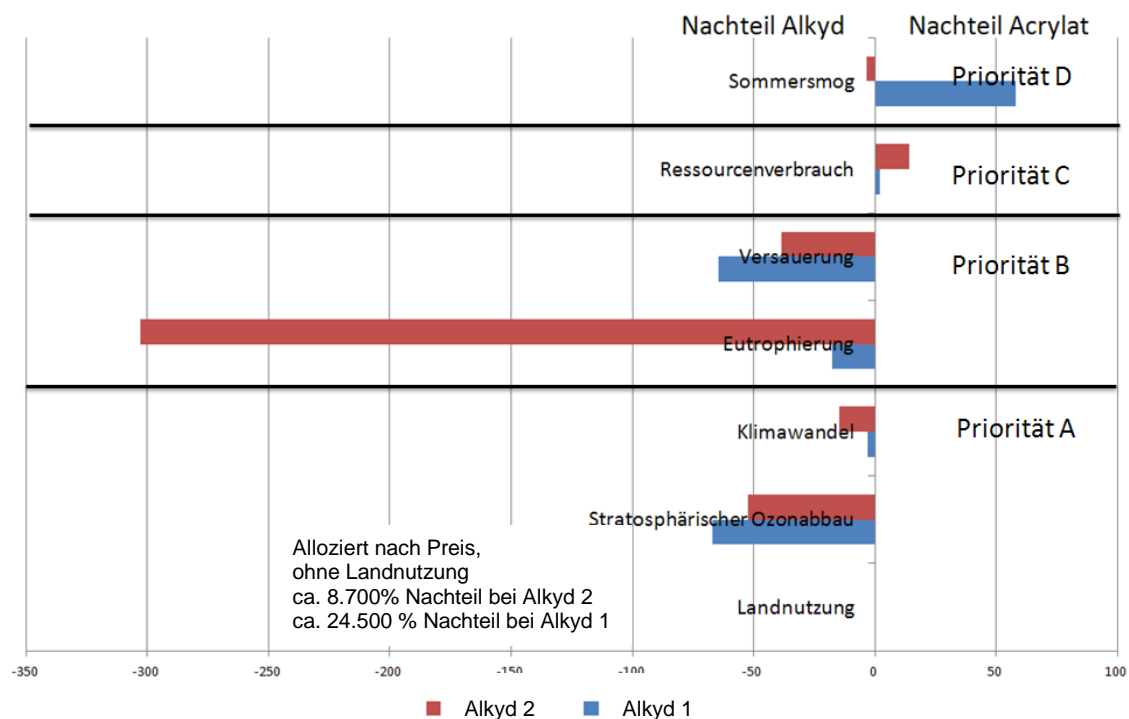


Abbildung 8: Vergleich der Alkyd-Szenarien 1 und 2 mit dem Acrylatverfahren. Die Allokation wurde hier nach Preis vorgenommen.

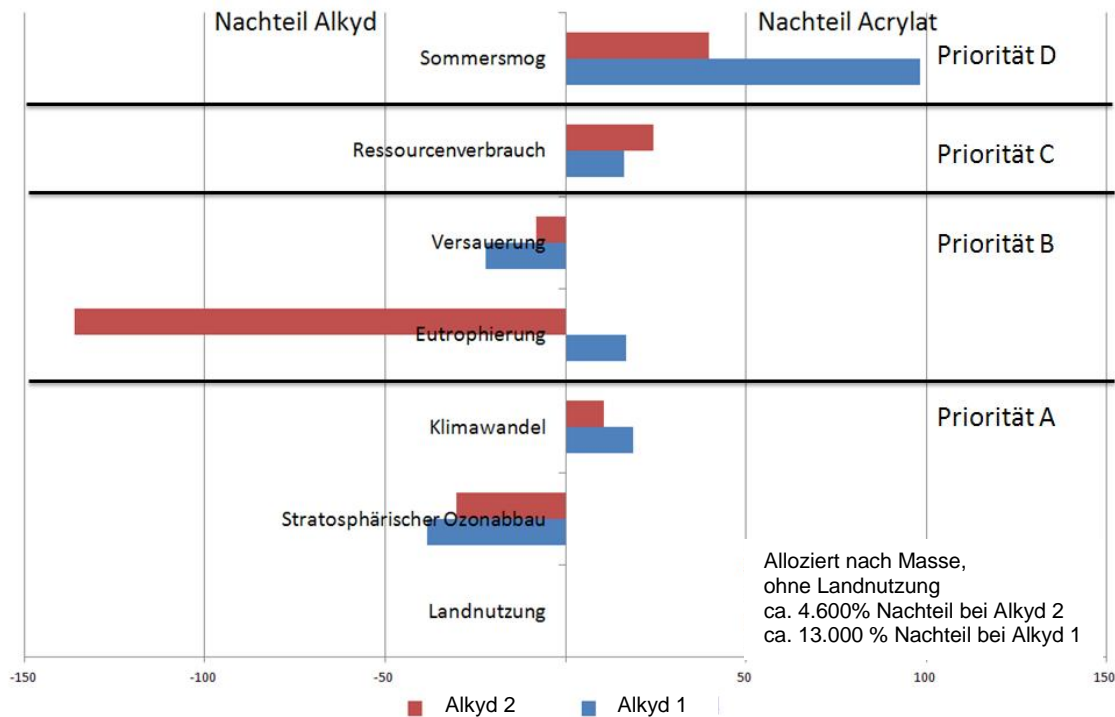


Abbildung 9.: Vergleich der Alkyd-Szenarien 1 und 2 mit dem Acrylatverfahren: Die Allokation wurde hier nach Masse vorgenommen.

Es zeigt sich, dass bei einer Allokation nach Preis das Acrylatverfahren gegenüber den beiden Alkydverfahren nur Nachteile in den niedriger priorisierten Wirkungskategorien Ressourcenverbrauch (Priorität C) und Sommersmog (Priorität D) hat. Hier schneidet das Acrylatverfahren aus ökologischer Sicht eindeutig besser ab. Wird nach Masse alloziert, so verschieben sich die einzelnen Ergebnisse der Wirkungskategorien. Das Acrylatverfahren hat nun neben den Nachteilen in den Kategorien Sommersmog und Ressourcenverbrauch auch Nachteile in den mit B- und A-priorisierten Wirkungskategorien Eutrophierung und Klimawandel. Nach wie vor schlägt die Landnutzung bei den Alkyd-Szenarien, welche auch eine hohe Priorisierung hat, sehr stark durch. In dieser Kategorie schneidet das Alkyd-Szenario 1 am schlechtesten ab. Dennoch hat das Verfahren in 4 von 7 Wirkungskategorien (Sommersmog (D), Ressourcenverbrauch (C), Eutrophierung (B) und Klimawandel (A) nun Vorteile gegenüber dem Acrylat-Szenario. Bei dem Alkyd 2-Verfahren verhält es sich ähnlich. Nur in der Kategorie Eutrophierung behält es seinen Nachteil. Insgesamt ist auch mit dieser Allokation (nach Masse) zu erkennen, dass das Acrylat-Verfahren aufgrund des besseren Abschneidens in den mit A-priorisierten Kategorien, Vorteile hat. Die Frage nach dem ökologisch besseren Alkyd-Szenario ist nicht einfach zu klären, da beide Verfahren in den unterschiedlichen Wirkungskategorien jeweils Vor- und Nachteile haben.

Zusätzlich zu der Bewertung mit der CML-Methode wurde eine Bewertung mit dem EI99 durchgeführt. Im Gegensatz zur CML-Methode wird das Ergebnis hier aggregiert. Dies wird dadurch erreicht, dass anders als bei der CML-Methode, die Ergebnisse in den Wirkungskategorien untereinander durch ein Gewichtungsschema zu einer Kennzahl zusammengefasst werden. Abbildung 10 zeigt die aggregierten Ergebnisse für die vier verschiedenen Szenarien mit dem EI 99, aufgeschlüsselt nach den Hauptkategorien Ressourcen, Gesundheit und Ökosystem. Die Ergebnisse werden wiederum einmal mit einer Preis- und einmal mit einer Masse-Allokation dargestellt.

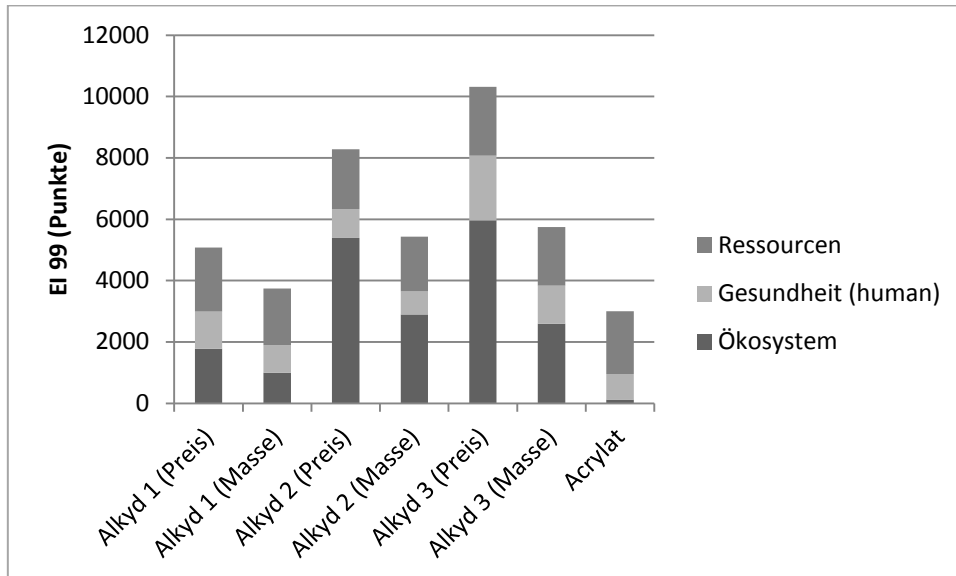


Abbildung 10: Ergebnis der Ecoindicator-Methode. Die Alkyd-Szenarien wurden jeweils einmal mit einer Preis und einmal mit einer Masseallokation ausgewertet.

Nach dieser Bewertungsmethode schneidet das Acrylatverfahren in beiden Allokationsmethoden am besten ab. Die Allokationsmethoden haben auch keinen Einfluss auf die Reihenfolge unter den Alkyd-Szenarien: Hier ist das Szenario Alkyd 1 am günstigsten, gefolgt vom Szenario Alkyd 2. Das Szenario Alkyd 3 schneidet hier am ungünstigsten ab.

Durch die Darstellung der Wirkungspotenziale als EI99-Punkte kann eine nähere Betrachtung der größten Verursacher von Umweltauswirkungen in den einzelnen Modellen gut sichtbar gemacht werden. Abbildung 11 zeigt die Disaggregation der Ergebnisse für die Alkyd-Szenarien, Abbildung 12 für den Acrylatprozess.

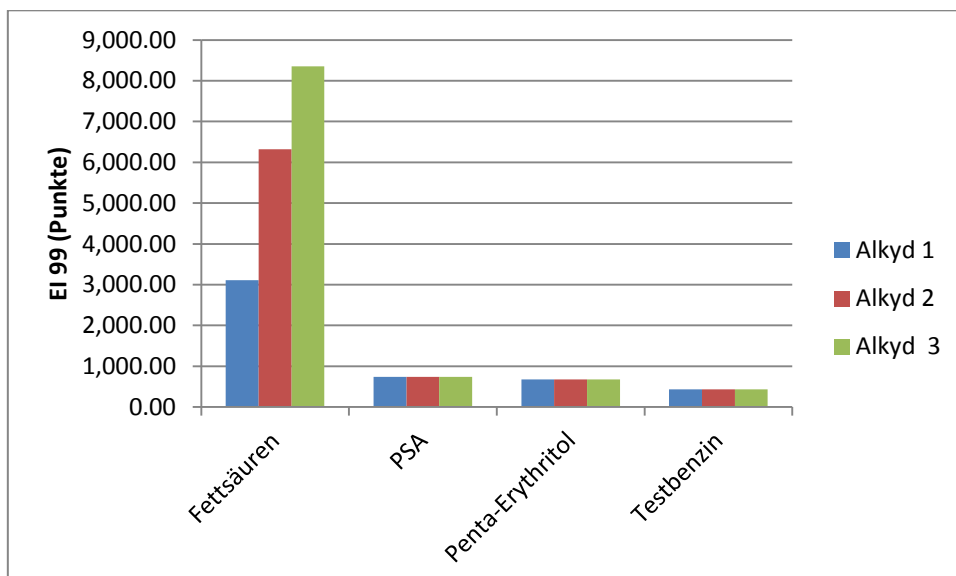


Abbildung 11: Verteilung der EI99-Punkte für die Alkydszenarien. Entsorgung und Energie sind in dieser Abbildung nicht dargestellt, da sie bei der Skalierung nicht sichtbar sind.

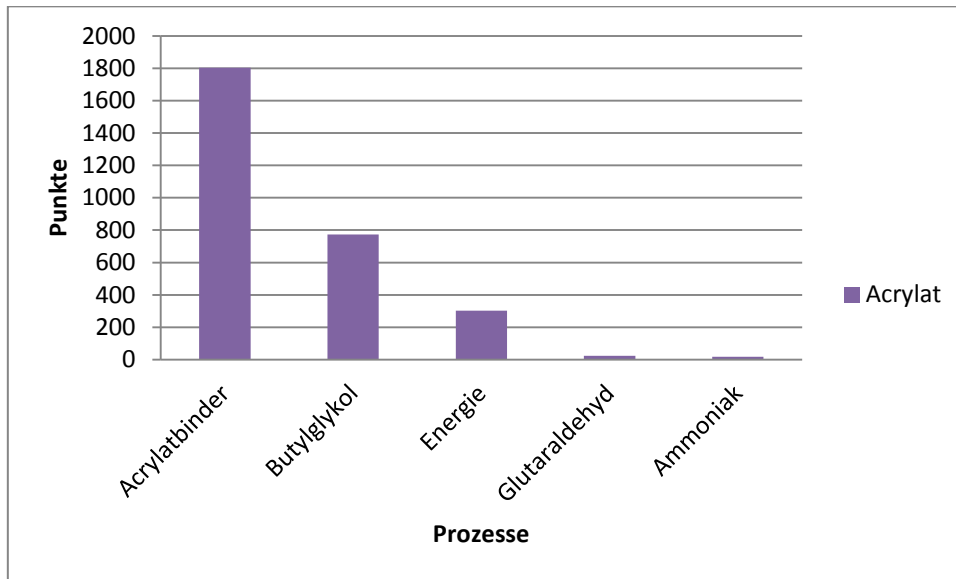


Abbildung 12: Verteilung der EI99-Punkte für die Acrylatherstellung. Wasser und Entsorgung nehmen hierbei so geringe Werte an, dass sie auf dieser Skala nicht dargestellt werden können.

Durch die Abbildungen 11 und 12 wird deutlich welche Prozesse den größten Beitrag zu den verursachten Umweltauswirkungen haben. Bei den Alkyd-Szenarien ist dies vor allem die Herstellung der Fettsäuren. Bei der Herstellung von Acrylat leistet der Acrylatbinder, gefolgt von Butylglykol den größten Beitrag. Im Gegensatz zur Herstellung von Alkyd leistet die Energie hier einen größeren Beitrag zu den Gesamtauswirkungen.

5 Diskussion

In Kapitel 4 sind Ergebnisse aus zwei ökologischen Bewertungsmethoden dargestellt. Ein ganz wichtiger Aspekt bei der Betrachtung dieser Ergebnisse ist, zu wissen, wie diese Ergebnisse zu interpretieren sind. In den ISO Normen 14044 und 14044 wird bei vergleichenden, für die Öffentlichkeit bestimmten Analysen explizit gefordert, dass keine Methoden verwendet werden dürfen, die nur eine hochaggregierte Kennzahl als Ergebnis liefern. Hintergrund ist hier die subjektive Bewertung der Bedeutung von den jeweiligen Wirkungskategorien untereinander. Vielmehr wird in den Normen ein Ansatz gefordert, der die Ergebnisse einer ausreichenden Anzahl von Wirkungskategorien untereinander verbal argumentativ vergleicht. Dieser Prozess ist nicht trivial, weswegen das Umweltbundesamt den Ansatz der Priorisierung von Umweltwirkungskategorien zur Unterstützung veröffentlicht hat (Schmitz und Paulini, 1999). Für interne Zwecke dürfen allerdings Methoden verwendet werden, die nur eine Kennzahl als Ergebnis liefern, wie z.B. den Ecoindicator99. Die Ergebnisinterpretation wird dadurch vereinfacht, es darf aber nicht versäumt werden, die Ergebnisse der einzelnen Wirkungskategorien detailliert zu betrachten. Mit Umberto ist dies bei der Ecoindicator-Methode noch nicht möglich, weswegen wir in dieser Studie auch den international akzeptierten CML-Ansatz gewählt haben.

Beide verwendeten Methoden (CML und EI99) sollen nun nacheinander diskutiert werden. Außerdem sollen die Ergebnisse mit Literaturwerten verglichen werden.

Bei der Analyse der Ergebnisse zeigte sich die große Bedeutung der gewählten Allokationsmethoden. Verteilt man die ökologischen Belastungen einer Produktion eines Produktes gemäß physikalischen Verhältnissen, also dem Verhältnis von produzierter Menge Hauptprodukt zu Nebenprodukt? Oder gewichtet man das Massenverhältnis zusätzlich mit dem zu erzielenden Preis? In der Datenbank Ecoinvent wird häufig nach Preis alloziert. So auch bei einem Datensatz der beim Szenario Alkyd 3 zum Einsatz kam. Die Allokation dieses Datensatzes bezieht sich auf die Preise von 1998 und alloziert 27% der Umweltauswirkungen auf das Öl. Eine Allokation nach aktuellen Preisen bedeutet jedoch eine Zuordnung der Umweltauswirkungen auf das Öl zu 47%. Die unterschiedliche Preisentwicklung der beiden Produkte führt also dazu, dass sich die dem Öl nach Preisallokation zugeordneten Umweltauswirkungen nahezu verdoppelt haben. Eine Allokation nach Masse ist dagegen stabil.

Tabelle 3 zeigt die prozentualen Unterschiede in den Wirkungskategorien der CML-Methode der einzelnen Szenarien. Eine erste Betrachtung der Ergebnisse zeigt (Allokation nach Preis), dass von 15 betrachteten Wirkungskategorien das Alkyd-Szenario 1 einmal, das Alkyd-Szenario 2 achtmal und Acrylat 6 mal den besten Wert erreicht. Das Alkyd-Szenario 3 erreicht zudem am häufigsten (neunmal) den schlechtesten Wert. Zieht man nun die Normierungsergebnisse aus den Abbildungen 5,6 und 7 zur weiteren Ergebnisinterpretation hinzu, so wird deutlich, dass neben der Toxizität die Wirkungspotentiale Flächennutzung, Eutrophierung und Versauerung einen höheren Anteil an der europäischen Gesamtumweltwirkung haben, als die anderen Kategorien. In diesen letztgenannten Kategorien schneidet das Acrylat-Verfahren jeweils am besten ab. Das erklärt u.a. auch das gute Abschneiden des Acrylat-Verfahrens bei der Anwendung des Ecoindicators99 (siehe Abb.:8): Der große Flächenbedarf zur Produktion von nachwachsenden Rohstoffen und die damit einhergehenden Umwelteinflüsse, die z.B. durch Düngung verursacht werden.

Bei den Toxizitätspotentialen zeigt der Acrylatprozess Nachteile. Mit Ausnahme des Szenarios Alkyd 3 schneidet Acrylat jeweils schlechter ab als die Alkydprozesse. Besonders deutlich ist der Unterschied bei der Humantoxizität. Die Toxizitätsmodelle sind jedoch in der Diskussion, da diese noch nicht hinreichend ausgereift sind. Daher sollte dieser Wirkungskategorie nicht allzuviel Bedeutung beigemessen werden, obwohl sie den größten Beitrag bei den normierten Ergebnissen zu Ungunsten des Acrylat-Datensatzes zeigen. Der Größenunterschied des Acrylatprozesses zu den Alkyd-Prozessen liegt hier jedoch in einer Größenordnung, die als Indikator dafür gesehen werden kann, dass hier tatsächlich Vorteile für die Alkydprozesse bestehen.

Unter Berücksichtigung der bei von Schmitz und Paulini (1999) entwickelten Hierarchisierung der ökologischen Gefährdung wird in den beiden Abbildungen 8 und 9 gezeigt, wie die beiden Alkydszenarien 1 und 2 gegenüber dem Acrylatverfahren abschneiden. Dargestellt sind ausschließlich die von Schmitz und Paulini (1999) in eine Prioritätsstufe eingeordneten Wirkungskategorien, und keine Toxizität. Außerdem wird der Einfluss der gewählten Allokationsmethode verdeutlicht. Es ist klar, dass die Ergebnisse mit einer Masse Allokation die Alkyd-Szenarien in ihrer Umweltperformance verbessert. Durch den Anbau nachwachsender Rohstoffe ist die Landnutzung bei den Alkydprozessen deutlich höher als beim Acrylatprozess. Zu beachten ist, dass diese Wirkungskategorie den Bedarf an Fläche abbildet, jedoch nicht betrachtet, was für eine Landnutzung vorher bestand.

Die zusätzliche Bewertung der vier Szenarien mit dem EI99 zeigt in der Tendenz ähnliche Ergebnisse wie die Bewertung mit der CML-Methode. Beim Vergleich der drei Alkyd-Szenarien schneidet das Szenario 3 am schlechtesten ab, am günstigsten das Szenario 1. Die Unterschiede bei der Interpretation der CML-Ergebnisse sind zwischen den Alkyd-Szenarien 1 und 2 nicht so eindeutig. Beim Vergleich der Alkyd-Szenarien mit dem Acrylat-Szenario schneidet das letztgenannte am besten ab. Der Grund hierfür ist das Gewichtungsschema; Landnutzung und damit einhergehende Umweltauswirkungen haben einen großen Einfluss auf das Ergebnis.

Die vorliegende Studie betrachtet einen „cradle-to-gate“ Ansatz als Systemgrenze. Bei der Beurteilung dieser Studie ist zu berücksichtigen, dass die Produktlebenszyklusphasen „Lack-Herstellung“, „Produktnutzung (Anwendung)“, „Distribution“, und „Entsorgung“ nicht bewertet wurden. Die Betrachtung des weiteren Herstellungsprozesses würde beispielsweise die weiteren für Alkydharz benötigten organischen Lösungsmittel umfassen, während Acrylat mit Wasser verdünnt werden kann. Allerdings muss Acrylat enthaltende Farbe auch weiteres Biozid als Topfkonserviere hinzugefügt werden, welches einerseits hergestellt werden müsste, auf der anderen Seite während der Anwendungsphase ins Grundwasser gelangen könnte. Eine umfassende LCA könnte darüber Aufschluss geben, was dies für das Gesamtergebnis bedeutet, dies war jedoch nicht Gegenstand dieser Studie.

Auch ist eine umfassende Analyse der Datenqualität und –Unsicherheit in dieser ökobilanziellen Betrachtung nicht möglich gewesen. Abweichungen von über 20% bei Massen- und energiespezifischen Daten sind bei identischen Verfahren in der Industrie keine Seltenheit (Prof. Hungerbühler, 2010).

Weiter ist im Sinne einer nachhaltigen Entwicklung (hier sollten ökologische, ökonomische und soziale Aspekte berücksichtigt werden) zu bedenken, dass Landwirtschaft einen nicht unwesentlichen Faktor für die Schaffung und Erhaltung von Arbeitsplätzen darstellt. Die landwirtschaftlichen Prozesse stellen außerdem, wie alle aus Ecoinvent entnommenen Datensätze einen gemittelten Wert dar, wodurch es zu Abweichungen kommen kann. Eine Sensitivitätsanalyse um diese Unsicherheiten zu beurteilen war nicht Gegenstand dieser Studie.

Die Aufschlüsselung der Gesamtergebnisse auf die einzelnen Prozesse zeigte noch einmal deutlich, welche Bestandteile wesentliche Beiträge zum Gesamtergebnis beitragen. Bei den Alkydprozessen ist dies die Fettsäure aus Pflanzenölen.

Der Anbau und die Nutzung der nachwachsenden Pflanzen als Rohstoff spielt hier eine entscheidende Rolle. Neben dem Landbedarf zum Ackerbau, werden die Auswirkungen der Düngung dieser Flächen in den Kategorien Eutrophierung und Versauerung sichtbar. Damit ist auch eine wesentliche Stellschraube zur ökologischen Verbesserung von den drei Alkyd-Szenarien identifiziert: Die effiziente Nutzung der Pflanze als Ganzes.

Kapitel 4 „Bewertung“ machte eins deutlich: Die gewählte Allokationsmethode hat einen großen Anteil an den Ergebnissen.

Abschließend kann festgestellt werden, dass, je nach fokussierter Wirkungskategorie, Acrylat und HS-Alkyd jeweils Vor- und Nachteile aufweisen. Raffinerien nutzen fossiles

Rohöl sehr effizient. Eine noch effizientere Nutzung der gesamten Biomasse würde zu weiteren Vorteilen des HS-Alkyds führen.

Vergleich mit Ergebnissen anderer Studien

Es wurden in der Literatur zwei Studien gefunden, auf die an dieser Stelle noch einmal hingewiesen werden soll.

Einmal findet sich eine Studie, die die Herstellung von Leinölepoxid mit der Herstellung eines Lackbindemittels auf petrochemischer Basis vergleicht (Diehlmann und Kreisel, o.J.). Ausgewertet wurden Indikatoren wie unter anderem der kumulierte Energieaufwand (KEA). Dieser war für den betrachteten petrochemischen Lackbinder deutlich höher als für das Leinölepoxid. Eine Berechnung des KEAs der modellierten Acrylatherstellung mit der Herstellung von Alkyd 1 ergab ebenfalls einen geringeren KEA für die Alkydherstellung, auch wenn dieser Unterschied weniger stark ausgeprägt ist als in der Studie von Diehlmann und Kreisel. Die weiteren behandelten Indikatoren der Studie sind ebenfalls sehr Energiebezogen und weisen damit eine hohe Korrelation zum KEA auf. Weitere Wirkungskategorien wie Toxizität oder direkte Auswirkungen auf Ökosysteme beispielsweise durch Versauerung wurden in der Studie von Diehlmann und Kreisel allerdings nicht betrachtet.

Eine Studie des Instituts für Energie- und Umweltforschung (ifeu 2005) untersuchte die stoffliche Nutzung nachwachsender Rohstoffe. Diese Studie kam zu dem Ergebnis, dass die Nutzung biogenen statt fossilen Öls in der Tendenz Vorteile bei den Kategorien Klimawandel und Verbrauch fossiler Ressourcen birgt, jedoch Nachteile bei Ozonabbau, Versauerung und Eutrophierung. Hiermit stimmt die Tabelle im Anhang überein, die die Szenarien mit Masseallokation und CML-Bewertungsmethode miteinander vergleicht. Tabelle 3, in der die Szenarien mit aktueller Preisallokation miteinander verglichen werden, zeigt diese Tendenzen jedoch nur teilweise.

6 Literaturverzeichnis

Borngräber, Andreas (2011): HELICAS Studie. Persönliche Mitteilung an Tobias Brinkmann.

Diehlmann, Achim; Kreisel, Günter (o.J.): Ökologische Bilanzierung ausgewählter Lackrohstoffe: Vergleich von Bindemitteln auf nativer und petrochemischer Basis. Institut für Technische Chemie und Umweltchemie. Friedrich-Schiller-Universität, Jena.

Hungerbühler, Konrad, ETH Zürich (2010). Persönliche Mitteilung an Tobias Brinkmann.

ifeu - Institut für Energie- und Umweltforschung Heidelberg GmbH (2005): Ökologische Bewertung von nachwachsenden Rohstoffen: Bewertungsrahmen und Ergebnisse. -im Rahmen des Monitorings "Industrielle stoffliche Nutzung nachwachsender Rohstoffe". Gutachten im Auftrag des Deutschen Bundestages vorgelegt beim Büro für Technikfolgen-Abschätzung beim Deutschen Bundestag (TAB). Heidelberg.

ifu Hamburg GmbH: Umberto. know the flow.

ifu Hamburg GmbH (2010): Umberto-Modell: Glutaraldehyd. Best-Guess-Szenario. Hamburg.

Institute of Environmental Sciences (2001): CML Method. Leiden University (CML), Leiden (Niederlande)

International Standardization Organisation (2006): ISO 14040

International Standardization Organisation (2006): ISO 14044

Schmitz, Stefan; Paulini, Inge (1999): Bewertung in Ökobilanzen. Methode des Umweltbundesamtes zur Normierung von Wirkungsindikatoren, Ordnung (Rangbildung) von Wirkungskategorien und zur Auswertung nach ISO 14042 und 14043. Hg. v. Umweltbundesamt. Berlin.

Sleeswijk, Wegener et al (2008): CML-IA (Characterisation factors), Leiden University (CML), Leiden (Niederlande)

Swiss Center for Life Cycle Inventories (2007): ecoinvent 2.0. Dübendorf.

7 Anhang

Vergleich der Wirkungskategorien. Im Gegensatz zu Tabelle 3 erfolgte die Berechnung dieser Ergebnisse, indem an den jeweiligen Stellen der Modelle ausschließlich über Masse und ohne Gewichtung nach Preis alloziert wurde. Grün ist jeweils die Variante mit den geringsten Auswirkungen in der entsprechenden Wirkungskategorie markiert. Die darauffolgenden Alternativen sind jeweils nach der Reihenfolge gelb, orange, rot markiert. Die Abweichung zum besten Prozess der Wirkungskategorie wird in % angegeben.

Wirkungskategorie	Alkyd 1	Alkyd 2	Alkyd 3	Acrylat
Versauerungspotential	22%	8%	56%	
Klimawandel		7%	23%	19%
Eutrophierungspotenzial		176%	181%	17%
Ionisierende Strahlung	18%	1%		102%
Gerüche	1421%		3%	101%
Landnutzung	13060%	4596%	4036%	
Stratosphärischer Ozonabbau	38%	30%	46%	
Sommersmog		42%	35%	98%
Ressourcenverbrauch	7%		7%	24%
Humantoxizität	5%		8%	615%
Toxizität, Süßwasser, Sediment	20%		87%	70%
Toxizität, Süßwasser, Wasser	19%		196%	72%
Toxizität, Meer, Wasser	18%		6%	68%
Toxizität, Meer, Sediment	18%		6%	62%
Toxizität, terrestrisch	8%	377%	338%	