

Vom Acker machen?

Vergleichende Bilanzierung von PUR-Industriefußböden auf petrochemischer oder pflanzlicher Rohstoffbasis

Dana Kralisch, Günter Kreisel, Achim Diehlmann, David Preuße, Jena;
Wolfgang Karl, Bottrop

Eine Ökobilanz von PUR-Systemen auf Basis fossiler, petrochemischer Rohstoffe einerseits und nachwachsender, pflanzlicher Rohstoffe (NaRo) andererseits zeigt, dass NaRo umso vorteilhafter werden, je chemisch anspruchsvoller bzw. „hochveredelter“ das pflanzliche Produkt ist. Besonders der hohe Energieaufwand für die Produktion mit fossilen Produkten bedeutet einen Vorteil für die NaRo, aber auch in deren Energiebilanz besteht Verbesserungspotenzial, vor allem wegen der weiterhin notwendigen chemischen Prozessschritte wie Epoxidierung oder Diethylglykol-Produktion.

Polyurethanharze (PUR) werden seit über 55 Jahren industriell in verschiedenen Bereichen eingesetzt [1]. Ein Haupt-einsatzgebiet von PUR im Baubereich ist der Schutz von Oberflächen [2], da Baustoffe wie Beton und Stahl im Laufe ihrer Nutzungszeit durch Korrosion angegriffen werden. Speziell Bodenplatten auf Basis von Beton werden üblicherweise durch mechanische Belastung stark strapaziert und mehlen ab. Darüber hinaus dringen Flüssigkeiten wie Wasser, Öle oder Chemikalien in den Beton ein oder wandern durch den Beton. Aus diesem

Grunde werden Bodenflächen oft mit Oberflächenschutzsystemen u.a. auf Basis von Polyurethanen beschichtet, um dauerhaft die beschichteten Bauteile vor eindringenden Schadstoffen und Korrosion zu schützen. Die Möglichkeit der Farbgestaltung erhöht die Ästhetik der Bauwerke (Abb. 1).

Nach dem aktuellen Stand der Technik enthalten konventionell produzierte 2K-Reaktivbeschichtungssysteme auf Basis von Polyurethanen überwiegend Bindemittelkomponenten auf fossiler Basis und somit nicht erneuerbaren Rohstoffen, die in der chemischen Industrie entsprechend veredelt worden sind.

In den vergangenen Jahren sind jedoch Umweltbelastungen, die aus der Petrochemie resultieren, verstärkt in das Bewusstsein der Allgemeinheit gerückt. Die Sensibilisierung sowohl von Konsumenten als auch Produzenten im Bereich des Umweltschutzes hat sich zeitgleich deutlich erhöht. Im Blickpunkt der Industrie stehen neben einer umweltfreundlichen Produktpalette auch die Verknappung und somit Verteuerung der fossilen Rohstoffe. In vielen Bereichen hat daher die Suche nach umweltfreundlichen Alternativen, z.B. auf Basis nachwachsender Rohstoffe, begonnen. Ob der erhöhte Einsatz nachwachsender Rohstoffe in Produkten im Hinblick auf eine Reduktion der Umweltlasten günstig ist, ist zum jetzigen Zeitpunkt jedoch noch unbestimmt und

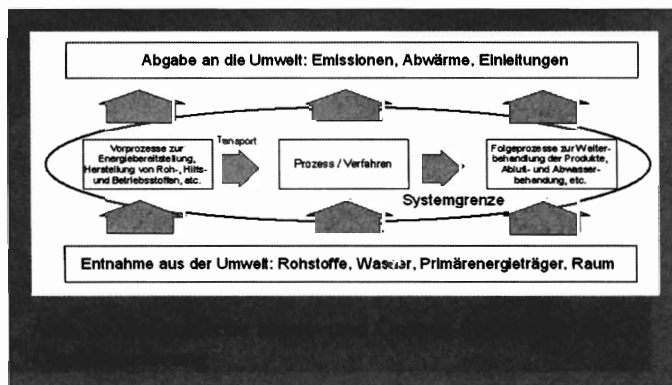
bedarf jeweils einer Einzelfallbetrachtung.

In wieweit im speziellen Fall der Industriefußböden ein erhöhter Anteil an nachwachsenden Rohstoffen zu einer Reduktion der Umweltlasten führen kann, war Untersuchungsgegenstand einer Studie, die in Zusammenarbeit der MC Bauchemie, Bottrop, und der Friedrich-Schiller-Universität Jena entstand. Hierbei sollte die Quantifizierung ökologisch relevanter Daten ein Bild über die jeweils hervorgerufenen Umweltlasten beider Produktionswege liefern. Die Analyse der Verfahren konnte zudem Grundlagen der Optimierung einzelner Produktionsabschnitte unter ökologischen Aspekten bieten und Schwachstellen aufzeigen. Der anschließende Vergleich soll dem Unternehmen und weiteren PUR-Produzenten in den verschiedensten Anwendungsbereichen Entscheidungshilfen für die Ausrichtung der Produktion unter ökologischen Gesichtspunkten liefern.

Ökobilanzierung liefert Handlungsempfehlungen

Zur quantitativen und objektiven Beurteilung anthropogener Umweltbelastungen ist ein systemanalytisches Werkzeug notwendig, das in der Lage ist, umweltrelevante Systeme und Problemstellungen in ihrer Gesamtheit zu erfassen.

Ein solches Werkzeug stellt die Ökobilanz dar. Sie ermöglicht eine Auswertung



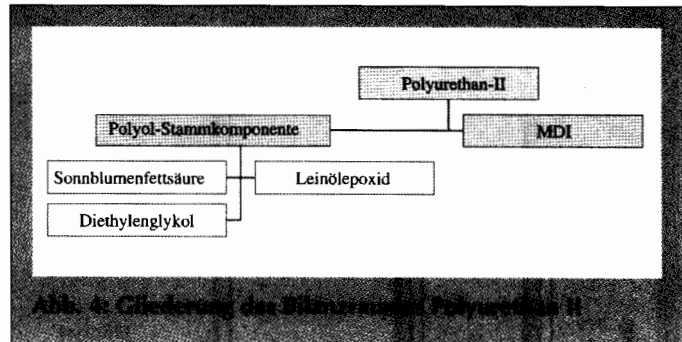
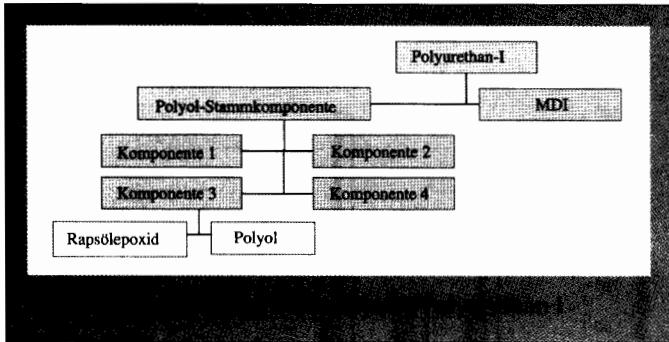


Abb. 4: Gliederung des Bilanzraums Polyurethan II

der vom betrachteten System ausgehenden ökologischen Belastung. Auf diese Weise ist es möglich, Alternativen zu vergleichen und ökologisch begründete Entscheidungen zu treffen. Weiterhin ermöglicht eine Ökobilanz, Schwachstellen eines Systems herauszufiltern, Handlungsempfehlungen zu geben und neue, noch nicht im Einsatz befindliche Produkte und Methoden hinsichtlich ökologischer Vorteile zu prüfen.

Produkt-Ökobilanzen zeichnen sich dadurch aus, dass der gesamte Lebensweg der Erzeugnisse betrachtet wird. Dies bedeutet, dass die Umweltauswirkungen, die bei Herstellung, Distribution, Nutzung und Verwertung/Entsorgung der Produkte entstehen „von der Wiege bis zur Bahre“ bilanziert und ausgewertet werden. Hierbei werden alle maßgeblichen Inputströme (Energieträger, Rohstoffe in der Lagerstätte, Wasser) und Outputströme (Emissionen in die Kompartimente Luft, Boden und Wasser) betrachtet (Abb. 2) und auf eine den Nutzen quantifizierende Einheit, die so genannte Nutzeinheit, bezogen. Mit der DIN EN ISO 14040 Norm [3] existiert hierfür eine international akzeptierte Rahmenmethodik, an die sich das Vorgehen innerhalb der Studie anlehnt. Die Auswertung erfolgt jedoch abweichend auf Sachbilanzebene innerhalb charakteristischer Wirkkategorien.

Prozesse bis zumWerkstor untersucht

Entsprechend dem Ziel der Bilanzierung wurden die Prozesse zur Produktion von PUR möglichst umfassend untersucht. Ausgehend vom jeweils betrachteten Verfahren wurden alle mit der Erfüllung des technischen Nutzens des Verfahrens in Zusammenhang stehenden Vor- und Nachprozesse, d.h. auch die nicht Anlagen gebundenen Bereiche wie Rohstoff- und Energiebereitstellung etc., betrachtet. Bilanziert wurde bis zum Werkstor des Herstellers. Da von einem ver-

gleichbaren Produkt mit gleicher Nutzungs- und Entsorgungsphase ausgegangen wurde, war eine weiterführende Bilanzierung für den angestrebten Vergleich nicht notwendig.

Den räumlichen Bezugsrahmen bilden die politischen Grenzen der Bundesrepublik Deutschland. Wurden Stoffe in anderen Ländern bereitgestellt (z.B. Erdöl), wurde das jeweilige Herkunftsland in den Bezugsraum einbezogen. Als Referenzjahr für die Betrachtungen wurde, wenn nicht anders beschrieben, das Jahr 2000 gewählt.

Vergleich eines etablierten und eines neu entwickelten Produktes

Um einen Vergleich der beiden betrachteten Produktionswege durchführen zu können, wurde der Bilanzraum in zwei Prozessketten unterteilt, die jeweils inklusive aller Vorketten bilanziert wurden. Es handelt sich bei PUR-I um ein etabliertes petrochemisches Produktsystem mit einem Anteil an Komponenten auf nachwachsender Rohstoffbasis von 33 %. Dieser Anteil konnte im Produktsystem PUR-II auf 67 % erhöht werden. Dies wurde über eine vollständig neuartige Rezeptur realisiert, die im Rahmen des DBU-Förderprogrammes AZ 18296 entwickelt werden konnte.

Die detaillierte Modellierung der Stoffstromnetze wurde mit Hilfe der Software

„Umberto“ [5] durchgeführt. Abb. 3 und 4 verdeutlichen die wesentlichen Zusammenhänge.

Datenbasis

Petrochemische Produkte

Die erforderlichen Daten zur Produktion der Einzelkomponenten wurden vom Projektpartner MC Bauchemie bzw. dessen Zulieferern bereitgestellt, oder den Publikationen des APME entnommen [6]. Alle Stoff- und Energieflüsse konnten bis auf ihre Rohstoffe in der Lagerstätte zurückverfolgt werden.

Nachwachsende Rohstoffe

Ein großer Anteil der beim Anbau von Ölpflanzen entstehenden Emissionen hat seinen Ursprung in den Pflegemaßnahmen der Anbaufläche und deren Ernte. Die dazu benötigten Maschinen stellen hierbei direkte Emittenten dar. Im Gegensatz dazu sind Emissionen aus den Vorketten für beispielsweise Dieselkraftstoffherstellung oder Transport von Düngemitteln indirekte Emissionen. In dieser Bilanz wurden sowohl direkte als auch indirekte Emissionen berücksichtigt. Die gleiche Problematik stellt sich bei der Düngemittelherstellung, die neben den Pflegemaßnahmen die zweite große Quelle von Umweltlasten darstellt. Auch hier wurden indirekte Emissionen durch den Einbezug der Vorketten integriert.

Transporte

Die verschiedenen Prozesse der Wertschöpfung eines Produktes werden in der Regel nicht nur von einem Produzenten durchgeführt. Dies bedingt, dass die Intermediate zwischen den einzelnen Prozessabschnitten transportiert werden müssen. In die vorliegende Bilanz sind Transporte mittels Straßentransport, Bahntransport, Binnenschifftransport und Seeschifftransport einbezogen worden. Die hierfür not-

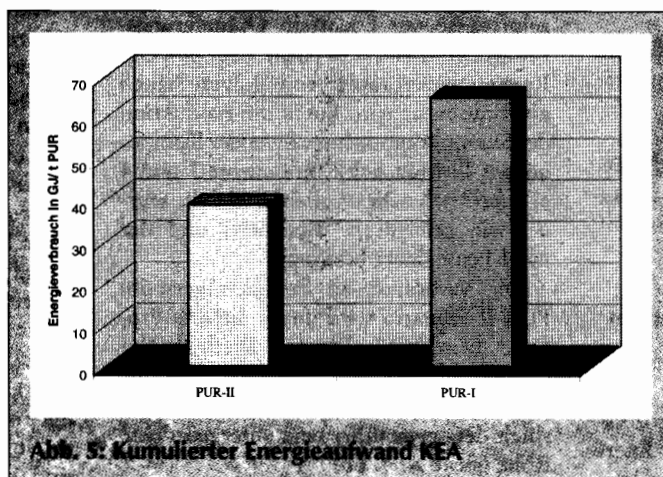
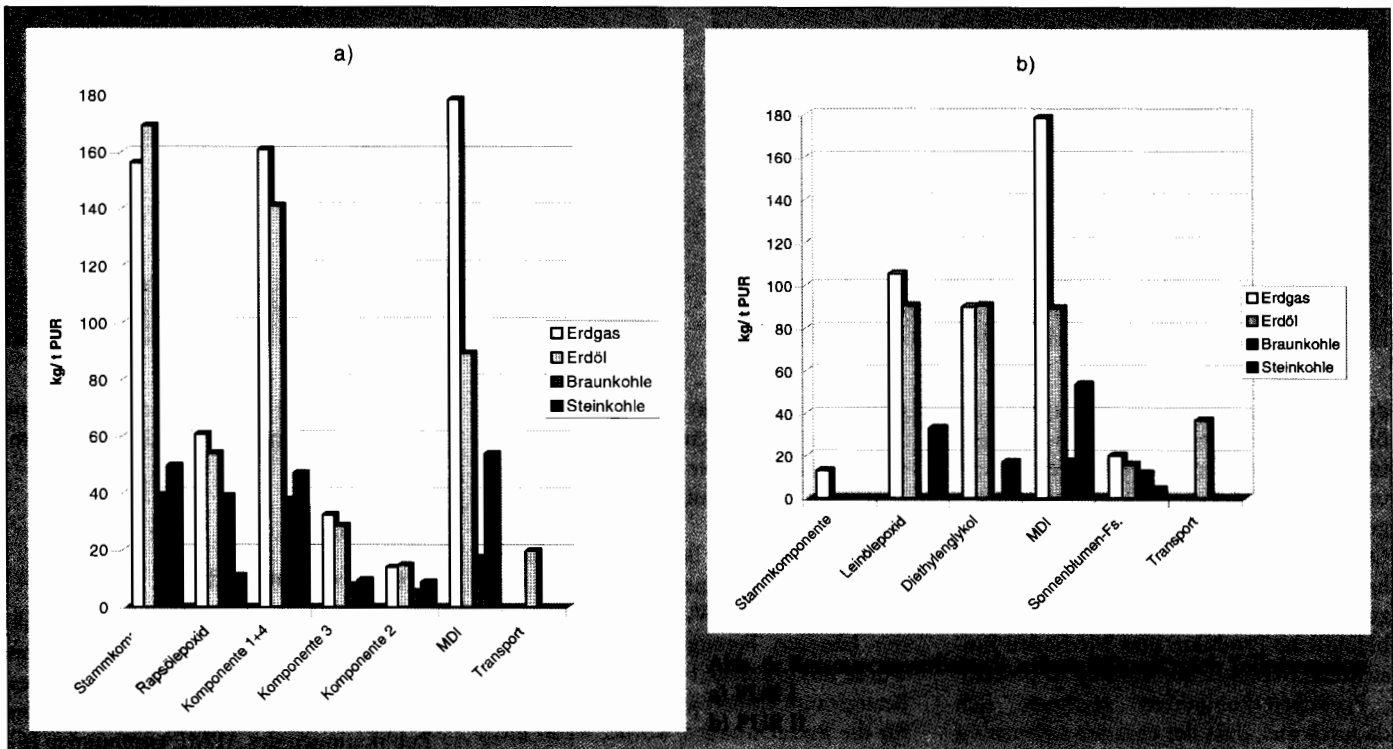


Abb. 5: Kumulierter Energieaufwand KEA



wenigen Kraftstoffe inklusive ihrer Vorkette sind ebenfalls Teil des Bilanzraumes.

Energiebereitstellung

In den verschiedenen Produktionsschritten der Wertschöpfungsketten der beiden betrachteten Produktionswege werden unterschiedliche Energieträger benötigt. In die Bilanz einbezogen wurden der Abbau, die Förderung, der Transport und die Umsetzung dieser Energieträger.

Energieaufwand, Ressourcenverbrauch und Emissionen

Die Auswertung der auf Sachbilanzebene erhobenen Daten erfolgte innerhalb von Wirkkategorien, in denen Umweltbelastungspotenziale mit ähnlichen Auswirkungen zusammengefasst wurden. Folgende ausgewählte Wirkkategorien werden hier vorgestellt:

- Kumulierter Energieaufwand (KEA)
- Ressourcenverbrauch (an Energieträgern)
- Emissionen in die Atmosphäre

Alle dargestellten Ergebnisse sind hierbei auf die funktionelle Einheit „1 Tonne PUR“ bezogen.

Kumulierter Energieaufwand - das Synthesepotenzial der Natur nutzen

Der Kumulierte Energieaufwand berechnet sich aus der Summe aller Energieumsätze entlang der gesamten Prozesskette. Aufgrund sich verknappender Energieträgerreserven und den aus deren Ver-

brennung resultierenden umweltbelastenden Emissionen hat diese Kategorie große Aussagekraft.

Die Darstellung komplexer Synthesebausteine aus Erdöl ist, wie Abb. 5 deutlich zeigt, ein sehr energieaufwendiger Vorgang. Polyole auf der Basis nachwachsender Rohstoffe können weit weniger energieaufwändig und mit einer geringeren Anzahl an Syntheseschritten zum Einsatz kommen. Das Synthesepotenzial der Natur zu nutzen birgt hier eindeutige ökologische Vorteile.

Der Vorrat fossiler Energieträger ist endlich und im Sinne einer nachhaltigen Wirtschaft muss die Entnahme von Erdöl, Erdgas und festen fossilen Brennstoffen begrenzt werden. In der Wirkkategorie Ressourcenverbrauch wurde der Verbrauch an Primärenergieträgern ausgewertet, um mögliche Unterschiede der beiden Herstellverfahren aufzuzeigen und die Einzelprozesse mit höchstem Optimierungsbedarf herauszufiltern (siehe Abb. 6a). Der Ressourcenverbrauch von Polyurethanen auf Erdölbasis wird durch die Produktion der Stammskomponente sowie der Komponenten 1+4 (da sich Komponente 1 und 4 als chemisch sehr ähnlich erwiesen, wurden sie gemeinsam bilanziert) und der MDI-Herstellung bestimmt.

Der Verbrauch an Energieträgern im PUR-II Szenario wird durch die drei Prozesse Leinölepoxidierung, Diethylenglykol- und MDI-Produktion dominiert, die Bereitstellung der Sonnenblumenfettsäure spielt dem gegenüber eine untergeordnete Rolle (siehe Abb. 6b).

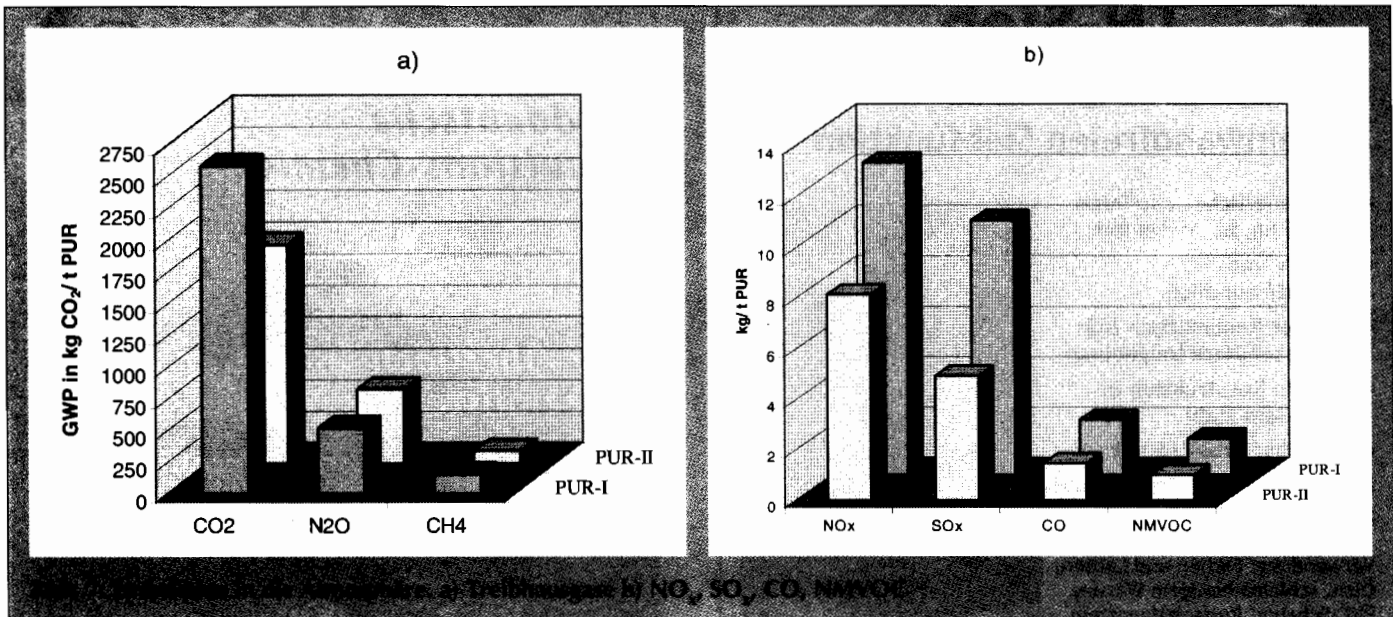
Ressourcenverbrauch - fossile Formulierung liegt höher

Der Ressourcenverbrauch im Bilanzraum PUR-I ist insgesamt deutlich höher als der Verbrauch von Primärenergieträgern bei der Herstellung von PUR-II. Erdgas nimmt unter den verschiedenen Primärenergieträgern den ersten Platz ein. Dies lässt sich auf den Einsatz von Erdgas zur Bereitstellung thermischer Prozessenergie erklären. An zweiter Stelle der benötigten Energieträger steht Erdöl, welches mehrheitlich als Rohstoff zur Polyolproduktion und Dieselkraftstoffgewinnung verwendet wird. Braunkohle und Steinkohlen kamen vorwiegend in Kraftwerken zur Stromerzeugung zum Einsatz.

NaRo führen zu geringeren Emissionen an Treibhausgasen und Luftschadstoffen

Anthropogene Emissionen in die Atmosphäre verursachen Veränderungen im Naturkreislauf und können sich auf Grund ihres human- bzw. ökotoxikologischen Potenzials schädlich auf Mensch, Tier und Pflanze auswirken. Treibhausgase beispielsweise beeinträchtigen die Wärmeabstrahlung der Erde und führen so zu einer Erwärmung der Troposphäre. Aufgrund ihrer hohen Relevanz wurden sie einzeln ausgewiesen (Abb. 7a).

Als weitere Luftschadstoffe wurden Stickstoffoxide (NO_x), Schwefeloxide (SO_x), Kohlenmonoxid (CO) sowie flüchtige organische Kohlenstoffe mit Ausnahme von Methan (NMVOC) bilanziert. Sie sind bekannte Verursacher ökologischer



Probleme wie die Versauerung von Böden, die Eutrophierung von Gewässern oder sind an der Bildung von Photooxidantien beteiligt. Photooxidantien begünstigen speziell die Bildung von bodennahem Ozon. Auch in der Darstellung dieser Luftschadstoffe (Abb. 7b) werden die Vorteile des Einsatzes nachwachsender Rohstoffe deutlich. Es zeigt sich, dass das neu entwickelte PUR-II-System in allen untersuchten Kategorien geringere ökologische Lasten verursacht.

NaRo-Systeme können auch im Hightech-Bereich überlegen sein

Mit der Studie konnte gezeigt werden, dass nachwachsende Rohstoffe vor allem dann vorteilhaft eingesetzt werden können, wenn das Konkurrenzverfahren komplex ist bzw. eine große Zahl ver-

schiedener Syntheschritte notwendig ist. Der Vorteil wird jeweils deutlicher, je chemisch anspruchsvoller bzw. „hochveredelter“ das Produkt ist, das durch die Pflanze zur Verfügung gestellt werden kann. Es zeigt sich an diesem Beispiel einmal mehr, dass eine chemische Nutzung von Bioprodukten den ökologischen Vorrang vor deren thermischer Nutzung haben sollte.

Voraussetzung für Vorteile bei der Nutzung nachwachsender Rohstoffe ist eine ertragreiche und resistente Pflanze, die geringe Anforderungen z.B. an Pflegemaßnahmen oder Düngemittelgaben stellt. Der Vorteil der nachwachsenden Rohstoffe minimiert sich oder kann sich in das Gegenteil verkehren, wenn die Erträge pro Anbaufläche gering sind. Darüber hinaus sollten eine genaue Überprüfung der Nährstoffversorgung des Bodens und eine bedarfsgerechte Düngemittelga-

be erfolgen, um in dieser Arbeit nicht ausgewertete Wirkkategorien wie Eutrophierung von Gewässern oder Düngemittelverfrachtung ins Grundwasser zu minimieren. Nicht zuletzt auch deshalb, weil der Prozessabschnitt Düngemittel-Produktion selbst einen sehr energieintensiven Bereich darstellt.

Anhand der erhaltenen Ergebnisse lässt sich jedoch feststellen, dass nicht der Anbau oder die Düngung pflanzlicher Rohstoffe, sondern die weiterhin notwendigen chemischen Prozessschritte wie die Epoxidierung oder die Diethylenglykol-Produktion aufgrund ihres hohen Energiebedarfes die Umweltlasten der gesamten Prozesskette PUR-II dominieren. Hier besteht demnach der höchste Optimierungsbedarf. Eine Entwicklung von Katalysatoren, die den Energieinput merklich senken könnten, wäre hier vorteilhaft.

Dana Kralisch, Friedrich-Schiller-Universität Jena, studierte Umwelchemie an der FSU Jena und diplomierte 1998 auf dem Gebiet der Ökobilanzierung. Nach einer zweijährigen Arbeit an der Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft arbeitet sie an ihrer Dissertation im Bereich der Bewertung neuer Verfahrenstechniken hinsichtlich ihrer ökologischen Auswirkungen.

Prof. Dr. Günter Kreisel, Friedrich-Schiller-Universität Jena, studierte Chemie an der Universität Jena, promovierte und habilitierte sich dort und wechselte dann in den Wissenschaftsbereich Technische Chemie, wo er 1994 zum Hochschuldozenten berufen und 1997 zum apl. Professor ernannt wurde.

Dr. Achim Diehlmann, Friedrich-Schiller-Universität Jena, studierte in Bingen und Hatfield (UK) Umweltschutz und diplomierte an der University of Hertfordshire auf dem Gebiet des Biomonitoring. 2002 promovierte er an der Friedrich Schiller Universität Jena mit einer Arbeit zur Nachhaltigen Entwicklung in der Chemieausbildung.

David Preuße, Fachhochschule Jena, studiert Umwelttechnik an der Fachhochschule in Jena und absolviert an der Friedrich-Schiller-Universität zurzeit sein Diplom mit einer Arbeit zur Bilanzierung industrieller Herstellungsprozesse am Beispiel der Phenolsynthese.

Dr. Wolfgang Karl, MC-Bauchemie Müller GmbH & Co., promovierte 1992 am Institut für Organische Chemie der RWTH Aachen. Seit 1993 ist er als Laborleiter bei der MC-Bauchemie Müller GmbH & Co. tätig.

Weiterhin wäre eine Minimierung des bisher hohen Wasseranteils in der Reaktionslösung zur Diethylenglykol-Produktion aus ökologischer Sicht wünschenswert, da dieser Bestandteil eine energieintensive Aufarbeitung erforderlich macht.

Entscheidend sind der Aufwand und die Zahl der Arbeitsschritte für die Produktion eines Stoffes. Die energetisch aufwendige Produktion der einzelnen Komponenten des technisch etablierten Polyurethansystem PUR-I führt zu ökologischen Belastungen, die es zu minimieren gilt. Insbesondere für die Komponenten 1 und 4 besteht Handlungsbedarf, da sie im Vergleich zu ihrer Einsatzmenge einen hohen Energieinput benötigen. Es wäre hier von Vorteil, auf diese Komponenten zu Gunsten einfacherer, weniger komplexer oder nachwachsender Substrate zu verzichten.

Die neu entwickelte Rezeptur des bilanzierten PUR-II-Systems ist hier ein Schritt in die richtige Richtung. Es zeigt sich deutlich, dass hochwertige Naturstoffe den konventionellen petrochemischen Synthesen auch dann überlegen sein können, wenn diese sich auf hohem technologischem Niveau befinden.

Die Projektpartner bedanken sich bei der Deutschen Bundesstiftung Umwelt (DBU), Osnabrück, die das Vorhaben unter dem Aktenzeichen 18296 förderte.

Literatur

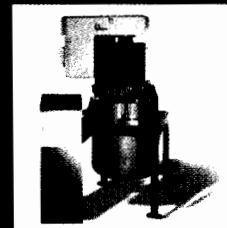
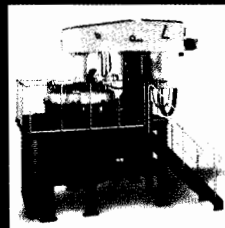
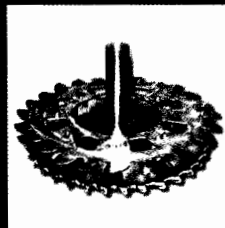
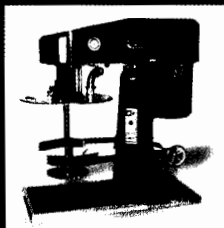
- [1] Oertel, Günter (Hrsg.): Polyurethane, Carl Hanser Verlag, 3. Auflage, München Wien, 1993.
- [2] Deutsche Bauchemie e.V. (Hrsg.): Polyurethane in der Bauwirtschaft und Umwelt, Sachstandsbericht, 1. Ausgabe, Frankfurt, 2003.
- [3] Uhlig, K., Dieterich, D.; Polyurethane, in: Ullmanns Enzyklopädie der technischen Chemie, 1980, Bd. 19. 301 ff.
- [4] ISO EN DIN 14040: Umweltmanagement, Produkt-Ökobilanz, Prinzipien und allgemeine Anforderungen. 1997.
- [5] Kunhenn, H.: Ökobilanzen: Ursachen, Ausprägungen und Auswirkungen von Freiräumen auf den Einsatz von Ökobilanzen durch Unternehmen; Institut für angewandte Innovationsforschung, Bochum 1997
- [6] Umberto 4.0; interaktives Programm zur Erstellung und Ökobilanzen auf der Basis von Stoffstromnetzen; Hamburg: ifu Institut für Umweltinformatik; Heidelberg: ifeu Institut für Energie- und Umweltforschung, 2001
- [7] www.apme.org



Dispergiertechnik vom Feinsten!



Mischen
Dispergieren
Lösen
Evakuieren



WILHELM NIEMANN
MASCHINENFABRIK

Nordlandstraße 16 · D-49326 Melle/Germany · Tel.: +49 (0) 54 28/9 50-0 · Fax.: +49 (0) 54 28/9 50-199 · info@niemann.de · www.niemann.de