



Kurzfassung

zur Studie

Bewertung thermischer/katalytischer Verfahren zum Abbau von Kunststoffen

bearbeitet von

Prof. Dr.-Ing. Thomas Turek
Dipl.-Ing. Stefan Pinnow
Dipl.-Ing. Kristian Voelskow

Technische Universität Clausthal
Institut für Chemische Verfahrenstechnik

im Auftrag der

tecpol GmbH

Clausthal, 25. September 2009

1 Einleitung und Aufgabenstellung

Kunststoffe gehören wegen der Vielzahl ihrer gezielt einstellbaren Eigenschaften zu den wichtigsten Werkstoffen, die mittlerweile in nahezu allen Bereichen unseres Lebens Anwendung finden. Kunststoffe umfassen verschiedenartigste Produkte vom einfachen Verpackungsmaterial bis hin zu hochwertigen Kompositmaterialien, wie zum Beispiel für den Fahrzeugbau. Diese Vielfalt stellt die Verwertung von Kunststoffabfällen vor große Herausforderungen. Grundsätzlich kann zwischen energetischer, werkstofflicher und rohstofflicher Verwertung unterschieden werden (Abbildung 1). Bei der energetischen Verwertung wird der Kunststoffabfall üblicherweise als Ersatzbrennstoff einem Kraftwerk oder einem Zementwerk zugeführt, um seinen Heizwert zu nutzen und um primäre Rohstoffe zu schonen. Alternativ bieten sich werkstoffliche Verfahren an. Dabei durchläuft der Kunststoffabfall eine Verfahrenskette bestehend aus Zerkleinerung, Reinigung, Sortierung, sowie anschließender Granulierung oder Herstellung von Erzeugnissen. Beim dritten Verwertungsweg, der rohstofflichen Verwertung, wird das Polymer in kurzkettige Kohlenwasserstoffe, chemische Grundbausteine (z.B.: CO, H₂) oder in die jeweiligen Ausgangsmomere gespalten.

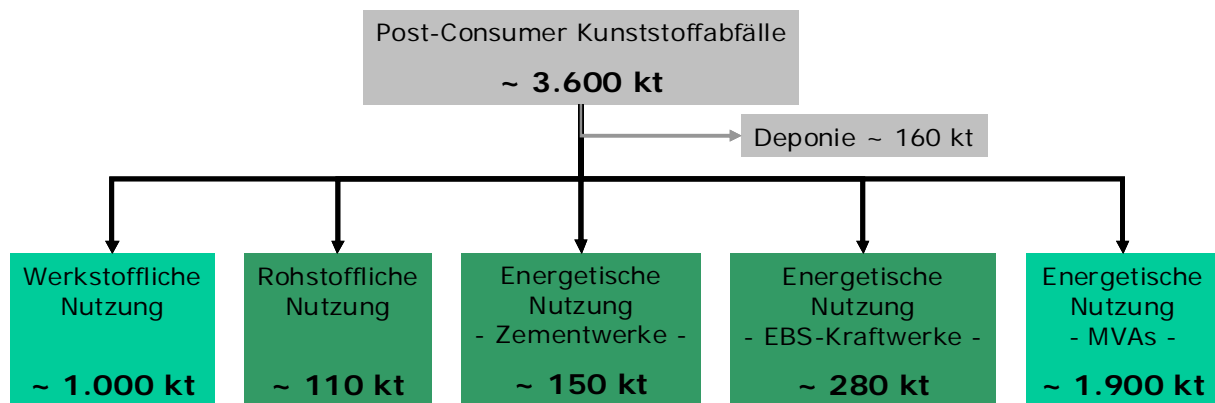


Abbildung 1: Stoffstrombild der Kunststoffverwertung in Deutschland 2006
(Quelle: tecpol GmbH)

In den 80er und 90er Jahren wurden bereits intensive Anstrengungen zur Entwicklung von Verfahren für die rohstoffliche Verwertung von Kunststoffabfällen unternommen, wobei es aufgrund verfahrenstechnischer Problemstellungen und insbesondere aus wirtschaftlichen Gründen bisher nicht zu großtechnischen Anwendungen kam. Trotz dieser Erfahrungen sind in den vergangenen Jahren wieder zahlreiche Anbieter und Entwickler auf dem Markt erschienen, die für ihre neuen Verfahren werben. Dabei handelt es sich stets um Varianten der so genannten Pyrolyse von Kunststoffen. Diese Verfahren zeichnen sich durch eine geringe Kapazität von typischerweise 500 Litern flüssiger Produkte pro Stunde aus und sollen interessante Optionen für die regionale Abfallwirtschaft eröffnen. Häufig wird propagiert, dass auf aufwändige Nachbearbeitungsschritte verzichtet und die Umwandlung von Kunststoffabfällen zum Produkt in einem Schritt stattfinden kann. Laut einigen Anbietern soll das entstehende Öl die Normen für Diesel oder Heizöl erfüllen. Somit wird von den neuen Anbietern das durchaus attraktiv erscheinende Konzept vertreten, mit Hilfe von einfachen, dezentralen Anlagen eine breite Palette von Kunststoffabfällen in einem Schritt direkt in hochwertige Kraftstoffe umzuwandeln.

Die Vielzahl an Anbietern, hauptsächlich kleine und mittelständische Firmen, erschwert den Zugang zu diesem Markt, der zudem von einer hohen Fluktuation gekennzeichnet ist. Außerdem werden von den Anbietern die unterschiedlichsten neuartigen Verfahrensbezeichnungen benutzt, statt auf etablierte Begriffe zurückzugreifen, was dem branchen-

fremden Investor den Marktüberblick und den Vergleich der Verfahren untereinander erschwert. Um den derzeitigen Entwicklungsstand der neuen Verfahren zur Verflüssigung von Kunststoffabfällen zusammenzufassen und zu bewerten, wurde vom Institut für Chemische Verfahrenstechnik der TU Clausthal im Auftrag der tecpol GmbH eine Studie durchgeführt, in der die wesentlichen Akteure auf dem Markt identifiziert, die Verfahrensansätze beschrieben und verglichen und eine technische und ökonomische Bewertung der Verfahren durchgeführt werden sollten.

2 Marktübersicht zu neuen Pyrolyseverfahren

Mit Hilfe einer Internet- und Literaturrecherche und auf Basis von Daten des Auftraggebers wurde ein Überblick zu den auf dem Markt befindlichen neuen Pyrolyseverfahren erstellt. Alle identifizierten Anbieter wurden kontaktiert, über die Ziele der Studie informiert und um Unterstützung durch Bereitstellung weiterer Informationen gebeten. Zur Auswahl von einzelnen Anbietern für eine vertiefte Analyse und eine verfahrenstechnische Bewertung wurden ein strukturierter Fragenkatalog und eine dazu gehörige Bewertungsmatrix erstellt. Die Informationen der Anbieter wurden durch eine Patentrecherche sowie durch die Besichtigung von Demonstrationsanlagen ergänzt.

Es wurden insgesamt 22 Firmen identifiziert, die in Tabelle 1 auf der letzten Seite zusammengefasst sind. Davon wurden 9 Anbieter nicht erreicht bzw. reagierten auf die Kontaktaufnahme nicht. 4 Anbieter sind reine Anwender von Verfahren und haben auf die entsprechenden Entwickler verwiesen. 5 der verbleibenden Entwickler waren nicht bereit, Informationen für die Bewertung des Verfahrens zur Verfügung zu stellen. Somit konnten lediglich 4 Unternehmen in die engere Auswahl für die Studie genommen werden (Tabelle 1, fett dargestellt). Trotz der ursprünglich zugesagten Mitarbeit dieser vier Anbieter wurden im Verlauf der Studie nur von Alphakat GmbH und Clyvia Technology GmbH weitere Informationen erhalten. Die Firma Gossler-Envitec GmbH wünschte den Abschluss einer Geheimhaltungsvereinbarung. Form und Inhalt der gewünschten Erklärung hätten jedoch die Verwendung der Informationen im Rahmen dieser Studie unmöglich gemacht. Die Firma Nill-Tech GmbH beantwortete den Fragenkatalog nicht.

3 Ergebnisse der Patentrecherche

Eine in den Datenbanken des europäischen Patentamts durchgeführte Recherche ergab, dass von den erfassten 22 Anbietern 7 Firmen über Patentanmeldungen bzw. erteilte Patente verfügen (Tabelle 1). Dabei wurden bislang drei Patente vom europäischen Patentamt erteilt. Das Patent von Gossler Envitec dient dem Schutz des im Prozess verwendeten Katalysators (Schwermetallsilikate oder ähnliche Materialien) in Verbindung mit einem Pyrolyseverfahren. Bei den Patenten der Firmen Changing World Technologies und Pinter & Tokarz handelt es sich hingegen um Verfahrenspatente, wobei relativ spezielle technische Ausführungen von Pyrolyseverfahren geschützt werden.

Die weiteren Patentanmeldungen befinden sich entweder noch im Prüfverfahren oder wurden inzwischen zurückgezogen. Bei den noch laufenden Prüfverfahren wird die erfinderische Tätigkeit vom europäischen Patentamt mit Ausnahme einer Anmeldung der Firma Ozmotech durchweg sehr kritisch betrachtet.

Wegen der insgesamt noch laufenden 6 Prüfungsverfahren kann die Patentsituation bei den Anbietern der neuen Pyrolyseverfahren nicht abschließend bewertet werden. Es wurde jedoch der Eindruck gewonnen, dass die Mehrzahl der Anmeldungen und erteilten Patente lediglich spezielle technische Details, wie zum Beispiel die Art oder die Position der Aufgabevorrichtung oder die Ausführung von Rührorganen, schützen sollen, womit kein wesentlicher

Fortschritt gegenüber dem Stand der Technik erreicht wird. Eine interessante Neuentwicklung stellt möglicherweise die Verwendung von Katalysatoren zur Verbesserung der Verfahren dar, die Gegenstand von zwei der Anmeldungen/Patente sind. Allerdings fehlen bisher hinreichende Belege, ob die möglichen Vorteile der Katalysatoren die Zusatzkosten tatsächlich rechtfertigen.

4 Beschreibung der ausgewählten Verfahren

Bei den vier ausgewählten Verfahren handelt es sich um Varianten der Tieftemperaturpyrolyse. Dies wird daraus ersichtlich, dass die Betriebsbedingungen durchweg bei ca. 300 bis 400°C unter Luftausschluss in der Nähe von Umgebungsdruck liegen. In den Verfahrensnamen und -beschreibungen wird der Begriff Pyrolyse allerdings von den Firmen vermieden, da diesem offenbar eine negative Assoziation in der Abfallwirtschaft zugeschrieben wird. Im Folgenden werden die Verfahren kurz vorgestellt, wobei zu beachten ist, dass lediglich die Firmen Alphakat und Clyvia zu weiteren Auskünften bereit waren. Es muss allerdings festgestellt werden, dass der im Rahmen der Studie erstellte Fragekatalog auch von diesen Anbietern nicht umfassend beantwortet wurde. Dies betrifft insbesondere essentielle verfahrenstechnische Fragen zu den Massen- und Energiebilanzen der Verfahren. Auch die Besichtigung der Pilotanlagen von Alphakat und von Clyvia lieferte keine vertieften Hinweise im Hinblick auf die technische Verfahrensbewertung.

4.1 Katalytische Drucklose Verölung von Alphakat

Die „Katalytische Drucklose Verölung“ (KDV) von Alphakat wird bei 270 bis 350°C und ca. 0,1 bar Unterdruck durchgeführt. Beim Katalysator scheint es sich um synthetische Zeolithe des Typs Y zu handeln. Als Ausgangsstoffe sollen Kunststoffe aller Art einschließlich PVC verwendet werden können. Es wird behauptet, dass durch Zugabe von biologischen Abfallstoffen und die entsprechende Einstellung des Verhältnisses von Wasserstoff und Kohlenstoff die Entstehung von Koks vermieden und als Produkt ausschließlich normgerechter Dieselkraftstoff hergestellt werden kann. Dabei sollen Schwermetalle durch den Katalysator, Chlor durch Zuschlagsstoffe und Schwefel durch eine Nachbehandlung des Produktes mit Wasserstoff abgeschieden werden. Anlagen nach diesem Verfahren werden in unterschiedlichen Größen zwischen 200 und 10.000 L/h Produkt angeboten.

Die technische Machbarkeit des KDV-Verfahrens kann angesichts mangelnder Informationen hinsichtlich der Massen- und Energiebilanzen nicht beurteilt werden. Allerdings müssen die Aussagen, dass sämtlicher Sauerstoff in den Einsatzstoffen nach der Reaktion als CO₂ vorliegen soll und aus allen Kohlenstoffquellen als Ausgangsstoff stets nahezu vollständig normgerechter Dieselkraftstoff hergestellt werden kann, aus chemischer Sicht bezweifelt werden. Weiterhin fehlen belastbare Angaben zur Effizienz der Entfernung von Halogenen und Schwermetallen durch Zuschlagsstoffe bzw. den Katalysator. Die Herstellung von normgerechtem Kraftstoff konnte ebenfalls nicht nachgewiesen werden.

4.2 Depolymerisationsverfahren von Clyvia

Die „fraktionierte Depolymerisation“ der Clyvia Technology GmbH ist ein nicht katalytisches Verfahren bei Temperaturen von 380 bis 420°C und leichtem Unterdruck. Das entstehende Pyrolysegas wird einer Destillationskolonne zugeführt, in der das angestrebte Produkt (Heizöl EL) abgetrennt wird. Im Produkt enthaltenes Chlor und Schwefel soll durch Zugabe von metallischem Natrium entfernt werden. Weiterhin kommen nicht näher spezifizierte Additive zum Einsatz. Anlagen nach diesem Verfahren werden in einer Größe von 500 L/h Produkt angeboten.

Das Verfahren erscheint prinzipiell technisch machbar und die wesentlichen Reaktionsabläufe werden vom Anbieter korrekt beschrieben. Allerdings ist keine wesentliche Neuerung gegenüber älteren, erfolgreich demonstrierten Verfahren zur Pyrolyse von Kunststoffen erkennbar. Es soll durch scharfe Feedspezifikationen erreicht werden, einen stabilen Betrieb der Anlagen zu gewährleisten. Informationen zu Langzeitversuchen wurden nicht vorgelegt. Zur ökonomischen Bewertung des Verfahrens unter Berücksichtigung der notwendigen Aufbereitung des Produktes fehlen wesentlichen Angaben. Es erscheint jedoch fraglich, ob das Verfahren angesichts der Notwendigkeit der Verwendung reiner, relativ hochpreisiger Kunststoffabfälle sowie der sehr geringen Produktionskapazität wirtschaftlich durchführbar ist.

4.3 Gossler Envitec-Verfahren

Beim Verfahren der Firma Gossler Envitec sollen möglichst reine Polyolefin-Abfälle mittels einer katalytischen Spaltung zu hochwertigem, synthetischem Rohöl umgewandelt werden. Die Ausgangsstoffe werden in einem Temperaturbereich von 350 bis 400°C bei Normaldruck umgesetzt. Als Katalysator werden Schwermetallsilikate mit einem Massenanteil von 5 bis 10% verwendet. Zusätzlich werden nicht näher beschriebene „Ballaststoffe“ zugegeben. Das Produkt soll weder Schwefel noch Schwermetalle enthalten, was allerdings nur bei Verwendung entsprechend reiner Ausgangsstoffe möglich ist. Die Anlagen sollen für einen Durchsatz von 3500 t/a und mehr ausgelegt werden können. Eine erste technische Anlage soll bei Assen in den Niederlanden mit einem Durchsatz von 15.000 t/a errichtet werden.

Bei diesem Verfahren handelt es sich um eine katalytisch unterstützte Pyrolyse von reinen Polyolefinen, die grundsätzlich durchführbar ist. Das Verfahren zeichnet sich durch einen patentgeschützten Katalysator aus, der auf der Grundlage der zur Verfügung stehenden Informationen nicht abschließend bewertet werden kann. Zur Frage der Wirtschaftlichkeit des Verfahrens gilt angesichts der engen Feedspezifikationen das bereits zum Verfahren von Clyvia gesagte.

4.4 Syntrol-Verfahren von Nill-Tech

Die Nill-Tech GmbH bietet das sogenannte Syntrol-Verfahren an, das nichtkatalytisch bei ca. 400°C und geringem Überdruck betrieben wird. Dabei sollen vorsortierte Kunststoffe aus Hausmüll und Folien aus der Landwirtschaft zu einem Energieträger aufbereitet werden. Auch bei diesem Verfahren werden nicht spezifizierte Additive zugegeben. Zur möglicherweise notwendigen Entfernung von Schwefel und Halogenen aus dem Produkt liegen keine näheren Informationen vor. Die Anlagen werden mit Produktionsmengen im Bereich zwischen 500 und 1000 L/h angeboten. Bisher wurde eine Produktionsanlage in Sihlbrugg im Kanton Zug der Schweiz gebaut, die von der plastOil AG betrieben wird.

Die grundsätzliche Machbarkeit des Verfahrens kann bejaht werden, da die nichtkatalytische Pyrolyse von Polyolefinen Stand der Technik ist. Zu möglichen Alleinstellungsmerkmalen des Syntrol-Verfahrens kann keine Aussage getroffen werden, da sich die betreffende Patentanmeldung noch in der Prüfungsphase befindet. Es gibt Hinweise darauf, dass es bei der im Jahr 2006 in Betrieb genommenen Anlage der plastOil AG mehrere Stillstände und erforderliche Nachbesserungen aufgrund überschrittener Chlorkonzentrationen im Produkt gab. Zur wirtschaftlichen Bewertung des Verfahrens gilt das Gleiche wie für das sehr ähnliche Verfahren von Clyvia.

5 Zusammenfassende Bewertung

Eine Recherche zu neuen Pyrolyseverfahren für die Umwandlung von Kunststoffabfällen in flüssige Produkte zeigte, dass gegenwärtig eine relativ große Anzahl von Anbietern, Anwendern und Entwicklern auf dem Markt auftritt. Dieser Markt unterliegt jedoch einer hohen Fluktuation, so dass ein beträchtlicher Teil der anfangs 22 identifizierten Unternehmen nicht mehr aktiv auf diesem Gebiet tätig sind. Viele der angesprochenen Unternehmen konnten nicht erreicht werden bzw. hatten kein Interesse an der Unterstützung der vorliegenden Studie, so dass lediglich 4 Verfahrensentwickler in die engere Wahl genommen wurden. Von diesen Unternehmen stellten 2 zusätzliche Informationen zur Verfügung, die allerdings nicht für eine fundierte technische Beurteilung der Verfahren ausreichen. Folglich kann auf der Grundlage der verfügbaren Informationen nur eine ganz allgemeine Einschätzung zur technischen und wirtschaftlichen Machbarkeit der untersuchten Verfahren gegeben werden.

Bei den Verfahren handelt es sich durchweg um Varianten von bekannten Pyrolyseverfahren. Zwei der Verfahren werden unter Zugabe von Katalysatoren durchgeführt, wobei keine belastbaren Aussagen zu den möglichen Vorteilen der Katalysatoren gemacht werden können. Die von Clyvia, Gossler Envitec und Nill-Tech angebotenen Verfahren arbeiten mit relativ reinen Feedströmen aus Polyolefinen mit geringen Mengen an anderen Kunststoffen, Verunreinigungen und Fremdstoffen. Die Pyrolyse derartiger Ausgangsstoffe ist Stand der Technik und die vorgeschlagenen Verfahren erscheinen deshalb prinzipiell durchführbar. Ein wesentlicher Fortschritt gegenüber den früher beschriebenen Verfahren kann jedoch nicht erkannt werden. Zudem fehlen wichtige Informationen zur erforderlichen Reinigung der Produkte, zu den Massen- und Energiebilanzen der Verfahren sowie zu den Erfahrungen bei Dauerbetrieb der Anlagen. Angesichts der erforderlichen relativ hochwertigen Ausgangsstoffe und der sehr geringen Anlagengröße wird die Frage der Wirtschaftlichkeit der Verfahren grundsätzlich kritisch gesehen. Zudem stehen die Verfahren in Konkurrenz zur werkstofflichen Verwertung. Das KDV-Verfahren der Firma Alphakat stellt einen Sonderfall dar, da behauptet wird, mit Hilfe dieses Verfahrens aus allen Kohlenstoffquellen als Ausgangsstoff stets nahezu vollständig normgerechten Dieselkraftstoff herstellen zu können. Lediglich gasförmiges CO₂ soll dabei in geringen Mengen als Nebenprodukt gebildet werden. Diese Aussagen müssen aus chemischer und verfahrenstechnischer Sicht grundsätzlich in Frage gestellt werden.

Zusammenfassend kann gesagt werden, dass trotz der Vielzahl neuer Anbieter auf dem Gebiet der thermischen oder katalytischen Umwandlung von Kunststoffabfällen zu flüssigen Produkten kein wesentlicher Fortschritt gegenüber den in den 80er und 90er Jahren erreichten Stand der Technik bei der Pyrolyse von Kunststoffen erkennbar ist. Es erwies sich, dass die Verfahren entweder mit relativ sauberen, hochpreisigen Kunststoffabfällen betrieben werden müssen sowie Fragen bezüglich der Entstehung von Nebenprodukten oder der Entfernung von Störstoffen nicht hinreichend beantwortet werden konnten. Verfahren, die in Konkurrenz zur werkstofflichen Verwertung von Kunststoffabfällen stehen, sind bezüglich der Wirtschaftlichkeit, insbesondere angesichts der sehr geringen Kapazitäten der dezentralen Anlagen, als äußerst kritisch einzustufen. Das zunächst sehr attraktiv erscheinende Konzept, mit Hilfe von einfachen, dezentralen Anlagen aus unterschiedlichsten Kunststoffabfällen in einem Schritt hochwertige Kraftstoffe herzustellen, muss deshalb prinzipiell in Frage gestellt werden.

Tabelle 1: Marktübersicht

	Firmenname	Verfahrensbezeichnung ● = katalytisches Verfahren	Patente erteilt/ nicht erteilt	Bemerkungen
kein Kontakt	Agrob Eko			nicht mehr identifizierbar
	Global Finest Technologies	Fractional Depolymerization		keine Antwort
	Hamos GmbH			bietet kein Pyrolyse-Verfahren mehr an
	ISKA GmbH			Insolvenzverfahren seit Februar 2009
	Öko+Bio Technologie AG	Clyvia-Verfahren		in der Planungsphase gescheitert
	Ozmo Energy Ltd	Ozmotech-Verfahren (●)		keine Webseite mehr
	Plastic Energy LLC	„Pyrolyse nach Smuda“		keine Antwort
	Recfuel Industrial Technologies Inc.	Katalytische Depolymerisation (●)		keine Antwort
	Smuda Technologies			nicht mehr identifizierbar
Verfahrens-anwender	cynar plc	Ozmotech-Verfahren (●)		
	Econtec AG	Nill-Tech-Verfahren		
	RVA Reststoffverwertungs AG	Nill-Tech-Verfahren		
	WastEnergy GmbH	Alphakat-Verfahren (●)		
Entwickler – keine weiteren Informationen	Changing World Technologies Inc.	Thermal Conversion Process	1/0	
	DAV GmbH	Katalytisch Drucklose Verölung (●)		
	Granit Group	Depolymerisation	0/1	
	Ozmotech Pty. Ltd.	ThermoFuel-Verfahren (●)	0/1	
	Pinter & Tokarz T-Technology Ltd.	„T-Technology“ (●)	1/0	Polymer Energy außerhalb Europa
Entwickler	Alphakat GmbH	Katalytisch Drucklose Verölung (●)	0/2	
	Clyvia Technology GmbH	Fraktionierte Depolymerisation	0/1	Insolvenzverfahren seit Juni 2009
	Gossler Envitec GmbH	Katalytische Spaltung (●)	1/0	
	Nill-Tech GmbH	Syntrol-Verfahren	0/1	