

Feasibility study
(Machbarkeitsstudie)
of the
Pyrum-Thermolysis-Recycling-Process

as proposed by

Pyrum Innovations SAS

Author:

Prof. Dr.-Ing. Andreas Jess

Head of Chair of Chemical Engineering
(Lehrstuhl für Chemische Verfahrenstechnik)
of the University Bayreuth, Germany



Bayreuth, June 2011

Zusammenfassung

Seit 2001 leite ich den Lehrstuhl für Chemische Verfahrenstechnik der Universität Bayreuth und seit etwa 24 Jahren beschäftige ich mich intensiv mit Prozessen der Aufbereitung und Umwandlung fossiler und nachwachsender Rohstoffe. Außerdem wurde in einer 2010 durchgeführten Studie in Kooperation mit einem Bayerischen Industriepartner die Pyrolyse von PKW- und LKW-Altreifen-Granulat an meinem Lehrstuhl intensiv untersucht. Im Hinblick auf die vorliegende Machbarkeitsstudie des *Pyrum-Thermolyse-Recycling* Prozesses der Firma *Pyrum Innovations SAS* verfüge ich daher über die notwendige Expertise.

Das derzeitige Altreifenaufkommen in Europa liegt bei 3 Millionen Tonnen (Deutschland 0,6 Millionen t). Weniger als ein Drittel wird derzeit stofflich wiederverwertet. Das Potential eines solchen Prozesses (z.B. durch Pyrolyse) ist daher sehr hoch.

Pyrolyse ist die chemische Zersetzung eines (meist festen) Materials durch Aufheizung ohne Anwesenheit eines anderen Reaktionspartners und kann auch als trockene Destillation aufgefasst werden. Dabei werden sogenannte flüchtige Bestandteile abgespalten. Diese sind im Falle von Altreifen(Granulat) teils gasförmig wie Wasserstoff, Kohlenmonoxid, Kohlendioxid und Methan oder (bei Normaltemperatur) flüssig wie Benzin und Dieselölkomponenten.

Letztlich werden durch Pyrolyse von Altreifengranulat drei Produkte erhalten: Pyrolysegas, Öl und fester Koks. Für einen technischen Pyrolyseprozess sind dabei Temperaturen von 400 bis 750°C notwendig. Eine typische Produktverteilung ist 40% Koks, 50% Öl und 10% Pyrolysegas.

Der *Pyrum-Thermolysis-Recycling* Prozess wurde von der Firma *Pyrum Innovations SAS* im Labormaßstab¹ getestet (Durchsatz 20 kg/h, 700°C, Feststoffverweilzeit 1 h). Der Vergleich der mir vorgelegten Ergebnisse der *Pyrum-Laboranlage* mit den Messdaten einer an meinem Lehrstuhl betriebenen Versuchsanlage zur Altreifenpyrolyse bei praktisch identischen Versuchsbedingungen zeigt, dass die Produktausbeuten und auch die Eigenschaften der Produkte gleich bzw. sehr ähnlich sind. Die Daten, die mit der *Pyrum-Thermolyse-Recycling* Anlage (Labormaßstab) erzielt wurden, sind daher als zuverlässig zu betrachten und somit auch grundsätzlich als Basis für ein Scale-up auf einen technischen (industriellen) Produktionsmaßstab geeignet.

Neben der Kenntnis der Produktausbeuten müssen folgende Aspekte aus ingenieurtechnischer Sicht für ein zuverlässiges Scale-up einer Altreifenpyrolyseanlage vom Labormaßstab (hier 20 kg/h) auf einen technischen Maßstab (hier 700 kg/h) beachtet werden:

- (1) die Verweilzeit des Altreifengranulates im Pyrolysereaktor,
- (2) die Temperatur,
- (3) die Geschwindigkeit der Aufheizung des Granulates (bzw. die charakteristische Zeit des Aufheizvorganges),
- (4) das Verhältnis der Wärmeaustauschfläche zum Granulatvolumen im Reaktor und
- (5) die installierte Heizleistung.

¹ Die von *Pyrum Innovations SAS* betriebene Versuchsanlage ist deutlich größer als eine übliche Laboranlage und könnte auch als Technikumsanlage bezeichnet werden. Um Verwechslungen mit den Begriffen technische(r) bzw. industrielle(r) Anlage(Reaktor) zu vermeiden, wird hier dennoch der Begriff „Laboranlage/reaktor“ verwendet.

- zu 1/2: Die Verweilzeit (1 h) und die Temperatur (ca. 700°C) im geplanten industriellen Reaktor entsprechen den Werten im Laborreaktor. Daher sind beide Aspekte hier unproblematisch im Hinblick auf das Scale-up.
- zu 3: Obwohl die Konstruktion des geplanten technischen Reaktors sich von der des Laborreaktors deutlich unterscheidet (und unterscheiden muss), sind die charakteristischen Aufheizzeiten (= Pyrolysezeiten) identisch und auch in der Größenordnung der geplanten Feststoffverweilzeit. Auch in dieser Hinsicht ist folglich das Scale-up als gesichert und unproblematisch zu erachten.
- zu 4: Die Wärmeaustauschfläche je Volumen Feststoffschüttung beträgt beim geplanten technischen Pyrolysereaktor $27,5 \text{ m}^2/\text{m}^3$ und entspricht damit praktisch genau dem Wert der Laboranlage ($26,7 \text{ m}^2/\text{m}^3$).
- zu 5: Die geplante Heizleistung der technischen Anlage beträgt 356 kW. Dieser Wert ist doppelt so groß wie der Energieverbrauch, der für die Aufheizung des Altreifenmaterials (Granulates) im Pyrolysereaktor notwendig ist. Der Bedarf an elektrischer Energie für die Pyrolyse und die Deckung von Wärmeverlusten könnte durch das entstehende Pyrolysegas ohne Probleme gedeckt werden (Gasmotor plus Generator). Dabei ist die geplante Wärmeintegration/Wärmerückgewinnung noch nicht berücksichtigt.

Fazit: Die Betrachtung aller genannten Anlagenparameter, die für ein gesichertes Scale-up des *Pyrum-Thermolysis-Recycling* Prozesses wesentlich sind, zeigen, dass aus technischer Sicht das Scale-up der existierenden Laboranlage mit einer Durchsatzleistung von 20 kg Altreifengranulat je Stunde auf den industriellen Maßstab (700 kg/h bzw. etwa 5000 Tonnen pro Jahr) mit der geplanten industriellen Reaktorkonstruktion problemlos möglich sein sollte. Das Reaktorkonzept ist durchdacht, ingenieurtechnisch „sauber“ erarbeitet und daher vielversprechend. Für den Fall, dass wirtschaftliche Gesichtspunkte - was hier von mir hier nicht zu beurteilen war und über meine ingenieurwissenschaftlich geprägte Expertise hinausgeht - nicht gegen eine Realisierung des vorgelegten Anlagenkonzeptes sprechen, sollte meines Erachtens das vorgelegte Konzept des stofflichen Recyclings von Altreifen in der geplanten technischen Anlage realisiert und erprobt werden.

Bayreuth, 6. Juni 2011



(Prof. Dr.-Ing. Andreas Jess)