

Markus Klätte, Uwe Sauermann (Hrsg.)

Netzwerk Wachse – Innovative Ansätze zur Herstellung von Wachsen aus Kunststoffen



Dokumentationsband zur Forumsveranstaltung am 16. und 17. Juni 2010
im Mitteldeutschen Multimediazentrum und im Ankerhof in Halle (Saale)

GEFÖRDERT VOM



Bundesministerium
für Bildung
und Forschung

INNOVATIONSFOREN

UNTERNEHMEN
Die BMBF-Innovationsinitiative
Neue Länder REGION



Markus Klätte, Uwe Sauermann (Hrsg.)

Netzwerk Wachse – Innovative Ansätze zur Herstellung von Wachsen aus Kunststoffen



**Steinbeis-Transferzentrum
Ressourcen-Technologie
und Management**

Impressum

© 2010 Steinbeis-Edition

Alle Rechte der Verbreitung, auch durch Film, Funk und Fernsehen, fotomechanische Wiedergabe, Tonträger jeder Art, auszugsweisen Nachdruck oder Einspeicherung und Rückgewinnung in Datenverarbeitungsanlagen aller Art, sind vorbehalten.

Herausgeber: Markus Klätte, Uwe Saueremann

Autoren: Jörg Abraham, Peter Behnsen, Irina Bremerstein, Jens-Andreas Böttger, Dirk Büttner, Michael Busch, Markus Klätte, Hermann Matschiner, Sylvia Müller, Wolf-Eberhard Nill, Hans-Hermann Rüttinger, Uwe Saueremann, Johann Utzig

Netzwerk Wachse – Innovative Ansätze zur Herstellung von Wachsen aus Kunststoffen
Dokumentationsband zur Forumsveranstaltung am 16. und 17. Juni 2010
im Mitteldeutschen Multimediazentrum und im Ankerhof in Halle (Saale)

1. Auflage / Steinbeis-Edition, Stuttgart 2010
ISBN 978-3-941417-47-2

Satz: Steinbeis-Edition

Titelbilder (v. li.): Logmed Cooperation GmbH, Uwe Saueremann, Markus Klätte

Druck: Frick Werbeagentur / Frick Digitaldruck, Krumbach

Steinbeis ist weltweit im Wissens- und Technologietransfer aktiv. Zum Steinbeis-Verbund gehören derzeit rund 800 Steinbeis-Unternehmen sowie Kooperations- und Projektpartner in 50 Ländern. Das Dienstleistungsportfolio der fachlich spezialisierten Steinbeis-Unternehmen im Verbund umfasst Beratung, Forschung & Entwicklung, Aus- und Weiterbildung sowie Analysen & Expertisen für alle Management- und Technologiefelder. Ihren Sitz haben sie überwiegend an Forschungseinrichtungen, Universitäten und Hochschulen.

Dach des Steinbeis-Verbundes ist die 1971 ins Leben gerufene Steinbeis-Stiftung, die ihren Sitz in Stuttgart hat. Die Steinbeis-Edition verlegt ausgewählte Themen aus dem Steinbeis-Verbund.

Vorwort

Vor dem Hintergrund der aktuellen Diskussion um Ressourcenschonung, Energieeinsparung, CO₂-Emissionen und Klimawandel kann das Thema, das im „netzwerk WACHSE“ diskutiert wurde und wird, einiges an Relevanz vorweisen: Wachse aus Polyolefinen aus dem Recyclingkreislauf können in bestimmten Bereichen Wachse aus Erdöl ersetzen bzw. sogar bessere Eigenschaften aufweisen. Die möglichen Anwendungen sind vielfältig.

Viele Projekte sind schwierig, aber Projekte, die vor zehn Jahren öffentlich gefördert, aber nach Ablauf der Förderung nicht weitergeführt wurden, wieder zum Leben zu erwecken, ist auch eine Frage des Vertrauens. Das Innovationsforum „netzwerk WACHSE“ ist Ergebnis eines solchen Vertrauens. Vertrauen in die Technologie, die unbestritten grundsätzlich funktionierte, Vertrauen in den Erfinder dieser Technologie, Herrn Dr. Johann Utzig, und Vertrauen in die Unternehmen der Region, in der die Entwicklung damals getätigt wurde.

Die verschiedenen Fachleute haben sich am 16. und 17. Juni 2010 im mitteldeutschen Multimediazentrum in Halle (Saale) getroffen, um die Besonderheiten, Chancen und Risiken dieser Technologie zu erörtern, erste Ergebnisse von Untersuchungen auszutauschen und über mögliche weitere Entwicklungen zu diskutieren.

Wir als *Steinbeis-Transferzentrum Ressourcen-Technologie und Management* (Steinbeis-R.T.M) sind nicht überrascht, aber begeistert von der hohen Fachkompetenz, die aus den einzelnen Beiträgen spricht und freuen uns, dass die Investition in das Thema offensichtlich erste Ergebnisse zeigt.

Die vorliegende Dokumentation dieser Tagung ist eine Momentaufnahme der Entwicklung, die so interessant und dynamisch ist, dass wir hoffen, weitere Entwicklungen in diesem Zusammenhang anstoßen und begleiten zu können.

Herzlichen Dank an alle, die zum Gelingen dieser Veranstaltung, aber auch dieses Dokumentationsbandes beigetragen haben, den Vortragenden, den Teilnehmern, die ihre Ideen mit einfließen ließen, den Mitarbeitern und nicht zuletzt dem Bundesministerium für Bildung und Forschung, das im Rahmen des Förderprogrammes „*Unternehmen Region – Innovationsforum*“ diese Entwicklung gefördert hat.

Namentlich danken möchte ich Herrn Dr. Uwe Sauer mann, der dieses Projekt initiiert und unermüdlich vorangetrieben hat.

Halle, August 2010

Markus Klätte

Leiter des Steinbeis-Transferzentrums Ressourcen-Technologie und Management

Inhaltsverzeichnis

Teil A:

Dr. Johann Utzig

Nutzung der Molekülstruktur der Polyolefinkunststoffe zur Gewinnung von Wachsen und Paraffinen mit neuen Eigenschaften.....11

Teil B: Erfahrungen mit Depolymerisationstechnologien

Wolf-Eberhard Nill | Nill-Tech-GmbH, Holzgerlingen

Die Syntrol-Technologie als mögliche Basis für die Gewinnung von Wachsen und Paraffinen.....45

Dr. Jens-Andreas Böttger | Logoil Cooperation GmbH, Halle

Die Möglichkeiten der Logoil-Technologie für die Herstellung von Wachsen und Paraffinen.....55

Teil C: Die Rohstoffbasis

Irina Bremerstein | multiport GmbH, Bernburg

Verfügbarkeit und Aufbereitung von Kunststoffabfällen in der Recyclingwirtschaft für die Herstellung von Wachsen63

Peter Behnsen | TLT-Anlagenbau GmbH, Frankfurt a. M.

Der Rohstoffmarkt bei Altkunststoffen. Anforderungen an die Trenntechnologien und Möglichkeiten der TLT-Anlagentechnik.....75

Teil D: Alternative Technologien zur Gewinnung von Wachsen und Paraffinen

Hans-Hermann Rüttinger | Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg

Herstellung von langkettigen n-Paraffinen (Bioparaffinen) aus nachwachsenden Rohstoffen87

Hermann Matschiner

**Künftige Rohstoffe und Technologien zur Gewinnung von Ölen,
Wachsen und Paraffinen.....97**

Teil E: Anwendungen, Weiterverarbeitung und Vermarktung der Produkte

Jörg Abraham | Romonta Bergwerks Holding AG, Amsdorf

**Wachse – Ihre Einordnung und anwendungstechnischen
Eigenschaften. Konsequenzen für die Ausrichtung des
Projektes „netzwerk WACHSE“121**

Dirk Büttner | Rubitherm Technologies GmbH, Berlin

Paraffine und Wachse als Wärmespeichermedien.....139

Sylvia Müller | Hochschule Anhalt, Dessau

**Anforderungen des Straßenbaus an polymere Zuschlagstoffe
für Bitumen und Asphalte145**

Markus Klätte | Steinbeis-R.T.M., Halle

Zur Marktfähigkeit von Wachs- und Paraffinprodukten.....163

**Teil F: Entwicklung der neuen Technologie und Vorbereitung
der Produktion**

Michael Busch | Fraunhofer Institut für Werkstoffmechanik, Halle

**Zielstellungen des Fraunhofer IWMH bei der Entwicklung
von Technologien zum thermischen Abbau von Kunststoffen.....177**

Uwe Saueremann | Steinbeis-R.T.M., Halle

Wie geht es weiter mit dem „netzwerk WACHSE“? – Ein Resümee189

Teil A

Dr. Johann Utzig

Nutzung der Molekülstruktur der Polyolefinkunststoffe zur Gewinnung von Wachsen und Paraffinen mit neuen Eigenschaften

1 Ausgangssituation

Der Gedanke, Kunststoffabfälle zu nutzen, um daraus Paraffine herzustellen, entstand weniger unter dem Aspekt, eine sinnvolle Verwendung für die Abfälle zu finden, als aus der Absicht, eine neue Rohstoffquelle für die Paraffinherstellung zu erschließen. Paraffine werden weltweit überwiegend aus sogenannten Erdölgatschen gewonnen, die als Nebenprodukte bei der Herstellung von Schmierölen anfallen. Die Paraffine müssen aus dem Schmieröl abgetrennt werden, um hinreichend niedrige Stockpunkte beispielsweise in Motorölen zu erreichen. Diese abgetrennten, noch stark ölhaltigen Paraffine werden als Gatsche bezeichnet. Angesichts immer länger werdender Laufleistungen der Öle in den Motoren geht der Bedarf an Ölen und damit der Anfall an Gatschen zurück. Zusätzlich kommt in der Mineralölindustrie die Tendenz zur tieferen Spaltung von Erdölprodukten hinzu, durch die die Ausbeute an Benzin erhöht werden soll. Dadurch reduziert sich als Folge das Angebot an geeigneten Ölfractionen für die Schmierölproduktion und damit auch für die Produktion der Erdölgatsche. Vor diesem Hintergrund lag es nahe, nach Möglichkeiten zu suchen, um geeignete Kunststoffabfälle in Paraffinrohstoffe umzuwandeln.

Auf der Suche nach der Lösung für dieses Ziel stellte es sich dann heraus, dass es möglich ist, außer diesen Paraffinen aus den Kunststoffen auch höhermolekulare Wachse herzustellen. Deren Herstellung ist dazu noch einfacher als die der Paraffine und die Ausbeuten sind deutlich höher.

Obwohl es nicht möglich ist, eine exakte Grenze zwischen den Paraffinen und den Wachsen zu ziehen, soll nachfolgend doch eine kurze Charakterisierung der beiden Produktgruppen versucht werden.

2 Eigenschaften und Strukturen der Paraffine

Chemisch gesehen sind Paraffine sehr einfache Verbindungen, sie bestehen nur aus zwei Elementen, nämlich Kohlenstoff und Wasserstoff. Man bezeichnet diese Verbindungen daher auch als Kohlenwasserstoffe, oder wie aus dem Chemieunterricht bekannt, als Alkane.

Das Grundgerüst ist eine Kette aus Kohlenstoffatomen. Jedem Kohlenstoffatom sind – je nach der Position in der Kette – bis zu maximal drei Wasserstoffatome zugeordnet.

Die handelsüblichen Paraffine stellen Gemische aus Kohlenwasserstoffen mit unterschiedlicher Länge der Kohlenstoffketten dar. Je nachdem, ob die längeren oder die kürzeren Ketten überwiegen, haben die Paraffine einen höheren oder niedrigeren Schmelzpunkt. Man unterscheidet dabei zwischen Hart- und Weichparaffinen. Neben dem Kettenlängenspektrum ist für die Paraffinqualität der Gehalt an Verbindungen mit Verzweigungen in der Kohlenstoffkette, den sogenannten Isoparaffinen, sowie an ringförmigen Paraffinen, den Cycloalkanen, maßgeblich. Die geradkettigen Normalparaffine schmelzen höher als die Iso- und Cycloparaffine und zeichnen sich durch ein wesentlich besseres Kristallisationsvermögen aus. In der Regel werden Paraffine mit hohen Anteilen an Normalparaffinen gegenüber den isoparaffinreichen bevorzugt.

Das leichteste von den bei Zimmertemperatur festen Alkanen verfügt über 18 C-Atome. Es ist somit der kürzeste Vertreter im Molekülspektrum eines festen Paraffins. Im langkettigen Bereich gibt es größere Unterschiede bei den einzelnen Paraffinsortimenten. Die härteren Paraffine enthalten Verbindungen mit bis zu 45 oder gar 50 C-Atomen. Noch längerkettige Kohlenwasserstoffe, die auch als Mikrowachse bezeichnet und zu den Wachsen gerechnet werden, lassen sich aus den Destillationsrückständen der Mineralölindustrie isolieren. Wie ein normales Hartparaffin aussehen kann, zeigt Abbildung 1.

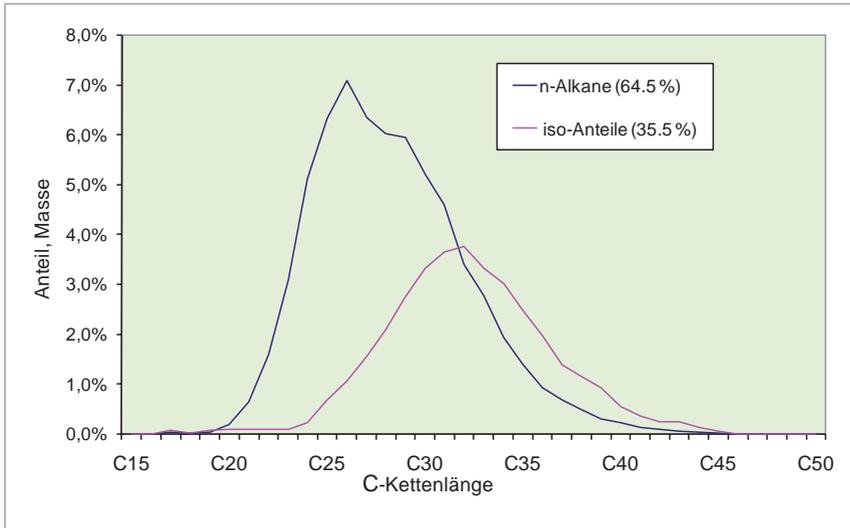


Abbildung 1: Gaschromatogramm eines handelsüblichen Hartparaffins, Schmelzpunkt 56 °C.

3 Eigenschaften und Strukturen der Wachse

Ursprünglich hat man unter Wachsen solche Naturprodukte wie Bienenwachs oder Walrat als tierische Produkte oder Carnaubawachs als pflanzliches Produkt verstanden. Diese sind Fettsäureester, bei denen die Fettsäuren mit höheren, primären, einwertigen Alkoholen verestert sind. Hier ist auch das aus einer speziellen Braunkohle gewonnene Montanwachs, ein Gemisch aus Wachs und Harz, einzuordnen.

Inzwischen wird die Bezeichnung „Wachse“ nicht mehr in diesem ursprünglichen chemischen Sinn angewendet. Nach heutigem Verständnis sind **Wachse** Stoffe, die durch ihre mechanisch-physikalischen Eigenschaften definiert werden. Ihre chemische Zusammensetzung und Herkunft sind hingegen sehr unterschiedlich. Heute werden somit auch Paraffine, und die erwähnten hochschmelzenden Mikrowachse, in diese Produktklasse eingeordnet. Mikrowachse werden – wie Gernot Meyer et al. von der **SasolWax GmbH**^{1,2} beschreiben – aus den in der Mineralölindustrie anfallenden Rückständen der Vakuumdestillation gewonnen.

1 Vgl. Meyer 2009.

2 Vgl. Meyer 2005.

Diese Produkte enthalten Kettenlängen mit bis zu 70 Kohlenstoffatomen, ihr Anteil an Normalparaffinen ist dabei relativ gering.

In diesem Zusammenhang sind auch die Fischer-Tropsch-Paraffine zu erwähnen. Diese werden unter Verwendung eines aus Kohle oder Erdgas hergestellten Synthesegases, bestehend aus Kohlenmonoxid und Wasserstoff, synthetisiert und haben Erstarrungspunkte bis zu etwa 120 °C. Diese Produkte bestehen hauptsächlich aus unverzweigten Paraffinen.

4 Vergleich der Strukturen von Paraffinen und Wachsen mit denen der Kunststoffe

Bei der Suche nach geeigneten Ausgangsprodukten für die Paraffingewinnung war von vornherein klar, dass hierfür nur die Polyolefine in Betracht gezogen werden können. Abbildung 2 zeigt die Molekülstrukturen einiger der bekanntesten Kunststoffe. Danach scheiden beispielsweise PVC, Polyamid, PETP und Polycarbonat von vornherein aus, da sie keine durchgehenden Kohlenstoffketten besitzen oder da sie unerwünschte Fremdatome, wie das Chlor im PVC, enthalten. Als ideal erweist sich Polyethylen. Streng genommen gilt die hier dargestellte Polyethylen-Molekülstruktur nur für Polyethylen hoher Dichte, wie es beispielsweise für Fässer und Kanister verwendet wird. Polyethylen niederer Dichte, das den größten Anteil der Polyethylenfolien ausmacht, hat hingegen in seiner Molekülkette eine Reihe von Verzweigungen, es tendiert somit ein wenig in Richtung Polypropylen. Polypropylen selbst weist an jedem zweiten Kohlenstoffatom in der Kette eine Methylgruppe auf. Danach könnte man erwarten, dass seine Spaltprodukte sich wie herkömmliche Isoparaffine verhalten. Nach den bisherigen Erkenntnissen haben diese Produkte aber eine ganze Reihe von Besonderheiten, auf die hier im Einzelnen nicht eingegangen werden kann.

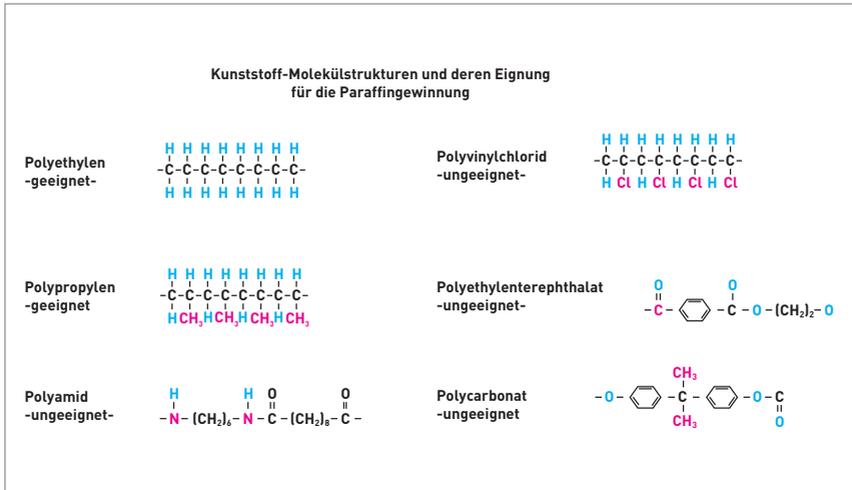


Abbildung 2: Molekülstrukturen einiger Kunststoffe.

5 Zur Entwicklung der Paraffinherstellung in Mitteldeutschland

Entwicklung der Schwelteeierindustrie in Mitteldeutschland	
1854	Erste Braunkohlenschwelerei und Teerverarbeitung in Ascherleben
1856	Fabrik Gerstewitz bei Weißenfels *)
1856	Paraffinfabrik in Döllnitz bei Halle
1856	Paraffinfabrik in Bitterfeld
1858	Paraffinfabrik in Köpsen bei Weißenfels *)
1858	Paraffinfabrik in Wildschütz bei Weißenfels
1860	Paraffinfabrik in Rehmsdorf bei Zeitz
1860	Paraffinfabrik in Webau bei Weißenfeld *)
1863	Paraffinfabrik in Zeitz
1864	Paraffinfabrik in Rattmannsdorf bei Halle
1865	Paraffinfabrik Teuchern bei Weißenfels/Zeitz
1867	Paraffinfabrik in Halle
1871	Paraffinfabrik in Oberröblingen bei Halle/Eisleben
1873	Paraffinfabrik in Waldau bei Zeitz/Naumburg
<p>*) Die Paraffinfabriken Gerstewitz, Köpsen und Webau wurden 1955 zum Paraffinwerk Webau vereinigt. Sitz der Unternehmensleitung wurde das ehemalige Werk Köpsen.</p>	

Abbildung 3: Entstehung der Paraffinfabriken in Mitteldeutschland

Die bisher beschriebene chemische Struktur des Paraffins wurde erst 1830 durch den böhmischen Bergwerksdirektor Karl Freiherr von Reichenbach³ erkannt. Es gelang ihm, aus einer „stockigen und schuppigen Fraktion“, die bei der Destillation von Buchenholzteer gewonnen wurde, durch Umkristallisieren aus Alkohol eine Substanz zu isolieren, die er wegen ihrer chemischen Beständigkeit gegen eine ganze Reihe damals bekannter Chemikalien „Paraffin“ nannte (hergeleitet aus dem lateinischen *parum affinis*, d. h. wenig verwandt).

Die Arbeiten Reichenbachs gaben den Anstoß zu einer Reihe von Schwelversuchen zunächst durch den Franzosen Laurent, der aus Schieferteer Öl und Paraffine gewann. So konnten 1839 die ersten Paraffinkerzen auf der Pariser Industrieausstellung gezeigt werden.⁴ Nach diesen ersten Erfolgen war es vor allem der Schotte James Young, der der Paraffinerzeugung sehr große Dienste erwiesen hat, indem er zunächst aus Erdöl Paraffin für die Kerzenherstellung gewann und später in relativ großem Maßstab zur Paraffingewinnung aus Schwelteer überging. Gegen 1850 wurden bereits Erdöl, Kohle und Ölschiefer industriell als Paraffinrohstoffe eingesetzt

Etwa in der Mitte des 19. Jahrhunderts setzte eine stürmische Entwicklung auf dem Gebiet der Schwelteer- und damit der paraffinerzeugenden Industrie ein. Die im Raum Halle-Leipzig gefundene Braunkohle erwies sich als besonders geeignet für die Schwellung und Paraffingewinnung.

In den Jahren 1854 bis 1873 entstanden in dieser Region, wie beispielsweise von Heberling⁵ beschrieben, eine ganze Reihe von Paraffinfabriken (Abbildung 3), darunter die *Paraffinfabrik Webau*.

Bereits im Jahre 1882 war Webau die mit Abstand größte Kerzenfabrik Deutschlands. Zur Zeit des 1. Weltkrieges dürfte Webau der größte Kerzenproduzent Europas gewesen sein.

3 Vgl. Reichenbach 1930, 1931.

4 Vgl. Heberling 1961.

5 Ebd.

1955 wurden die Werke *Webau*, *Gerstewitz* und *Köpsen* zum *PARAFFINWERK WEBAU* vereinigt. Die derzeit als Rechtsnachfolger unter den Namen *Paraffinwerk Webau GmbH* und *Bitumenwerk Webau GmbH* firmierenden Unternehmen konnten vor zwei Jahren deshalb ihr 150-jähriges Bestehen feiern.

Während der Zeit der Teerverarbeitung sammelte Webau umfangreiche Erfahrungen auf dem Gebiet des thermischen Abbaus von hochmolekularen Teerinhaltstoffen zu Paraffinen. Wesentliches Kernstück der Paraffinherstellung aus Schwelteer war ein mehrstufiger, mit einer Strukturveränderung der Teerinhaltstoffe verbundener Destillationsprozess. In diesem mit dem Begriff „destruktive Destillation“ bezeichneten Prozess wurden die aus der Braunkohle stammenden Harzbestandteile, wachsartigen Körper und Isoparaffine zu kürzeren, vorwiegend geradkettigen Paraffinen abgebaut.

Als in den 1960er Jahren im Mineralölwerk Lützkendorf eine Schmierölproduktion auf Basis sowjetischen Erdöls aufgebaut wurde, stand Webau vor der Aufgabe, seine Paraffinproduktion auf die nun verfügbaren Erdölgatsche umzustellen. Dies wurde erschwert, weil einerseits die Webauer Technologie noch voll auf die Verarbeitung von Braunkohlenteer ausgerichtet war und andererseits die Gatsche eine minderwertige Qualität aufwies. Die für den Übergang gefundene Lösung bestand darin, dass unter Nutzung der vorhandenen Destillationsanlagen die mikrokristallinen Gatsche durch thermische Behandlung (Abbildung 4) soweit verändert wurden, dass sie ein gut kristallisierendes und gut filtrierbares Material darstellten.

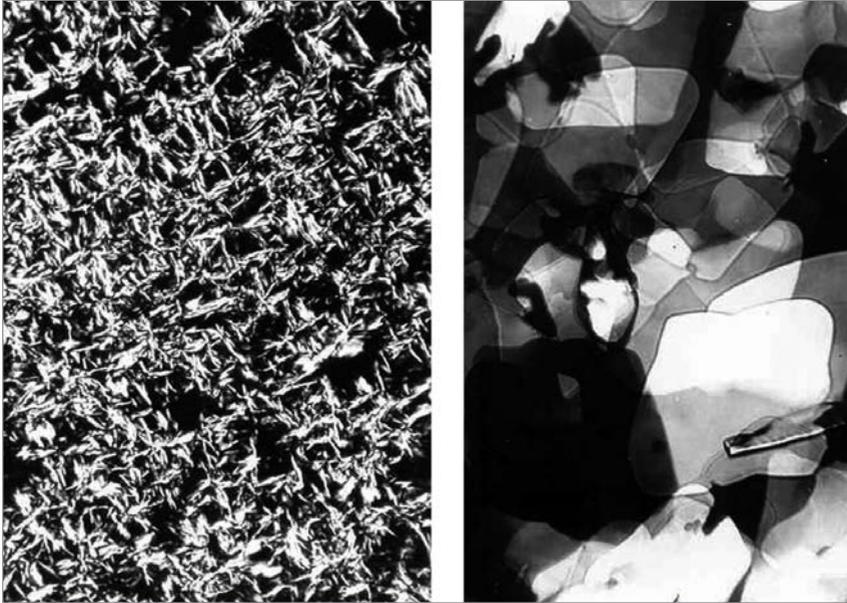


Abbildung 4: Kristallstrukturen: links Gatsch, rechts Normaldruckdestillat.

Hierbei wurde eine Reihe wichtiger Erkenntnisse und Erfahrungen über das Verhalten höhermolekularer Kohlenwasserstoffe im thermischen Abbauprozess gewonnen, die von J. Utzig⁶ in seiner Promotionsarbeit beschrieben wurden und die später in die Arbeiten zur Spaltung von Kunststoffen Eingang fanden. Auf diese Ergebnisse wird später noch eingegangen.

6 Vgl. Utzig 1966.

6 Entwicklung und Erprobung des PARAK-Verfahrens

Als dann auch in der DDR die Frage der Nutzung von Kunststoffabfällen aktuell wurde, entstand die Idee, die in Webau damals noch vorhandenen Destillationsanlagen für die Spaltung von Polyolefinen zu Paraffinen und Ölen zu nutzen. Im Ergebnis entsprechender Versuche wurde 1981 ein Verfahren zur Gewinnung von Kohlenwasserstoffen aus Polyolefinen zum Patent angemeldet⁷, für dessen Umsetzung man aber in der DDR leider nicht auf entsprechendes Interesse stieß. Ein Nachteil dieses Verfahrens war allerdings, dass die Abfälle in Öl aufgelöst werden mussten.

Nach der politischen Wende stieß das Münchener Unternehmen *BAUFELD-OEL GmbH* bei der Suche nach neuen Geschäftsfeldern – insbesondere auf dem Gebiet der Verwertung von Kunststoffabfällen – 1993 auf diese DDR-Patentanmeldung, die übernommen und durch das Deutsche Patentamt aufrechterhalten wurde. Eigene Arbeiten in Verantwortung von *BAUFELD-OEL*, die in einem gemieteten Labor in Webau durchgeführt wurden, bestätigten die Tragfähigkeit der Idee und führten unter Nutzung schon vorher in Webau gesammelter Erfahrungen noch im Jahre 1993 zur Entwicklung eines Verfahrens, das ohne Zusatz von Ölen auskommt und zu deutlich höheren Paraffinausbeuten führt.^{8,9}

Das zentrale Problem auf dem Wege vom Kunststoff zum Paraffin bestand darin, die Spaltung so zu steuern, dass die vorhandenen Molekülstrukturen weitestgehend erhalten bleiben und eine möglichst hohe Ausbeute an festen Paraffinen erreicht wird. Das bedeutet, dass der Spaltprozess gestoppt werden muss, wenn die Spaltprodukte den gewünschten C-Kettenlängenbereich aufweisen, d. h. wenn der Anteil an C₁₈- bis C₅₀-Kohlenwasserstoffen möglichst hoch ist.

Bei den Arbeiten in Webau zeigte sich bald, dass dieses Ziel nur erreicht werden kann, wenn die Spaltung im Vakuum erfolgt und wenn dabei die entstandenen Paraffine sofort abdestilliert werden, bevor sie ihrerseits weiter zu kürzeren Spaltprodukten, d. h. zu flüssigen Kohlenwasserstoffen gecrackt werden können. Dies

7 Vgl. Patent 1981.

8 Vgl. Patent 1993a.

9 Vgl. Patent 1993b.

ist sozusagen ein Lösungsweg in Anlehnung an die „destruktive Destillation“ bei der Teerverarbeitung.

Weil es technisch schwierig ist, die Einspeisung stückiger Abfälle in eine unter Vakuum stehende Anlage vorzunehmen, wurde der Prozess in zwei Stufen getrennt: in eine **erste Stufe**, in der die Abfälle unter Normaldruck bei etwa 350 bis 400 °C in eine niedrigviskose, gut pumpfähige Schmelze umgewandelt werden¹⁰, und in eine **zweite Stufe**, in der diese Schmelze im Vakuum bei etwa 400 bis 430 °C ge crackt wird – bei gleichzeitiger destillativer Entfernung der Spaltprodukte.¹¹

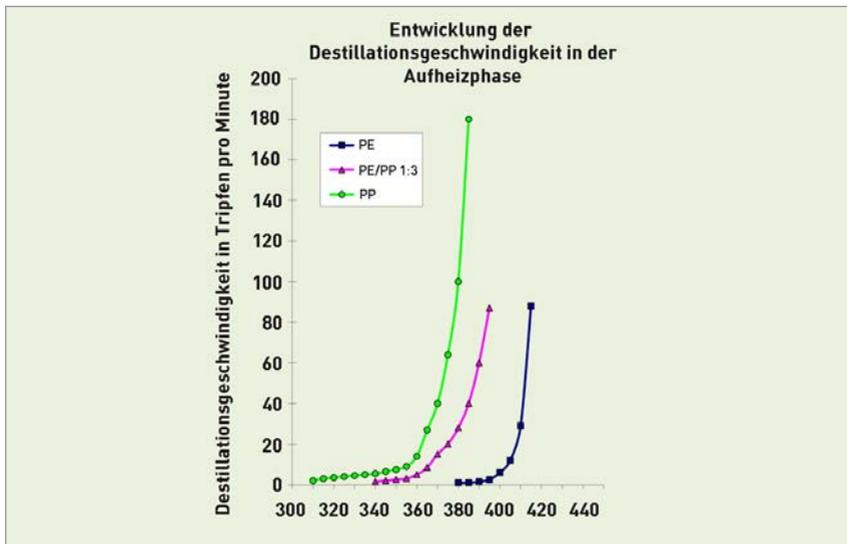


Abbildung 5: Abhängigkeit der Spaltungsgeschwindigkeit von der Temperatur.

Abbildung 5 soll das Verständnis dieses Prozesses erleichtern. Werden Polyolefine auf Temperaturen bis etwa 350 °C bis 400 °C erhitzt, so erfolgt zunächst ein Abbau des Kunststoffes zu wachsartigen Produkten, ohne dass dabei in nennenswertem Umfang destillierbare Verbindungen entstehen. Diese Temperatur ist stark von dem verwendeten Polyolefinmaterial abhängig.

¹⁰ Vgl. Patent 1993a.

¹¹ Vgl. Patent 1993b.

Bei diesem Prozess ist der Druck, bei dem gearbeitet wird, nebensächlich. Man kann also unter Normaldruck arbeiten und dabei bequem den Nachschub an zerkleinertem Kunststoff vornehmen. Steigt die Temperatur weiter, beginnt schlagartig die Zersetzung zu kürzerkettigen Produkten, die sofort abdestillieren wollen. Sobald aber der Bereich der intensiven Spaltung erreicht ist, hängt die Zusammensetzung des Spaltdestillates ganz wesentlich vom herrschenden Druck in der Spaltanlage ab. Voraussetzung ist allerdings, dass die Spaltung unmittelbar mit einer Destillation verbunden ist.

Bei den Versuchen in Webau wurde für den Spaltprozess eine Temperatur von etwa 430 °C bevorzugt. Der Arbeitsdruck hing von der Leistungsfähigkeit der jeweiligen Vakuumpumpe ab und lag etwa bei 10 bis 40 Millibar. Einen guten Überblick über die Dampfdruckverhältnisse bei 400 und 430 °C wird in Abbildung 6 gegeben.

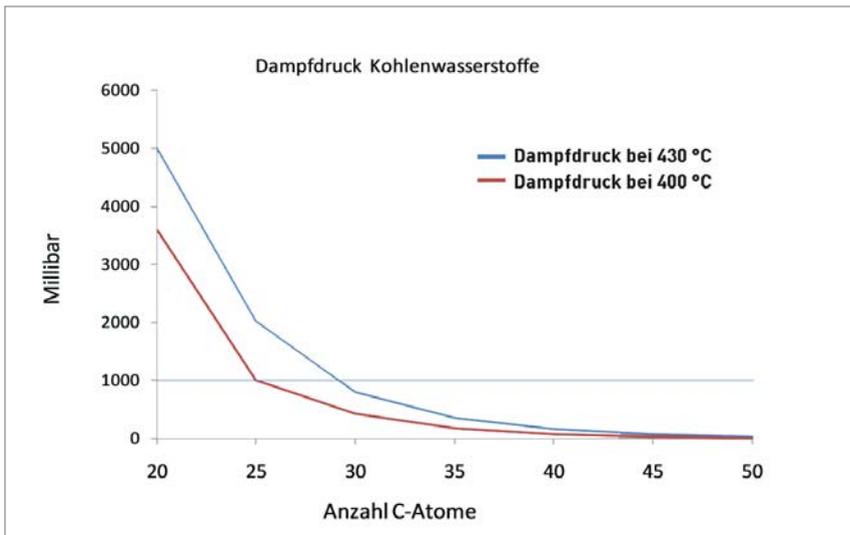


Abbildung 6: Dampfdruck der Kohlenwasserstoffe bei 400 und 430 °C.

Wie die Grafik zeigt, ist unter Normaldruck bei 400 °C der Siedepunkt von einem Paraffin mit der Kettenlänge C_{25} erreicht. Das bedeutet, dass in erster Näherung längerkettige Verbindungen oberhalb C_{25} in der Anlage verbleiben und dort weiter der Spaltung unterliegen. Das heißt auch, sie werden ihrerseits zerstört und in

kürzere Produkte umgewandelt. Ein Paraffin mit 25 C-Atomen schmilzt bei 53 bis 54°C. Da in der abgeschiedenen Paraffinmasse sich auch die noch kürzeren Vertreter aus der Paraffinreihe (C_{18} bis C_{24}) befinden, kann man in einer Normaldruckanlage nur ein Weichparaffin erzeugen. Daran ändert auch nicht viel, dass in der Praxis aus dem Vielstoffgemisch in der Spaltanlage auch Anteile mit höheren Siedepunkten mitgerissen werden und das Bild etwas verschieben.

Wird der Prozess unter Vakuum durchgeführt, dann ändern sich die Verhältnisse gravierend. Bei 400°C und 10 Millibar ist der Siedepunkt von C_{45} erreicht, einem Produkt mit einem Schmelzpunkt im Bereich von etwa 92°C. Auch hier werden gewisse Anteile an noch höhersiedenden Kohlenwasserstoffen, deren Siedepunkt theoretisch noch nicht erreicht ist, mit dem Dampfstrom mitgerissen – ein Umstand, der in der noch zu beschreibenden Demonstrationsanlage eine entscheidende Rolle gespielt hat und der später noch erwähnt wird.

In einer Crackanlage fährt man die Temperatur – wie bereits beschrieben – etwas höher. Im PARAK-Prozess wurde bei etwa 430°C gearbeitet. Unter Normaldruck würde hier theoretisch noch ein C_{29} mit einem Schmelzpunkt von 63°C überdestillieren, bei 10 Millibar liegt die Grenze bei einem C_{50} mit einem Schmelzpunkt von etwa 95°C.

Diese Zusammenhänge dürften bei vielen Bemühungen zur Herstellung von Paraffinen aus Kunststoffen oft nicht bekannt oder nicht berücksichtigt worden sein. Um so interessanter ist die Feststellung, dass diese Zusammenhänge schon in der Promotionsarbeit von J. Utzig¹² von 1967 ausführlich beschrieben sind, wie in den Abbildungen 7 und 8 ersichtlich wird.

12 Vgl. Utzig 1966.

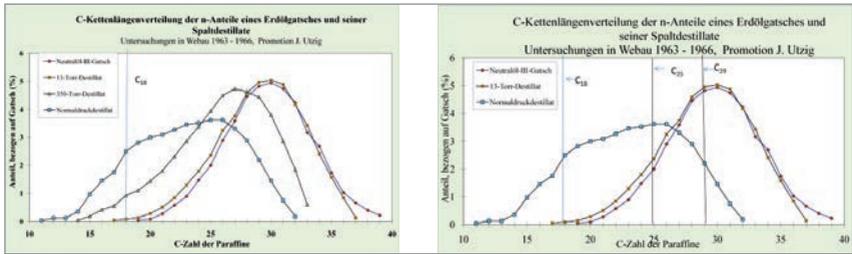


Abbildung 7 (links): Abhängigkeit des thermischen Abbauens vom Druck.

Abbildung 8 (rechts): Abhängigkeit der Destillatzusammensetzung vom Druck.

Abbildung 7 lässt erkennen, dass bei der Destillation im Vakuum kaum eine Änderung gegenüber dem Ausgangsmaterial erfolgt ist. Das wird verständlich, wenn man berücksichtigt, dass der untersuchte Gatsch selbst einer Vakuumdestillation in der Mineralölindustrie bei einem ähnlichen Druck entstammt. Mit zunehmendem Destillationsdruck nimmt der Abbau längerer Verbindungen drastisch zu. Unter Normaldruck sind etwa 11 % des Destillates flüssige Produkte, während sich der Anteil oberhalb C₃₀ um über 40 % verringert hat.

In Abbildung 8 wurde der mittlere Druckbereich weggelassen. Man erkennt deutlich, dass der Anteil an Paraffinen oberhalb C₂₉ stark abfällt. Während der Gatsch 53,2% und das Vakuumdestillat immerhin noch 48,4% dieser Anteile enthalten, sind es beim Normaldruckdestillat nur noch 5,4. Dieser Befund bestätigt die Aussage der Dampfdruck-Grafik (Abbildung 6) überzeugend.

Die späteren Versuche zur Spaltung von Polyolefinen bestätigten diese Ergebnisse. Ein gewisser Anteil an flüssigen Nebenprodukten war allerdings auch beim Arbeiten unter Vakuum nicht völlig zu vermeiden.

Die höchsten Paraffinausbeuten wurden bei Verwendung von PE-Kanister- und Fässer-Schrott (PE-HD) erreicht. Dabei wurde die erste Stufe, das heißt das „Schmelzen und Vorcracken“, in einem Technikumsreaktor von etwa 200 l Gesamtvolumen durchgeführt. Die weiteren Ergebnisse stammen aus Laboruntersuchungen. Bei diesen Arbeiten interessierte damals vor allem das Paraffin. Mit 50 % Ausbeute, bezogen auf eingesetzte Abfälle, wurde ein recht gutes Ergebnis erreicht.

Hierbei ist zu berücksichtigen, dass auch die anderen 45% an gewonnenen Nebenprodukten wie Benzine, DK-Fractionen und Öle auf dem Markt gut absetzbar sind. In der Demonstrationsanlage war der Anteil flüssiger Produkte auf Grund thermischer Überbelastungen und wegen der Verwendung von PE-LD-Material allerdings höher.

Angesichts der guten Ergebnisse bei der Verarbeitung im Labor und im Technikum, entschloss sich Baufeld 1994 zum Erwerb des Paraffinwerkes mit dem unternehmerischen Konzept zum Aufbau einer derartigen Verarbeitungslinie. Für das neue Verfahren wurde der Name „PARAK-Verfahren“ – hergeleitet von „Paraffine aus Kunststoffen“ – gewählt. Sowohl das Verfahren als auch der Name wurden urheberrechtlich geschützt.

7 Bau und Betrieb einer PARAK-Demonstrationsanlage

Um die Ergebnisse der erfolgversprechenden Labor- und Technikumsversuche im größeren Maßstab zu bestätigen, entstand der Plan, eine größere Versuchsanlage zu errichten. Da nachgewiesen werden konnte, dass selbst die in Pflanzenschutzmittelverpackungen enthaltenen Schadstoffe und Gifte unter den Prozessbedingungen zerstört beziehungsweise entfernt werden, hat Baufeld-Öl beim Bundesforschungsministerium die Förderung des Baues einer 20-Kilotonnen-Demonstrationsanlage unter dem Titel *„Entwicklung und Bau einer Demonstrationsanlage zur Aufbereitung von toxisch belasteten PE- und PP-Behältnissen zu hochwertigen Paraffinen, Wachsen und Ölen“* am Standort Webau beantragt und auch genehmigt bekommen.

Der große Vorteil des Einsatzes von Chemieverpackungen wäre gewesen, dass sie fast nur aus PE-HD bestehen und sowohl hohe Ausbeuten als auch beste Paraffinqualitäten hätten erwarten lassen. Als Marktanalysen der Baufeld-Öl GmbH aber ergaben, dass die angestrebte Menge von 20.000 Tonnen/Jahr an Fässern und Kanistern nicht gesichert werden konnte, hat das Unternehmen eine Änderung bezüglich des Ausgangsproduktes vorgenommen und sich für den Einsatz der Folienfraktion aus der Sammlung des Dualen Systems entschieden – das heißt für ein Produkt, das überwiegend aus PE-LD besteht und damit nicht an die Qualität der Chemieverpackungen heranreichte.

Der Titel des Vorhabens wurde in „*Entwicklung und Bau einer Demonstrationsanlage zur Aufbereitung von PE- und PP-Recyclingkunststoffen zu hochwertigen Paraffinen, Wachsen und Ölen*“ geändert.

Leider konnte sich Baufeld nicht dazu entschließen, eine Anlage zum Waschen und Aufbereiten des erheblich verschmutzten und stark mit Fremdstoffen behafteten Materials in das Investitionsprogramm aufzunehmen. Das führte dazu, dass die Demonstrationsanlage mit einem äußerst schlechten Einsatzmaterial zurecht kommen musste.



Abbildung 9: Rechts das Aufschmelzgefäß, links der Crackreaktor.

Das Forschungsministerium stimmte dieser Änderung zu.¹³ Die Anlage wurde gebaut, und im Juli 1997 in einer großen offiziellen Feier eingeweiht. Eingeladen waren etwa 200 Gäste aus der Wirtschaft und der Politik. Abbildung 9 wurde der Pressemappe entnommen und zeigt die beachtlichen Dimensionen der Anlage.

In der Folgezeit wurden zahlreiche Versuche durchgeführt, die ständige Veränderungen an der Anlage erforderten. Auf dem Werksgelände wurde im Freien etwa die Menge des vorgesehenen Jahresbedarfes, also rund 20.000 Tonnen Folienballen aus der Sammlung des DSD eingelagert. Es stapelten sich Unmengen an Ballen,

¹³ Vgl. BMBF 1999.

die, insbesondere bei windigem Wetter, keinen schönen Anblick boten. Es ist kaum vorstellbar, was alles an entsorgtem Müll sich in diesem Material wiederfand.

Es zeigte sich rasch, wie negativ sich das Fehlen einer ordentlichen Waschanlage auswirkte. Eine einfache Sichtkontrolle und das Herauslesen per Hand, sowie die integrierte Metallabscheidung brachten nur eine begrenzte Verbesserung. Eine Folge war, dass sich in der zweiten Verarbeitungsstufe, in der ja der Hauptanteil des Materials als Destillat abgeleitet wurde, sich die Schmutzanteile im Crackrückstand konzentrierten und beim Entfernen aus der Anlage erhebliche Probleme bereiteten. Man muss den damaligen Webauer Technikern bescheinigen, dass sie immer wieder Wege fanden, die Anlage trotzdem weiter zu fahren.

Ein weiteres Problem der Anlage ergab sich aus dem Umstand, dass mit zunehmender Größe eines Gefäßes das Verhältnis von Wandfläche zum Volumen immer kleiner wird. Bei der erheblichen Dimension des Aufschmelzgefäßes reichte die Wandfläche nicht mehr aus, um die benötigte Wärme allein mittels einer Mantelheizung zuzuführen. Infolgedessen war eine Zusatzheizung notwendig und dazu wurde die Schmelze durch einen im Paraffinwerk bereits vorhandenen Röhrenofen geleitet, in welchem Wandtemperaturen bis etwa 500°C herrschten und die Verweilzeit an der Wand unkontrolliert und hoch war. Diese hohen Temperaturen bewirkten, dass sich schon in dem Röhrenofen die Schmelze unter Bildung von leichten Spaltprodukten deutlich zu zersetzen begann. Das führte nicht nur zur Verringerung der Paraffinausbeute, sondern auch dazu, dass diese Schmelze selbst einen Teil der Flüssigprodukte aufnahm. Seinen Ausdruck findet der Gehalt an kürzerkettigen Produkten auch an den relativ niedrigen Erstarrungspunkten des Materials aus der Anlage, die meist im Bereich von 90 bis 95°C lagen. In den Labor- und Technikumsversuchen wurden dagegen Erstarrungspunkte von 120°C und darüber gemessen. Die niedrigen Erstarrungspunkte wären nicht allzu schlimm, solange diese Schmelze in der zweiten Stufe ohnehin gespalten werden sollte. Hier ist die Folge lediglich eine Ausbeuteverschiebung hin zu Flüssigprodukten gewesen. Die negativen Auswirkungen treten erst dann richtig in Erscheinung, wenn man diese Schmelze als solche verwenden, also nicht weiter zum Paraffin spalten will. Dann können sich die kürzerkettigen Anteile (Abbildung 10) negativ auswirken. Hierauf wird unten noch eingegangen.

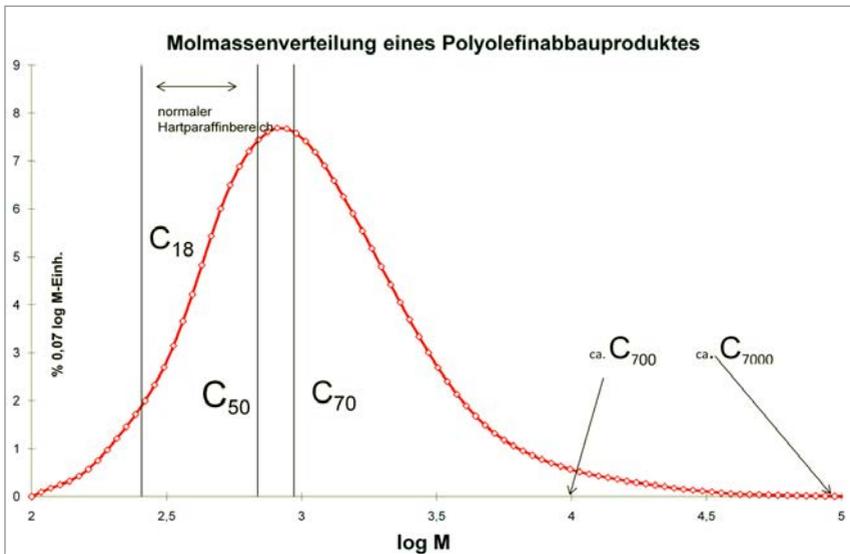


Abbildung 10: Molmassenverteilung einer PARAK-Schmelze

Als ein weiterer schwerwiegender Schwachpunkt der Anlage erwies sich die Ausgestaltung der Fraktionierung des Crackdestillates. Zur Auftrennung dieses Destillates wurde der gesamte Brüdenstrom, der aus der Crackdestillation kam, in eine ebenfalls aus der Vergangenheit stammende Fraktionierkolonne geleitet. Hier erfolgte die Zerlegung in eine Benzin- und eine Dieselmotorenstofffraktion, die als Seitenströme abgenommen wurden, sowie eine als Paraffinfraktion bezeichnete Sumpffraktion. Es stellte sich bald heraus, dass in dem Brüdenstrom nicht nur Verbindungen enthalten waren, deren Siedepunkt bei der Cracktemperatur und dem angelegten Vakuum theoretisch bereits erreicht war. Das hätte nur Verbindungen bis maximal C₅₀ betroffen. Vielmehr wurden, wie bereits erwähnt, mit dem Dampfstrom noch Anteile an höheren Verbindungen des Mikrowachsbereiches mitgerissen. Gefunden wurden Verbindungen mit bis zu 100 und teilweise bis 150 C-Atomen. Die Zusammensetzung dieses wachsartigen Rückstandes ist aus Abbildung 11 zu ersehen. Der Anteil dieser abgetrennten Fraktion lag immerhin bei etwa 15 % der sogenannten Paraffinfraktion. Allerdings sind in dieser Wachsfraction auch erhebliche Anteile des Hartparaffinbereiches enthalten.

Diese Wachsanteile störten die Kristallisation des Paraffins sehr stark. Insbesondere auf Grund dieser unzureichenden Kristallstruktur der Paraffinfraktion musste auf einen Einsatz in der vorhandenen großtechnischen Paraffinfabrik verzichtet werden. Es sei darauf hingewiesen, dass eine gute Kristallstruktur bei der Herstellung des Paraffins eine Grundvoraussetzung ist, um die Filtrierbarkeit der sogenannten Maische, eines Gemisches aus Paraffinkristallen und Lösungsmittel, zu gewährleisten. Laborversuche zeigten, dass nach einer ordentlichen destillativen Auftrennung dieser als Sumpf angefallenden Fraktion aus der dann gewonnenen sauberen Paraffinfraktion Paraffine von hoher Qualität gewonnen werden können.

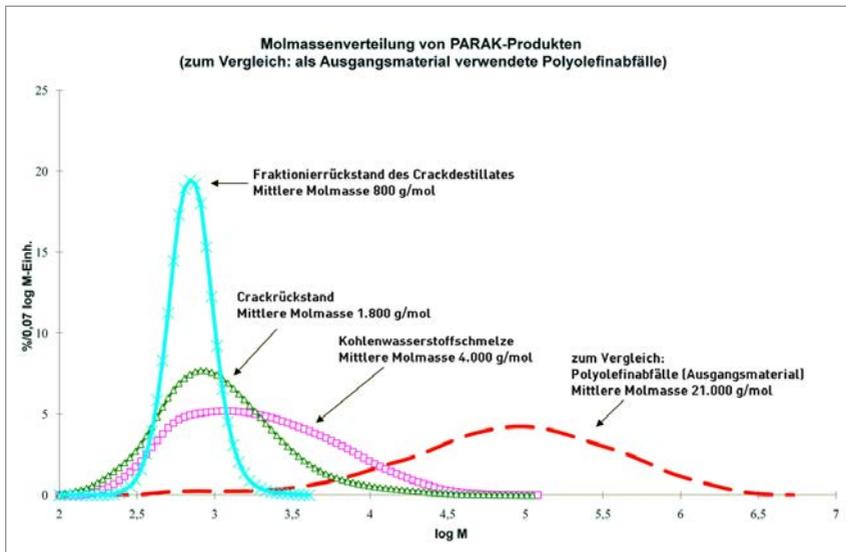


Abbildung 11: Molmassenverteilung PARAK-Produkte

Es wäre nun nötig gewesen, eine weitere Kolonne zu errichten. Allerdings wären dafür noch zusätzliche finanzielle Aufwendungen erforderlich gewesen, für die aber die Bereitschaft des Unternehmens und wahrscheinlich auch die entsprechenden Mittel nicht vorhanden waren.

In diesem Zusammenhang soll auf eine Veröffentlichung von Günther Kurtze in den *Merseburger Beiträgen zur Geschichte der chemischen Industrie Mitteldeutsch-*

*lands*¹⁴ verwiesen werden, in der – neben einer ausführlichen Beschreibung der Entwicklung der Paraffinindustrie in Mitteldeutschland – auch auf weitere Details zum Schicksal der Webauer Demonstrationsanlage ausführlich eingegangen wird.

Es wurde in der Vergangenheit viel über das Scheitern dieser Versuchsanlage gesprochen, was auf den ersten Blick durchaus verständlich ist. Doch wertet man alle Ergebnisse einschließlich der im Labor und im Technikum gewonnenen aus, haben die Forschungsarbeiten in ihrer Gesamtheit die Richtigkeit der PARAK-Idee bestätigt.

Hätte man die Demonstrationsanlage fairerweise als das bewertet, was sie eigentlich sein sollte – nämlich eine Versuchsanlage und keine Produktionsanlage – hätte man mit den gewonnenen Ergebnissen eine wahrscheinlich gut funktionierende Anlage bauen können. In Abbildung 12 wird eine Zusammenfassung der wichtigsten Erkenntnisse aus dem Forschungsvorhaben gegeben.

Erkenntnisse aus dem PARAK-Forschungsvorhaben

Reinheit der Rohstoffe
Ungereinigte Folienabfälle haben einen zu hohen Schmutzeintrag zur Folge und führen zu hohen Ascheanteilen in der Schmelze und zu einem hohen Anteil an Crackrückstand. Eine ordentliche Aufbereitung des Einsatzmaterials ist notwendig.

Reaktorgröße
Die gewählte Größe für den Durchsatz von 20.000 Tonnen/a in einem Reaktor ist ungeeignet, um den Wäreintrag über ein Mantelheizung vorzunehmen. Mehrere kleinere Reaktoren wären besser.

Beheizung des Aufschmelzgefäßes
Die Aufheizung mittels Röhrenöfen ist ungeeignet und führt zu einer Verschiebung hin zu Flüssigprodukten. Die so gewonnene Schmelze (Wachs) enthält hohe Anteile an Weichparaffinen und Flüssigprodukten. Für manche Anwendungen der Schmelze wie Einsatz als Latentwärmespeicher ist das von Nachteil.

Fraktionierung der Spaltprodukte
Das Crackdestillat muss sehr sorgfältig fraktioniert werden. Aus der Paraffinfraktion sind insbesondere die wachsartigen Verbindungen oberhalb C₅₀ abzutrennen. Aus dem so erhaltenen Rückstand lässt sich noch ein wertvolles Wachs (C₅₀ bis C₁₅₀) gewinnen.

Abbildung 12: Erkenntnisse aus den Forschungsergebnissen.

¹⁴ Vgl. Kurtze 2007.

8 Zielstellung des „netzwerkes WACHSE“

Eine Auswertung der im Forschungsbericht für das BMBF zum Webauer Förderthema¹⁵ beschriebenen Ergebnisse durch Steinbeis RTM Halle und gemeinsame Überlegungen mit dem Erfinder des PARAK-Verfahrens führten zu dem Entschluss, die alten Ergebnisse neu zu bewerten und nach Möglichkeit einer Nutzung zuzuführen. Nach einer gründlichen Analyse der in dem Verfahren außer der Paraffingewinnung noch steckenden weiteren Chancen, wurden die Vorbereitungen für einen Antrag bei dem BMBF zur Förderung eines Netzwerkes Wachse eingeleitet.

Das Steinbeis-Team ging zunächst davon aus, dass die Paraffinwerk Webau GmbH in dem Projekt eine maßgebliche Rolle übernimmt. Eine solche Kooperation hätte insbesondere aus patentrechtlicher Sicht Vorzüge gehabt. Leider ist diese Kooperation nicht zustande gekommen. Die Teilnahme von Dr. Schneider als Geschäftsführer und Gesellschafter dieses Unternehmens am Innovationsforum lässt hoffen, dass es vielleicht hier doch noch zu einer Zusammenarbeit kommen könnte.

Es war nun eine gewisse Konkurrenzsituation entstanden, die aber auch den Vorteil hat, dass das Netzwerk sich auch mit Themen befasst, die über den Interessenbereich eines Paraffin- beziehungsweise Bitumenwerkes hinausgehen, wie zum Beispiel auf Fragen der Latentwärmespeicherung. Aber auch auf dem Gebiet der Herstellung von Wachsen und dem für Webau wichtigen Gebiet der Bitumenverbesserung zeichnen sich Lösungen ab, die über den alten Kenntnisstand hinausgehen.

Einige der im Rahmen des Netzwerkes untersuchten Themen sollen hier diskutiert werden.

8.1 Herstellung von Paraffinen

Die Herstellung von Paraffinen war das eigentliche Ziel des PARAK-Verfahrens. Es dürfte hinreichend gesichert sein, dass eine optimale Paraffinausbeute mit PE-HD zu erreichen ist, aber auch mit PE-LD lassen sich hochwertige Hartparaffine herstellen.

¹⁵ Vgl. BMBF 1999.

Notwendig wäre hier ein zweistufiges Verfahren unter weitgehender Anlehnung an die Webauer Ergebnisse. Leider muss man feststellen, dass es heute auch nicht nur annähernd so gute Voraussetzungen für eine derartige Anlage gibt als in den 90er Jahren des vergangenen Jahrhunderts.

Damals gab es am Standort eine funktionierende Paraffinfabrik, die nach einem bewährten Lösungsmittelverfahren arbeitete, sowie solche Anlagen wie Röhrenöfen, Fraktionierkolonne und ausreichend Tankraum. Der Paraffinrohstoff Erdölgatsche war knapp, so dass ein neuer Rohstoff sehr gelegen kam und das Werk hätte weitgehend unabhängig machen können. Es gab genügend Forschungsergebnisse, die zeigten, dass die neue Rohstoffquelle ausgezeichnet geeignet war, um neue Spezialparaffine herzustellen, wie es sie auf dem Markt noch nicht gab.

Heute gibt es im mitteldeutschen Raum keine funktionierende Paraffinfabrik. Im Rahmen des Netzwerkes wird derzeit keine Möglichkeit gesehen, in absehbarer Zeit eine Anlage in der Dimension der damaligen Webauer Anlage zu errichten, die den Prozess bis zum Paraffin verwirklichen könnte. Denkbar wäre allerdings, dass der thermische Prozess in zwei Verarbeitungsstufen bis zur Gewinnung von paraffinischen Fraktionen geführt wird, die auf dem Markt als Ergänzung der verfügbaren Erdölgatschpalette angeboten werden könnten.

Als ein Fazit bleibt, dass das komplette Verfahren bis zum Paraffin zwar eine interessante Perspektive bietet, momentan aber noch kein Investor in Sicht ist, der ein solches Vorhaben umsetzen will und auch umsetzen kann.

Anders sieht es dagegen mit der ersten Verarbeitungsstufe aus.

8.2 Gewinnung hochschmelzender Wachse

Wenn die erste Verarbeitungsstufe zunächst auch nur als Zwischenstufe auf dem Weg zu den Paraffinen entwickelt wurde, war doch bald zu erkennen, dass die hierbei gewonnenen Schmelzen hochwertige Materialien darstellten, die sich wie höherschmelzende Wachse verhielten. Es handelte sich hier um Produkte, die eine mittlere Molmasse von etwa 4000 bis 8000 g/mol aufwiesen. Das Maximum in der C-Kettenlängenverteilung bildeten Verbindungen mit etwa 50 bis 70 Kohlenstoffatomen. Das gesamte Spektrum reicht aber wie bereits erläutert von einem geringfügigen Anteil an Flüssigparaffinen (ab 18 C-Atome sind Paraffine bei Zimmertemperatur fest) bis hin zu Wachsen mit Kettenlängen mit einigen Zehntausenden an C-Atomen.

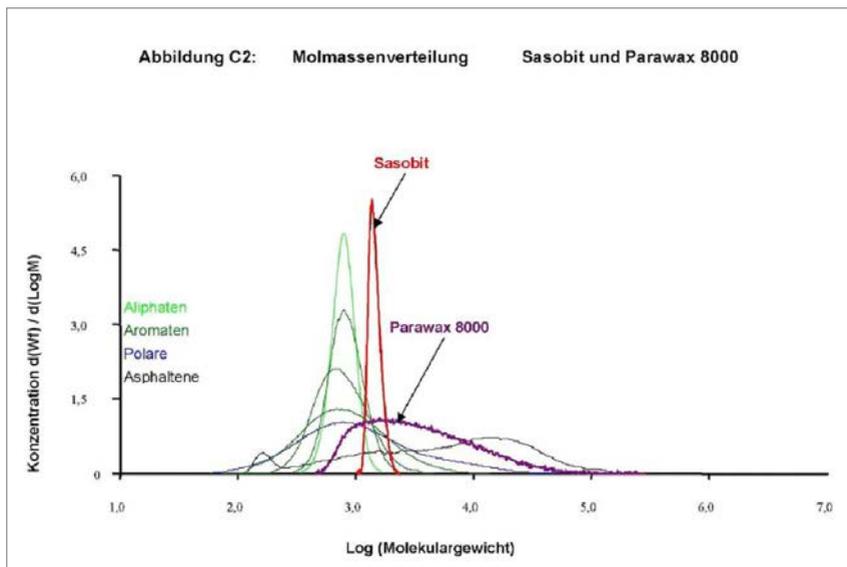


Abbildung 13: Auszug aus dem Bericht der Bundesstraßenbaudirektion.

Sehr interessant ist auch ein Vergleich des PARAK-Wachses mit einem hochschmelzenden Fischer-Tropsch-Wachs. In einem Bericht der Bundesanstalt für Straßenwesen über Versuche mit Zusatzstoffen im Straßenbaubitumen¹⁶ wird die in Abbildung 13 dargestellte Grafik gezeigt, die ein Webauer PARAWAX dem Bitumenzusatzstoff *Sasobit der Sasol-Wax GmbH Hamburg* gegenüberstellt. (Auf diesen Bericht wird weiter unten noch näher eingegangen.) Rechnet man die logarithmischen Werte um, dann ergibt sich für das Sasobit ein relativ enger C-Kettenlängenbereich von etwa C_{80} bis C_{160} . Das PARAWAX dagegen umfasst ein Spektrum von etwa C_{28} bis weit über C_{7000} . Der Name PARAWAX 8000 besagt, dass die mittlere Molmasse des Produktes bei 8000 g/mol liegt, das entspricht theoretisch einer mittleren Kettenlänge von etwa 570 C-Atomen. Diese Gegenüberstellung ist insofern sehr interessant, als sie zeigt, dass man die beiden Produkte nicht gleichsetzen darf, auch wenn sie sich in ihren physikalischen Kennwerten wie Schmelzpunkt und Viskosität nicht wesentlich unterscheiden.

Im Rahmen des *Netzwerkes Wachse* wurden Anfang 2010 trotz der sehr begrenzten finanziellen Möglichkeiten bereits einige Versuche zur Herstellung eigener Wachsprouben durchgeführt, um Muster für potentielle Anwendungen in der Wachs- und Bitumenindustrie sowie auf dem Gebiet der Wärmespeicherung herzustellen. Darüber hinaus galt es, die Tragfähigkeit des ganzen Projektes zu testen. So wurden zunächst Laborversuche mit Sekundärmaterial der *Multiport Recycling GmbH* in Bernburg, speziell mit Granulat aus PE-HD- und PP-Abfällen bei der *ASL Analysen Service GmbH* in Leipzig durchgeführt. Die Laborproben des Wachses aus PE-HD waren relativ niedrigviskos, hatten einen scharfen Phasenübergang und entsprachen auch in ihrem Schmelzpunkt in etwa den Proben, die in Webau in der Technikumsanlage hergestellt worden waren. Bei den Proben aus PP-Material ließen sich mehrere Phasenübergänge feststellen. Der Tropfpunkt weist mit 156 °C auf ein sehr hochschmelzendes Wachs hin. Die intensive Färbung der Abfälle und der Wachse lässt auf eine intensive Pigmentierung des Materials schließen.

Fortgesetzt wurden die Arbeiten dann durch Technikumsversuche gemeinsam mit dem *Fraunhoferinstitut für Werkstoffmechanik IWMH* in Halle unter Verwendung eines Extruders und unter Einsatz des gleichen Materials wie für die Laborversuche.

¹⁶ Vgl. Hirsch/Jannike/Radenberg/Weißelborg 2005.

Zusätzlich wurde auch ein PE-HD-Primärmaterial verarbeitet. Die gewonnenen Proben hatten eine höhere Viskosität als die analogen Labormuster, das zeigt, dass der Abbau der Kunststoffe hier noch nicht so weit fortgeschritten war wie bei den Laborversuchen oder in der PARAK-Anlage. Nach den bisherigen Ergebnissen ist zu erwarten, dass es gelingt, den C-Kettenlängenbereich des Waxes und damit weitere Produkteigenschaften deutlich präziser einzustellen, als das in der Demonstrationsanlage möglich war. Auch kostenseitig ist ein Qualitätssprung zu erwarten. Hier sind aber noch weitere Forschungsarbeiten nötig.

8.3 Das PARAK-Verfahren als potentielle Quelle für Latentwärmespeichermaterialien

Wie andere Paraffine auch, sind die PARAK-Paraffine – insbesondere die geradkettigen – als Speichermedien verwendbar. Für die Gewinnung dieser Paraffine aus Kunststoffabfällen nach dem zweistufigen Verfahren bestehen, wie bereits erwähnt, zur Zeit wenig Chancen.

Als neues Speichermedium bietet sich aber das beschriebene und mit „Schmelze“ bezeichnete Wachs aus der ersten Verarbeitungsstufe an. Der Investitionsaufwand für seine Herstellung ist naturgemäß deutlich niedriger als der für Paraffine.

Die mit diesem Wachs erreichbaren Erstarrungspunkte beziehungsweise Schmelzpunkte bis zu etwa 130°C und bei PP-Abbauwachsen wahrscheinlich noch deutlich darüber, sind mit Paraffinen aus Erdölgatschen nicht erreichbar. Bisher lassen sich höherschmelzende Paraffine (oberhalb 100°C) entweder nach dem *Fischer-Tropsch-Verfahren* oder durch gezielte Polymerisation von Ethylen gewinnen. Wie die Abbildung 13 gezeigt hat, unterscheiden sich die Produkte in ihrer Zusammensetzung aber gründlich vom PARAWAX.

Der überdurchschnittliche Speichereffekt der Paraffine beruht hierbei auf der Nutzung der hohen Schmelzwärme (Schmelzenthalpie des Paraffins: etwa 43 bis 55 kcal/kg, entsprechend etwa 180 bis 230 kJ/kg).

Diese Schmelzwärme in Verbindung mit der gleichzeitig stattfindenden Erwärmung des Mediums (Nutzung der fühlbaren Wärme) hat zum Ergebnis, dass mit Paraffinspeichern im Vergleich zu Wasser die etwa 3- bis 4-fache Wärmemenge im gleichen Volumen gespeichert werden kann. Nachteilig für die Verwendung der Paraffine sind ihre geringe Wärmeleitfähigkeit und ihre erhebliche Volumenänderung beim Phasenübergang (bis etwa 10 %). Dieser Nachteil ist auch bei dem Wachs zu verzeichnen und muss – und kann – konstruktiv berücksichtigt werden.

Entgegen den ursprünglichen Erwartungen an die Eignung des Webauer PARAWAX als Latentwärmespeichermaterial haben Messungen bei *RUBITHERM* im Zusammenhang mit dem Netzwerk Wachse gezeigt, dass PARAWAX einen extrem breit gezogenen Schmelzbereich aufweist und sich in dieser Form nicht für diesen Zweck eignet. Diese Feststellung bestätigt die Aussage, die sich schon bei Betrachtung der in den Bildern dargestellten sehr breiten Molmassenverteilung ableiten lässt, welche zeigt, dass dieses Material im kurz-kettigen Bereich bis hin zu Flüssigparaffinen reicht. Hier wäre eine aufwändige Abtrennung dieser kurz-kettigen Anteile über eine Destillation oder eine Lösungsmittelbehandlung notwendig.

Es kann schon jetzt als ein wichtiges Ergebnis des Netzwerkes gewertet werden, dass die gemeinsam mit *Fraunhofer* im Technikum produzierten Muster ein wesentlich besseres Bild abgeben. So ist es gelungen, durch gezielte Auswahl des verwendeten Kunststoffes und entsprechende Verfahrensgestaltung zu ausgezeichneten Produkten mit sehr hoher Schmelzwärme und engem Schmelzbereich zu gelangen. Wenn sich dieser Lösungsweg auch großtechnisch realisieren lässt, hätten sich die Mühen um das Netzwerk schon gelohnt.

8.4 Verwendung der Wachse als Bitumenverbesserer

Es ist Stand der Technik, dass die Qualität von Bitumen durch den Zusatz von Polyolefinkunststoffen und auch von Abbauwachsen der Polyolefine deutlich verbessert werden kann. Für das als PARAWAX bezeichnete Produkt aus der Demonstrationsanlage Webau liegen hier repräsentative Ergebnisse vor, die im Zeitraum 2000 bis 2005 auf einer Erprobungsstrecke auf der Bundesautobahn 1 bei Trier im Rahmen des bereits erwähnten Forschungsvorhabens unter Regie der *Bundesanstalt für Straßenwesen*¹⁷ gewonnen wurden. Danach hat sich dieses Produkt gut bewährt.

In einem Patent in Inhaberschaft des früheren Geschäftsführers des Paraffinwerkes, Herrn Dr. Bühler¹⁸, wird der Zusatz eines solchen Waxes beschrieben. Hier wird beansprucht, dass dieses Wachs zuvor von kürzerkettigen Anteilen bis C_{50} durch Destillation befreit werden muss.

Bei den Produkten aus der Fraunhofer-Anlage handelt es sich um Stoffe, die nach einer anderen Technologie hergestellt sind und die sich auch in der Zusammensetzung von den bisherigen Polyolefinwachsen unterscheiden. Das drückt sich schon in einem um rund 30 bis 40°C höheren Schmelzpunkt aus. Es bestehen also große Chancen, dass sich hier neue Optionen erschließen.

Erste orientierende Untersuchungen an der *Hochschule Anhalt* in Dessau unter Verwendung der neuen Wachse zeigen, dass diese grundsätzlich geeignet sind und zu Qualitätsverbesserungen führen. Zwischen *Steinbeis-Transferzentrum Ressourcen-Technologie und Management* und der *Hochschule Anhalt* besteht Übereinstimmung, dass es sich lohnt, an dieser Stelle möglichst bald mit neuen Untersuchungen anzusetzen. Es wird erwartet, dass die neuen Produkte auch in den Mischungen mit Bitumen neue Eigenschaften bewirken werden.

17 Vgl. Hirsch / Jannike / Radenberg / Weßelborg 2005.

18 Vgl. Patent 2000.

8.5 Verwendung der Flüssigprodukte

Als Nebenprodukte werden bei der zweistufigen Fahrweise verschiedene Flüssigfraktionen gewonnen, es sind dies zunächst die bei der Fraktionierung anfallenden Fraktionen des Benzin- und DK-Bereiches und dann die bei der Weiterverarbeitung der Paraffinfraktion anfallenden Öle. Dies sind alles hochwertige schwefelfreie Produkte. Orientierende Versuche bestätigen die gute Qualität dieser Fraktionen.

Im Rahmen des Netzwerkes wurde auch über die Frage der Speicherung von Wärme bei niedrigen Temperaturen, oder mit anderen Worten, der Speicherung von Kälte diskutiert. Es bestand Übereinstimmung darin, dass dieses Thema in der Zukunft immer mehr an Bedeutung gewinnen wird und der Bedarf höher sein könnte als bei der herkömmlichen Wärmespeicherung. An dieser Stelle könnten Flüssigprodukte aus der Spaltung von Polyethylen interessant werden.

Physikalische Eigenschaften einiger flüssiger Alkane						
Name	Summenformel	Molekulargew.	Schmelzpkt. °C	Siedepunkt °C	Anteil in DK-Frakt. *) Masse - %	
n-Undekan	C ₁₁ H ₂₄	156,31	-26	196	4,8	
n-Dodekan	C ₁₂ H ₂₆	170,34	-12	215	5,5	
n-Tridecan	C ₁₃ H ₂₈	184,37	-6	234	6,0	
n-Tetradecan	C ₁₄ H ₃₀	198,40	6	253	6,3	
n-Pentadecan	C ₁₅ H ₃₂	212,42	10	271	6,0	
n-Hexadecan	C ₁₆ H ₃₄	226,45	18	280	5,4	
n-Heptadecan	C ₁₇ H ₃₆	240,48	19	303	5,1	
					Gesamt: 39,1	
*) Anteil Alkane und Alkene in der DK-Fraktion						

Abbildung 14: Eigenschaften von Flüssigalkanen.

Wie die Tabelle (Abbildung 14) zeigt, liegen die Schmelzpunkte der hier aufgeführten Kohlenwasserstoffe in einem Bereich, der technisch interessant ist. Die in der letzten Spalte eingefügten Zahlen geben an, in welcher Menge die geradkettigen Kohlenwasserstoffe dieser Kettenlänge in einer Flüssigfraktion der Demonstrationsanlage gemessen wurden. In diesen Zahlen sind die einfach ungesättigten geradkettigen Verbindungen, also die mit einer Doppelbindung einbegriffen. Hierbei ist zu berücksichtigen, dass diese Zahlen aus Spaltprodukten von PE-LD stammen. Beim Einsatz von PE-HD dürften die Werte um einiges höher liegen.

Technisch wäre es sicher machbar, Abfälle aus PE-HD zu spalten und die Spaltprodukte zunächst zu hydrieren und dann in saubere Fraktionen zu zerlegen. Ob dies ökonomisch sinnvoll ist, bedarf allerdings noch einer gründlichen Überprüfung.

9 Bewertung der bisherigen Ergebnisse

Die bisherigen Untersuchungen und Abstimmungen zeigen, dass das Thema des Netzwerkes nach wie vor erhebliche Chancen zur Erschließung neuer Anwendungen für Polyolefinkunststoffe und insbesondere für ihre Abfälle bietet. Das ursprüngliche Ziel, nämlich die Herstellung von Paraffinen des üblichen Hartparaffinbereiches, tritt dabei in den Hintergrund, da die technischen Voraussetzungen für die Einbindung in den Produktionsfluss einer modernen Paraffinfabrik nicht gegeben sind. Möglicherweise kann dies aber zu einem späteren Zeitpunkt nachgeholt werden.

Als recht erfolgversprechend zeichnet sich die Verwertung von Polyethylenabfällen zur Herstellung von Latentwärmespeichermedien ab. Vor allem zeigen die im Fraunhoferinstitut nach einer neuen Technologie hergestellten Proben unter Einsatz von PE-HD recht hohe Schmelzwärmen und damit gute Voraussetzungen für die Anwendung in Latentwärmespeichern. Für weitere Untersuchungen sind insbesondere die Erfahrungen von *RUBITHERM* gefragt.

Recht aussichtsreich scheint auch die Anwendung als Bitumenverbesserer, allerdings müssen auch hier noch entsprechende Untersuchungen folgen. Hier gibt es gute Ansätze mit der *Hochschule Anhalt*.

Für die Anwendung auf dem üblichen Wachssektor haben die Proben aus dem Fraunhoferinstitut noch zu hohe Viskositäten. Hier waren die Proben aus den Laborversuchen wegen der niedrigeren Viskosität besser. Auch hier sind weitere Untersuchungen aussichtsreich und werden hoffentlich in Regie von *ROMONTA* stattfinden.

Das Gebiet der Kältespeicherung ist noch relativ neu, scheint aber recht interessant zu werden. Hier sollte allerdings zunächst noch über die Ökonomie der Herstellung entsprechender Produkte nachgedacht werden. Die technische Machbarkeit dürfte über eine Spaltung von PE-HD unter Normaldruck und anschließende Hydrierung und Fraktionierung der Destillate möglich sein.

Literaturverzeichnis

BMBF (1999): „Entwicklung und Bau einer Demonstrationsanlage zur Aufbereitung von PE- und PP-Recycling-Kunststoffen zu hochwertigen Paraffinen, Wachsen und Ölen“. Fördervorhaben des BMBF 1995 bis 1999, Förderkennzeichen 01 ZH 957 A, Abschlußbericht 1999.

Heberling, R. (1961): In: Freiburger Forschungshefte A Band 201, S. 40–41.

Hirsch, V./Jannike, B./Radenberg, M./Wefselborg, H.-H. (2005): „Dokumentation der Erprobungsstrecke BAB 1 – ‚Modifizierende Zusätze im Splittmastixasphalt‘ km 444+457 bis 450+389“. Beginn: 2000, Abschluss: 2005, Bundesanstalt für Straßenwesen, Bergisch Gladbach, IFTA GmbH, Essen u. a.

Kurtze, G. (2007): „Zur Geschichte der chemischen Industrie Mitteldeutschlands“. In: Merseburger Beiträge 12. Ausg. 1/2007.

Meyer, G. (2009): „Thermisches Verhalten von Mikrokrystallinen Wachsen in Abhängigkeit vom Entölungsgrad“. In: SOFW-Journal, Band 135, 8/2009.

Meyer, G. (2005): „Crystallisation processes and hardness of paraffin waxes characterized by DSC, ultrasonic, x-ray and needle penetration measurements“. In: SÖFW-International Journal for Applied Science, Ausg. 8, 2005, S. 51–58.

Patent (1981): „Verfahren zur Gewinnung von Kohlenwasserstoffen aus Polyolefinen“. Patent DD 2000891, Anmeldetag 30.09.1981, Aufrechterhaltung 20.04.1995.

Patent (1993a): „Verfahren zur Herstellung von Kohlenwasserstoffschmelzen aus Polyolefinen“. Patent DE 4344845, Anmeldetag 29.12.1993.

Patent (1993b): „Verfahren zur Gewinnung von festen und flüssigen Kohlenwasserstoffen aus Polyolefinen“. Patent DE 4344846, Anmeldetag 29.12.1993.

Patent (2000): „Bitumen mit einem Anteil an Polyolefinabbauwachs und dessen Verwendung“. Patent DE 10013465, Anmeldetag 18.03.2000.

Utzig, J. (1966): „Über die Paraffingewinnung aus Romaschkinsker Erdölgatschen unter spezieller Berücksichtigung der Technologie des VEB Paraffinwerk Vorwärts Webau“. Dissertation Halle, Martin-Luther-Universität.

von Reichenbach, K. L. (1830): „Zur organischen Chemie – Beiträge zur näheren Kenntnis der trockenen Destillation organischer Körper“. In Journal für Chemie und Physik Band 59, S. 436.

von Reichenbach, K. L. (1831): „Zur organischen Chemie – Beiträge zur näheren Kenntnis der trockenen Destillation organischer Körper. Ueber das Vorkommen von Cholesterin im Thiertheer“. In: Journal für Chemie und Physik Band 61, S. 273.

Teil B

Erfahrungen mit Depolymerisationstechnologien

Wolf-Eberhard Nill | Nill-Tech-GmbH, Holzgerlingen

Die Syntrol[®]-Technologie als mögliche Basis für die Gewinnung von Wachsen und Paraffinen

Plastik und Plastikabfall ist zurzeit wieder in aller Munde. Filme wie „Plastic Planet“ erregen weltweites Aufsehen. Plastik an sich ist kein Problem, sondern nur wie die Menschheit sich dessen entledigt.

Unsere Gesellschaft und unsere heutige Lebensweise sind ohne Plastik nicht denkbar. Die Firma Nill-Tech beschäftigt sich seit knapp acht Jahren mit dem Thema Plastik. In dieser Zeit wurde von uns die SYNTROL®-Technologie entwickelt und zur Marktreife gebracht.

Die Firma Nill-Tech wurde 1992 gegründet. Von Anfang an hat sie sich verfahrenstechnischen Umweltproblemen der Industrie gewidmet. Besonders wichtig war dabei insbesondere die Abwassertechnik von Industriebetrieben. Sie hatte von Beginn an den Anspruch, die ausgetretenen Pfade zu verlassen, in welchem ein Problem mit der Schaffung von zwei neuen Problemen gelöst wird, d. h. man kann kein Abwasserproblem befriedigend lösen, in dem man die bestehenden Probleme in die Luft oder in den Abfallbereich verlagert. Zwangsläufig kommt dann die ganze Palette physikalischer Trennprozesse zum Einsatz, wie z. B. die Membrantechnik.

Als besonders erwähnenswerte Lösung wird hier das Projekt BMW-5 hervorgehoben. Im Zeitraum 2000–2007 hat Nill-Tech in drei Schritten das größte Motorenwerk von BMW, das in Steyr/Österreich angesiedelt ist, während der laufenden Produktion auf abwasserfreien Betrieb umgestellt.



Der ökonomische Aspekt ist hierbei: BMW spart 60.000 m³/p.a. Frischwasser ein und es werden ca. 30.000 m³ Abwasser jährlich nicht mehr zur kommunalen Abwasserkläranlage eingeleitet.

Für BMW resultieren hieraus drei wesentliche Vorteile.

1. Gesetzesverschärfung im Bereich Abwasser tangieren die Produktion von BMW-Motoren nicht mehr.
2. BMW ist aufgrund dieser installierten Anlagentechnik als nachhaltig produzierender Automobilhersteller eingestuft worden.
3. Der Standort Steyr ist die Benchmark für alle anderen BMW-Produktionsstätten hinsichtlich Abwassertechnik.

An dieser Stelle kommt „SYNTROL®“ zum Tragen:

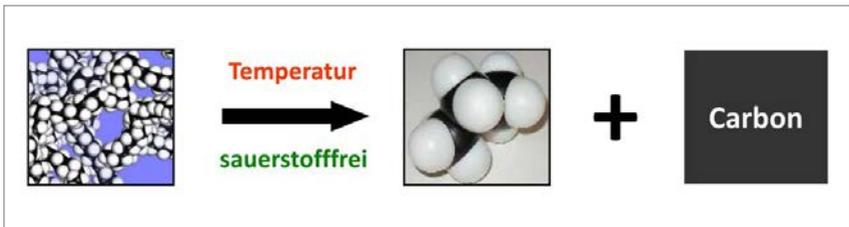
SYNTROL® stellt die Synthese aus Ökonomie und Ökologie dar.

SYNTROL® beruht auf drei Grundgedanken. Diese sind:

1. dass aus einem festen Rohstoff, wie z. B. Kunststoffabfällen, ein flüssiger Rohstoff wird, der vielseitig verwendbar ist. Hier ist die Analogie im weitesten Sinne zu dem Gedanken der Kohleverflüssigung zu sehen, und wenn man sich darauf beschränkt, den Rohstoff als Energieträger zu sehen, dann hier die Analogie der Umstellung von Kohle auf Diesel.
2. dass die Anlagentechnik nicht zu groß sein darf, aber auch eine Mindestgröße haben muss, damit sie wirtschaftlich betrieben werden kann. Dazu ist wichtig, dass man strikt das Regional-Prinzip, d. h. kurze Transportwege für den Rohstoff (max. 50 km) berücksichtigt.
3. eine optimale Energieeffizienz zu erzielen.

SYNTROL® in kurzen Worten bedeutet:

Makromoleküle, wie z. B. Polyethylen oder Polypropylen, werden bei höherer Temperatur und unter absolutem Sauerstoff-Ausschluss gespalten. Hierdurch entstehen Kohlenwasserstoff-Moleküle mit kürzerer Kettenlänge sowie etwas Koks bzw. Ruß.



Sehr wichtig für die Funktionalität des Prozesses und die Qualität des Produktöls ist eine optimale Vorbehandlung des Rohstoffes. Unter „Vorbereitung“ versteht man, dass die Kunststoffabfälle gut sortiert werden müssen. Unerwünschte Materialien wie PET, Metalle oder PVC müssen aussortiert werden. Das Material muss auf eine Größe von ca. 20 × 30 mm geschreddert werden.

Danach wird der Rohstoff in ein Zuführsystem dosiert und aus diesem heraus wird das Material verdichtet und inertisiert in den ersten Reaktor gefördert. Das Reaktorsystem besteht aus mehreren Reaktoren, die miteinander verbunden sind. Jedem Reaktor ist eine bestimmte Aufgabe zugeteilt, wie z. B. dem ersten Reaktor das Aufschmelzen des Input-Materials. Gleichzeitig erfolgt hier auch die Abtrennung von nicht gewünschten, aber zwangsläufig mit eingetragenen Fremdstoffen wie Glas, Sand, Metalle und Chlorid und vor allem Aluminiumdeckel. So haben auch die folgenden Reaktoren spezielle Aufgabenstellungen.

Das Wesentliche des Gesamtsystems ist, dass jede Reaktorstufe auf eine bestimmte Temperatur und einen bestimmten Druck eingestellt werden kann. Die entstehenden Reaktionsprodukte werden in der letzten Stufe verdampft und anschließend in einem mehrstufigen Prozess abgekühlt.

Dies erlaubt, dass mindestens vier Fraktionen aufgefangen werden können. Die Gas-Fraktion wird über einen Wäscher gefahren und dann anschließend dem Heizsystem zugeführt.

Die Fraktionen 2 und 3 können getrennt gesammelt werden und kommen als Produktöl für die unterschiedlichsten Einsatzzwecke infrage. Aufgrund dieser Mehrstufigkeit ist das SYNTROL®-Verfahren optimal dafür geeignet, mit speziellen Rohstoffen auch gezielt bestimmte Produkte, wie z. B. Wachse, zu erzeugen.

Die SYNTROL®-Technologie zeichnet sich durch folgende Vorteile aus:

- Der energetische Wirkungsgrad von 90–95 % ist sehr hoch.
- Der stoffliche Wirkungsgrad, d. h. die Umsetzung des Feedstocks in ein Produkt mit 80 % ist auch sehr hoch.
- Durch die Größe der einzelnen Linien und Kombinationsmöglichkeiten von 1–4 Linien an einem Standort kann die Technik sehr gut an die regionalen Bedürfnisse und regionalen Kunststoffabfallaufkommen angepasst werden.

- Das entstehende Produktöl ist optimal geeignet, in Kraftwärmekopplungsanlagen und Nahwärmanlagen verbrauchsnahe eingesetzt zu werden. Bei der Konzeption der Anlagentechnologie waren drei Kriterien von überragender Bedeutung. Diese sind:

1. Sicherheit
2. Ökologie
3. Ökonomie

Einige Beispiele hierzu:

- Die Anlage wurde von Beginn an sicherheitstechnisch vom TÜV Süd begleitet.
- Die ganze Anlage wurde konsequent mit dauerhaft technischen Verbindungen realisiert, d. h. Nut-Feder-Flansche, konische Rohrgewinde und doppelt wirkende Gleitringdichtungen (GLRD).
- Aufgrund des hohen energetischen Wirkungsgrades, wenn das Produktöl in einer KWK-Anlage eingesetzt wird, resultieren ca. 60 % weniger CO₂-Emission pro Kilowattstunde produziertem Strom im Verhältnis zum Strom aus einem Müllheizkraftwerk.
- Durch die Größe der Anlage kann eine aufkommensnahe Entsorgung und verbrauchsnahe Energieumwandlung gestaltet werden.

Ein Detail zum Thema „Ökonomie“ ist folgendes: Zu Beginn des Entwicklungsprozesses wurde geprüft, wie das Rohmaterial sauerstofffrei in ein Reaktorsystem eingetragen werden kann, ohne dass bei eventuellem Überdruck im Reaktorsystem brennbare Gase nach außen gelangen. Es gibt zwei bis drei gängige verfahrenstechnische Lösungen, wie Zellradschleuse oder Extruder. Beide Lösungen wurden nach intensiver Prüfung verworfen. Eine Extruder-Lösung hätte zur Folge gehabt, dass allein für den Extruder eine elektrische Leistungsaufnahme von knapp 300 kW zur Verfügung gestellt hätte werden müssen. Das hätte den Prozess wirtschaftlich zum Kippen gebracht. Deshalb wurde eine Alternative gefunden, die das Pflichtenheft optimal erfüllt.

Dies ist eine Eigenkonstruktion, die von Nill-Tech zum Patent angemeldet wurde.

Mit dieser Lösung kann dieselbe Aufgabenstellung, wie zuvor geschildert, mit einer elektrischen Leistungsaufnahme von unter 10 kW erfüllt werden. So ist es wichtig, bei einer Anlage und Technologie, dass neben dem stimmigen Grundgedanken auch viele anspruchsvolle Detaillösungen zum Erfolg beitragen.

Es wird häufig gefragt: Warum dieser Aufwand für SYNTROL® und warum wird Plastikabfall nicht einfach verbrannt?

Aus aktueller Sicht gibt es fünf bedeutsame Gründe, die für SYNTROL® sprechen und gegen ein Verbrennen:

1. Die neue EU-Abfallrichtlinie sieht eine Abfallhierarchie vor: An zweiter Stelle nach Vermeidung und vor Wiederverwertung kommt hier das Recycling. Die SYNTROL-Technologie zählt zu den Recyclingverfahren. Ab 2020 fordert die Abfallrahmenrichtlinie ein Recycling von 50 %. SYNTROL® kann hier einen wichtigen Beitrag leisten.
2. Ökonomie: Die Ökonomie spricht ebenfalls für SYNTROL®, da die kostendeckende Verbrennung von Müll in einem Müllheizkraftwerk deutlich mehr als 100 €/Tonne Kosten verursacht, SYNTROL® jedoch einen Wertstoff generiert, dessen Preis sich im Moment an Heizöl HEL orientiert.
3. Ökologie: Die Müllverbrennung geschieht aus wirtschaftlichen Gründen meist in großen Anlagen. Diese Anlagentechnik ist jedoch überwiegend in verbrauchsfernen Gebieten lokalisiert, d. h. die bei der Verbrennung anfallende Wärme kann sehr schlecht genutzt werden. Mit dem in der SYNTROL®-Anlage produzierten Produktöl kann jedoch der Energieträger zu verbrauchsnahe KWK-Anlagen einfach und problemlos transportiert werden. Durch diese Verbrauchsnähe kann der Vorteil optimal genutzt werden, d. h. der Gesamtwirkungsgrad beträgt deutlich mehr als 70 %.
4. Technik: Kunststoffabfälle in Direktverbrennungsanlagen wie Müllheizkraftwerke und Zementöfen sind verbrennungstechnisch schwierig zu handhaben. Das Ausbrandverfahren ist sehr schlecht, d. h. vielfach ist noch nicht verbrannter Koks in der Asche dieser Verbrennungsanlage enthalten und führt auch zu häufigen Betriebsstörungen. Da der Müll für Müllheizkraftwerke meist nicht vorsortiert wird, ist in diesem Müll ein höherer Anteil an

PVC enthalten, der bei der Verbrennung zur Abspaltung von Salzsäure führt. Die entstehende Salzsäure führt wieder in den nachfolgenden Wärmetauscherregistern zu hohen Korrosionsschäden.

5. Nachhaltigkeit: Die SYNTROL®-Technologie stellt eine Möglichkeit dar, um aus Abfall nicht nur einen flüssigen Energieträger zu gewinnen, sondern auch einen vielfältig nutzbaren Rohstoff für die Industrie.

In klassischen Raffinerie-Prozessen ist in der Regel die Länge der Kohlenwasserstoffketten durch Druck- und Temperaturbedingungen begrenzt. Aus Veröffentlichungen von Herrn Dr. Utzig ist weiter bekannt, dass Wachse mit einem höheren Schmelzpunkt durch eine Mischung von Paraffinen und Polyolefinen dargestellt werden können.

Jedoch weisen diese Mischungen zwei ausgeprägte Maximas der mittleren Molekülkettenlängen aus. Außerdem weisen diese Mischungen, bedingt durch den höheren Polyolefin-Gehalt, eine hohe Viskosität auf, so dass der technische Einsatzbereich sehr stark eingeschränkt ist.

Wünschenswert wäre hier mit Sicherheit, ein Gemisch zu erzeugen, das nur ein Maximum der Molekularmasseverteilung aufweist und dessen Viskosität deutlich unter der Viskosität der vorher beschriebenen Mischung liegt.

Weiter wird von den Anwendern gefordert, dass die Molmassenverteilung sehr eng ist und somit der Schmelzpunkt in einem sehr engen Bereich reproduzierbar dargestellt werden muss. D. h. die Reaktionsbedingungen für den thermischen Abbau von Polymeren müssen in einem sehr engen Bereich eingeregelt werden können. Durch die Art des Wärmeeintrags und die Mehrstufigkeit der SYNTROL®-Anlage können diese Erfordernisse optimal abgedeckt werden.

Als weiterer Freiheitsgrad neben der Mehrstufigkeit und Temperaturführung kann in einem bestimmten Bereich auch der Druck variiert werden. Dies ist eine wichtige Voraussetzung für die Produktion bestimmter Wachse aus Polymeren.

Hierzu ist eine Anlage notwendig, die zur Reduzierung der mittleren Molekularmasse von Polyolefinen führt. Dieser Prozess muss jedoch äußerst schonend vonstatten gehen, um Parallel-Reaktionen, wie die Bildung von Gasen und Koksen, möglichst weitgehend zu unterdrücken.

Die Anlage muss idealerweise folgende Eigenschaften aufweisen:

- Temperaturregelung sehr exakt in möglichst 2–4 Stufen einstellbar und regelbar
- Druck: von leichtem Überdruck bis niedrigem Unterdruckbereich einstellbar
- Jede Temperaturstufe muss mit einem Zwangsfördersystem ausgestattet sein, um die ideal bearbeitete Polyolefin-Mischung austragen zu können.

Alle geforderten Bedingungen können sowohl durch die Anlagenkonzeption als auch durch den SYNTROL®-Prozess an sich vollständig abgedeckt werden. Über dieses bietet der SYNTROL®-Prozess die Möglichkeit, eine Optimierung des Ergebnisses durch die in der Anlagenkonzeption vorhandene Flexibilität zu realisieren.

Jens-Andreas Böttger | Logmed Cooperation GmbH, Halle

Die Möglichkeiten der Logoil- Technologie für die Herstellung von Wachsen und Paraffinen

Die 2006 gegründete Logmed Cooperation GmbH besteht aus den Gesellschaftern Göldner Umwelt- und Hygienetechnik GmbH und der Energiequelle GmbH. Die Göldner Umwelt- und Hygienetechnik GmbH, deren Kerngeschäft in Entwicklung, Vertrieb und Betrieb von Anlagen zur Desinfektion von krankenhausspezifischen Abfällen besteht, brachte Patente und Know-how in das Unternehmen ein. Die Energiequelle GmbH, ihrerseits tätig auf dem Gebiet der erneuerbaren Energien, stellte das erforderliche Risikokapital für die Entwicklungsleistungen bereit.

Im Kern besteht die Entwicklung in der Schaffung einer Technologie, welche es ermöglicht, aus dem Polyolefinanteil der Mischabfälle aus dem Gesundheitswesen auf dem Wege der katalytischen Niedertemperaturkonvertierung synthetische Öle zu erzeugen.

Grundvoraussetzung ist die saubere Separation der Polyolefine über ein Trennverfahren. Es werden das TLT-Verfahren der TLT Kunststoff-Recycling Anlagenbau GmbH genutzt.



Abbildung 1: Trennung von Kunststoffen unterschiedlicher Dichte.

Geeignete Kunststoffe für die katalytische Niedertemperaturkonvertierung sind Polyethylen und Polypropylen mit Dichten unter 1 g/cm^3 , aber auch Polycarbonat und Polystyrol mit ihren höheren Dichten. Ungeeignet sind

- halogenhaltige Kunststoffe, z. B. Hart- und Weich-PVC, PTFE (Polytetrafluor-ethylen), PFA (Perfluoralkoxy-Copolymer),
- PET,
- Polysulphon, Polyethersulphon.

Die Anlage kann 50 l/h Destillate erzeugen. Dabei besitzt die Destillationskolonne zehn Abgänge. Langkettige Paraffin-Naphthen-Gemische werden über Filter aus dem Sumpf des Reaktors abgezogen. Die Grundparameter des technologisch umgesetzten Prozesses der katalytischen Niedertemperaturkonvertierung lassen sich wie folgt beschreiben:

- Qualitätsparameter der Ausgangsstoffe (Polyolefine, Abwesenheit von Cl und S)
- Katalysatorzufuhr
- Reaktionstemperatur $< 400 \text{ }^\circ\text{C}$
- kontinuierlicher Prozess

Erste Analysen der erzeugten Wachs-gemische wurden durch die Romonta GmbH erstellt. Sie zeigen folgende Ergebnisse:

Kriterium	Wachsprobe A	Wachsprobe B
Erstarrungspunkt [$^\circ\text{C}$]	98	86
Tropfpunkt [$^\circ\text{C}$]	142	112
Säurezahl [mgKOH/g]	nicht benannt	nicht benannt
dyn. Viskosität bei $120 \text{ }^\circ\text{C}$ [mPas]	116	204
Penetration ($25 \text{ }^\circ\text{C}/100\text{g}/5\text{s}$) [0,1 mm]	40	20
DSC-Kurve	siehe Anhang	siehe Anhang
Enthalpie [J/g]	54,2	71,4

Durch das Hauptzollamt Magdeburg wurde der Logmed Cooperation GmbH Anfang 2010 ein Warencode für das Paraffin-Naphthen-Gemisch erteilt. Im Befund des Bildungs- und Wissenschaftszentrums der Bundesfinanzverwaltung ist die Substanz beschrieben als:

„Paraffin, mikrokristallines Erdölwachs, paraffinische Rückstände („slack wax“) Ozokerit, Montanwachs, Torfwachs, andere Mineralwachse und ähnliche durch Synthese oder andere Verfahren gewonnene Erzeugnisse.“



Abbildung 2: Produkte aus dem Logoil-Verfahren.

Die Warenbeschreibung gibt folgende Eigenschaften an:

„*Naphthen-Paraffin-Gemisch*“

Herkunft (gemäß Antragsangaben): Hergestellt aus Kunststoffresten, Sumpf der Anlage.

Äußere Beschaffenheit: Eine klumpige, fettige dunkelbraune Masse mit undefinierbarem Geruch.

Prüfergebnisse:	
Infrarotspektroskopie (FT-IR):	Überwiegend aliphatische Kohlenwasserstoffe, daneben Aromaten
Schmelzpunkt:	ca. 125 °C
Dichte bei 125 °C (Spindel):	0,82 kg/l
Dichte bei 70 °C (unterstellt):	unter 0,942 kg/l
Konuspenetration bei 25 °C (ASTM D 937):	unter 80

Die nächsten Aufgaben der Entwicklungsarbeit bestehen in der eingehenden Analyse der erzeugten Wachsprodukte hinsichtlich ihrer Eigenschaften und deren Beeinflussbarkeit durch Rohstoffauswahl und Prozessführung.

Teil C

Die Rohstoffbasis

Irina Bremerstein | MULTIPORT Recycling GmbH, Bernburg

Verfügbarkeit und Aufbereitung von Kunststoffabfällen in der Recyclingwirtschaft für die Herstellung von Wachsen

Einleitung

Am Standort in Bernburg sind zwei Firmen beheimatet, die sich mit dem Kunststoffrecycling beschäftigen. MULTIPORT Recycling GmbH verwertet HDPE- und PP-Abfälle aus dem Post-Consumer-Bereich. Die MultiPet Gesellschaft für PET-Recycling mbH verarbeitet PET-Flaschen aus dem Einweg- und Mehrwegbereich. Beide Firmen gehören zur Multiplast AG.

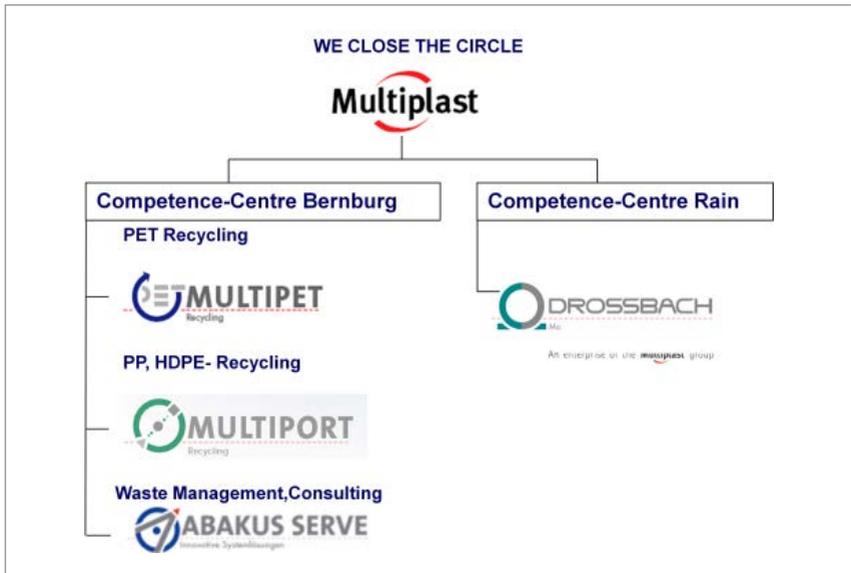


Abbildung 1: Firmenstruktur

MULTIPORT ist inzwischen einer der größten Recycler für HDPE und PP in Deutschland und verarbeitet 25.000 t Abfälle pro Jahr zu Regranulaten und betreibt eine eigene Spritzgussabteilung für die Herstellung von Kabelkanälen und Wasserrinnen aus Rezyklaten. MultiPet verarbeitet ebenso 25.000 t PET-Flaschen pro Jahr und stellt daraus PET-Flakes verschiedener Qualitäten her.

Multiport im Überblick	MultiPet im Überblick
Produktionsanlagen und Kapazitäten	
Standorte: <ul style="list-style-type: none"> ▪ 28.000 m² in Bernburg (DE) ▪ Büros in Bernburg (DE, Hauptsitz), Bochum (DE), Köln (DE), Tittling (DE) 	Standorte: <ul style="list-style-type: none"> ▪ 12.000 m² in Bernburg ▪ Büros in Berlin (DE), Bernburg (DE, Hauptsitz), Köln (DE), Tittling (DE), Hangzhou (China), Prag (CZ)
Anlagen: <ul style="list-style-type: none"> ▪ 3 Linien zur Verwertung von Kunststoffabfällen ▪ 1 Shredder ▪ 3 Extrusionslinien ▪ 4 Spritzgussanlagen 	Anlagen: <ul style="list-style-type: none"> ▪ 2 Linien zur Verwertung von PET-Flaschen-Abfällen (zerkleinern, waschen, trennen, trocknen)
Kapazitäten : <ul style="list-style-type: none"> ▪ HDPE und PP-Verwertung (Input) 25.000 t/a ▪ Regranulierung (Output) 21.000 t/a ▪ Kabelkanäle 50.000 m/a ▪ Wasserrinnen 250.000 m/a 	Kapazitäten: <ul style="list-style-type: none"> ▪ Verwertung PET-Flaschen (Input) 25.000 t/a ▪ PET-Flakes (Output) 18.000 t/a ▪ PE/PP-Mahlgut 1.800 t/a

Tabelle 1: Übersicht zu Multiport und Multipet

Die Hauptanwendung für die Regranulate sind extrudierte Rohre (Wellrohre oder Glattrohre für den Einsatz als Abwasserrohr, Drainagerohr oder Kabelschutzrohr), Platten für den Thermoformprozess, Abdeckungen und verschiedene Spritzgussteile. Die PET-Flakes finden hauptsächlich Anwendung bei der Herstellung technischer Fasern, Folien und Platten und Verpackungsbänder.

1 Kunststoffabfälle – Quellen, Verwertungswege, Mengen, Preise

Da sich die verarbeiteten Kunststoffabfälle im Wesentlichen aus kurzlebigen Kunststoffprodukten generieren, lohnt es sich zuerst zu schauen, wie die Produktions- bzw. Verbrauchsmengen von Kunststoffen in Europa aussehen.

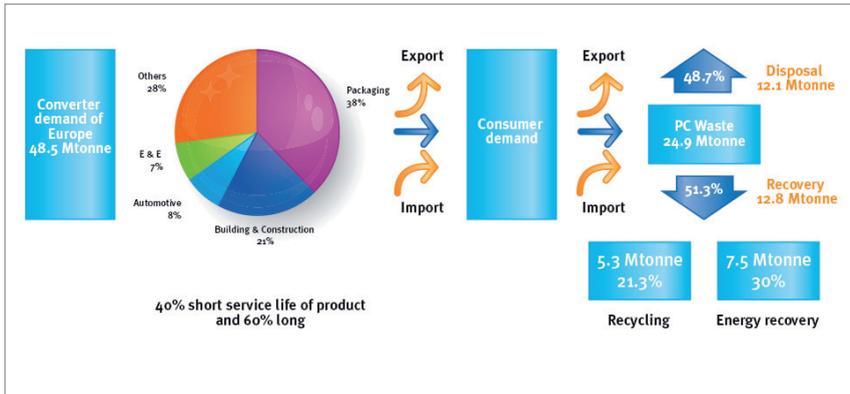


Abbildung 2: Verbrauch und Verbleib von Kunststoffen in Europa (vgl. Plastics (2009)).

Nach den neuesten Zahlen ist in 2008 die Nachfrage nach Kunststoffen in Europa auf etwas unter 50 Mio. t gesunken. Etwa 40 % davon wurden in kurzlebige Produkte verarbeitet (im Wesentlichen Verpackungen). Die übrigen 60 % finden ihre Anwendung im Baubereich, im Automobilbau, im Elektro- und Elektronikbereich, in Möbeln, in der Landwirtschaft usw.

Trotz der etwas gesunkenen Nachfrage ist die Abfallmenge aus dem Post-Consumer-Bereich in 2008 auf 24,9 Mio. t gestiegen. Das Verhältnis zwischen Beseitigung und Verwertung ist zugunsten der Verwertung gestiegen: 12,1 Mio. t in die Beseitigung zu 12,8 Mio. t in die Verwertung. Unter Beseitigung ist hier vor allem die Deponierung zu verstehen. Die Verwertung unterteilt sich in stoffliche Verwertung (werkstofflich und rohstofflich) und energetische Verwertung (MVA mit Energieauskoppelung, Kraftwerke, Zementwerke, Ersatzbrennstoffwerke). Der Anteil der stofflichen Verwertung ist im Mittel auf 24,5 % gestiegen. Es sind noch große Unterschiede zwischen den Ländern Europas zu verzeichnen, wobei Länder mit großen Kunststoffabfallmengen nicht unbedingt hohe Verwertungsmengen vorweisen können.

Der größte Einsatzbereich für die Kunststoffe – Verpackungen und Bau – wird dominiert von den Kunststoffarten PE, PP und PET. Im Baubereich dominiert PVC, bei Sonstigen (Haushaltsartikel, Sportgeräte, Landwirtschaft, Möbel usw.) ist wiederum PP herausragend. Die Menge der insgesamt eingesetzten PE und PP in Deutschland beträgt insgesamt 5,2 Mio. Tonnen.

Wie schon erwähnt, generieren sich die Kunststoffabfälle vor allem aus den kurzlebigen Produkten, die eindeutig von den Verpackungen dominiert werden. Durch entsprechende europäische Gesetzgebungen werden aber auch andere Bereiche zu separater Erfassung und Verwertung verpflichtet.

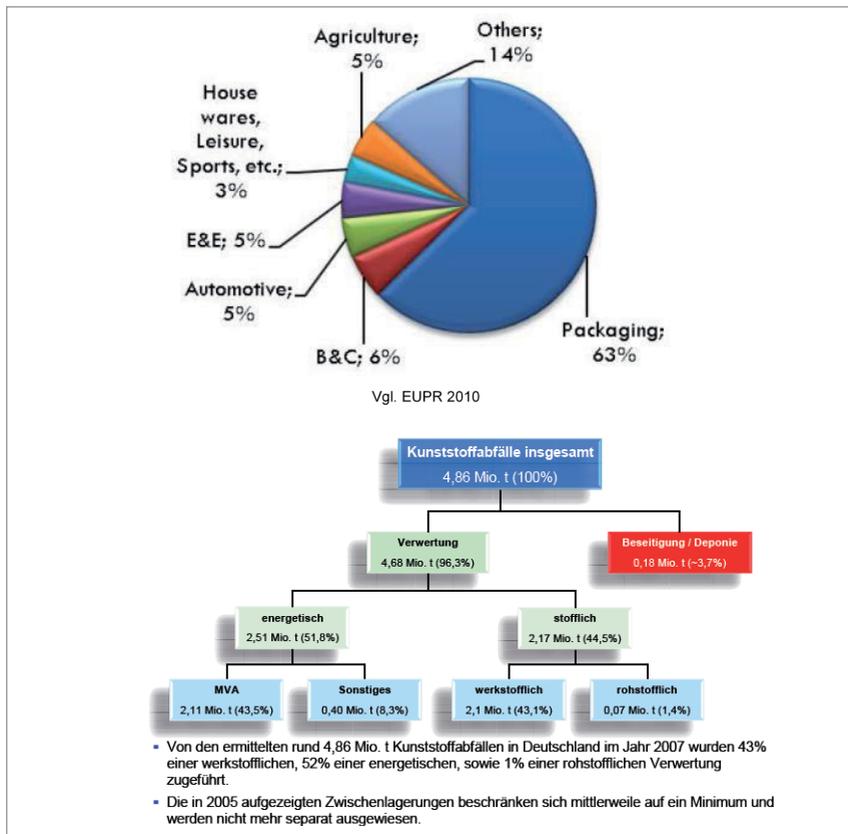


Abbildung 3: Herkunft und Verwertung der Kunststoffabfälle in Deutschland.

Deutschland spielt bei der separaten Erfassung von Kunststoffabfällen und bei der Verwertung eine Vorreiterrolle. Die Hauptursache dafür ist die konsequente Durchsetzung eines Deponierungsverbotes für Kunststoffe. Die rohstoffliche Verwertung spielt nach der Schließung des Sekundärrohstoffzentrums Schwarze Pumpe (SVZ, Herstellung von Methanol) mit nur noch geringen Verwertungsmengen im Hochofen keine Rolle mehr. In Deutschland werden schon über 2 Mio. Tonnen Kunststoffe werkstofflich verwertet.

Zurzeit sind im Bereich der energetischen Verwertung durch das Überangebot an Verbrennungskapazitäten Verwerfungen zu verzeichnen. Die dort sinkenden Annahmepreise führen dazu, dass sich in manchen Bereichen das Aussortieren von Kunststoffen für die werkstoffliche Verwertung nicht lohnt und somit Mengen fehlen.

Als Quelle für polyolefinische Kunststoffabfälle kommen vor allem der Verpackungsbereich bzw. ähnliche Produkte aus dem Haushaltbereich oder die Landwirtschaft in Frage. Zum großen Teil sind die Wege der Kunststoffabfälle schon abgesteckt. Hier gilt es neue Quellen, vor allem im europäischen Maßstab, zu erschließen.

Auf dem nebenstehenden Diagramm sind beispielhaft für die Preisentwicklung bei Standardkunststoffen (Neuware) die Preise für verschiedene PP-Sorten und für Polystyrol dargestellt.

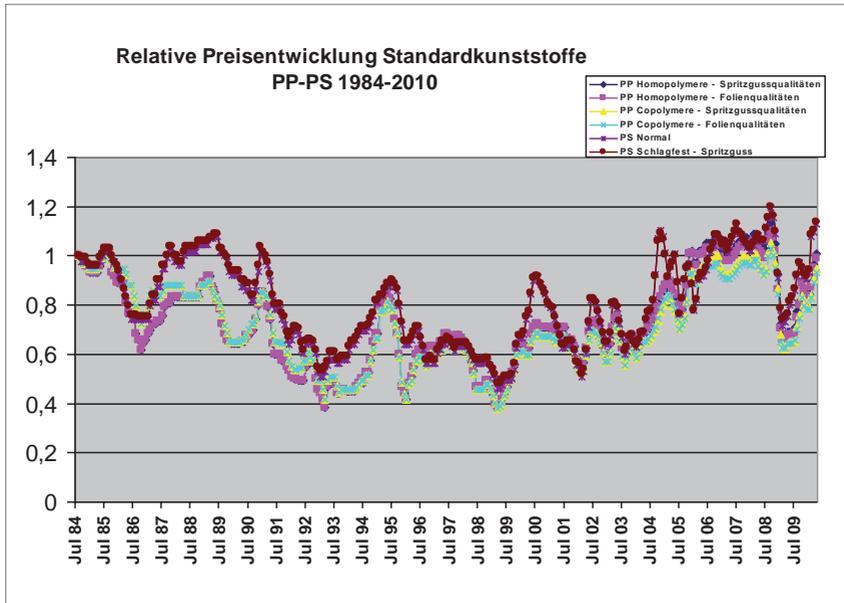


Abbildung 4: Vgl. Lühr 2010.

Regranulate aus PP, HDPE und LDPE werden als Substitute für Neuware eingesetzt, deshalb orientieren sich die Preise für die Ballenware und Regranulate daran. Die Nachfrage nach Regranulaten steigt bevorzugt bei hohen Neuwarepreisen bzw. wenn die Preise im Steigen begriffen sind. Abstürze im Neuwarepreis wirken sich negativ auf die Nachfrage nach Regranulaten aus.

Nach einem stetigen Anstieg der Preise für Ballenware und Regranulate in 2008 und einem starken Rückgang der Preise in 2009 ist zurzeit wieder ein Anstieg auf 700 bis 800 €/t zu verzeichnen. Die Nachfrage kommt dabei nicht nur vom europäischen Markt. Der chinesische bzw. asiatische Markt beeinflusst durch seine große Nachfrage sowohl im Neuwarebereich, aber auch ganz stark im Sekundärrohstoffbereich die Preise. Der Rohstoffhunger in China ist so groß, dass trotz Restriktionen in der Einfuhr seitens der chinesischen Behörden große Mengen von Altkunststoffen nach China fließen und das Land somit einen großen Konkurrenzmarkt für die europäischen Recycler darstellt.

2 Stand der Technik bei der Aufbereitung für die werkstoffliche Verwertung

Für die Aufbereitung von Kunststoffabfällen für die werkstoffliche Verwertung hat sich unabhängig von der Kunststoffart zwischenzeitlich ein gewisser Standard herausgebildet. Die genaue Ausführung der Anlagen ist beeinflusst von den Anforderungen aus der Produktseite.

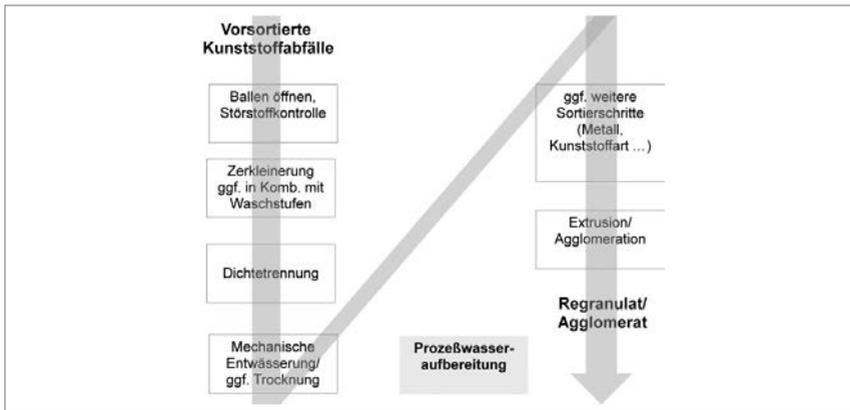


Abbildung 5: Kunststoffaufbereitung, schematisch.

Üblicherweise erfolgt die Anlieferung in Ballenform, vorsortiert nach Artikel oder Kunststoffart. Den Lieferungen liegen Spezifikationen zugrunde, die genau den erlaubten Anteil von Fremdkunststoffen und Störstoffen definieren. Trotzdem ist in den Anlagen ein erster wichtiger Schritt die Vorsortierung zur Störstoffauslese. Danach folgen ein oder mehrere Zerkleinerungsschritte, meist schon kombiniert mit einer ersten Wasserzugabe, um das Aufgabematerial zu homogenisieren, Fremdkunststoffe und Störstoffe aufzuschließen und Verunreinigungen im Wasser zu suspendieren. Zwischen den einzelnen Schritten ist es wichtig, immer wieder das verschmutzte Wasser abzutrennen. Weitere zusätzliche Waschstufen wie z. B. bei der PET-Verwertung die Heißwäsche können folgen.

Als Sortierschritte zur Abtrennung von Fremdkunststoffen bzw. Störstoffen und zur Einstellung von Produktqualitäten kommen folgende Verfahren in Frage:

- Dichtentrennung (Schwimm-Sink-Becken, Zentrifugen, ...)
- Metallabtrennung (Magnetscheider, Wirbelstromscheider, Metalldetektoren, Koronawalzenscheider)
- Kunststoffartensortierung (NIR, Elektrostatische Sortierung)
- Farbsortierung

Je nach Anforderung der nachfolgenden Schritte folgt eine mechanische Entwässerung oder eine Trocknung. Wenn Regranulate hergestellt werden, erfolgt dies meistens durch eine Extrusion mit Entgasung und Schmelzefiltration. Es werden aber auch Mahlgüter (Flakes) gehandelt.

3 Anforderungen aus der Wachs- und Paraffinherstellung

Ein wichtiger Aspekt für den Einsatz der Kunststoffabfälle ist die Sortenreinheit. Diese wird im Wesentlichen durch die Vorsortierung bestimmt. Da aber in der Vorsortierung Artikel sortiert werden, sind dort Artikelbestandteile wie Flaschenkappen oder Etiketten aus anderen Kunststoffsorten nicht abtrennbar. Hier sind Nachbesserungen in der Aufbereitung möglich. Möglich gemacht wird dies z.B. durch die NIR-Sortierung im Flake-Bereich. Der Gehalt an Fremdstoffen und sonstigen Verunreinigungen wird durch die Intensität der Waschstufen, Anzahl der Waschstufen aber auch im Regranulierprozess selbst beeinflusst (Entgasung/ Schmelzefiltrierung).

Die Füllstoffe, Additive und Farben, die in Kunststoffartikeln immer enthalten sind, können durch die Aufbereitung in ihrer Menge nicht beeinflusst werden. Eine begrenzte Beeinflussung ist durch Auswahl der Herkunft oder die Eingrenzung auf bestimmte Artikel möglich. Hier stellt sich aber sofort die Frage nach der Verfügbarkeit und den Kosten.

4 Thesen zur Einordnung

Zum Schluss einige Thesen, wie die Herstellung der Wachse und Paraffine aus Altkunststoffen einzuordnen ist und welche Chancen und Risiken sich daraus ergeben.

- Die Herstellung von Wachsen und Paraffinen steht im Wettbewerb zur bereits etablierten werkstofflichen Verwertung von HDPE, LDPE und PP.
- Eine Chance für die Herstellung von Wachsen aus Altkunststoffen ergibt sich, wenn die konventionellen Rohstoffe für die Wachsherstellung knapp bzw. teuer sind oder wenn sich aus den PO-Wachsen „Spezialitäten“ herstellen lassen.
- Die sich entwickelnde Nachfrage nach Latentwärmespeichermedien bietet ebenfalls eine Chance.
- Sekundär-PO ist ein Rohstoff, der Marktpreisen unterliegt – mit allen Risiken und Chancen.
- Die Menge an Sekundär-PO aus getrennt gesammeltem Abfall ist in Europa begrenzt. Potential liegt noch in den Beseitigungsabfällen.
- Die Erlöse für die hergestellten Wachse und Paraffine müssen den Rohstoffpreis und die Vollkosten für die Aufbereitung und Umwandlung abdecken.

5 Zusammenfassung / offene Fragen

Das Thema der Herstellung von Wachsen und Paraffinen ist aufgegriffen worden aus der Möglichkeit der Darstellung eines größeren Marktes für Wachse im Einsatz als Latentwärmespeicher und der daraus folgenden Suche nach preiswerten Rohstoffen.

Aus den Darstellungen, den Informationen und bisher gelaufenen Untersuchungen stellen sich folgende offene Fragen bzw. Aufgabenstellungen, die bearbeitet werden müssen:

Die Anforderungen aus den Anwendungsbereichen der Wachse und Paraffine sind sehr unterschiedlich. Der Einsatz des Produktes als technisches Wachs stellt sicher die höchsten Anforderungen, gefolgt vom Einsatz als Latentwärmespeichermedium gefolgt vom Einsatz als Bitumenzusatz. Dem gegenüber stehen die Möglichkeiten der heute verfügbaren Aufbereitungstechniken beginnend bei der Sortierung

bis hin zum Umwandlungsprozess. Hier ist es notwendig, einen Kompromiss im Dreiecksverhältnis „Anforderungen – technische Machbarkeit – Kosten“ zu finden. Ein wesentlicher Aspekt bei den Kosten ist noch die offene Frage nach der ökonomisch sinnvollen Anlagengröße für die Umwandlungsprozesse (Cracken, Hydrierung, Fraktionierung, ...). Diese Frage ist wichtig, um die Verfügbarkeit von Rohstoffen einschätzen zu können.

Es ist wichtig, nach alternativen Rohstoffquellen zu suchen. Denkbar wären hier PO-Fractionen aus dem Hausmüll, die wegen ihres typischen Geruchs nicht für neue Gebrauchsgegenstände einsetzbar sind, oder Verpackungen mit solchen schadstoffhaltigen Inhalten oder Kontaminationen, die sich nach einem Hochtemperaturprozess zersetzen.

Quellen

EUPR (2010): „How to increase the mechanical recycling of post-consumer plastics“. Strategy Paper.

Lühr, Jens (2010): „Verwertung technischer Kunststoffe“. Workshop, Bonn: 13. Altkunststofftag.

Plastics (2009): „Compelling Facts about Plastics“ url: <http://www.plasticseurope.org/document/the-compelling-facts-about-plastics-2009.aspx>

Peter Behnsen | TLT-Anlagenbau GmbH, Frankfurt a. M.

Der Rohstoffmarkt bei Altkunststoffen. Anforderungen an die Trenntechnologien und Möglichkeiten der TLT-Anlagentechnik

Thema

- Der Rohstoffmarkt bei Altkunststoffen
- Anforderungen an die Trenntechnologien und Möglichkeiten der TLT-Anlagentechnik



Auszug aus einer Studie von trend:research

Kunststoffe: Aufkommen und Entwicklung

- 12,9 Mio. t Kunststoffe werden in Deutschland verarbeitet (2007)
- Insgesamt fielen 2007 in Deutschland ca. 4,86 Mio. t KST-Abfälle an
Die Gesamtabfallmenge stieg gegenüber dem Jahr 2005 um 0,44 Mio. t an.
Hiervon sind:
 - ca. 3,81 Mio. t Post-User-Abfälle und
 - ca. 1,05 Mio. t Produktions- und Verarbeitungsabfälle.
- Von der Gesamtabfallmenge entfielen allein
 - etwa 1,871 Mio. t auf PE
 - 0,799 Mio. t auf PP und
 - 0,563 Mio. t auf PVC



Auszug aus einer Studie von trend:research

- Von der Gesamtmenge wurden 2,17 Mio. t Kunststoffabfälle stofflich verwertet; hiervon
 - 2,1 Mio. t werkstofflich
 - 0,07 Mio. t rohstofflich
- 2,51 Mio. t wurden energetisch in Müllverbrennungs- oder sonstigen Verbrennungsanlagen verwertet oder verbrannt (MVA: 2,11 Mio. t; sonstige: 0,40 Mio. t)
- 0,18 Mio. t wurden durch Deponierung beseitigt.



Kunststoffabfälle aus gemischten Fraktionen

- Ohne Kunststofftrennung keine sinnvolle und wirtschaftlich vertretbare Verwertung.
- Die Qualität der Trennung bestimmt die Erlöse.
- Angestrebte Sortenreinheit > 95 %



Die unterschiedlichen KST-Trennverfahren

- Händische Sortierung
- Dichtentrennung
 - mit Schwimm-Sink
 - mit der Zentrifuge
 - mit dem TLT-Verfahren
- NIR
- Röntgen
- Laser
- Elektrostatische Trennung



Eingesetzte Trenntechnologien nach Zielfractionen

- | | | |
|--------------------|----------|--|
| ■ PET flakes | PET/PE | Trennung Wasser |
| ■ Postconsumer KST | PP/PE/PS | PP/PE mit Flüssigkeiten
<1 nass / NIR |
| ■ Folie | LDPE | Windsichtung/nass |
| ■ Altauoto | ASR | nass und trocken
elektrostatisch |
| ■ Elektro KST | WEEE | PP/PE nass,
PS/ABS elektrostatisch |
| ■ Sonstige | Kabel | PVC/PE nass mit Wasser |



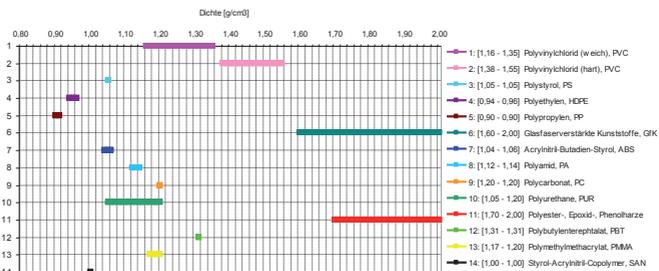
Zusammensetzung Kunststoffe WEEE

Kunststoffart	Gewichtsanteil
Polyvinylchlorid (PVC)	15,20%
Polystyrol (PS)	16,00%
Polyethylen (PE)	8,60%
Glasfaserverstärkte Kunststoffe (GFK)	8,60%
Acrylnitril-Butadien-Styrol-Copolymer (ABS)	15,60%
Polyamid (PA)	7,40%
Polypropylen (PP)	7,40%
Polycarbonat (PC)	4,90%
Polyurethane (PUR)	4,90%
Polyester-, Epoxid-, Phenolharze	3,70%
Polybutylenterephthalat (PBT)	2,50%
Polymethylmethacrylat (PMMA)	1,20%
Styrol-Acrylnitril-Copolymer (SAN)	1,20%
Sonstige	2,80%
	100,00%

TLT

Dichtetabelle WEEE

Dichte-Tabelle für Kunststoffe aus WEEE:



TLT

Voraussetzungen an die Trennflüssigkeiten allgemein

- Umweltfreundlich
- Geruchsneutral
- Preiswert
- Leicht abwaschbar von den Flakes
- Keine Beeinflussung bei der Weiterverarbeitung durch Extrusion
- Erhaltung der elektrostatischen Eigenschaften
- Leicht dosierbar, ohne Korrosionsprobleme oder Versalzung der Anlagenteile
- Einleitbar, geeignet für Wasser- oder Medienaufbereitung
- Möglichst mit Sicherheitsdatenblatt
- Nicht oder nur schwer entzündlich



Anforderungen an eine Trennflüssigkeit <1

- Geeignet für die Wasser-Medienaufbereitung
- Nicht oder nur schwer entzündlich
- Keine Ausgasung, möglichst ohne Alkoholzusatz
- Leicht zu reinigen
- speziell in der Aufnahme von Wasser begrenzt
- Abscheidung von Wasser vor Dichteänderung
- Viskosität wie Wasser
- Preis im Rahmen der kalkulatorischen Möglichkeiten für eine wirtschaftliche Verarbeitung



Grenzen der Nasstrennung

- Bei geschäumten Kunststoffen
- Bei gleicher Dichte
- Bei eingebundenen Schwermetallen oder Substanzen, die die Dichte verändern
- Bei Laminaten

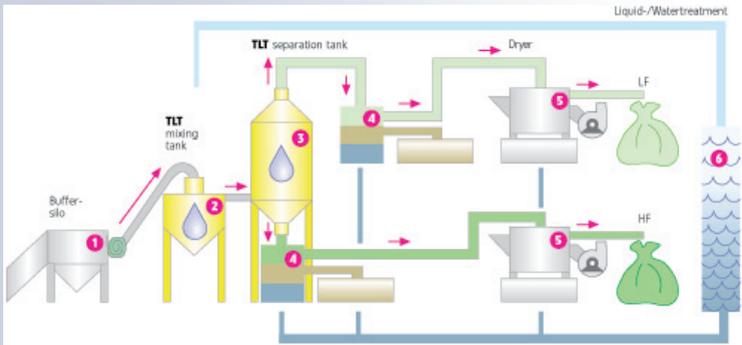


TLT Verfahren

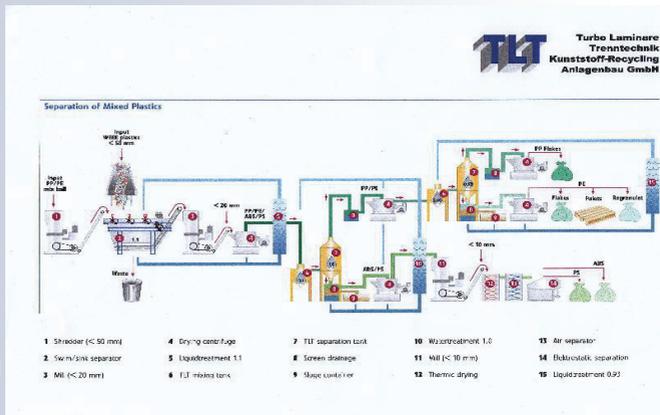
- Mit dem patentierten Verfahren der TLT-Kunststofftrennung werden die verschiedenen Kunststoffgemische in einzelne sortenreine Fraktionen aufgeteilt.
- Die patentierte Turbo Laminare Trenntechnik ist ein Nass-Trennverfahren und basiert auf der Trennung nach dem unterschiedlichem spezifischen Gewicht der Kunststoffe in Trenn-Medien mit bestimmter Dichte.
- Dazu benutzt man Flüssigkeiten, die über eine Dichte verfügen, in der sich die jeweiligen Kunststoffgemische in Leicht- und Schwerfraktionen trennen.



Funktionschema



Trennung von Kunststoffen unterschiedlicher Dichte mit dem TLT Trennverfahren



Zweistufige Trennanlage für postconsumer Kunststoffe PP/PE/PS



TLT

Teil D

Alternative Technologien zur Gewinnung von Wachsen und Paraffinen

Hans-Hermann Rüttinger |
Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg, Halle

Herstellung von langkettigen n-Paraffinen (Bioparaffinen) aus nachwachsenden Rohstoffen

In den letzten Jahrzehnten ist das Bewusstsein der Endlichkeit der klassischen Rohstoffe unseres Industriezeitalters – Kohle und Erdöl – gewachsen und man sucht nach Alternativen. Dies gilt im Moment vorrangig für die Energiegewinnung, jedoch ist Biomasse auch als Chemierohstoff sehr interessant. Die stoffliche Verwertung von Pflanzenmaterial ist uralte, aber der Einsatz moderner chemischer Verfahren bietet noch viele Möglichkeiten, die über die Herstellung von Biokraftstoffen hinausgehen.

Für das Netzwerk Wachse könnten zudem die durch einfache Extraktion zu gewinnenden natürlichen Wachse von Interesse sein. Diese entsprechen in Bezug auf ihre thermischen und mechanischen Eigenschaften der Definition der Wachse, sind aber keine Paraffine im eigentlichen Sinne, sondern Gemische aus langkettigen Karbonsäureestern mit Fettalkoholen.

Beispiele:

- Carnaubawachs: Fp. 90–87°C 19000 t/a 80 % Fettsäuren, 10 % Fettalkohole
- Candellawachs: KW-Stoffe C29-33
- Bienenwachs: Fp. 62-65°C Myrcin 65 %, Cerotinsäure, Mellisinsäure
- Stearin: Stearin (C18 Fp. 61–64°C) + Palmitinsäure (C16 Fp. 69°C) (aus Palmöl)
- Wollwachs (Cholesterinester)

Natürliche Paraffine (außer Methan) sind in der Natur eher selten anzutreffen, denn die Biosynthese benötigt spezifische Polaritätsmuster für die meist sehr regio- und stereospezifischen enzymatischen Synthesen.

Welche nachwachsenden Rohstoffe stehen zur Verfügung?

Die Photosynthese liefert ca. 80 Milliarden t Erdöläquivalente pro Jahr, dem steht ein globaler Primärenergiebedarf von 11,2 Milliarden Erdöläquivalenten (2004) pro Jahr gegenüber. Natürlich kann nicht das gesamte Pflanzenmaterial verarbeitet werden, aber wenn man bedenkt, wie viele landwirtschaftliche Flächen nicht genutzt werden, ergibt sich ein gewaltiges Potenzial. In Deutschland werden z. Z. 12 % der chemischen Produkte aus erneuerbaren Rohstoffen hergestellt.

Welche Rohstoffe sind dies?

▪ **Kohlenhydrate (75 %):**

Zellulose:

Papier, Textilien, Kleber, Kunststoffe

Stärke:

Nahrungsmittel (auch Zucker), Milchsäure, Zitronensäure,
Pharmaprodukte

Bioethanol (kann als chemischer Grundstoff eingesetzt werden)

▪ **Lignin (20 %):**

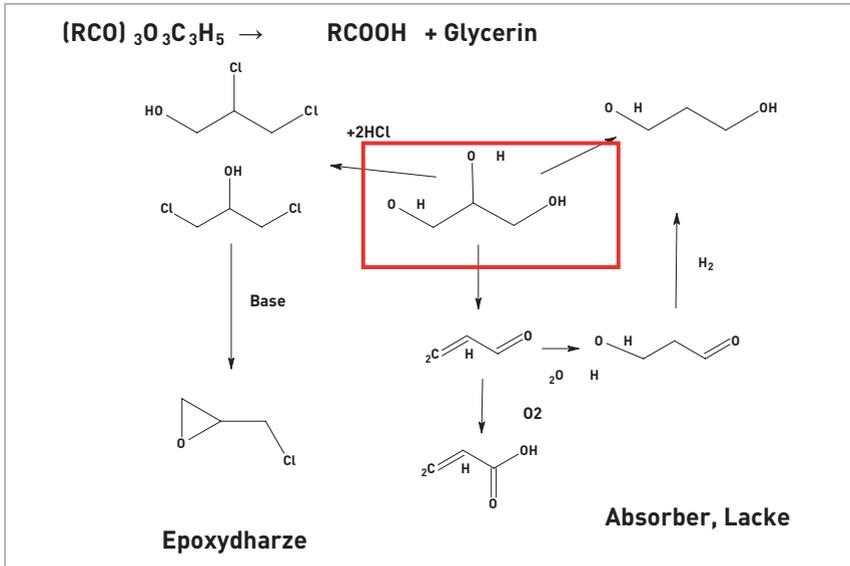
Brennstoff, Füllmaterial, Pyrolyse

▪ **Fette und Öle (5 %):**

Zur Herstellung von langkettigen Paraffinen eignen sich am besten die Fette und Öle. Die globale Produktion beträgt 128 Mio. t (2008/2009), davon werden 11,1 Mio. t Biodiesel hergestellt.

Im Gegensatz zu Erdöl, dessen Preis im Moment durchaus vergleichbar mit den Pflanzenölen ist, sind diese wesentlich einheitlicher und enthalten nur wenige sehr gut definierte Hauptbestandteile. Dies sind die Glycerinester von langkettigen ungesättigten Carbonsäuren, die bei der chemischen Bearbeitung hydriert, hydrolysiert oder umgeestert werden.

Das bei der Hydrolyse oder Umesterung anfallende Glycerin ist ein wertvolles Endprodukt, kann aber auch weiter als Chemierohstoff eingesetzt werden, wie in Formel 1 gezeigt:

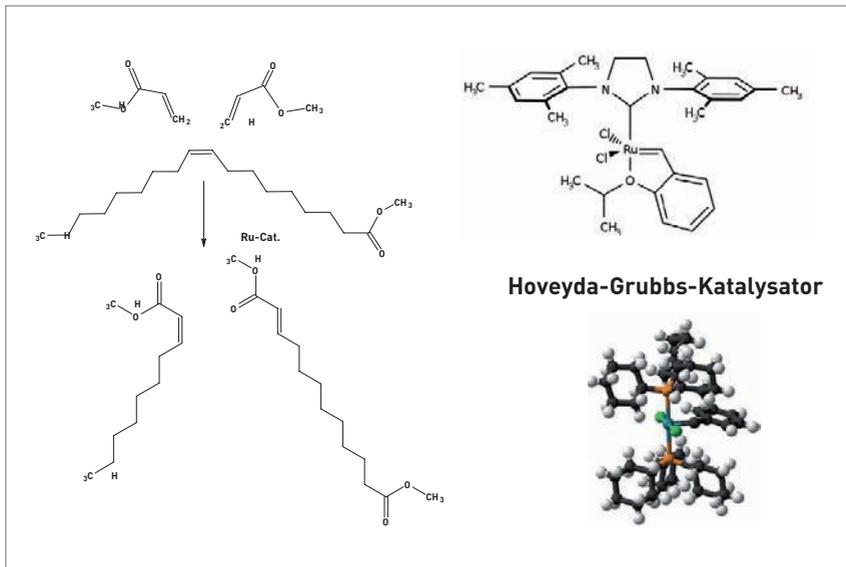


Formel 1: Verwertung von Glycerin.

Die Carbonsäuren können weiter umgesetzt werden:

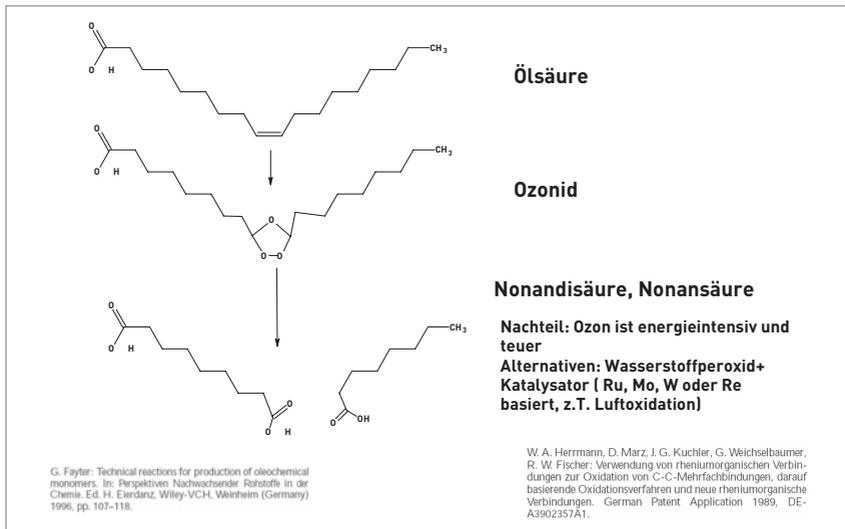
- Verestern mit Methanol → Biodiesel
- Hydrierung
- Olefinmetathese
- Methoxycarbonylierung
- Kolbesynthese
- Ozonolyse

Die Olefinmetathese spaltet die Kette der ungesättigten Carbonsäure an der Doppelbindung und knüpft neue Bindungen zu olefinischen Reaktionspartnern. Diese Reaktion spielt sich in der Koordinationssphäre von W, Re oder Ru- Katalysatoren ab. Das folgende Beispiel zeigt die Metathese von Ölsäuremethylester mit Methylacrylat unter Mitwirkung eines Hoveyda-Grubbs-Katalysators.



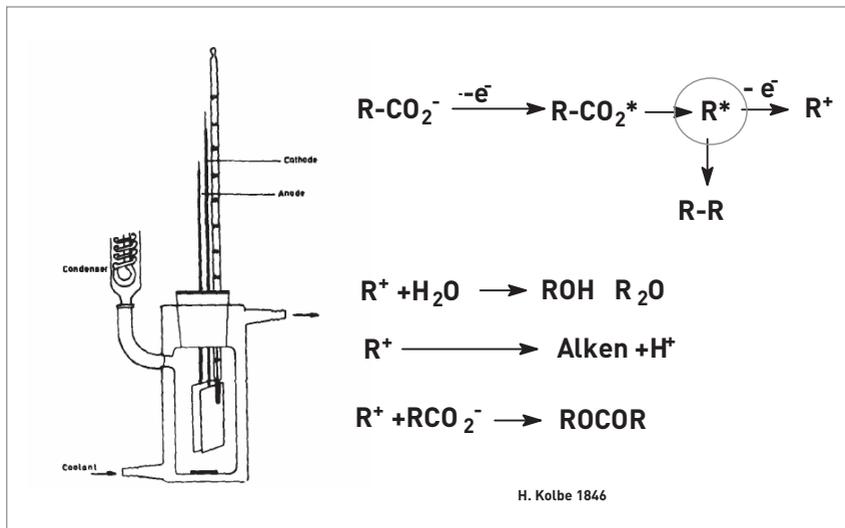
Formel 2: Beispiel einer Olefinmetathese, Umsetzung von Ölsäuremethylat, mit Methylacrylat.

Die Ozonolyse spaltet die Kette auch an der Doppelbindung, wobei an der Spaltstelle Carboxylgruppen entstehen. Dies ist eine gute Möglichkeit zur Herstellung von Dicarbonsäuren, allerdings ist das Ozon teuer und aggressiv. Es gibt aber auch neuere Entwicklungen, bei denen eine katalytische Oxidation mit Luftsauerstoff eingesetzt wird (Formel 3).



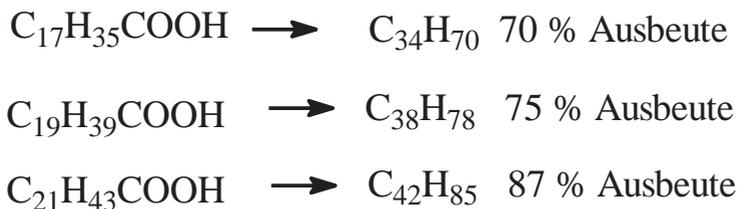
Formel 3: Beispiel für eine Ozonolyse.

Eine sehr selektive Methode zur Abspaltung der Carboxylgruppe mit nachfolgender Dimerisierung der gebildeten Radikale ist die Kolbesynthese. Diese Elektrolyse ist schon aus den Anfängen der Elektrochemie bekannt und liefert definierte langkettige Alkane in teilweise sehr guten Ausbeuten. Dabei werden die Carboxylate an einer Platin- oder Diamantelektrode zu den Radikalen oxidiert, die dann unter CO_2 -Abspaltung Alkylradikale bilden, die unter Dimerisierung abreagieren. Die Reaktionsbedingungen müssen so gewählt werden, dass an der Anode einerseits ein hohes Potenzial entsteht, also die Sauerstoffentwicklung inhibiert wird, und andererseits eine hohe Konzentration an Radikalen an der Oberfläche der Elektrode gebildet wird. In Abhängigkeit von den Bedingungen der Elektrolyse und dem Substituentenmuster der Carbonsäure werden allerdings auch Alkylkationen gebildet, die entweder ein Proton eliminieren oder mit dem nucleophilen Lösungsmittel, z. B. Wasser, Methanol oder dem Carboxylat wie in Formel 4 dargestellt, selbst reagieren.



Formel 4: Schema der Kolbesynthese.

So lassen sich reine n-Alkane mit definierter Kettenlänge in guten bis sehr guten Ausbeuten herstellen:



vgl. Zhang 1988

Die Kopplung der Radikale kann dabei symmetrisch, wie oben angegeben, oder unsymmetrisch erfolgen, wenn eine Mischung von Carbonsäuren als Ausgangsprodukt eingesetzt wird. In diesem Fall erhält man stets eine Mischung von symmetrischen und unsymmetrischen Produkten. Die primär entstehenden Radikale können auch an Doppelbindungen addiert werden, was zu einer weiteren Kettenverlängerung führt. Die intensive Erforschung dieses Potenzials hat u. a. zur Nut-

zung dieser Reaktion zur Synthese interessanter Naturstoffe, wie den Pheromonen verschiedener Insekten geführt. Da hier nur wenige Literaturstellen angegeben werden können, sei auf die Übersichtsartikel von Hans J. Schäfer verwiesen.

Die kurze Vorstellung einiger Synthesen mit natürlichen Ölen mag zeigen, dass diese nachwachsenden Rohstoffe viel zu schade sind, um sie einfach zu verbrennen, jedoch stellt auch der Einsatz als Chemierohstoff einen Interessenkonflikt dar, denn es handelt sich hierbei um hochwertige Nahrungsmittel.

Literatur

Biermann, U. et al. (2000): „Neue Synthesen mit Fetten und Ölen als nachwachsende Rohstoffe für die chemische Industrie“. In: *Angewandte Chemie*, Band 112, S. 2292–2310.

Schäfer, H.-J. (1981): „CC-Verknüpfungen an Anode und Kathode“. In: *Angewandte Chemie*, Band 93, S. 978–100.

Schäfer, H.-J. (1979): „Recent synthetic applications of the Kolbe electrolysis“. In: *Chemistry and Physics of Lipids*, Band 24, S. 321–333.

Metzger, J. O. (2009): „Fats and oils as renewable feedstock for chemistry“. In: *European Journal of Lipid Sciences and Technology*, Band 111, S. 865–876.

Bilder

Fayter, R. G. (1996): „Technical reactions for production of oleochemical monomers.“ In: Eierdanz, Horst (Hg.) „Perspektiven nachwachsender Rohstoffe in der Chemie.“ Weinheim: Wiley-CVH Verlag, S.107–118.

Herrmann, W. A. et al. (1989): „Verwendung von rheniumorganischen Verbindungen zur Oxidation von C-C-Mehrfachbindungen, darauf basierende Oxidationsverfahren und neue rheniumorganische Verbindungen. Patent DE A3902357A1.

Kolbe, H. (1846): „Kolbeelektrolyse“

Hermann Matschiner

Künftige Rohstoffe und Technologien zur Gewinnung von Ölen, Wachsen und Paraffinen

1 Einleitung und Aufgabenstellung

Heute bilden Naphta und Erdölderivate zu 80 Prozent die Rohstoffbasis der organisch-technischen Chemie in Deutschland. Über 8.000 Produkte werden aus Erdöl oder Erdgas erzeugt, die aus unserem Leben nicht mehr wegzudenken sind.¹

Auch ein großer Teil der Wachse wird aus den sogenannten Schmierölschnitten bei der Erdölraffination durch Raffination, Extraktion oder Destillation gewonnen. Je nach Entölungsgrad und Raffinationsführung werden verschiedene Wachse (Mikropetrolate, Mikrowachse und Hartmikrowachse) isoliert, die sich im Wesentlichen durch ihre Kristallstruktur unterscheiden.

In letzter Zeit werden insbesondere die rein synthetisch hergestellten Wachse immer wichtiger, die mit Hilfe der Fischer-Tropsch-Synthese aus CO und H₂ oder dem Ziegler-Natta-Verfahren aus Ethylen hergestellt werden.

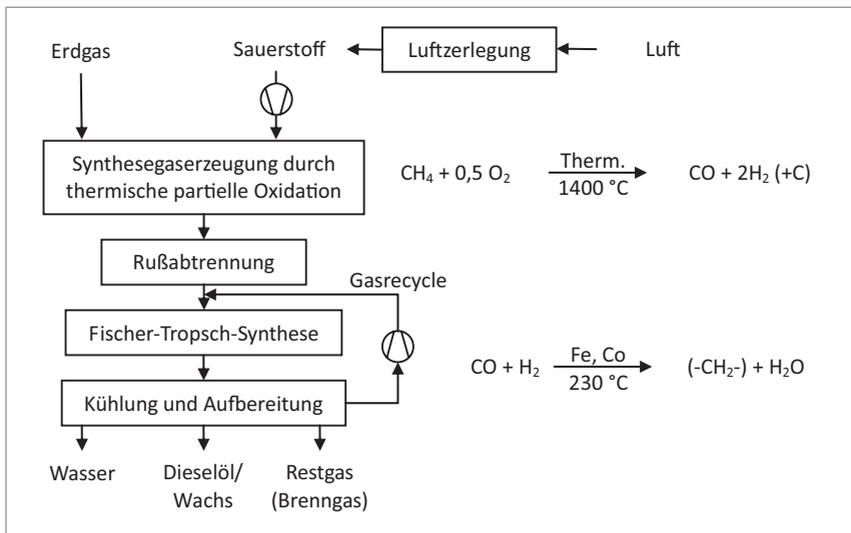


Abbildung 1: Fischer-Tropsch-Synthese auf Basis Erdgas (Quelle: Thiessen/ Jess).

¹ Vgl. Röper 2010.

Mit Hilfe der Fischer-Tropsch-Synthese hergestellte Wachse bestehen überwiegend aus gesättigten geradkettigen Kohlenwasserstoffen. Bekannt sind insbesondere die hochschmelzenden Sasolwax®-Produkte. Die wichtigsten Anwendungsbereiche für diese Wachse sind: Heißschmelzkleber (HMA), Druckfarben und Lacke, Textilien, Kunststoffverarbeitung sowie Poliermittel.

Die Ziegler-Natta-Synthese, im Allgemeinen in Benzin als Lösemittel durchgeführt, liefert sowohl harte als auch weiche Wachse. In neueren Arbeiten wird die Synthese von hochkristallinen und niedrigviskosen Wachsen beschrieben.²

Es ist allerdings davon auszugehen, dass die Ziegler-Natta-Katalysatoren zunehmend durch Metallocen-Katalysatoren ersetzt werden, die sich durch eine größere katalytische Aktivität auszeichnen und mit denen die Eigenschaften der Wachse weitaus besser gesteuert werden können. Clariant legte im September 2004 im Industriepark Frankfurt-Hoechst den Grundstein für die erste Produktionsanlage zur Herstellung von Wachsen auf Basis von Metallocen-Katalysatoren. Diese Wachse, die sich durch eine große Vielseitigkeit auszeichnen, sind insbesondere für die kunststoffverarbeitende Industrie von besonderem Interesse. Die Anlage wurde 2006 in Betrieb genommen und stellt jährlich mehrere tausend Tonnen Wachse her.³

Die wichtigen Rohstoffe und Energieträger – Erdöl und Erdgas – werden uns aber in Zukunft nicht mehr in scheinbar unbegrenzter Menge zur Verfügung stehen. Nach einer Prognose der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe werden die Reserven für Erdöl bei heutigem Verbrauch mit 41 Jahren und für Erdgas mit 60 Jahren angegeben. 146 Jahre sollen die Kohlevorräte noch reichen. Es kommt hinzu, dass die meisten uns heute bekannten Erdölvorkommen in politisch instabilen Regionen liegen.

² Vgl. Schrenk/Spitzer/Zagefka 2008.

³ Vgl. Boller 2010.

Was tun? Die Antwort ist einfach: wir müssen den Weg zu einer neuen Energie- und Rohstoffwirtschaft bereits heute einschlagen und nicht erst dann, wenn die fossilen Vorräte ausgebeutet sind oder der Klimawandel die magische Marke von 2 °C hinter sich zu lassen droht, wie dies in einem gemeinsamen Positionspapier der Gesellschaft Deutscher Chemiker (GDCh), der Gesellschaft für Chemische Technik und Biotechnologie (DECHEMA), der Deutschen Wissenschaftlichen Gesellschaft für Erdöl, Erdgas und Kohle (DGMK) und des Verbandes der Chemischen Industrie am 11.01.2010 gefordert wird.

Dieser Beitrag soll über Möglichkeiten zur Einsparung von Erdöl, die Gewinnung von Ölen, Wachsen und Paraffinen aus Klärschlamm und anderen Abfällen sowie über den Einsatz von CO₂ als Rohstoff für die Herstellung organischer Verbindungen berichten.

2 Einige Möglichkeiten zur Einsparung von Erdöl und Erdgas

Anfangen von der Erdölgewinnung bis hin zur Nutzung existieren noch große Einsparpotentiale. So werden jährlich über 100 Milliarden Kubikmeter Gas bei der Erdölförderung in entlegenen Gebieten abgefackelt und verursachen 0,5 % der menschengemachten CO₂-Emissionen. Die Firma Oxford Analyst, eine Ausgründung der Universität Oxford, entwickelte tragbare Reaktionskammern sowie neue Katalysatoren für die Fischer-Tropsch-Synthese, die es erlauben, vor Ort die flüchtigen zu flüssigen Kohlenwasserstoffe umzusetzen. Diese werden dem Erdöl zugesetzt und können so stofflich genutzt werden.⁴

Die chemische Industrie verbraucht über 18 Millionen Tonnen Erdöl pro Jahr, das sind etwa 15 % des Rohölverbrauchs in Deutschland. Zum Vergleich, 35 Millionen Tonnen Erdöl werden zur Herstellung von Heizöl verbraucht. Über sechs Millionen Haushalte heizen mit Öl – etwa ein Drittel davon mit veralteten Heizkesseln, die rund 40 % mehr Energie als moderne verbrauchen.⁵

4 Vgl. Groß 2010.

5 Vgl. Kutzscher 2009.

Als eine sinnvolle Alternative zur Ölheizung entwickelte sich in den letzten Jahren die elektrische Flächenheizung mit einem hohen IR-Strahlungsanteil.⁶ Diese Heiztechnik erlaubt enorme Energieeinsparungen, sie ist preisgünstig und weitgehend wartungsfrei. Mit dieser Heizung lässt sich die Bildung von Schimmelpilz und das Aufwirbeln von Wohngiften in vielen Wohnungen verhindern, die eingeatmet werden und Erkrankungen der Atemwege und Allergien auslösen können.⁷

Diese Entwicklung und die breite Nutzung der Flächenheizung mit einem hohen IR-Strahlungsanteil zu fördern, sieht das Steinbeis-Transferzentrum Ressourcen-Technologie und Management in Halle als große Herausforderung. Diesem Ziel diene auch die sehr erfolgreiche Fachtagung „Infrarotheizung – Heizsystem mit Zukunft“ am 17.03.2010 in Halle. Erdöl ist viel zu kostbar, um nur verbrannt zu werden, es muss vorrangig stofflich genutzt werden, nicht zuletzt auch zur Herstellung von Wachsen.

3 Gewinnung von Öl aus pflanzlichen und tierischen Abfällen

Bereits 1937 beschrieb Shibata, dass sich durch Erhitzen von organischen Abfällen unter Luftausschluss feste, flüssige und gasförmige Energieträger bilden. Er erwarb für seine Erfindung in mehreren Ländern Patente, u. a. auch in Deutschland.⁸ Seine Erfindung fand allerdings zunächst wenig Beachtung, denn die auf diese Weise zugänglichen Stoffe ließen sich auch aus Kohle herstellen und zudem wurde damals die Entsorgung von Reststoffen anders gesehen und gehandhabt als heute. Auf diese Arbeiten machte erst ca. 40 Jahre später Professor Bayer in Tübingen wieder aufmerksam, der die Bildung von Erdöl und Erdgas erforschte. Er fand heraus, dass diese von Shibata beschriebenen Abbauprozesse durch Katalysatoren, die in den Abfällen enthalten sind, beschleunigt werden und spricht deshalb von der katalytischen Niedertemperaturkonvertierung.⁹

6 Vgl. Meier 2010.

7 Vgl. Eisenschink 2004.

8 Vgl. Shibata 1937.

9 Vgl. Bayer 1993.

3.1 Katalytische Niedertemperaturkonvertierung

Erhitzt man trockenen Klärschlamm oder andere Biomasse unter Ausschluss von Luft auf 280°C bis ca. 350°C in Gegenwart eines Katalysators, dann werden organische Verbindungen entfunktionalisiert: Sauerstoff als H_2O , Stickstoff als NH_3 , Schwefel als H_2S und Chlor als HCl werden abgespalten. Zurück bleiben insbesondere langkettige Kohlenwasserstoffe.

Dieses Reaktionsschema, übertragen auf die Proteine, Lipide und Kohlenwasserstoffe, die Hauptbestandteile der Biomasse im Klärschlamm:

- **Proteine oder Eiweiß** sind aus Aminosäuren aufgebaute Makromoleküle. Sie können H_2O , CO_2 , NH_3 und H_2S abspalten.
- Zu den **Lipiden** gehören u. a. Fette, Öle und Wachse. Fette und Öle sind Glycerinester langkettiger Fettsäuren. Viele Naturwachse sind Fettsäureester, die sich aber von den Fetten und Ölen dadurch unterscheiden, dass die Fettsäuren nicht mit Glycerin, sondern mit höheren, primären, einwertigen Alkoholen verestert sind. Sie spalten CO_2 ab.
- Kohlehydrate (Zucker, Stärke und Zellulose) spalten bei der Konvertierung H_2O ab und bilden Kohlenstoff.

Bei welchen Temperaturen bestimmte Gruppen aus dem Molekülverband abgespalten werden, ist abhängig von der Festigkeit der jeweiligen Bindung (Tabelle 1). Wichtig ist, dass unter den Bedingungen der katalytischen Niedertemperaturkonvertierung die hochtoxischen polychlorierten Dibenzofurane (PCDF) und polychlorierten Dibenzodioxane (PCDD) vollständig abgebaut werden.

Vorgang	Temperatur
Verdampfung von Wasser, Trocknung Dehydratisierung	120 °C
Decarboxylierung Desulfurierung	250 °C
Dealkylierung, Depolymerisation Spaltung von CO und C-N-Bindungen	340 °C
Crackprozesse, Cyclisierung, Aromatisierung	> 600 °C

Tabelle 1: Anhaltspunkte für temperaturabhängige Prozesse bei der thermischen Behandlung organischer Stoffe nach Rosemann.

3.2 Wirtschaftliches Potential der Klärschlammnutzung

Wie in Abbildung 2 dargestellt, bilden sich neben dem Öl auch Koks, brennbare Gase und Schwelwasser. Nach Bayer lassen sich beispielsweise aus einer Tonne Klärschlamm bezogen auf die Trockenmasse (TS) fast 300 kg Rohöl erzeugen, das ähnlich wie Roherdöl zusammengesetzt ist. Das Öl enthält neben Kohlenwasserstoffen – n-Alkane, n-Alkene und verzweigte Kohlenwasserstoffe – kaum Aromate, aber in z. T. beträchtlichen Mengen Fettsäurederivate (Abbildung 2). Die Öle sind weitgehend frei von anorganischen Verunreinigungen und relativ schwefelarm. Sie lassen sich in bestehende Produktionslinien der chemischen Industrie eingliedern und als Rohstoffe für viele spezielle Anwendungen, beispielsweise zur Herstellung von Phase Change Material (PCM) zur Kälte- und Wärmespeicherung nutzen. Bei entsprechender Prozessführung können auch in hohen Ausbeuten Wachse gewonnen werden.

Etwa 40 % des ursprünglich im Klärschlamm vorhandenen Kohlenstoffs verbleiben nach der Konvertierung zusammen mit den anorganischen Klärschlamm-inhaltsstoffen im Kohlerückstand. Dieser fällt als feines Pulver an, lässt sich leicht aus dem Reaktor entfernen und weiter verwenden. Die anfallende Kohle kann als Filterhilfsmittel in der Kläranlage oder als Energieträger zur Klärschlamm-trocknung genutzt werden und ist ein wertvoller Rohstoff für die Herstellung von Phosphatdünger.

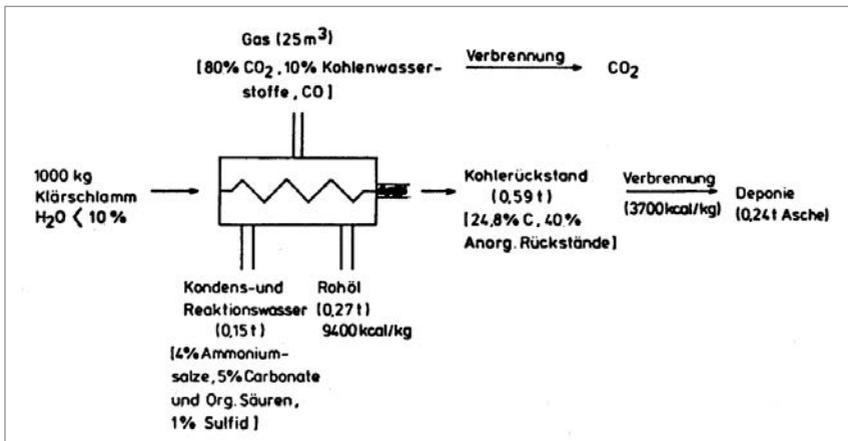


Abbildung 2: Konvertierungsprodukte aus Klärschlamm nach Bayer.

Da in der Vergangenheit durch den Einsatz von Klärschlämmen ein großer Teil des Phosphorbedarfs der Landwirtschaft gedeckt werden konnte, was nicht mehr gestattet ist, müssen in Zukunft verstärkt mineralische Phosphordünger eingesetzt werden, mit der Nebenwirkung, dass außer Schwermetallen auch zusätzlich radioaktive Verbindungen wie Ra-226, Th-232, K-40 und insbesondere auch Uran mit den mineralischen Phosphordüngern auf die Felder gebracht werden. Zudem zeichnet sich weltweit eine enorme Verknappung der Rohstoffe für die Herstellung von Phosphordüngemitteln ab.¹⁰

Nach einer Studie des Umweltbundesamtes fallen in Deutschland über 2,4 Millionen t Klärschlamm (Trockenmasse) aus Haushalten und der Industrie an. Rein theoretisch ließen sich aus den Klärschlämmen über 700.000 t Rohöl gewinnen.

Neben Klärschlamm können auch Tier- und Fleischknochenmehle und viele weitere Reststoffe als Rohstoffe bei der katalytischen Niedertemperaturkonvertierung genutzt werden. Dazu zählen Abfallholz, fein gemahlenes Stroh sowie insbesondere Abfälle, die bei der Ölabbpressung anfallen wie Rapsschrot oder Oliventrester.¹¹

¹⁰ Vgl. Kley/Köhler/Brenneis 2003.

¹¹ Vgl. Stadlbauer 2006.

3.3 Nutzung von landwirtschaftlichen Erzeugnissen

Sehr interessante Ausgangsstoffe für die katalytische Niedertemperaturkonvertierung sind auch Ölsaaten wie Rapsamen, Euphorbien und Lupinen. In Tabelle 2 sind die Ölsaaten für einige landwirtschaftliche Produkte aufgelistet.

Ausbeuten an Öl, Kohle und Fettsäuren bei der NTK von Ölpflanzen			
Substanz	Ölsaate %	Kohlemenge %	Fettsäure im Öl %
Raps Saat	44,5	22,5	38,3
Lupinus multabilis	32,5	26,4	35,0
Oleifera Schrot	17,1	34,03	26,52
Oleifera Saat	39,25	23,54	41,5

Tabelle 2: Ölsaaten für einige landwirtschaftliche Produkte.

Wie Tabelle 2 zeigt, können bis zu 30 % des Öls Fettsäuren sein. Die qualitative Zusammensetzung der Fettsäuren entspricht technischen Fettsäuregemischen. Überraschend ist der noch relativ hohe Anteil an ungesättigten Fettsäuren mit einer oder zwei Doppelbindungen.

Besonders interessant ist neben Öl der Kohlerückstand: toxische Metalle sind nicht nachweisbar. Die Kohlen lassen sich sehr leicht aktivieren und sind als Adsorbentien sowohl für Gas- als auch zur Wasserreinigung mit den besten gebräuchlichen Aktivkohlen vergleichbar.¹²

3.4 Stand und Perspektive der katalytischen Niedertemperaturkonvertierung

2006 wurde im Auftrag der Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung in Berlin eine Studie zur Direktverflüssigung von Biomasse erarbeitet. Kritisch wird eingeschätzt, dass es trotz vieler ausgezeichneter Forschungsergebnisse verschiedener Arbeitsgruppen bisher nicht gelungen ist, die katalytische Niedertemperaturkonvertierung in Deutschland im technischen Maßstab zu etablieren.¹³ Bezogen auf Deutschland hat es viele Gründe:

¹² Vgl. Bayer.

¹³ Vgl. Behrend 2006.

Die erste technische Anlage zur Gewinnung von Rohstoffen und Energieträgern mit Hilfe der katalytischen Niedertemperaturkonvertierung wurde 1997 von der Max-Aicher-Gruppe in Hammerau in Betrieb genommen. In dieser Anlage wurden 10.000 t/a Raffinerieklärschlämme und Tankreinigungsschlämme verarbeitet. Diese Anlage wurde aber stillgelegt.

Aufbauend auf diesen Erfahrungen errichtete zwischen 1998 und 1999 die Max-Aicher-Gruppe in Rositz/Thüringen eine Anlage mit einer Kapazität von 60.000 t/a zur Gewinnung von Öl und Koks aus Reststoffen der ehemaligen Kohle- und Erdölverarbeitung (Abbildung 3).

Wegen Protesten einiger Anwohner musste diese Anlage 2003 stillgelegt werden. Das ist sehr bedauerlich, denn weltweit wird nach neuen Lösungen gesucht, Ölsand, die größten bekannten Mineralölvorkommen, als Rohstoff für die Erdölgewinnung besser zu nutzen.

Historisch gewachsene Strukturen der Klärschlamm Entsorgung oder der Ölgewinnung aus pflanzlichen Produkten sind heute noch als Barrieren für Investitionen in neue Technologien zu sehen. Viel spricht aber dafür, dass trotz der heutigen Schwierigkeiten in Zukunft die katalytische Niedertemperaturkonvertierung breite technische Anwendung finden wird. Sie bietet sich beispielsweise an zur Herstellung von Holzkohle, die wieder zur Eisengewinnung genutzt werden soll oder für humus- und nährstoffreiche sowie wasserspeichernde Böden benötigt wird.¹⁴

14 Vgl. Böttcher 2009.



Abbildung 3: Aufarbeitungsanlage Rositz (TWG Thüringer Wertstoffgewinnung Aicher-Müller GmbH Rositz).

Auch Algen sind als künftige Rohstoffe für die katalytische Niedertemperaturkonvertierung zu sehen. Sie gelten als vielversprechender und vielseitiger nachwachsender Rohstoff, da sie schnell wachsen, reich an pflanzlichem Öl sind und in Meerwasserbecken aufgezogen werden können. Da sie keine Böden beanspruchen, stehen sie außerdem nicht in Konkurrenz zur Nahrungsmittelproduktion.¹⁵

In vielen Publikationen wird über Möglichkeiten zur Nutzung von Algen als künftige Rohstoffe zur Erzeugung von Wasserstoff, Biogas und Biodiesel berichtet mit der Besonderheit, dass das bei den Verbrennungsvorgängen freigesetzte CO_2 in Photoreaktoren wieder zur Biosynthese genutzt werden kann. In der Diskussion ist ferner, die Rauchgase von Kohlekraftwerken als CO_2 -Quellen für künftige Algen-Farmen zu nutzen.

15 Vgl. Carlowitz 2009.

4 Nutzung von CO₂ als Rohstoff für die Herstellung organischer Verbindungen

Bekanntlich bestimmten Synthesen mit CO₂ wichtige Entwicklungen in der Chemie und Technik, beispielsweise die

- Harnstoffsynthese,
- Sodaproduktion nach dem Solvay-Verfahren oder die
- Salicylsäureherstellung durch Einwirkung von CO₂ auf trockenes Natriumphenolat.

Bekannt ist die Wassergas-Shift-Reaktion.



Von CO und H₂ ausgehend können und werden wichtige Zwischenprodukte der chemischen Industrie hergestellt: Alkane, Alkene, Alkohole oder mit Hilfe der Oxosynthese aus Alkenen Aldehyde.¹⁶

Nach Presseberichten ist es Wissenschaftlern der RWTH Aachen und der Bayer AG kürzlich gelungen, CO₂ als Ausgangsstoff zur Herstellung von Polyurethanbausteinen zu nutzen.¹⁷ Mit Hilfe der Elektrosynthese oder über metallorganische Verbindungen kann gezielt CO₂ zur Synthese von Carbonsäuren genutzt werden.¹⁸

Die Entwicklung neuer Technologien zur chemischen CO₂-Verwertung ist heute wieder sehr aktuell, das unterstreicht u. a., dass das Bundesministerium für Bildung und Forschung die Entwicklung neuer Technologien zur chemischen CO₂-Verwertung bis 2014 mit insgesamt 100 Millionen Euro fördert.

4.1 Wasserstoff – Voraussetzung für Nutzungen von CO₂ als Rohstoff

„Werden einmal die Rohstoffquellen (Erdöl) noch knapper und teurer oder gehen diese völlig zu Ende, bleibt außer der Biomasse nur noch Kohlensäure als Rohstoff für die organisch-chemische Industrie übrig“, schreibt Professor Asinger bereits

¹⁶ Vgl. Beyer/Walter/Francke 1998.

¹⁷ Vgl. Boeing 2009.

¹⁸ Vgl. Rüttinger/Rudorf/Matschiner 1985.

in seinem 1986 erschienen Buch „Methanol – Chemie- und Energierohstoff der Zukunft“. Mit Methanol wäre es möglich, die gesamte Petrolchemie, die meisten Treibstoffe und die Energieträger für den Heizungsbedarf zu ersetzen. Es würde Deutschland unabhängig machen von einem Großteil der Importe fossiler Energieträger.^{19,20}

Das Hauptproblem einer künftigen Rohstoffsicherung der chemischen Industrie auf Basis CO₂ ist die Verfügbarkeit von Wasserstoff. Er wird heute zu über 90 % durch partielle Verbrennung von Kohlenwasserstoffen, katalytische Spaltung von Methan oder anderen Kohlenwasserstoffen, katalytische Reforming-Prozesse sowie Vergasung von Kohle hergestellt, was gleichzeitig CO₂-Emissionen verursacht.²¹

Als Rohstoff der Zukunft zur Herstellung von Wasserstoff ist in erster Linie Holz zu sehen. Nach Russland ist Deutschland das europäische Land mit dem größten Waldbestand. Bekannt sind die Entwicklungen der Firma Choren Industries, die das Synthesegas für die Fischer-Tropsch-Synthese aus Holzabfällen gewinnt. Ende letzten Jahres wurde eine Pilotanlage in Betrieb genommen, in der etwa 70.000 t Holzabfälle pro Jahr zu Treibstoff umgesetzt werden. Der nächste Schritt für Choren ist eine komplette Raffinerie, die in Schwedt geplant ist und die 200.000 t Biodiesel pro Jahr produzieren soll. Auf einer Fläche von 1.000 Hektar bei Wismar sollen schnell wachsende Hölzer angebaut werden, die den Rohstoff für die geplante Raffinerie in Schwedt liefern sollen und damit auch die Bereitstellung von Wachsen aus nachwachsenden Rohstoffen sichern könnte.

Elektrolyseverfahren

In Ländern mit billiger Wasserkraft wird Wasserstoff auch durch Elektrolyse gewonnen:



¹⁹ Vgl. Asinger 1986.

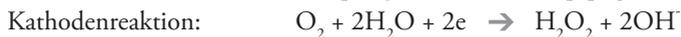
²⁰ Vgl. Keim / Offermanns 2010.

²¹ Vgl. Büchner / Schliebs / Winter 1986.

Bis 2020 soll der Anteil des Stroms aus erneuerbaren Energien am Bruttostromverbrauch 30% betragen. Die Windkraft ist dabei der treibende Faktor. Doch eine Schwachstelle hat diese Technologie der regenerativen Energieerzeugung noch: Bislang fehlt die Möglichkeit, den erzeugten Strom zu speichern, denn Forschung und Entwicklung auf dem Gebiet der elektrischen Energiespeicherung ist in Deutschland lange vernachlässigt worden. Bei der Speicherung elektrischer Energie weisen Batterien auf Basis der Lithium-Ionen-Technologie die höchste nutzbare Energiedichte bei hoher Zellspannung, hoher Lebensdauer und geringer Selbstentladung auf. Leider gibt es in Deutschland gegenwärtig keine Großserienfertigung – weder für automobiler oder stationäre Anwendungen.

Von einem deutsch-österreichischen Konsortium wurde vorgeschlagen, mit Hilfe der Wasserelektrolyse Wasserstoff zu erzeugen, diesen mit CO_2 in bekannter Weise zu Methan umsetzen und ins bestehende Erdgasnetz einzuspeisen, um beispielsweise mit Erdgas Autos zu betreiben. In gleicher Weise könnte auch Überschussstrom aus dem Netz genutzt werden.²²

Wasserstoff fällt zudem als Koppelprodukt bei wichtigen großtechnischen Elektrolyseprozessen an, wie der Salzsäure-, der Chloralkali- oder der Natriumperoxodisulfatelektrolyse. Dabei wird aber zunehmend angestrebt, durch Einbindung einer Sauerstoffverzehrelektrode auf die Wasserstoffbildung zu verzichten und dadurch den Strombedarf der Elektrolyse zu reduzieren oder völlig neue Anwendungsfelder für klassische Elektrolyseprozesse zu erschließen.



Auf diese Weise lässt sich beispielsweise bei der Natriumperoxodisulfatelektrolyse sehr kostengünstig hoch reines H_2O_2 für die Elektronikindustrie herstellen, Bleich- und Färbeverfahren wesentlich umweltfreundlicher gestalten oder das Lignin beim Holzaufschluss besser stofflich nutzen.²³

²² Vgl. Prokon Unternehmensgruppe 2010.

²³ Vgl. Matschiner/Thiele/Fryda 2009.

Wasserstoff aus Hochtemperaturreaktoren

Auch die Thermolyse des Wassers ist bei Nutzung nuklearer Wärme oder möglicherweise auch bei Nutzung von Solarstrahlung als neuer Weg zur Herstellung von Wasserstoff zu sehen. Bei Temperaturen über 2.000 °C kann Wasser vollständig in Wasserstoff und Sauerstoff gespalten werden. Ein solches Vorhaben wäre aber nicht sinnvoll. Es wird deshalb versucht, mit Hilfe sogenannter thermochemischer Kreisprozesse sowohl die zur Spaltung des Wassers notwendige Temperatur zu senken als auch gleichzeitig die Auftrennung der Reaktionsgase zu ermöglichen.

Viele solcher thermochemischer Kreisprozesse sind in der Literatur beschrieben. Beispiele sind der bei Euratom in Ispra entwickelte Mark-9-Zyklus aus der Eisenchlorid-Familie oder der Schwefelsäure-Iod-Prozess

Der Schwefelsäure-Iod-Prozess ist ein Drei-Stufen-Prozess: Iod und Schwefeldioxid reagieren bei 120 °C. Nach Trennung der Reaktionsprodukte wird Schwefelsäure bei ca. 900 °C in Sauerstoff und Schwefeldioxid gespalten, aus Iodwasserstoff entsteht bei ca. 400 °C Wasserstoff und der Ausgangsstoff Iod. Der thermische Wirkungsgrad dieses Kreisprozesses liegt bei etwa 50 %.

Im folgenden Formelschema ist der Schwefelsäure-Iod-Prozess beschrieben:

Schwefelsäure-Iod-Prozess

Reaktionsstufe 1	Reaktionstemperatur: 120 °C
$I_2 + SO_2 + 2H_2O \rightarrow 2HI + H_2SO_4$	$\Delta GR = -89,92 \text{ kJ}$
Reaktionsstufe 2	Reaktionstemperatur: 830 °C
$H_2SO_4 \rightarrow SO_2 + H_2O + \frac{1}{2} O_2$	$\Delta GR = 156,46 \text{ kJ}$
Reaktionsstufe 3	Reaktionstemperatur: 320 °C
$2HI \rightarrow I_2 + H_2$	$\Delta GR = -13,48 \text{ kJ}$
Summe:	$H_2O \rightarrow H_2 + \frac{1}{2} O_2$

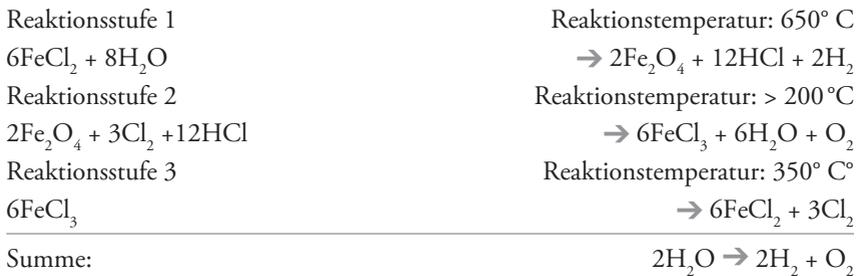
Die Teilreaktion 1 ist bekannt als Bunsenreaktion. Von der ECH Elektrochemie Halle wurden sehr viele Untersuchungen zur Umsetzung von SO_2 , I_2 und Wasser in Gegenwart von organischen sowie anorganischen Basen durchgeführt und mit diesen Arbeiten dabei sehr wesentlich zur

- Aufklärung der wichtigsten maßanalytischen Wasserbestimmung, der Karl-Fischer-Titration beigetragen und
- viele neue Synthesen von Dimethylamin und SO_2 ausgehend realisiert.²⁴

Der kritische Verfahrensschritt bei der technischen Nutzung des Schwefelsäure-Iod-Prozess ist die Teilreaktion 2, die thermische Spaltung von Schwefelsäure. Wir nutzten dazu im großtechnischen Maßstab die Gips-Schwefelsäure-Anlage in Wolfen.²⁵

Mark-9-Zyklus

Auch der Mark-9-Zyklus ist ein Dreistufen-Prozess:



Der thermische Wirkungsgrad dieses Verfahrens liegt rein theoretisch bei 44 %. Bis zur technischen Nutzung dieses Verfahrens ist es allerdings noch ein weiter Weg, das betrifft insbesondere die Auswahl geeigneter Werkstoffe, die beständig sind gegenüber Chlor, HCl, Wasserdampf und Eisenchlorid, noch dazu bei Temperaturen bis zu 800° C.

Man muss sich auch über die Stoffströme im klaren sein, dass zur Erzeugung pro Tonne Wasserstoff ca. 116 t Fe_3O_4 (bei angenommen 100 % Umsatz) erforderlich sind.²⁶

²⁴ Vgl. Matschiner/Maschmeier/Maier/Hansen 1993.

²⁵ Vgl. Matschiner/Haase 1990.

²⁶ Vgl. Hofmann 1978.

Die Wasserspaltung kann auch direkt mit der Kohlenwasserstoffbildung gekoppelt werden. Bereits in den 1970er Jahren wurde von der KFA Jülich ein Vergasungsverfahren von Kohle vorgeschlagen, das nukleare Wärme aus einem Kugelhaufenreaktor nutzte. Über einem He/He-Wärmetauscher wird die nukleare Wärme einem Kohle-Vergaser zugeführt und mit der verbleibenden Wärme Dampf erzeugt, der als Vergasungsmittel dient. Auf diese Weise werden bis zu 40 % der im traditionellen Verfahren erforderlichen Kohle eingespart und die entsprechenden Emissionen/Immissionen CO_2 , SO_2 , NO_x u. a. Schadstoffe vermieden. Es wird mit einem Gesamtnutzungsgrad von 60 % und einer Kostenersparnis von 20 % gerechnet.²⁷

Die Erzeugung nuklearer Wärme mit Hilfe von Kugelreaktoren ist in verschiedenen Ländern wieder ein sehr aktuelles Thema. In Betrieb sind Demonstrationsanlagen in China (10 MW) und Japan (30 MW). Eine Großanlage (400 MW) ist in Südafrika im Bau.

Archimedes soll bereits während des 2. Punischen Krieges das Sonnenlicht mit Hilfe von Spiegeln so auf die angreifenden Schiffe der Römer konzentriert haben, dass ihre Flotte vernichtet wurde. Forscher des Massachusetts Institute of Technology haben 2005 erfolgreich mit 127 kleinen Spiegeln ein 30 Meter entferntes Modell einer Schiffswand entzündet und die Berichte bestätigt.

Warum soll es nicht möglich sein, auch Sonnenlicht zur Herstellung von Aliphaten und Wachsen aus Kohle oder nachwachsenden Rohstoffen zu nutzen?²⁸

27 Vgl. Schmieder/Henrich/Dinjus 2000.

28 Vgl. Meier/Wieckert/Steinfeld 2005.

Literatur

Asinger, F. (1986): „Methanol – Chemie- und Energierohstoff der Zukunft“, Heidelberg, Berlin, New York: Springer-Verlag.

Bayer, E. (1993): „Theorie und Praxis der Niedertemperaturkonvertierung zur Rezyklisierung von Abfällen“, Nordrhein-Westfälische Akademie der Wissenschaften, Düsseldorf: Sitzung am 13.01.1993.

Bayer, E. „Verfahren zur Herstellung von Fettsäuren aus biologischem Material“. DE 3729594.

Behrend, F. (2006): „Direktverflüssigung von Biomasse – Reaktionsmechanismen und Produktverteilung“. Studie 114-50-10-0337/05-B, Technische Universität Berlin.

Beyer, H./Walter, W./Francke, W. (1998): „Lehrbuch der Organischen Chemie“. 23. überarb. u. aktual. Aufl. Stuttgart: S. Hirzel Verlag.

Boeing, N. (2009): „Das neue Plastikzeitalter“. In: Technology Review, Ausgabe 01/09.

Boller, U. (2010): „Wachsanlage von Clariant“. URL: www.industriepark-hoechst.com.

Böttcher, J. (2009): „Verfahren zur Herstellung von Humus- und nährstoffreichen sowie wasserspeichernden Böden oder Bodensubstraten für nachhaltige Landnutzungs- und Siedlungssystemen“. Patent WO 2009/021528.

Büchner, K. H./Schliebs, R./Winter, G. (1986): „Industrielle Anorganische Chemie“. 2. durchges. Aufl. Weinheim: Wiley-VCH Verlagsgesellschaft.

Carlowitz, O. (2009): „Synthesegas aus Algen für die Kraftstoffproduktion“. URL: www.cutec.de/news/2009/news_oktober2009.pdf.

Groß, M. (2010): „Fischer-Tropsch-Synthese: Wiederkehr im grünen Gewand“. In: Nachrichten aus der Chemie, Band 58, S. 653–654.

Hofmann, H. (1976): „Die Erzeugung von Wasserstoff mit Hilfe thermochemischer Reaktionen“. In: Chemie Ingenieur Technik, Band 48, S. 87–91.

Eisenschink, A. (2004): „Die krankmachende Ökofalle in unseren Häusern“. 1. Aufl. Johannes Thomae Verlag.

Keim, W. / Offermanns, H. (2010): „Beyond Oil and Gas: Frühe Aachener Visionen“. In: Nachrichten aus der Chemie, Band 58, S. 434–435.

Kley, G. / Köhler, P. / Brenneis, R. (2003): „Möglichkeiten zur Gewinnung von Phosphat-Düngemitteln aus Klärschlamm-, Tiermehl- und ähnlichen Aschen durch thermische Behandlung“. Symposium: „Rückgewinnung von Phosphor in der Landwirtschaft und aus Abwasser und Abfall“, Berlin: 06./07. Februar 2003.

Kutzscher, M. (2009): „Ölheizung – KfW-Zuschuss für Modernisierung“. URL: www.oel-heizung.de.

Matschiner, H. / Thiele, W. / Fryda, M. (2009): „Neue Verfahren zur Herstellung und zum Einsatz von Natriumperoxodisulfat“, Jahrestagung 2009 „Elektrochemie und Umwelt“, Wissenschaftsforum Chemie, Frankfurt: August / September 2009.

Matschiner, H. / Maschmeier, C.-P. / Maier, N. / Hansen, J. (1993): „Zur Umsetzung von Arylmethylketonen mit Schwefel, sekundären Aminen und Schwefeldioxid“. In: Phosphorus, Sulfur and Silicon, Band 84, S. 223–230.

Matschiner, H./Haase, R. (1990): „Nutzung von Gips-Schwefelsäure-Anlagen zur Verwertung und Entsorgung von Abbauprodukten“. In: Abfallwirtschafts Journal, Ausgabe 02/90.

Meier, A./Wieckert, C./Steinfeld, A. (2005): „Wasserstoff aus Wasser und Sonnenenergie, Hochtemperatur-Solarchemie“. In: Bulletin SEV/VSE, Band 24/25, S. 11–17.

Meier, C. (2010): „Phänomen Strahlungsheizung“. 2. durchges. Aufl. Renningen: expert Verlag.

Prokon Unternehmensgruppe (2010): „Aus Windstrom wird Gas“. URL: http://www.prokon.net/downloads/Rundbriefe/PROKON_Rundbrief_036.pdf.

Röper, M. (2010): „Rohstoffbasis im Wandel“. URL: www.vci.de.

Rüttinger, H.-H./Rudorf, W.-D./Matschiner, H. (1985): „Electrochemical carboxylation of ketene S,S-acetals.“ In: Electrochimica Acta, Band 30, S. 155–157.

Schrenk, V./Spitzer, U./Zagefka, H.-D. (2008): „Verfahren zur Herstellung synthetischer Polyethylenwachse mit hoher Kristallinität und niedriger Viskosität“. Patent DE 102006055729.

Shibata, S.: „Erzeugung von Brennölen aus vergorenem Schlamm“. DE 727388.

Schmieder, S./Henrich, E./Dinjus, E. (2000): „Wasserstoffgewinnung durch Wasserspaltung mit Biomasse und Kohle“. Wissenschaftlicher Bericht FZKA 6556, Forschungszentrum Karlsruhe.

Stadlbauer, E. A. et al. (2006): „Synthetische Kraftstoffe aus organischen Reststoffen“. URL: www.fh-giessen-friedberg.de.

Thiessen, J. / Jess, A.: „Fischer-Tropsch-Synthese: hochwertige Kraftstoffe aus Erdgas“. URL: http://www.cvt.uni-bayreuth.de/Forschung/118Fischer_de.php

Teil E

Anwendungen, Weiterverarbeitung und Vermarktung der Produkte

Jörg Abraham | Romonta Bergwerks Holding AG, Amsdorf

**Wachse – Ihre Einordnung und anwendungstechnischen Eigenschaften.
Konsequenzen für die Ausrichtung
des Projektes „netzwerk WACHSE“**

Geschichte

Wachs gehört zu den ältesten technischen Werkstoffen, die die Menschen benutzt haben. Es gibt schon Hinweise auf die Verwendung von Wachsen für Wachsausschmelzverfahren vor rund 5000 Jahren. In der Bronzezeit wie auch in der Antike wurde Wachs zum Gießen von Kult- und Gebrauchsgegenständen, Waffen und Schmuck gebraucht. Auch in Mesopotamien und im Alten Ägypten gab es durchaus schon technische Anwendungen.

Eine Sage der griechischen Antike erzählt ebenfalls von Wachs. In der bekannten Sage sind Dädalus und sein Sohn Ikarus Gefangene des Königs Minos auf Kreta. Dieser herrschte über die Schifffahrt, so dass Vater und Sohn sich Gedanken machten, wie sie von der Insel fliehen konnten. „Wir tun es den Vögeln gleich“, war die Lösung und so wurden Federn mit Wachs zusammengeklebt und Flügel daraus gebaut. Die beiden flohen fliegend von der Insel. Die Geschichte hatte keinen besonders guten Ausgang: Der Vater warnte den Sohn weder zu tief noch zu hoch zu fliegen, doch Ikarus hörte nicht auf seinen Rat und flog zu nah an die Sonne, sodass das Wachs seiner Flügel schmolz und er ins Meer stürzte und ertrank.

Was sind Wachse?

Justus von Liebig (1803–1873), Professor für Chemie in Gießen und München, bietet uns die chemische Definition von Wachsen. Er orientierte sich am damals gängigen Bienenwachs und erkannte es richtig als Esterwachs.

„Wachse sind Ester langkettiger Fettsäuren und langkettiger Fettalkohole.“

Mit der zunehmenden technischen Entwicklung Ende des 19. Jahrhunderts, zum Beispiel der Erdölverarbeitung, traten nun Substanzen auf, die in ihren Eigenschaften dem von Justus von Liebig beschriebenen Wachs zwar ähnlich waren, aber von ganz anderer Chemie waren. Aus diesem Grund definierte die Deutsche Gesellschaft für Fettwissenschaften (DGF) die Wachse in den fünfziger Jahren neu. Jetzt wurden Wachse nach ihren physikalischen Eigenschaften definiert:

„Wachse sind natürliche oder synthetische Stoffe, die durch folgende Eigenschaften charakterisiert sind:“

1. Tropfpunkt $> 40^{\circ}\text{C}$
2. Schmelzviskosität übersteigt bei 10°C über dem Tropfpunkt keine $10.000 \text{ mPa}\cdot\text{s}$
3. unter leichtem Druck polierbar, stark temperaturabhängig in Konsistenz und Löslichkeit.
4. bei 20°C knetbar, fest bis brüchig-hart, grob bis feinkristallin, durchscheinend bis opak, jedoch nicht glasartig.
5. über 40°C ohne Zersetzung schmelzbar.
6. schon wenig oberhalb des Schmelzpunktes verhältnismäßig niedrigviskos.
7. Wachse schmelzen normalerweise zwischen ca. 50°C und 90°C (in Sonderfällen bis zu 200°C).
8. Wachse brennen im Allgemeinen nach Zündung mit einer rußigen Flamme
9. Wachse können Pasten oder Gele bilden.
10. schlechte Leiter für Wärme und Elektrizität (thermische und elektrische Isolatoren).

Hieran ist erkenntlich, dass Wachse von ihrer Chemie her extrem unterschiedlich sein können, trotz allem aber in dieses Definitionsschema fallen.

Einteilung der Wachse

Es gibt grundsätzlich zwei große Gruppen von Wachsen. Das sind Naturwachse auf der einen und synthetische Wachse auf der anderen Seite.

Naturwaxse	Synthetische Waxse
Tierwaxse Bienenwaxs Schellackwaxs Wollwaxs	Teilsynthetische Waxse Modifizierte Montanwaxse Amidwaxse
Rezente Pflanzenwaxse Carnaubawaxs Candelillawaxs	Vollsynthetische Waxse Polyolefinwaxse Fischer-Tropsch-Waxse Copolymerisate Oxidate
Fossile Pflanzenwaxse Montanwaxs Torfwaxs	
Erdölwaxse Ozokerite Makrokristalline Paraffine Mikrokristalline Paraffine	

Tabelle 1: Gruppen von Wachsen.

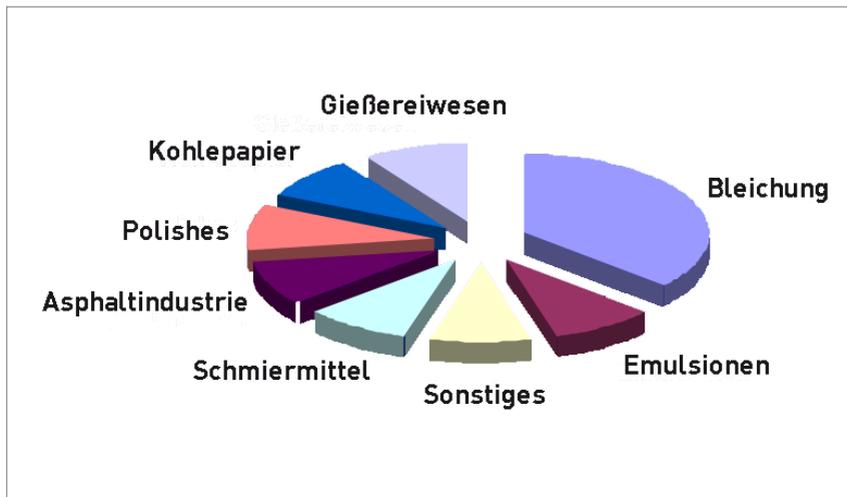
Ausgewählte Anwendungen

Mit den folgenden Beispielen soll klargemacht werden, wie interessant die Waxsanwendung ist, aber auch wie speziell sie sein kann und wie komplex damit die Anforderungen sind. Die Beispiele werden anhand von Hartwaxs bzw. Montanwaxs deutlich gemacht. Hierfür die typischen Kennzahlen:

- Erstarrungspunkt 75–80 °C
- Säurezahl 22–36 mg KOH/g
- Verseifungszahl 75–100 mg KOH/g
- Viskosität (90 °C) 40–70 mPas
- Penetration (100g/25 °C) ~ 1 x 10–1 mm
- Dichte (100 °C) ~ 0,86 g/cm³

All diese Zahlen weisen darauf hin, dass es sich um ein Naturwachs handelt. **Ein chemisch ähnliches Wachs wird direkt von der Carnaubapalme aus Brasilien gewonnen.**

Die Anwendungsfelder von Montanwachs sind folgende:



Montanwachs findet Anwendung bei der Bleichung, bei Pflegemitteln, in der Asphaltindustrie, in Emulsionen, in Kunststoffen, Farben, Lacken, und vielem mehr.

Emulsionen – Gipskartonplattenhydrophobierung, Spanplattenhydrophobierung

Ein Thema, das zunehmend Bedeutung für die Wachsproduzenten gewinnt, ist die Herstellung von technischen Emulsionen. Hier geht es insbesondere darum, unterschiedlichste Systeme hinsichtlich ihrer Wasseraufnahmefähigkeit zu modifizieren. Dies findet unter anderem Anwendung in der Gipskartonplatte, wie sie uns aus dem Baumarkt bekannt ist. Die Grünen sind in ihrer Wasseraufnahme reduziert. Eine normale Gipskartonplatte nimmt, wenn man sie in einem Messverfahren unter Wasser setzt, 40 % Wasser auf. Eine hydrophobe Gipskartonplatte nimmt beim gleichen Prinzip weniger als 10 % bzw. 5 % Wasser auf.

Früher dominierten die Silikone in diesem Anwendungsbereich. Aus Mangelgründen, vor allem in der DDR, gab es geschickt gewählte Kombinationen aus Montanwachs und bestimmten Paraffinsystemen, die die gleiche Wirkung hatten, allerdings extremen spezifischen Materialaufwand benötigten und deswegen nicht effizient waren. Inzwischen geht es wieder in diese Richtung mit sogenannten Dispersionen – das ist die Feinverteilung fester Substanzen in einer Flüssigkeit – auf Basis von Montanwachs. Dies sind sehr komplexe Systeme, bestehend aus einer größeren Zahl von Komponenten, aus denen sich die Anforderung ergibt, stabile Systeme zu erzeugen mit Teilchengrößen im Bereich von 1–5 µm. Heutzutage sind auch „Nano-Size-Dispersions“ aktuell, bei denen die Partikel noch feiner verteilt sind.

Nano-Size-Dispersions finden neben Paraffinanwendungen vor allem Anwendung in der Holzspanplatte. Es gibt zwei verschiedene Wege, um das Quellverhalten solcher Holzfasersysteme zu regeln. Erstens die pure Einsetzung von Paraffin, das sind in der Regel niedrigschmelzende Systeme, die direkt in den Prozess der Holzfaseraufbereitung eingearbeitet werden. Und zweitens die Bearbeitung mit klassischen Wachsemulsionen. Diese Bearbeitung verlangt mittlerweile High-Tech-Fähigkeiten. Es gibt nur wenige Unternehmen weltweit, die diese Systeme effizient herstellen und vermarkten können.

Asphalt- und Bitumenwachs

Asphalt- und Bitumenwachs stellt mittlerweile einen inhaltlichen Schwerpunkt und eine erkannte Anwendung für Abbauwachs aus Kunststoffen dar. Aufgrund des schroffen Übergangs von fest-flüssig zu Niedrig-Viskose-Systemen wirken solche Wachse bestimmter Natur verflüssigend in Bitumen. Wenn die ursprüngliche Viskosität beibehalten werden soll, muss die Herstellung des Asphalts bei niedrigen Temperaturen vonstatten gehen. Das wirkt Emissionen entgegen. Dies ist ein großes Argument in den entwickelten Ländern, denn asphalt- und bitumengestützte Systeme sind nicht ganz unumstritten, was den Umwelt- und Gesundheitsschutz angeht. Ein anderer Vorteil bei der Verarbeitung von Asphalt bei niedrigen Temperaturen ist die mögliche Anwendung auch in relativ kühlen Jahreszeiten. Außerdem wirken Wachse aufgrund ihrer Härte in Asphalt stärkend und es ergibt sich somit eine Erhöhung der Verformungsbeständigkeit.

Neben diesen vielen positiven Effekten müssen allerdings auch die unerwünschten Eigenschaften von Wachsen in Asphalt und Bitumen in Betracht gezogen werden: Im hochorganisierten Deutschland ist es ein langer Weg, bevor solche Produkte vermarktet werden dürfen. Die Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen unterhält eine große Anzahl von Fachgruppen. Eine dieser Gruppen beschäftigt sich mit dem Thema Additive unter dem Blickwinkel Temperaturabsicherung. Es ist voraussichtlich ein fünf- bis zehnjähriger Aufwand notwendig, um die wichtigen Entscheidungsträger von den neuen Produkten überzeugt zu haben. Es gibt momentan drei große Gruppen von Wachsen, die als wirksame Verflüssiger erkannt wurden. Das sind zum einen die FT-Paraffine (synthetische, langkettige Paraffine), diese stehen weltweit nur aus zwei Produktionsstätten zur Verfügung. Zum anderen sind es die Amidwachse und die Montanwachse.

Es existieren einige Nebenwirkungen bei der Anwendung von Wachsen in Asphalt, die übrigens schon in den zwanziger Jahren nachweisbar waren. Hartwachse beispielsweise haben die Eigenschaft der Festigkeit, die einhergeht mit einem gewissen Maß an Sprödigkeit. Sprödigkeit ist im Asphalt absolut unerwünscht. In den achtziger Jahren hatte es eine Reihe von Schadensfällen bei Asphalten gegeben. Es wurde eine Untersuchung durchgeführt. Bei den Nachforschungen über die Herkunft des Bitumens bzw. des Erdöls wurde festgestellt, dass ein relativ hoher Anteil von Paraffinen darin enthalten war. Deshalb gibt es nach wie vor Normen in Deutschland, die besagen, dass der Paraffingehalt in Bitumen auf 2% limitiert ist. Eine breite Front von Fachleuten befürwortet deshalb die Anwendung von Wachsen in Asphalt nicht. Um Additive folglich hoffähig zu machen, wurden umfangreiche Untersuchungen angestellt, die die Additivanwender im gehobenen Maße auch für sich selbst getan haben, um hier fachlich abgestimmt zu sein und Argumentationen für die Verwendung von Additiven aufzubauen. Dies führt mittlerweile immer mehr zum Erfolg.

Hier noch ein paar Kennzahlen zu den Anforderungen an Wachse, die in Asphalt zum Einsatz kommen:

Kennzahl	Spezifikationsgrenzen
Erstarrungspunkt	80–130 °C
Tropfpunkt	90–130 °C
dyn. Viskosität bei 10 °C über dem Tropfpunkt	5–200 mPas
Penetration	< 5,0 * 0,1 mm

Die Produkte, die zur Anwendung im Asphalt angestrebt werden sollten, sind im weiteren Sinne Polyethylenwachse, die stofflich allerdings nicht ganz einfach sind. Auch andere Wachse können verwendet werden, doch sollten sich die Kennzahlen in den oben genannten Grenzen bewegen. Eine Viskosität, die relativ gering im Schmelzbereich ist, ist unverzichtbar, da dies ein Mechanismus ist über den Wachse in Asphalt verflüssigend wirken.

Feingusswachse

Folgendes Beispiel dient nicht als Zielrichtung des Ausgangs des Forums, soll aber deutlich machen, wie sensibel Wachsanforderungen sein können. Feingusswachse sind ein zu beachtender Trend der Wachsindustrie. Mit Feingusswachsen hat die Geschichte der technischen Wachs-anwendung angefangen.

Das Prinzip des Wachs-ausschmelzverfahrens ist relativ simpel und lässt sich in sieben Schritte unterteilen:

1. Anfertigen einer Urform (z. B. eine Turbinenschaufel – zu beachten: für hundert Turbinenschaufeln braucht man hundert Wachsmodelle)
2. Erzeugung eines Wachsmodells in der Urform
3. Montage von Modellen zur Traube
4. Aufbringen eines mineralischen Überzuges auf die Modelltraube
5. Aushärten
6. Ausschmelzen des Wachses
7. Gießen des Metalls

Hierbei sieht man die hohen Anforderungen an die Wachse.

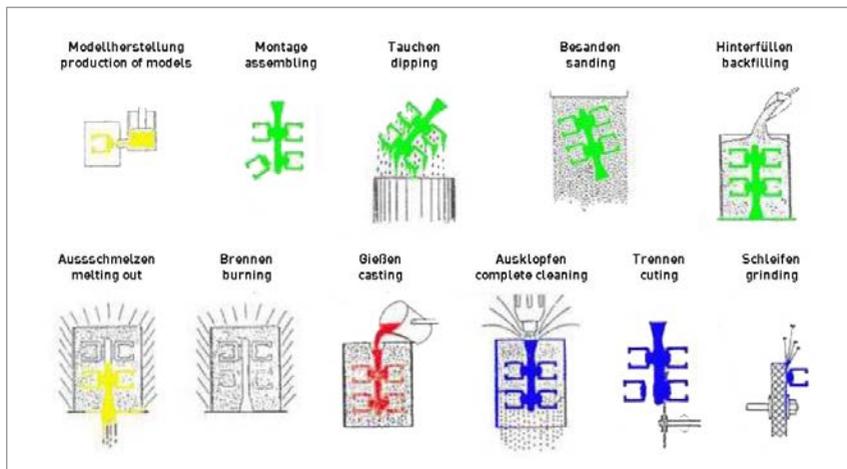


Abbildung 1: Feingussprozess.

Bsp. Turbinenschaufel. Dafür benötigt man ein ebenso großes, das heißt zwei bzw. zweieinhalb Meter langes Wachsmodell, das sich weder beim Transport noch bei der Zwischenlagerung verziehen darf. Es muss also eine hohe mechanische Stabilität besitzen. Mit Paraffinen im weitesten Sinne sowie Harzen kann man das Viskositätsverhalten und das Schmelzverhalten einstellen. Zu beachten ist besonders bei kristallinen Anteilen in den Wachsen auch eine mögliche unerwünschte Kontraktion. Dementgegen wirken amorphe Harze, und organisch inerte Füllstoffe wie zum Beispiel Polystyrolsysteme. Andere Anforderungen sind unter anderem korrekte Ergebnisse in der Festigkeit, der Oberflächenausbildung, der Elastizität, die Abbildegenauigkeit, dem Aschegehalt, dem Viskoseverhalten und der Homogenität. Moderne Feingusswachse stellen sich in ihrer grundsätzlichen Formulierung wie folgt dar:

- Hartwachse
- Polymerwachse und Polymere
- Paraffine / Kohlenwasserstoffwaxes
- Harze
- Füllstoffe

Allerdings können moderne Rezepturen locker acht, zehn oder mehr Komponenten in der Formulierung haben.

Komponente	Eigenschaften	Wirkungen auf
Hartwachs	hart, fest-brüchig, höherschmelzend	Oberfläche, Festigkeit, Temperaturstabilität
Polymerwachs / Polymer	höherschmelzend, elastisch	Temperaturstabilität, Elastizität, Homogenisierung
Paraffin / KW-Wachs	niedrigschmelzend, niedrigviskos	Schmelzbereich, Viskosität
Harz	nichtkristallin, hochviskos	Kontraktion, Viskosität
Füllstoff	Nicht schmelzend, inert, feinteilig	Kontraktion

Tabelle 2: Komponenten von Feingusswachsen.

Wachsanalytik – eine Auswahl

Wenn unterschiedliche Gewerke in Sachen Wachs zusammenarbeiten, ist es von größter Wichtigkeit, sich auf ein gemeinsames Vokabular zu verständigen. Hier können sonst viele Fehler entstehen. Deshalb ist die Analytik ein unverzichtbares Element der Zusammenarbeit. Ziel der Analytik ist ein aussagefähiges Ergebnis und Reproduzierbarkeit zu schaffen bzw. um Daten miteinander vergleichen zu können. Es gibt eine Vielzahl unterschiedlicher Testmethoden. Außerdem existieren über 20 Parameter als Messgrößen zur Auswahl. Die Testmethoden haben sich historisch entwickelt. Fachleute verschiedener Sparten wenden Methoden an, die im Grundansatz vergleichbar sind, aber in ihrer Ausführung oft nicht identisch sind. Zudem gab es auch die weltweit parallele Entwicklung unterschiedliche Normen. In Europa beispielsweise die EN-ISO Norm und DIN, in Amerika die ASTM, usw. Hier gilt es Kongruenz zu schaffen, wenn eine Zusammenarbeit angestrebt wird. Es ist sehr sinnvoll, gleich am Anfang einer Verfahrens- und Produktentwicklung viele Kennzahlen zu messen.

Es gibt eine ganze Reihe von Prüfmethoden:

- Erstarrungspunkt
- Tropfpunkt
- Schmelzpunkt
- Erweichungspunkt
- DSC
- FT-IR
- GC
- GC-MS
- Säurezahl
- Verseifungszahl
- Iodzahl
- Glührückstand
- Wärmekapazität
- Wärmeleitfähigkeit
- Nadelpenetration
- Kubische Ausdehnung
- Viskosität
- Biegefestigkeit
- Farbzahl

Einige davon werden näher betrachtet:

Erstarrungspunkt

Ein an einem Thermometer haftender Tropfen geschmolzenen Waxes wird zweimal pro Sekunde gedreht. Dabei erstarrt der Tropfen. Die Angabe wird zum Phasenwechsel von flüssig zu fest gemacht. Es handelt sich hierbei um eine reine Handmethode. Paraffine zum Beispiel sind heute im hohen Maße nach ihrem Erstarrungspunkt spezifiziert. Voraussetzung für diese Methode ist ein niedrigviskoses Verhalten des Waxes.



Abbildung 2: Erstarrungspunkt (links), Tropfpunkt (rechts).

Tropfpunkt

Eine in einem Nippel befindliche Probe wird erwärmt und schmilzt. Dabei fällt ein Tropfen ab. Hierbei wird die Angabe zum Phasenwechsel von fest zu flüssig gemacht. Diese Methode ist besonders bei PE-Wachsen, bei höherschmelzenden, hochviskosen Wachsen gängig. Zu beachten ist, dass der handgemachte Wert nicht immer identisch sein muss mit dem maschinentechnisch ermittelten. Das heißt, dass nicht nur der Tropfpunkt entscheidend ist, sondern ebenfalls die Methode der Ermittlung.

Dynamische Differenz-Kalorimetrie (DSC)

Die „Differential Scanning Calorimetry (DSC)“ ist ein Verfahren zur Bestimmung von Wärmehaufnahmen oder -abgaben bei Phasenübergängen oder chemischen Reaktionen. Hier durchfahren Miniprüben (z.B. 10 mg) in kleinen Pfünnchen in einer Temperierkammer einen Temperaturbereich. Dabei kommt es bei Kristallisations- oder Dekristallisationsvorgängen zu sogenannten Wärmetönungen. Einfach gesprochen misst man hier typische Kurvenverläufe. Dieses Prinzip braucht man zur Schließung auf einzelne Inhaltsstoffe bei Stoffgemischen. Heutzutage hat man oft Wachsblends mit drei, vier, fünf oder mehr Komponenten. Es gibt nicht genügend Lösungsmittel, um jede einzelne Komponente extrahieren zu können. Mittels DSC kann man mit der qualitativen Abschätzung feststellen, um welches Wachs-system es sich handelt. Damit können beispielsweise Wachsadditive in Bitumen nachgewiesen werden.

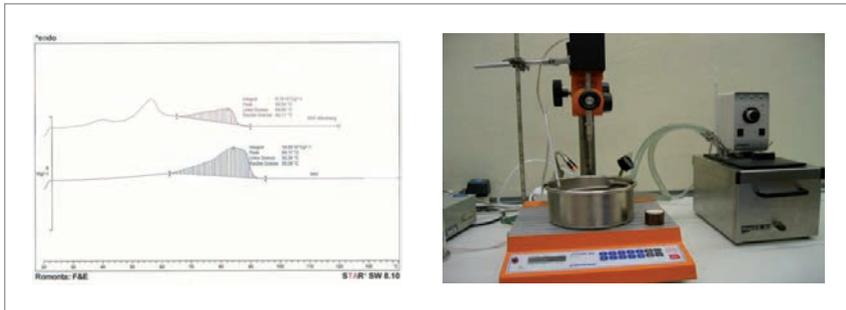


Abbildung 3: Dynamische Differenz-Kalorimetrie (DSC) (links), Nadelpenetration (rechts).

Nadelpenetration

Die Nadelpenetration ist ein Maß für die Härte eines Wachses. Hierbei wird die Eindringtiefe einer genormten Nadel ($m = 100\text{g}$) bei 25°C über 5 s gemessen. Die Nadelpenetration liegt bei Hartwachsen zwischen $1\text{--}7 \cdot 10^{-1}\text{ mm}$.

Viskosität

Bei Bewegung gegeneinander findet eine Reibung zweier Molekülschichten statt. Gemessen wird die Fließfähigkeit der Schmelze bei T_{Norm} . Dies wird beispielsweise über den Widerstand, den ein in der Flüssigkeit rotierender Zylinder erfährt (Rotationsviskosimeter), ermittelt. Dabei erhält man Rückschlüsse auf anwendungstechnisches Verhalten von Wachsen.

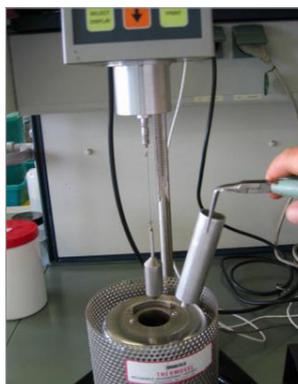


Abbildung 4: Viskosität.

Entwicklungstrends der Wachsindustrie

Die Entwicklungstrends der Wachsindustrie sind ein Aspekt, der unbedingt zur Kenntnis genommen werden sollte. Die folgende Grafik stammt von der Europäischen Wachsföderation, eine Interessensvereinigung europäischer wachsproduzierender Unternehmen. Die folgenden Zahlen stehen für den Zeitraum 2006 bis 2020 und beschreiben die Wachsproduktion:

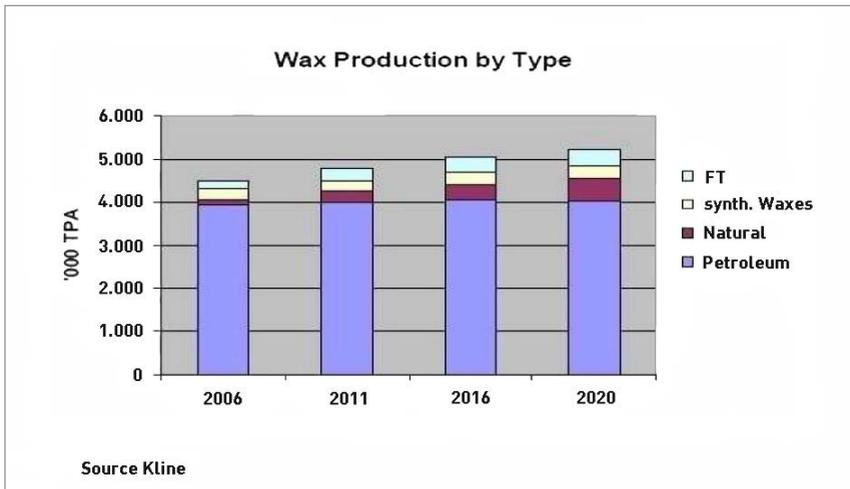


Abbildung 5: Wachsproduktion 2006–2020.

Man kann einen moderaten Anstieg feststellen. Es gibt zwar sehr unterschiedliche technische Märkte in diesem Produktionsfeld, aber in keinem ist ein nennenswerter Anstieg des Bedarfes zu erwarten. Allerdings ist das regional auch stark unterschiedlich. Insbesondere bei den Naturwachsen gibt es einen größeren Anstieg, da hier ein Zuwachs an der Produktion möglich ist.

Blick in die Zukunft

In Europa sind wir dabei, Trends zu verschlafen. Es gibt massive Verschiebungen der Rohstoffherzeugung von Europa weg nach Asien, insbesondere nach China, aber auch nach Indien und zum Teil nach Südamerika. Bei den synthetischen Wachsen sieht man eine relative Konstanz im Aufkommen wie auch bei den FT-Paraffinen. Hierfür gibt es zurzeit nur zwei Produzenten. Es geht eine Verknappung des

Rohstoffes Wachse mit regionalen Unterschieden vorstatten und zudem sind die Verfügbarkeit sowie wie die Preisschwankungen schwer einschätzbar. Wenn zum Beispiel die Chinesen wesentliche Gründe sehen, nicht nach Europa aufgrund ungünstiger Währungsrelationen zu liefern, fehlen uns hier gleich 100.000 Tonnen Paraffine auf dem europäischen Markt. Auch bei Polyethylenwachsen sieht die Lage schlecht aus. Ein großes Chemieunternehmen, das Polyethylenwachse produziert, wird am Ende des Jahres die Produktion einstellen, nicht da kein Bedarf besteht, sondern weil sich die Margen, die sich der Konzern für seine einzelnen Sparten vorstellt, auf dem Polyethylenwachsmarkt nach deren Vorstellungen nicht zu realisieren sind. Die regionale Verschiebung von Wachsaufkommen bedeutet weiterhin jähe Schwankungen in der Verfügbarkeit einzelner Rohstoffe mit Konsequenzen von Preisschwankungen. Fachleute gehen von einer Stagnation bei der Produktion klassischer erdölstämmiger Paraffine aus. Trotzdem gibt es gute Marktaussichten für Hartwachse, besonders für solche mit einem relativ niedrigem Schmelzpunkt, aber der Eigenschaft über dem Schmelzpunkt niedrigviskos zu sein. Somit ist die Ressourcensicherung Grundlage für alle Produzenten. Die Verfügbarkeit muss abgesichert werden. Man ist gezwungen zu kaufen, was zu bekommen ist. Das bedeutet ein häufiger Wechsel der Rohstofflieferanten.

REACH – Das neue europäische Gesetz und seine Folgen

REACH bedeutet: Regulation, Evaluation, Authorization of Chemicals. Sogenannte Face-in-Stoffe, die vor 1980 in Europa in Verkehr gebracht wurden, sollen über ein Mindestmaß an Daten zum Umweltschutz verfügen. Für diese „Altsubstanzen“ sollen in regulierter Weise die Daten nachgereicht werden. Das heißt konkret, dass Hersteller und Importeure von Chemikalien >1 t/a diese in Abhängigkeit von ihrem Tonnageband innerhalb der nächsten acht Jahre registrieren müssen. Bis 2008 mussten die Chemikalien vorregistriert werden. Ziel von REACH ist die Verbesserung des Schutzes von Umwelt und Gesundheit vor gefährlichen Stoffen sowie die Verbesserung des Risikomanagements bei Herstellung und Verarbeitung von Stoffen und die Risikobewertung in Eigenverantwortung der Industrie.

Auch REACH wird den Markt beeinflussen. Denn wenn keine Daten geliefert werden, wird der Markt für die Missachter verboten. Da einige Lieferanten die REACH-Regularien ignorieren, wird es Importverbote geben. Das bedeutet, dass

man nicht mehr frei im Einkauf seiner Rohstoffe ist und es wird auch dazu führen, dass Spezialitäten vom Markt verschwinden. Der Wegfall dieser sehr speziellen Substanzen kann für Unternehmen im Einzelfall auch existenzbedrohend sein.

Die Konsequenz daraus ist die unbedingt notwendige frühzeitige Beschäftigung mit REACH. Zum Beispiel die Nachfrage bei den Lieferanten über die REACH-Konformität ihrer Produkte, mehr als einen Lieferanten beschäftigen sowie die Vorregistrierung strategisch wichtiger Rohstoffe.

Konsequenzen für das Netzwerk WACHSE

Bei der Betrachtung der Entwicklung des Wachsaufkommens wird die relative Verknappung von Wachsen ersichtlich. Dies ist ein sehr starkes Argument für die Bewertung solcher Verfahren wie der Gewinnung von Wachsen aus Altkunststoffen, weil damit zusätzliche Rohstoffquellen erschließbar sind. Das bedeutet, dass eine detaillierte Auseinandersetzung mit dem Thema Wachse unverzichtbar ist. Wachse erfahren eine sehr breite Anwendung mit oft spezifischen Anwendungsprofilen, deshalb muss man frühzeitig wissen, wo man hin will um den eigenen Herstellungsprozess optimieren zu können. Das Zielprodukt „Alleskönner“ ist wenig erfolgsversprechend, sondern eine gesunde Breite an Zielmärkten und damit möglichen Produkten sollte angestrebt werden.

Eine sinnvolle Herangehensweise hierfür ist eine Auswahl von Anwendungsfeldern und die Ermittlung der Anforderungsprofile. Außerdem sollte man die gesamte Prozesskette im Auge haben. Die Zielfunktionen sind entscheidend, nämlich ob man am Ende marktfähige Produkte hat. Deshalb sind Gewinnungsverfahren nur Mittel zum Zweck. Ein interessanter Ansatz sind Hartwachse mit einem höheren Schmelzbereich und einer großen Härte, aber mit der Eigenschaft darüberhinaus niedrigviskos zu bleiben. Wichtig ist die hohe Gleichmäßigkeit an Qualität, das beinhaltet Anforderungen an das Ausgangsmaterial, Kettenlängenverteilung und eine hohe Reinheit. Diese Informationen müssen unbedingt frühzeitig zusammengetragen werden. Das betrifft die Ermittlung der anwendungstechnischen Anforderungen sowie die Einbindung kompetenter anwendungstechnischer Bewertung.

Zum Beispiel: beim Thema der Zerlegung von Kunststoffen in Richtung Wachse. Hier gibt es eine Überlegung, die nicht unwichtig ist: Ausgang für den Prozess der Wachsherstellung ist ein diffuses Gemisch von Abfällen. Ziel allerdings ist am Ende sehr gezielte Qualitäten zu sichern. Das bedeutet, dass irgendwo in dieser Verarbeitungskette eine Sortierung und Reinigung stattfinden muss, zum Beispiel in der Stufe der Aufbereitung der Altkunststoffe. Qualifiziertes Granulat kostet heute 80 Cent das Kilo. Wenn der Recycler jetzt merkt, wie viel Wert sein Zwischenprodukt für den Weiterverarbeiter hat, wird sich das garantiert im Preis widerspiegeln.

Es ergibt einen Sinn, wenn Versorgungslücken auf dem Markt geschlossen werden können. Man muss nur wissen, wohin man will und man muss das richtige Wachs haben.

Dirk Büttner | Rubitherm Technologies GmbH, Berlin

Paraffine und Wachse als Wärmespeichermedien

Die U-Wachse werden aus folgenden unterschiedlichen Abfallausgangsmaterialien hergestellt: PP, HDPE und HDPE aus Primärabfällen. Die Untersuchung mit dem DSC (Differential Scanning Calorimetrie) ergab, dass je nach Ausgangsmaterial die daraus hergestellten U-Wachse qualitative Unterschiede aufwiesen.

Das aus PP generierte U-Wachs war im Vergleich zu dem aus HDPE relativ schlecht. Am besten und interessantesten war das Produkt aus HDPE-Primärabfällen.

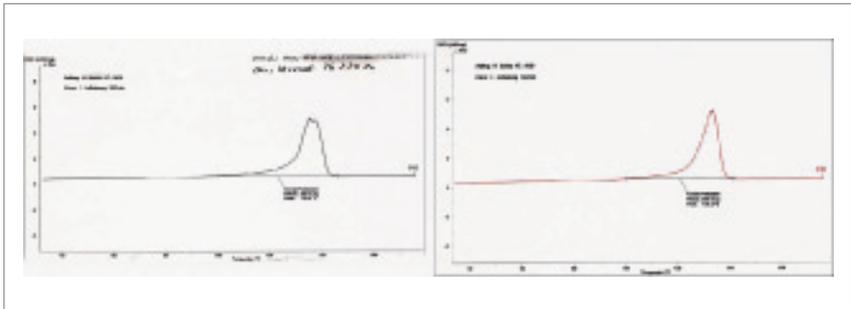


Abbildung 1: Enthalpie U-Wachs aus HDPE-Primärmaterial/1. Zyklus.

Abbildung 2: Enthalpie U-Wachs aus HDPE-Primärmaterial/2. Zyklus.

Hier wurden Anfangsenthalpien von ca. 300 J/g gemessen, die sich nach ein paar Zyklen auf ca. 260 J/g einpendelten. Der Schmelzpunkt lag bei ca. 133°C und der Erstarrungspunkt bei rund 113°C.

Die hohe Schmelzwärme und der recht hohe Schmelzpunkt geben diesem U-Wachs eine Besonderheit. Entscheidend ist aber, wo solch ein Wachs als Phasenwechselmaterial (PCM) eingesetzt werden kann.

Für die relativ hohen Schmelztemperaturen gibt es bisher keine konkreten Anwendungen, begründet durch das Nichtvorhandensein solcher Wachse. Für den Privathaushalt sind Anwendungen derzeit auszuschließen, geht es hier doch hauptsächlich um niedrigere Temperaturen für z. B. Heizungszwecke.

Im industriellen Sektor sieht das allerdings anders aus. Abwärme wird in allen Temperaturstufen erzeugt und meist verworfen. Für eine Nutzung der U-Wachse wurden zwei Beispiele vorgestellt:

Spritzguss: Da nach dem Hochheizen des z. B. Werkzeuges, Maschinenkopfes etc. wieder gekühlt werden muss, würde sich bei entsprechenden Bauteilen eine kurze Zwischenspeicherung anbieten. Aufgrund der Trägheit des reinen Wachses könnte eine schnelle Abkühlung einer Maschinenkomponente durchgeführt werden und nach Beendigung der Kühlung gibt das PCM seine Wärmeenergie zurück, so dass nur ein minimaler Wärmeverlust mit elektrischer Energie ausgeglichen werden muss.

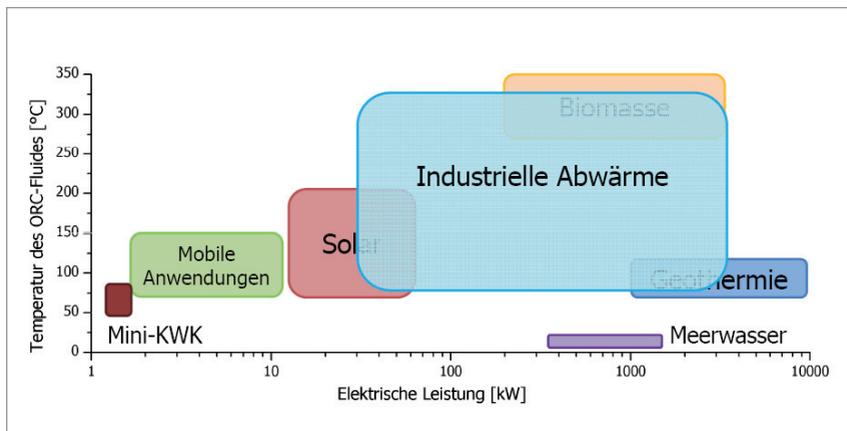


Abbildung 3: Anwendungsgebiete ORC (Quelle: Uni Bayreuth).

Das ORC-Verfahren: Beim ORC (Organic-Rankine-Cycle)-Prozess wird Restwärme auf niedrigem Niveau benutzt, um daraus elektrischen Strom zu erzeugen. Das Prinzip ist gleich dem einer Dampfmaschine, nur dass statt Wasser eine organische Flüssigkeit mit entsprechend niedrigerem Siedepunkt ausgesucht wird. Je nach Hersteller laufen diese Prozesse im Bereich $>100^{\circ}\text{C}$. Ein PCM hier einzusetzen hat folgenden Vorteil: der Wirkungsgrad des ORC-Prozesses ist um so höher, je kontinuierlicher er läuft. Das PCM würde hier als Speicher genau diese Schwankungen abpuffern und den Wirkungsgrad hochhalten.

Um das zu realisieren, ist es notwendig, mit hohen Leistungen den PCM-Speicher ein- und auszuspeichern. Dafür reicht das reine U-Wachs nicht aus.

Eine Lösungsmöglichkeit bestünde darin, ein Paraffin-Polymer-Compound herzustellen. Das Verfahren hierfür ist von der Rubitherm-Compound GmbH entwickelt worden. Hierbei wird Paraffin bzw. Wachs mit Blockpolymeren und thermoplastischen Kunststoffen so aufbereitet, dass ein Granulat entsteht, das auch oberhalb der Schmelztemperatur des eingebundenen Paraffins seine Form beibehält. So sind wasserdurchströmbare Schüttungen möglich, die aufgrund ihrer großen Oberfläche PCM-Speicher mit sehr großen Ein- und Ausspeicherleistungen zulassen. Nur mit solch einem System wäre die Pufferspeicherung sinnvoll durchführbar.

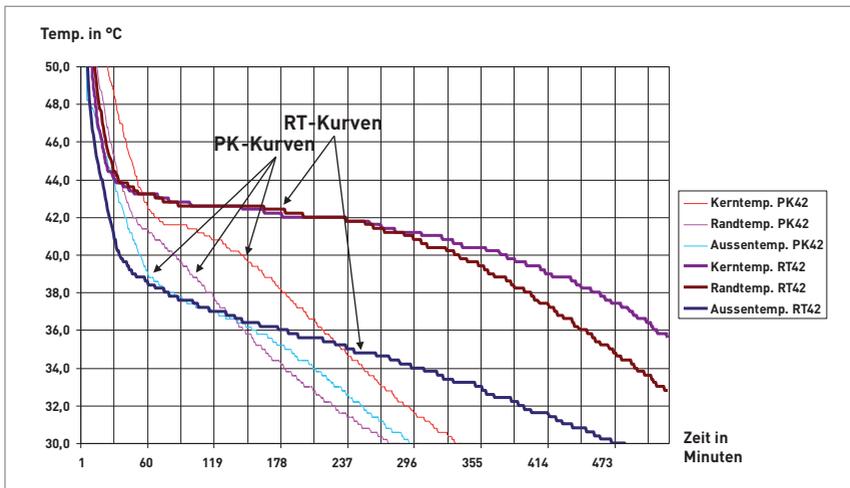


Abbildung 4: PCM-Ausspeicherungsverhalten im Vergleich.

Jedoch muss erst noch geklärt werden, ob sich mit den U-Wachsen beständige PCM-Compound-Granulate herstellen lassen und ob diese auch u. a. wegen der recht hohen Temperaturen dauerstabil sind.

Literatur

Uni Bayreuth, Lehrstuhl für technische Thermodynamik und Transportprozesse

Sylvia Müller | Hochschule Anhalt, Dessau

Anforderungen des Straßenbaus an polymere Zuschlagstoffe für Bitumen und Asphalte

1 Straßenbaubitumen

Was ist Bitumen?

Bitumen ist ein schwer flüchtiges dunkelfarbiges Vielstoffgemisch, bestehend aus hochmolekularen aliphatischen, zum Teil auch aus aromatischen Kohlenwasserstoffen. Desweiteren sind in geringen Anteilen die nichtmetallischen Elemente Sauerstoff, Schwefel und Stickstoff in organisch gebundener Form enthalten. Metalle liegen nur in geringen Anteil in Form von Salzen oder komplex gebunden vor. Eine genaue chemische Zusammensetzung ist nicht bekannt. Die Verbindungen mit dem größten Molekulargewicht werden Asphaltene (kristalline Phase) genannt. Sie sind kolloidal in den Maltenen (ölige Phase) dispergiert.

Herstellung und Eigenschaften

Bitumen entsteht bei der fraktionierten Destillation von Erdöl. Während der atmosphärischen Destillation werden Niedrigsieder wie Benzin, Diesel und Heizöle bei Temperaturen von 300°C bis 400°C abgetrennt, die Hochsieder werden unter verminderten Druck bei ca. 50 mbar destilliert. Der Rückstand ist das so genannte Destillationsbitumen, das im Straßenbau zum Einsatz kommt.

In der Natur kommt Bitumen als Bestandteil von Asphalt und Asphaltgestein vor, die sich in langen Zeiträumen durch Verdunsten der leichter siedenden Anteile des Erdöls gebildet haben. Ein Beispiel ist der Asphaltsee auf der Insel Trinidad. Dort sprudelt ständig flüssiges Bitumen mit Mineralstoffen vermischt aus dem Untergrund hervor und hat im Verlauf der Erdgeschichte einen Asphaltsee gebildet. Man bezeichnet diese Mischung aus Naturbitumen und Gesteinsmaterial als Trinidad-Naturasphalt.

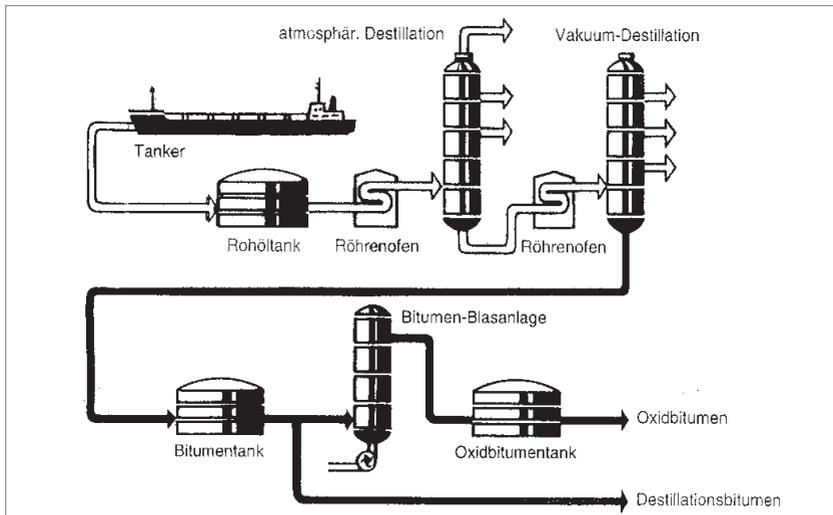


Abbildung 1: Bitumenherstellung, BP 2010.

Die großtechnische Herstellung von Straßenbaubitumen erfolgt in mehreren Stufen durch Steuerung der Destillation über Temperaturen und Druck. In der ersten Stufe wird das Rohöl auf etwa 350 °C erhitzt. Anschließend werden in einer unter atmosphärischem Druck stehenden Kolonne die leichteren Bestandteile von den Hochsiedern getrennt. Die Hochsieder werden in einer zweiten Stufe nochmals auf die selbe Temperatur erhitzt und in eine unter vermindertem Druck stehende Kolonne geleitet, wo abermals leichtere Bestandteile von den verbleibenden Schwereren getrennt werden. Hier handelt es sich bereits um Straßenbaubitumen.

1 Tonne Erdöl (Durchschnittsdichte des Rohöls 860 kg/m³) ergibt:

420 l Kraftstoff	= 6 Tankfüllungen Mittelklasse-PKW
350 l Diesel	= Tankfüllung Lkw
190 l Heizöl	= Monatsverbrauch Einfamilienhaus
90 l Rohbenzin	= Chemierohstoff
65 kg Methanol	= Chemierohstoff
40 kg Bitumen	= 10 m ² Straßendecke
30 kg Flüssiggas	= Warmwasser für 300 Duscbäder

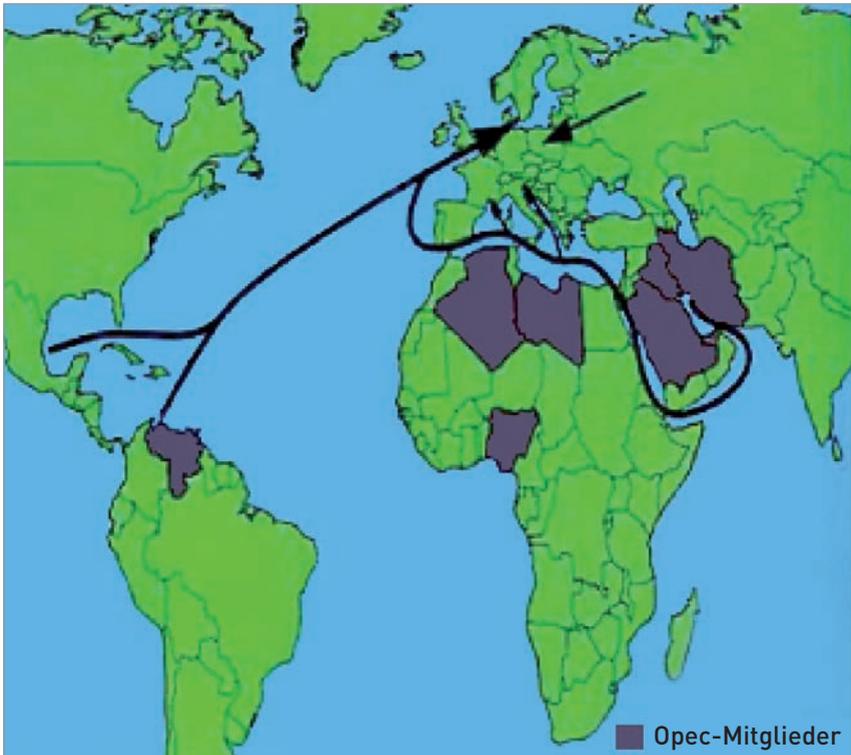


Abbildung 2: Hauptlieferströme für europäische Bitumenrohstoffe, Arbit 2010.

Die OPEC-Mitgliedstaaten fördern etwa 40 Prozent der weltweiten Erdölproduktion und verfügen über drei Viertel der weltweiten Erdölreserven. Die weltweit größten Erdölförderer sind im Nahen Osten Saudi-Arabien, Iran, Irak, Kuwait, in Südamerika Venezuela und in Afrika Libyen, Algerien, Nigeria.

Eigenschaften von Bitumen

- gehört zu den thermoplastischen Stoffen
- wasserabweisender Stoff (hydrophob)
- beständig gegenüber Säuren, Laugen, Salzen
- nichtbeständig gegenüber Fetten, Ölen, organ. LM
- löslich in unpolaren Lösungsmitteln

- altert durch Licht, Wärme, Luftsauerstoff
- schwer entflammbar
- chemische Reaktionsträgheit
- hohes Klebvermögen
- kein wassergefährdender Stoff
- nicht krebserregend (Gehalt an Benzo(a)pyren 1–5 ppm < 50 ppm)

Prüfverfahren

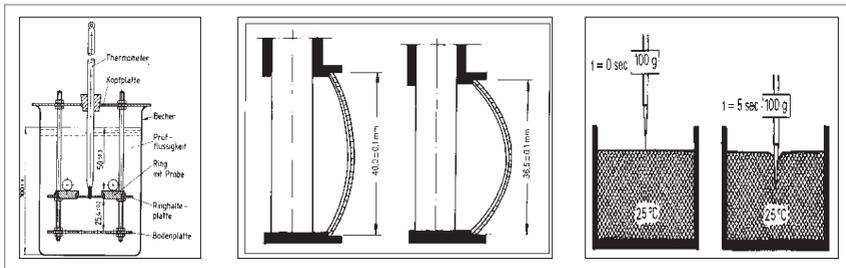


Abbildung 3 (links): Bestimmung des Erweichungspunktes, BP 2010.

Abbildung 4 (mitte): Bestimmung des Brechpunktes nach Fraaß, BP 2010.

Abbildung 5 (rechts): Bestimmung der Nadelpenetration, BP 2010.

- Erweichungspunkt Ring und Kugel:
Das Prüfverfahren EP RuK liefert einen definierter Temperaturpunkt, der im fließenden Übergangsbereich vom festen zum flüssigen Aggregatzustand des Bitumens liegt. Der EP RuK ist der Temperaturwert, der erreicht ist, wenn eine in einem Messingring befindliche Bitumenschicht durch das Gewicht einer Kugel eine bestimmte Verformung erfährt. Je höher der Erweichungspunkt liegt, umso härter ist das Bitumen.
- Brechpunkt nach Fraaß:
Der Übergang des Bitumens vom zähplastischen zum festen Zustand lässt sich anhand des Brechpunktes bestimmen. Ein auf Metallplättchen aufgeschmolzener Bitumenfilm wird kontinuierlich abgekühlt und dabei dynamisch belastet. Es wird der Temperaturwert bestimmt, bei der der Bitumenfilm bricht.

- Nadelpenetration:

Die Nadelpenetration ist das Maß für die Härte des Bitumens. Sie wird definiert als Eindringtiefe einer mit 100 g belastete Nadel innerhalb von 5s bei einer Temperatur von 25°C.

- Duktilität

Dieses Verfahren dient zur Erfassung des Fadenziehvermögens (vor allem bei polymermodifiziertem Bitumen). Ein Probekörper wird z.B bei 25°C mit 50 mm / min ausgezogen bis der entstehende Faden reißt (Fadenziehvermögen). Die erreichte Verlängerung des Probekörpers wird in cm gemessen und als Duktilität angegeben. Bei polymermodifiziertem Bitumen wird zusätzlich das Rückstellvermögen bestimmt.

Merkmal oder Eigenschaft	Einheit	Prüfmethode	Sorten				
			20/30	30/45	50/70	70/100	160/220
Penetration bei 25 °C	0,1 mm	DIN EN 1426	20 bis 30	30 bis 45	50 bis 70	70 bis 100	160 bis 220
Erweichungspunkt Ring und Kugel	°C	DIN EN 1427	55 bis 63	52 bis 60	46 bis 54	43 bis 51	35 bis 43
Flammpunkt	°C	DIN EN ISO 2592	≥ 240	≥ 240	≥ 230	≥ 230	≥ 220
Löslichkeit	%	DIN EN 12592	≥ 99,0	≥ 99,0	≥ 99,0	≥ 99,0	≥ 99,0
Penetrationsindex		DIN EN 12591, Annex A	NR	NR	NR	NR	NR
Kinematische Viskosität bei 135 °C	mm ² /s	DIN EN 12595	NR	NR	NR	NR	NR
Dynamische Viskosität bei 60 °C	Pa · s	DIN EN 12596	NR	NR	NR	NR	NR
Brechpunkt nach Fraaß	°C	DIN EN 12593	-	≤ -5	≤ -8	≤ -10	≤ -15
Beständigkeit gegen Verhärtung unter Einfluss von Wärme und Luft nach DIN EN 12607-1 bei 163 °C:							
verbleibende Penetration	%	DIN EN 1426	≥ 55	≥ 53	≥ 50	≥ 46	≥ 37
Zunahme des Erweichungspunktes Ring und Kugel	°C	DIN EN 1427	≤ 8	≤ 8	≤ 9	≤ 9	≤ 11
Massenänderung ^{a)}	%	DIN EN 12607-1	≤ 0,5	≤ 0,5	≤ 0,5	≤ 0,8	≤ 1,0
^{a)} Die Massenänderung kann positiv oder negativ sein.							
Zusätzliche Prüfverfahren zur Erfahrungssammlung							
Kraftduktilität bzw. Formänderungsarbeit	-	Abschnitt 5.2	IA	IA	IA	IA	IA
Verformungsverhalten im dynamischen Scherrheometer (DSR)	-	Abschnitt 5.3	IA	IA	IA	IA	IA
Verhalten bei tiefen Temperaturen Biegebalkenrheometer (BBR)	-	Abschnitt 5.4	IA	IA	IA	IA	IA
NR = Keine Anforderung IA = Ist anzugeben							

Abbildung 6: Auszug aus den TL Bitumen- StB 07, Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen 2007.

Je weicher das Bitumen, umso niedriger liegen die Erweichungspunkte, parallel dazu vergrößern sich die Nadelpenetrationswerte (Abbildung 6), die Brechpunkttemperaturen nehmen ab.

Die Temperaturdifferenz zwischen Brech- und Erweichungspunkt wird als Plastizitätsspanne eines Bitumens bezeichnet. Praktiker sprechen hierbei auch von der „Gebrauchstemperaturspanne“. Besonders große Plastizitätsspannen weisen polymermodifizierte Bitumen auf. Bitumen mit einem höheren Modifikationsgrad können sogar mehr als 100 °C erreichen.

Verwendung im Straßenbau

Bitumen spielt als Bindemittel für die Herstellung von Asphalt im Straßenbau eine wichtige Rolle. Asphalt ist eine Mischung aus Gesteinskörnung und Bitumen.

Entsprechend der verwendeten Bitumensorte, der Mischgutzusammensetzung und der Einbautechnik werden Asphaltstraßen den unterschiedlichen Klimabedingungen und den unterschiedlichen Verkehrsbelastungen angepasst.

Ebenheit und Fugenlosigkeit der Asphaltstraßen bieten ein hohes Maß an Verkehrssicherheit. Offenporige Asphalte verhindern Sprühfahnenbildung sowie Aquaplaning und reduzieren die Lärmbelästigung. Aufgrund der thermoviskosen Eigenschaften des Bitumens sind beim Einbau von Asphalt keine langen Verkehrssperrungen nötig.

Bitumen wird genutzt für:

- Asphalttragschichten
- Asphaltbinderschichten
- Asphaltdeckschichten
- Asphaltbeton (Splittmastixasphalt, Gussasphalt)
- Tragdeckschichten
- Offenporiger Asphalt
- SAMI-Schichten
- Oberflächenbehandlungen
- Dünnschichtbeläge im Heiß- und Kalteinbau

Fahrbahnbefestigungen aus Asphalt werden schichtweise aufgebaut. Die Auswahl der Schichtdicken und die Zusammensetzung des Mischgutes erfolgt nach technischen und wirtschaftlichen Gesichtspunkten. Die eingesetzte Einbautechnik stellt sicher, dass sich alle Schichten zu einem kompakten Baukörper verbinden.

Der Aufbau einer Verkehrsstraße aus Asphalt besteht aus:

- Deckschicht
- Binderschicht
- Tragschicht

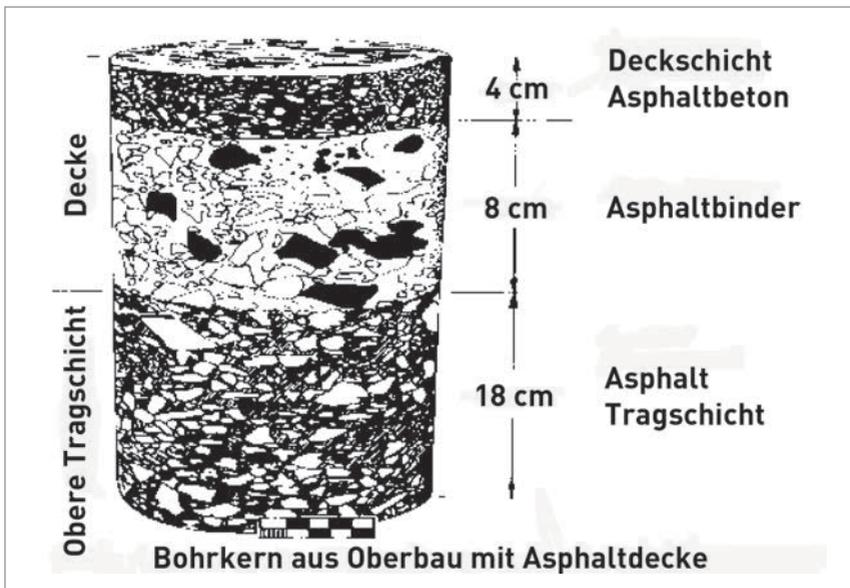


Abbildung 7: Asphaltbohrkern.

Asphaltdeckschichten (selten auch als *Verschleißschichten* bezeichnet) sind die obersten, direkt beanspruchten Schichten der Asphaltbefestigungen. Sie unterliegen den unmittelbaren Einwirkungen des Verkehrs, der Witterung und der Auftaumittel.

Eine Asphaltbinderschicht wird bei stärker belasteten Straßen (bis Bauklasse III) zwischen der darunterliegenden, grobkörnigen Asphalttragschicht und der darüber

liegenden, feinkörnigen Asphaltdeckschicht eingebaut. Sie überträgt die durch den Verkehr verursachten Kräfte (darunter besonders die Schubkräfte) in die unteren Schichten der Straße und verhindert Verformungen.

Asphalttragschichten werden als erste gebundene Asphalterschicht im Straßenoberbau eingebaut und übernehmen die tragende Funktion des befestigten Asphaltparketes. Sie liegen auf einer weiteren, ungebundenen Tragschicht (z. B. Frostschuttschicht) oder einer evtl. hydraulisch gebundenen Tragschicht (z. B. Tragschichten mit hydraulischen Bindemitteln) bzw. bei entsprechenden Bauweisen direkt auf dem Planum. Die Asphalttragschicht wird in aller Regel mit der Fahrbahndecke, bestehend aus Binder- und Deckschicht oder nur mit einer Deckschicht überbaut.

Wichtigstes Einsatzgebiet für Bitumen ist der Asphalt für den Straßenbau. Er wird in Asphaltmischwerken hergestellt, die ein flächendeckendes Netz über das gesamte Bundesgebiet bilden. Das Bitumen wird aus Raffinerien in Straßentankwagen heißflüssig angeliefert und in beheizten Lagertanks zwischengelagert. Zur Asphaltherstellung werden Mineralstoffe zunächst getrocknet und in speziellen Mixchern unter dosierter Zugabe von Bitumen zu einer homogenen Masse vermischt. Direkt vom Mischer oder nach der Zwischenlagerung in Mischgutsilos wird der Asphalt zur Einbaustelle transportiert und auf der Baustelle mit Straßenfertigern eingebaut.

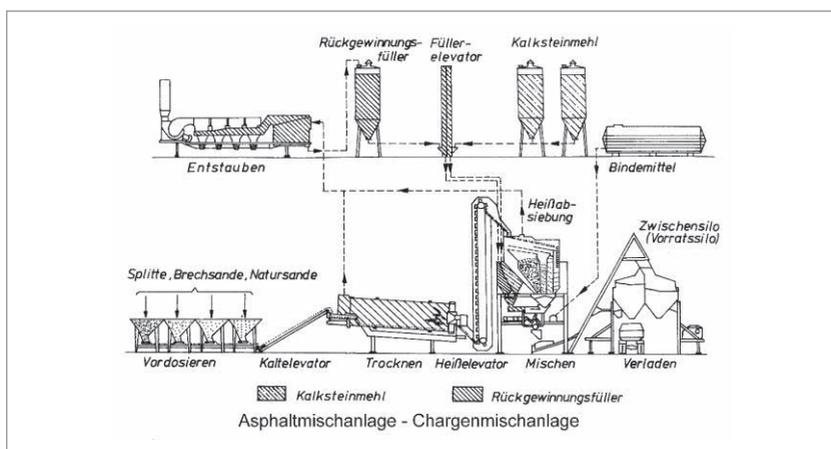
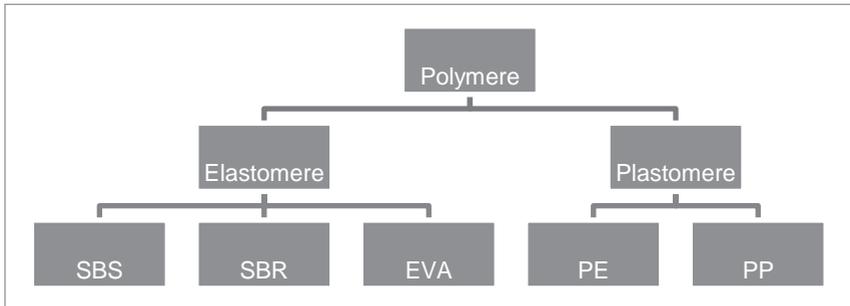


Abbildung 8: Asphaltmischanlage, Wiehler/Wellner 2005.

2 Polymermodifiziertes Bitumen

Was ist Polymermodifiziertes Bitumen?

Polymermodifizierte Bitumen sind Gemische aus Straßenbaubitumen und Polymeren. Polymere sind Makromoleküle, die aus vielen gleichen oder unterschiedlichen Bausteinen (Monomeren) bestehen. Die verwendeten Polymere können aus linear oder radikal vernetzten Molekülen bestehen. Aufgrund des Verknüfungsbestrebens der Polymere bilden sich vernetzte Raumstrukturen innerhalb des Bitumens. PmB werden in elastomer (PmB A) sowie in Thermoplastmodifizierten (PmB C) unterschieden. Die Sortenbezeichnung ergibt sich aus dem Wertebereich der Nadelpenetration und dem Mindestwert des Erweichungspunktes Ring und Kugel.



SBS (Styrol-Butadien-Styrol)

SBR (Styrol-Butadien-Kautschuk)

EVA (Ethylvinylacetat)

PE (Polyethylen)

PP (Polypropylen) genauer ataktisches Polypropylen

Herstellung und Eigenschaften

- Herstellung in einer PmB-Anlage:
 Polymerisate bzw. Copolymerisate werden kontinuierlich über automatische Dosieranlagen in einen Mischkessel gegeben. Das Vermischen mit Bitumen erfolgt über spezielle Hochschermischer.

- Modifizierung von Asphalt an der Asphaltmischanlage:
Mineralstoffe werden im Mischer vorgelegt, danach wird das unmodifizierte Bitumen zugegeben. Wenn alle Mineralstoffe von Bitumen umhüllt sind, wird das Polymerisat zudosiert und zusätzlich gemischt. Durch die feine Verteilung des Polymeren entsteht ein Polymernetzwerk im Bitumen.

Herstellung und Eigenschaften

- homogenes gut verarbeitbares Produkt
- lagerstabiles Produkt
- verbesserte Zähigkeit bei hohen Temperaturen
- verbesserte Flexibilität bei niedrigen Temperaturen
- verbesserte Wasser- und Alterungsbeständigkeit

Das Produkt verfügt über verbesserte rheologische Eigenschaften und behält alle Bindemittelleigenschaften des Grundbitumens.

Verwendung im Straßenbau:

Warum erfolgt der Einsatz von PmB im Straßenbau?

Steigendes Verkehrsaufkommen, steigende Achslasten und Klimaveränderungen führen zu folgenden Straßenschäden: Rissbildung, Kornausbruch, Spurrinnen, thermische und oxidative Schädigung. Herkömmliche Straßenbaubitumen reichen nicht mehr aus.

Polymermodifiziertes Bitumen wird genutzt für:

- Asphaltbinderschichten
- Asphaltdeckschichten (Splittmastixasphalt, Gussasphalt)
- Offenporiger Asphalt
- SAMI-Schichten
- Oberflächenbehandlungen

Vorteile im Vergleich zu Straßenbaubitumen

- erweiterte Plastizitätsspanne: Verringerte Temperaturempfindlichkeit d. h. höhere Standfestigkeit im Sommer (geringere Spurrinnenbildung) und geringe Rissbildung im Winter
- Verbesserung der kohäsiven Eigenschaften Festigkeit, Zähigkeit, verringerte Fließneigung bei hohen Temperaturen
- verringerte Alterung durch Oxydationsbeständigkeit der polymeren Zusätze
- verbesserte Haftung am Gestein
- hoher Widerstand gegen permanente Verformung

3 Niedrig-Viskositätsbitumen

Was ist Niedrig-Viskositätsbitumen?

Niedrig-Viskositätsbitumen sind Gemische aus Straßenbaubitumen oder Polymerbitumen mit viskositätssenkenden Additiven. Diese viskositätsveränderten Zusätze lassen sich der Stoffgruppe Wachse zuordnen. Die Wachse unterscheiden sich deutlich von den bitumeneigenen Wachsen, da ihre Molekülkettenlänge einen C-Bereich von 40 bis 110 aufweist. Gute Erfahrungen wurden mit langkettigen, aliphatischen Kohlenwasserstoffen sowie mit Fettsäureamiden gemacht. Die Wirkung beruht auf der geringen Viskosität im Temperaturbereich (100–200°C). Die wachsmodifizierten Bitumen besitzen eine reduzierte Viskosität, eine reduzierte Nadelpenetration und einen stark erhöhten Erweichungspunkt.

Eigenschaften

- homogenes, gut verarbeitbares Produkt
- lagerstabiles Produkt
- reduzierte Viskosität
- erhöhte Steifigkeit
- bessere Wärmestandsfähigkeit
- bessere Verarbeitbarkeit bei niedrigen Temperaturen

Verwendung im Straßenbau

Niedrig-Viskositätsbitumen wird zur Herstellung von Niedrigtemperaturasphalt genutzt. Der normalen Asphaltrezeptur werden Zusätze in Form von Wachsen oder Zeolithen zugegeben (mineralische Zusätze), die es ermöglichen, den Asphalt bei niedrigeren Temperaturen zu mischen und einzubauen, ohne dass dabei seine Verarbeitungseigenschaften und seine Gebrauchseigenschaften beeinträchtigt werden. Desweiteren erfolgt auch der Einsatz von Schaumbitumen.

Alle diese Produkte verringern die Mischtemperatur von Heißmischgut um ca. 30°C. Die Verdichtungstemperatur kann ebenfalls um ca. 40°C reduziert werden, ohne die Verarbeitbarkeit oder die Gebrauchstauglichkeit einzuschränken. Dies führt zu Energieeinsparungen bei der Herstellung von Asphaltmischgut, zu CO₂-Minderungen sowie zur Verbesserung der Bedingungen am Arbeitsplatz.

Vorteile im Vergleich zu Straßenbaubitumen

- Absenkung der Verarbeitungstemperatur durch Senkung der Viskosität
- Verminderung von Emissionen (CO₂, Kohlenwasserstoffdämpfe, Aerosole)
- Einsparung von Energie
- höherer Widerstand gegenüber bleibenden Verformungen
- verbesserte Wärmestandsfestigkeit
- Gleichbleibende gute Eigenschaften im Tieftemperaturbereich

4 Modifizierung von Bitumen unter Zugabe von Polyolefinabbauwachsen aus Recyclingmaterial

Versuchsergebnisse

Der Bitumensorte 50/70 wurden bei einer Mischtemperatur von 140°C 5% Wachse aus HD-PE Abfällen zugesetzt. Desweiteren wurden der Bitumensorte 50/70 bei einer Mischtemperatur von 170°C 5% Wachse aus PP-Abfällen zugesetzt. Die Herstellung einer homogenen Bitumen-Wachsmischung unter Laborbedingungen gestaltete sich schwierig. Nach Herstellung der Bitumenwachsmischung wurden die Bitumeneigenschaften Erweichungspunkt Ring und Kugel sowie der Brechpunkt nach Fraaß bestimmt. Es konnte ein Anstieg des Erweichungspunktes um ca. 8°C bei allen Mischungen festgestellt werden. Die Brechpunkte verschlechterten sich ein wenig bzw. veränderten sich nicht gegenüber den Ausgangsbitumen. Das Temperaturverhalten bei hohen Temperaturen und somit die Wärmestandsfähigkeit konnte verbessert werden, das Tieftemperaturverhalten änderte sich nicht.

Bestimmung Erweichungspunkt RuK sowie Brechpunkt nach Fraaß						
	Bitumen 50/70 40g	Probe 1/1 2 g	Probe 1/2 2 g	Probe 2/1 2 g	Probe 2/2 2 g	
Mischtemperatur in °C			140			170
Erweichungspunkt in °C	51,40	59,10	57,40	59,70	59,70	
	51,40	61,60	60,00	59,20	59,80	
Brechpunkt in °C	-7,3	-5,3	-5,3	-5,7	-7,3	
Probe 1/1: Wachs aus HD-PE-Abfällen (Durchsatz 2,5 kg/h)						
Probe 1/2: Wachs aus HD-PE-Abfällen (Durchsatz 10 kg/h)						
Probe 2: Wachs aus PP-Abfällen (Durchsatz 2,5 kg/h)						
Probe 2/2: Wachs aus PP-Abfällen (Durchsatz 10 kg/h)						

Ausblick

Im Rahmen eines Forschungsprojektes könnten weiterführende Untersuchungen zur Verbesserung der Bitumenqualität für den Einsatz im Straßenbau durchgeführt werden.

- Nutzung von Polyolefinwachse unterschiedlicher Kettenlänge und Kettenverzweigung
- Optimierung des Konzentrationsverhältnisses Bitumen/Polyolefinwachs
- Zugabe von Additiven aus nachwachsenden Rohstoffen zur Verbesserung des Tieftemperaturverhaltens
- Weitere Modifizierung unter Verwendung viskositätssenkender Zusätze zur Verbesserung der Verarbeitbarkeit bei niedrigen Temperaturen

5 Zusammenfassung

Verbesserung der Bitumeneigenschaften durch Zugabe von polymeren Zuschlagstoffen

- Verbessertes Temperaturverhalten
- Ausweitung der Plastizitätsspanne
- höherer Widerstand gegenüber bleibenden Verformungen
- verbessertes Haftverhalten am Gestein
- verbesserte Alterungsbeständigkeit
- Verminderung von Emissionen
- Energie-Effizienz
- Verkürzung der Bauzeiten
- Zugang zu neuen Asphaltbauweisen

Fazit: Modifizierte Bitumen leisten einen wesentlichen Beitrag zur Verlängerung der Gebrauchsdauer von Straßen.

Literatur

Arbit (2010): URL: www.arbit.de.

BP (2010): URL: www.bp.com.

Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (2007): „TL Bitumen-StB 07“. Ausgabe 2007 Köln: FGSV Verlag.

Hutschenreuther, Jürgen/Wörner, Thomas (2010): „Asphalt im Straßenbau“. 1. Aufl. Berlin: Verlag für Bauwesen.

Knoll, Eberhard (Hrsg.) (2010): „Der Elsner, Handbuch für Straßen- und Verkehrswesen“. 64. Aufl. Darmstadt: Otto Elsner Verlagsgesellschaft.

Wiehler, Hans-Günther/Wellner, Frohmut (2005): „Straßenbau Konstruktion und Ausführung“. 5. bearb. Auflage Berlin: Verlag für Bauwesen.

Markus Klätte | Steinbeis-R. T. M., Halle

Zur Marktfähigkeit von Wachs- und Paraffinprodukten

1 Ausgangspunkt

Erste Proben konnten hergestellt, analysiert und bei den relevanten Partnern auf Eignung für bestimmte Anwendungen getestet werden. Die technisch möglichen Eigenschaften stehen jedoch noch nicht fest. Vor allem kann noch nicht gesagt werden, welcher Aufwand betrieben werden muss, um die Anwendungsqualitäten zu erreichen. Von der Anwendungseignung hängt jedoch alles ab.

Die folgenden Ausführungen enthalten daher einen sehr hohen Anteil an Vermutungen. Im englischen Sprachraum existiert dazu der Begriff „*educated guess*“, der mit „qualifiziertes Raten“ übersetzt werden könnte. Dabei kommt es darauf an, soviel wie möglich zu qualifizieren, sich aber bewusst zu sein, dass man sich an die Wirklichkeit im Nebel nur herantasten kann. Dies gilt insbesondere, wenn es sich um zukünftige Entwicklungen handelt.

2 Der Markt

Die Definition der *Gesellschaft für Fettwissenschaft* wurde bereits diskutiert. Es geht also um physikalische Eigenschaften im Wachsbezug und weniger um eine bestimmte chemische Stoffkategorie. Dies kommt dem Vermarktungsgedanken sehr nahe, denn ein potentieller Käufer benötigt ein bestimmtes Eigenschaftenbündel (inkl. Preis), um das Produkt optimal nutzen zu können, oder aber seine eigenen Produkte optimal herstellen und verkaufen zu können.

Für die Entwicklung von *U-Wachs* bedeutet das, dass man einerseits die Eigenschaften von Wachsen auf dem Wachsmarkt, andererseits aber auch bei den bestimmten Anwendungen die Konkurrenztechnologien bzw. die Materialien betrachten muss, die bisher Verwendung finden.¹

Der **Wachsmarkt** allgemein ist ein weltweit konzentrierter Markt mit wenigen großen Anbietern auf dem Massenmarkt, und einigen kleineren Anbietern für Spezialanwendungen.

1 Beispiel für Konkurrenzmaterialien in Latentwärmespeichern: Streicher 2007

In Abbildung 1 werden die Rohstoffe, die zur Herstellung der weltweit gehandelten Wachse benötigt wurden, aufgestellt.

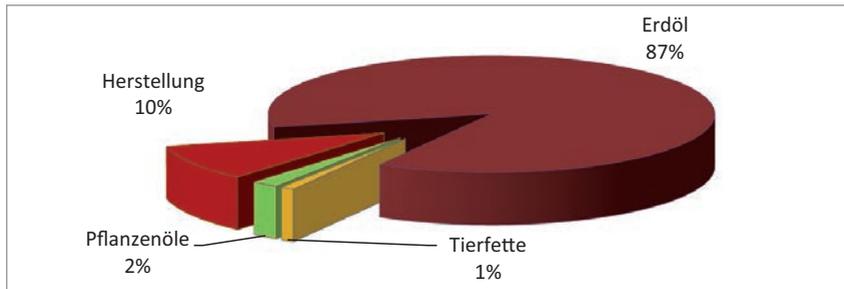


Abbildung 1: Rohstoffe für Wachse².

Eine Vorschau von 2005 ist in Abbildung 2 dargestellt. Die Autoren des Report sahen eine moderate Steigerung des Wachsbedarfes bis 2020, mit Hauptanteil im asiatisch-pazifischen Raum.

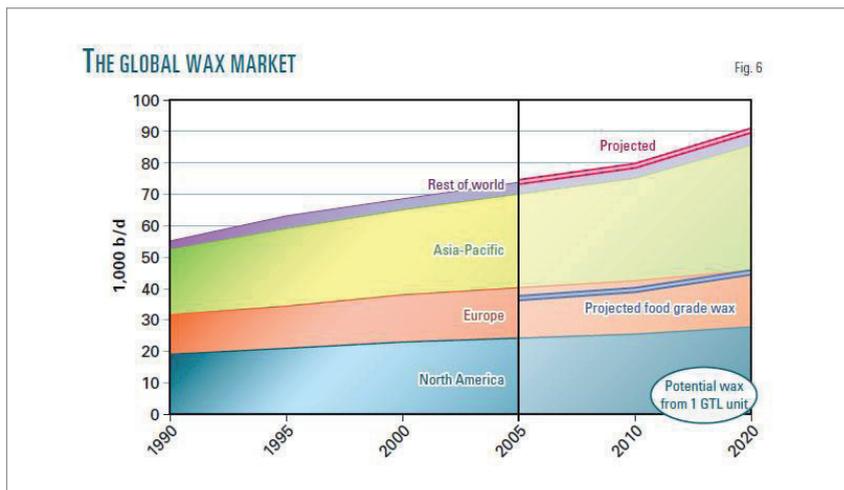


Abbildung 2: Vorschau zur globalen Wachsmarktentwicklung bis 2020³.

² Parker 2007

³ Oil&Gas 2005, S. 7.

Schlussfolgerungen:

1. Die Abhängigkeit vom Erdöl beziehungsweise von Erdölgatschen wird voraussichtlich noch eine Weile anhalten. Die Erdölgatschen werden eher teurer, was einerseits der Verfügbarkeit von Erdöl allgemein, aber auch der technischen Entwicklung geschuldet ist. Es ist mit Preisanstiegen, auch bei Massenwachsen, zu rechnen.
2. Die Herstellung von Wachsen aus pflanzlichen beziehungsweise tierischen Rohstoffen ist zwar für Spezialanwendungen interessant, spielt jedoch im großen Rahmen eine untergeordnete Rolle.
3. Ca. 50 % der Wachse werden im Lebensmittelbereich verwendet. Für diese Anwendungen sind Wachse, die aus Recyclingmaterial hergestellt werden, eher nicht geeignet.
4. Das Marktwachstum in Europa sieht eher moderat aus. Für Spezialanwendungen sollte diese Entwicklung jedoch eher unproblematisch sein.

Insgesamt sehen also die Marktchancen für Wachse aus alternativen Rohstoffen nicht schlecht aus, wie auch bereits Jörg Abraham festgehalten hat.

3 Erste Markteintrittsüberlegungen

Ein Markteintritt ist natürlich nicht nur mit Chancen verbunden, sondern auch mit einigen Risiken.

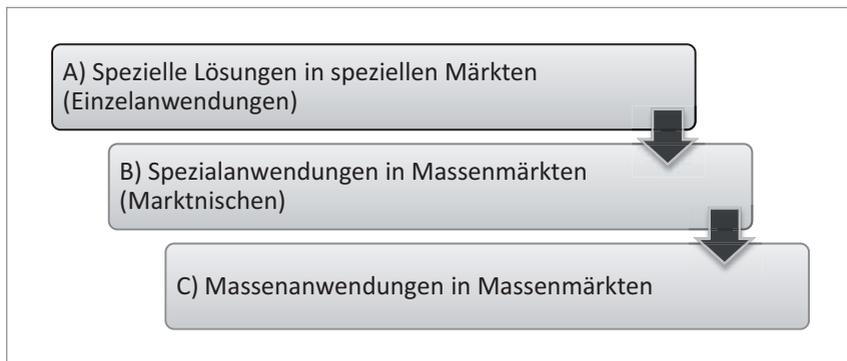


Abbildung 3: Markteintritt.

Daher wird die in Abbildung 3 skizzierte dreistufige Vorgehensweise vorgeschlagen⁴:

- A) Einzelanwendungen: Es können Langzeiterfahrungen gesammelt und die einzelnen Möglichkeiten und Grenzen ausgelotet werden. Das Produkt ist hier Teil einer Dienstleistung (Anwendungsentwicklung).
- B) Marktnischen: In einem zweiten Schritt können die Anwendungen, für die sich die Produkte weiter eignen, und die im Wachs- oder anderen Märkten kleinere Nischen darstellen, identifiziert und angegangen werden. Die Risiken sind hier höher, die Gewinn- und Wachstumschancen auch.
- C) Markteintritt in einem Massenmarkt benötigt ausgereifte Produkte. Große Marktanteile führen längerfristig zu Produktionsmengenvorteilen. Wie unten erläutert, sind in diesem Fall die Produktionskosten gegenüber den Materialkosten

⁴ Möglich ist jedoch auch, dass sich nur Stufe A) oder B) als profitabel herausstellt und C) unter den derzeitigen Voraussetzungen nicht angegangen werden kann.

sehr gering, sodass sich dieser Effekt also voraussichtlich in Grenzen hält. Andererseits ist auf einen Massenmarkt das Risiko bei Fehlern ungleich höher. Dies hat man beispielsweise bei *Toyota* gesehen. Ein kleiner Konstruktionsfehler kann in einer Massenfertigung große Probleme bringen. Es wird daher empfohlen, die Massenmärkte erst im dritten Schritt und sorgfältig geprüft anzugehen. Für diesen Schritt sind noch Jahre der Vorbereitung nötig.

4 Erste Preisüberlegungen

Marktpreise der Produkte: Diese Preise hängen sehr stark von den Qualitäten, also dem erzielbaren Produktnutzen beim Kunden, ab. Ist also der Nutzen hoch, ist auch der erzielbare Preis hoch. Die wahrscheinlichen Preise stammen aus Expertengesprächen.

Die angenommenen Preise sollten im unteren Bereich der wahrscheinlichen Preise angesiedelt werden, da neue Produkte die Hürde der Gewohnheit und Sicherheit überwinden müssen.

Eingangsmaterialien: Die verwendbaren Eingangsmaterialien sind stark von den geforderten Qualitäten und Qualitätsgrenzen abhängig. Auch Sekundärmaterial kann durchaus die Qualitätskriterien erfüllen. In Abbildung 4 wird am Beispiel von HDPE das Verhältnis zwischen Preisen und Reinheit des Materials gezeigt.

Beispiel HDPE		
Primärmaterial HDPE-Granulat	Reines Sekundärmaterial Regranulat	„Gelber Sack“
ca. 0,84 Euro/Kg	ca. 0,73 Euro/Kg	Zuzahlung? (Ausschreibung)

Abbildung 4: HDPE – Preise.

Weiterhin sind die Produktionskosten interessant. Dabei wurden die Überlegungen auf die existierenden Technologien der *Nill-Tech* und die Extrudertechnologie, die beim *Fraunhofer Institut für Werkstoffmechanik* genutzt wurde, konzentriert. Bei beiden wurde eine Jahresproduktionsmenge von ca. 4.500 Tonnen angenommen.

Klassische *PARAK*-Technologie ist im ersten Schritt die Herstellung des U-Wachses in einem **Reaktor**. Hier wurden die von Herrn Nill entwickelte und vorgestellte Technologie angenommen, die – mit den entsprechenden Modifikationen – geeignet wäre, die Schmelze herzustellen.

Die Technologie ist weitgehend erprobt, die Energiekosten gering, da zwar nicht die Crackgase wie beim Verölungsprozess genutzt werden können, aber die Verwendung von relativ günstigem Erdgas möglich ist. Demgegenüber stehen hohe Personalkosten und entsprechende Mindestmengen, weil die Anlage technologiebedingt rund um die Uhr laufen muss. Es werden hier Bearbeitungskosten von ca. 0,28 Euro/kg Produkt geschätzt.

Die **Extrudertechnologie** ist eine ausgereifte Technik, die millionenfach rund um den Globus angewendet wird, die man also auch einfach bei einem entsprechenden Hersteller kaufen kann. Technologiebedingt ist eine genauere Spaltung möglich, bei geringen Mengen ist die Technologie flexibler zu handhaben. Weiterhin sind die Investitionskosten und der Arbeitskräftebedarf niedriger. Demgegenüber steht der hohe Bedarf an Elektroenergie, der die Kosten in die Höhe treibt. Hier wurden Bearbeitungskosten von ca. 0,35 Euro/kg Produkt geschätzt.

Die Produkte aus den beiden Produktionsverfahren sind jedoch unterschiedlich. Für eine Anwendung wird das Reaktor-, für eine andere das Extruderverfahren sinnvoll sein.

Im Folgenden wird die Wirkung der verschiedenen Qualitäten des Eingangsmaterials auf die zulässigen Produktpreise der beiden Anwendungen, die als am besten geeignet angesehen werden, betrachtet.

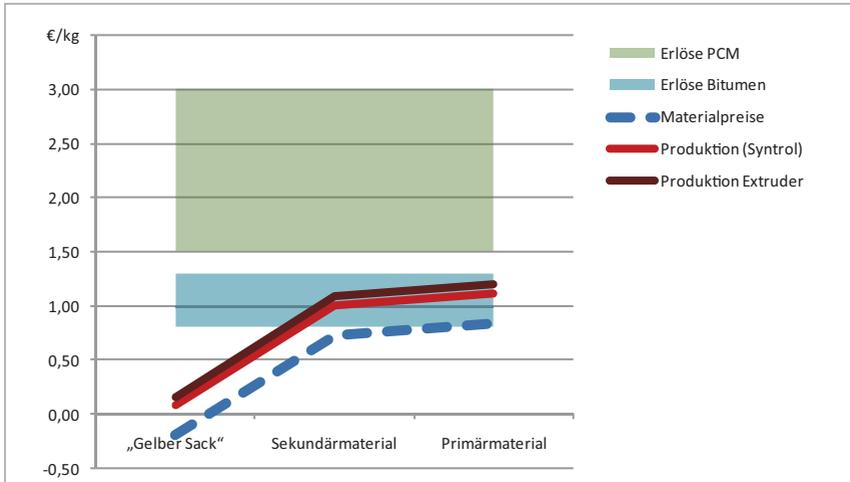


Abbildung 5: Einfluss der Materialqualität auf die Profitabilität.

Die Rechtecke stellen Preisbereiche dar, in denen die Erlöse erwartet werden, während die gestrichelte Linie die Materialpreise entsprechend Abbildung 4 darstellt. Bei den beiden durchgezogenen Linien sind die Produktionskosten mit hinzugezogen.

Trotz der recht groben Schätzung sind unter den obigen Annahmen bereits erste Schlussfolgerungen möglich.

1. Die Materialpreise gehören zu den wichtigsten Faktoren, während die Produktionsverfahren (vorausgesetzt, es stellt sich heraus, dass beide gleich geeignet sind) nur einen geringen Einfluss auf die Produktkosten haben.
2. Für die Beispielanwendung PCM (Latentwärmespeicher) werden voraussichtlich die kritischen Kosten noch nicht erreicht, da die möglichen Erlöse auch in der höchsten Materialqualität die Aufwendungen übersteigen.

3. In der Beispielanwendung Bitumenzusätze sind hohe Mengen gefragt. Damit können auch geringe Margen sinnvoll sein. Trotzdem kommt man bei der Verwendung von aufbereitetem Sekundärmaterial, wie es die *multiport GmbH* herstellt, mit den Kosten schnell in unprofitable Bereiche. Es sollte von Vornherein daran gearbeitet werden, Qualitäten, die möglichst nahe am „Gelben Sack“ liegen, nutzen zu können.

Es lohnt sich, frühzeitig und immer wieder, solche Überlegungen anzustellen, da bestimmte Alternativen früh als nicht marktfähig erkannt und Sackgassen vermieden werden können.

Die hier angestellten Überlegungen geben jedoch Grund zu der Annahme, dass es sich um eine wirtschaftlich sinnvolle und längerfristig profitable Entwicklung handelt.

Quellen

Oil&Gas Journal 2005: URL: <http://www.e-metaventure.com/files/GTLProspects.pdf>

Parker, Philip M. 2007: The World Market for Paraffin Wax, Microcrystalline Petroleum Wax, Slack Wax, Ozikerite, Lignite Wax, Peat Wax, and Similar Waxes: A 2007 Global Trade Perspective,

Streicher, Wolfgang et al. 2007: Fortschrittliche Wärmespeicher zur Erhöhung von solarem Deckungsgrad und Kesselnutzungsgrad sowie Emissionsverringering durch verringertes Takten, in Berichte aus Energie- und Umweltforschung 15/2007, herausgegeben vom Österreichischen Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie

Teil F

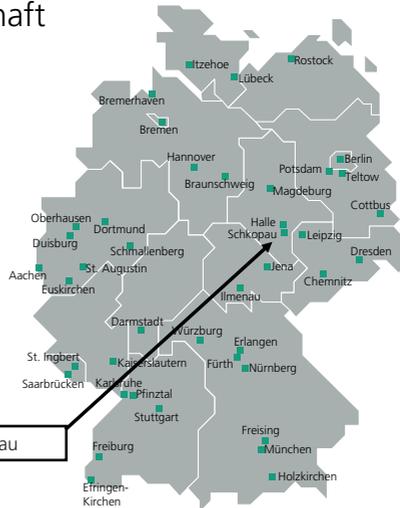
Entwicklung der neuen Technologie und Vorbereitung der Produktion

Michael Busch |
Fraunhofer Institut für Werkstoffmechanik, Halle

Zielstellungen des Fraunhofer IWMH bei der Entwicklung von Technologien zum thermischen Abbau von Kunststoffen

Die Fraunhofer-Gesellschaft Standorte in Deutschland

- Größte Europäische Gesellschaft für angewandte Forschung
- private, nicht Gewinn orientierte Organisation
- 59 Institute
- 17 000 Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter



Fraunhofer-Pilotanlagenzentrum in Schkopau

2

© Fraunhofer-Pilotanlagenzentrum für Polymersynthesen und Polymerverarbeitung

Fraunhofer
PAZ

Das Fraunhofer-Pilotanlagenzentrum

... auf dem ValuePark, einem Chemiepark der Dow Chemical Company, in Schkopau

Derzeitige Gesamtfläche etwa 2000 m²

Erweiterung der Polymerverarbeitung bis 2011 um weitere 2000 m²

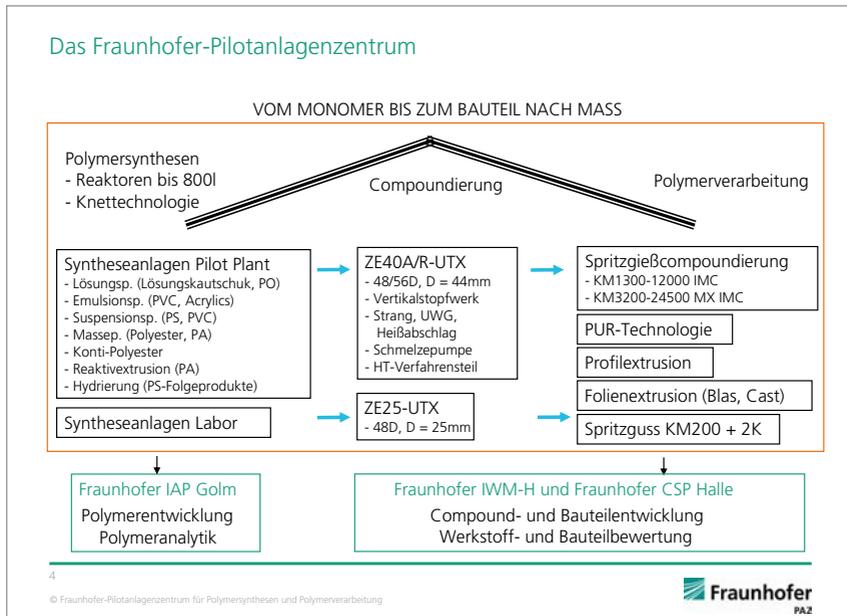


3

© Fraunhofer-Pilotanlagenzentrum für Polymersynthesen und Polymerverarbeitung

Fraunhofer
PAZ

Das Fraunhofer-Pilotanlagenzentrum



Pilotanlagen Polymersynthese

Sieben vorinstallierte Syntheselinien

Linie

Lösungspolymerisation (anionic, insertion)
Kautschuk

Emulsionspolymerisation (continuous, batch)

Suspensionspolymerisation

Massepolymerisation (continuous, batch)

Rührkesselkaskade

Hochviskostechnologie (LIST-Ein- und -Doppelwellenknetter)

Begasungs-/Hydrierreaktor (BIAZZI)

Beispielpolymere

Polyolefine,

PVAE, PVC

PS

PA, PET, PBT

Insitu-
Compounding

PS-Folgeprodukte

Pilotanlagen Polymerverarbeitung

Doppelschneckenextruder für die Compoundierung

Doppelschneckenextruder
ZE40A-UTX

- 48 D Länge
- D = 44 mm
- Dosiereinrichtungen
- Vertikalstopfwerk
- Stranggranulierung
- Unterwassergranul.
- Heißabschlagsgranul.
- Schmelzepumpe
- Vakuumeinheit (1 mbar)
- Hochtemperatur-Verfahrenseinheit



6

© Fraunhofer-Pilotanlagenzentrum für Polymersynthesen und Polymerverarbeitung


Fraunhofer
PAZ

Naturfaserverstärkte Kunststoffe

Cellulose regeneratfasern (CRF)



Viskosefaser Acordis 1,7 dtex
5 mm (lichtmikroskopische
Aufnahme zwischen gekreuzten
Polarisatoren)



Viskosefaser Acordis

7

© Fraunhofer-Pilotanlagenzentrum für Polymersynthesen und Polymerverarbeitung


Fraunhofer
PAZ

Pilotanlagen Polymerverarbeitung

Profilextrusionsanlage

- Profilextrusionslinie mit
- gleichsinnig drehendem Doppelschneckenextruder von Berstorff (ZE40) – Austrag mit Schmelzepumpe
- gegensinnig drehender Doppelschneckenextruder von Cincinnati (Titan 58)



8

© Fraunhofer-Pilotanlagenzentrum für Polymersynthesen und Polymerverarbeitung

Anwendungsbeispiel Profilextrusion

Extrudierte Profile aus verstärkten und unverstärkten Thermoplasten

Polymere: PP, PE, PLA, PA, ASA, ...

Fasern: Holz, Hanf, CRF,
Zellstoff, GF, ...



9

© Fraunhofer-Pilotanlagenzentrum für Polymersynthesen und Polymerverarbeitung

Pilotanlagen Polymerverarbeitung

Spritzgießcompoundieranlage

KM1300-14000 IMC

mit
 Roboter-Handling-
 System
 Dosierstationen plus
 Rovingdosierung



10

© Fraunhofer-Pilotanlagenzentrum für Polymersynthesen und Polymerverarbeitung

Fraunhofer
PAZ

Anwendungsbeispiel Spritzgießcompounder

Vorteilhafte Anwendungen bezüglich Kosten und Qualität: Lange Fasern

- Frontend-Montageträger
- Automobilaußenteile
- Lüfterräder
- Instrumententräger
- Zylinderkopfabdeckungen
- Ölwannen
- Batteriehalter

Frontend, L-GF/PP



11

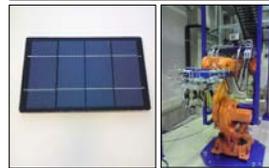
© Fraunhofer-Pilotanlagenzentrum für Polymersynthesen und Polymerverarbeitung

Fraunhofer
PAZ

Pilotanlagen Polymerverarbeitung

Verarbeitungsanlage für transparente Polyurethane

- Ausstattung: Hochdruckanlage RIM-Star 8/8 CCM von KraussMaffei mit ABB-Robotersystem
- Herstellung von kompakten und hochtransparenten PUR-Coatings
- Verarbeitung aliphatischer Polyurethane
- Anwendung für Erzeugung hochwertiger Oberflächen und in der Photovoltaik (Projektpartner: BASF/Elastogran, Evonik, Sovello, Weidmüller, KraussMaffei)
- Formenträger (Aufspannfläche 2500 mm x 1250 mm, Schließkraft 200 t) zum Handling von Werkzeugen für Bemusterungen



12

© Fraunhofer-Pilotanlagenzentrum für Polymersynthesen und Polymerverarbeitung

Pilotanlagen Polymerverarbeitung

Verarbeitungsanlage für gefüllte Polyurethane

- Ausstattung: Hochdruckanlage RIM-Star 8/1,5-1,5 E-Tandem-Hybrid
- Hybridtechnologie ermöglicht den Einsatz von abrasiven Füllstoffen (z. B. Glasfasern)
- Verarbeitung von aromatischen und aliphatischen PUR-Systemen
- Herstellung von geschäumten und kompakten Bauteilen sowie Sandwich-Strukturen
- Sprühanwendungen zur Beschichtung von dreidimensionalen Geometrien



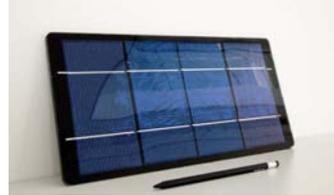
13

© Fraunhofer-Pilotanlagenzentrum für Polymersynthesen und Polymerverarbeitung

Das Fraunhofer-Pilotanlagenzentrum

Produktbeispiel: Kunststoffbasiertes Solar-Minimodul

- BMBF-gefördertes Verbundvorhaben in Zusammenarbeit mit den Unternehmen Evonik, Sovello, Weidmüller, BASF und KraussMaffei
- Gewichts- und Kostenreduzierung
- Solarmodul mit neuartigem 3-Schicht-Aufbau:
 - Thermoplastische Kunststoffscheibe
 - Polyurethan-Reaktivsystem als Vergussmaterial
 - Trägerstruktur Metall-TP/GF-Hybrid
- Material- und verfahrenstechnische Entwicklung für rahmenlose Solarmodule



„Mini-Solarmodul“ mit 4 Zellen

14

© Fraunhofer-Pilotanlagenzentrum für Polymersynthesen und Polymerverarbeitung

Das Fraunhofer-Pilotanlagenzentrum

Leistungen des Fraunhofer-Pilotanlagenzentrums

Als FuE-Dienstleister bieten wir unseren Kunden zur Nutzung an:

- die wichtigsten Polymersynthese- und Polymerverarbeitungstechnologien im Pilotmaßstab für kurze bis mittlere Kampagnen
- Entwicklung und Erprobung neuer technologischer Verfahrensvarianten
- Bereitstellung von Granulatmustern im Tonnenmaßstab
- Bereitstellung von Pilotmustern prototypischer Komponenten und Bauteile für eine Markteinführung
- das für die komplexe Analyse, Prüfung und Bewertung der Werkstoffe, Technologien und Bauteile erforderliche Equipment und Know-how

15

© Fraunhofer-Pilotanlagenzentrum für Polymersynthesen und Polymerverarbeitung

Technologieentwicklung zum thermischen Polymerabbau

Zielstellungen

Vorhandene Technologien anwenden und weiter entwickeln

- Polymerabbau im Extruder
 - Versuche mit Steinbeis RTM (PE, PP)
 - gezielter Polymerabbau im Extruder mit präzise eingestelltem Kettenlängenbereich scheint möglich
 - => Produkte mit hoher Schmelzwärme und engem Schmelzbereich
 - Verfahrensoptimierung, insbesondere hinsichtlich Kosteneffizienz
- Verfahrenskombinationen, z. B. Polymerabbau und Füllstoffearbeitung und/oder Polymerverarbeitungstechnologien kombinieren

16

© Fraunhofer-Pilotanlagenzentrum für Polymersynthesen und Polymerverarbeitung

Technologieentwicklung zum thermischen Polymerabbau

Zielstellungen

Neue technische Anwendungen für abgebaute Polymere entwickeln

- Wachse als Verarbeitungshilfsmittel für diverse Compounds
- Anwendungen, z. B. Batteriemodule mit Wärmespeichermaterialien
- ...

17

© Fraunhofer-Pilotanlagenzentrum für Polymersynthesen und Polymerverarbeitung

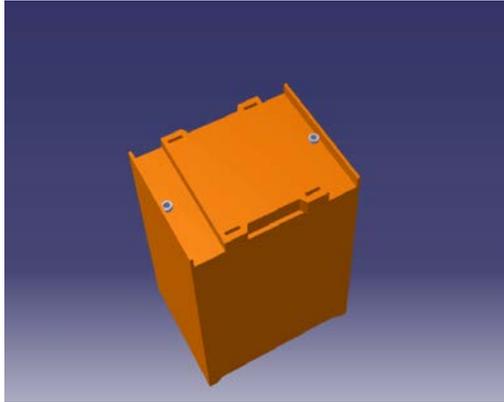
Das Fraunhofer-Pilotanlagenzentrum

Produktbeispiel: Batteriemodul mit integrierter Temperierung

Modul für Li-Ionen-
Zellen (Anschlüsse für
Strom, BMS und Datenbus
nicht dargestellt)

Batteriemodulgehäuse
Metall-PP/GF-Hybrid

PCM zur Glättung von
T-Spitzen und zur
Verringerung der
erforderlichen
Kühlleistung



Uwe Sauermann | Steinbeis-R. T. M., Halle

Wie geht es weiter mit dem „netzwerk WACHSE“? – Ein Resümee

Die ursprünglichen Zielstellungen für das Innovationsforum, wie sie bei der Strukturierung des Vorhabens vor einem Jahr formuliert wurden, waren:

1. Die Klärung der beiden folgenden Fragen:
 - a. Ist die Herstellung von Wachsen und Paraffinen aus Altkunststoffen eine technisch machbare und zugleich wirtschaftliche Methode des rohstofflichen Recyclings?
 - b. Kann man dafür direkt an die Ergebnisse des Webauer PARAK-Projektes vor zehn Jahren anknüpfen?
2. (Unter der Maßgabe einer positiven Beantwortung dieser beiden Fragen) Gewinnung der notwendigen und interessierten Partner
3. Vorbereitungen für den Aufbau einer Wertschöpfungskette
 - a. von der Forschung und Entwicklung (Prozeß- und Produktentwicklung)
 - b. über den Anlagenbau,
 - c. die Rohstofflieferung (Erfassung und Aufbereitung),
 - d. die Herstellung der Rohprodukte bis zu
 - e. deren Veredlung und Vermarktung.

Was wurde vor dem Hintergrund dieser ursprünglichen Zielstellungen bis heute erreicht?

Steinbeis hat zusammen mit einigen Partnern zunächst das PARAK-Projekt evaluiert. Diese Evaluierung wurde streng getrennt für die beiden Verfahrensstufen vorgenommen, wobei schwerpunktmäßig die 1. Stufe, die Wachsschmelze im Mittelpunkt stand. Nach erfolgreicher Herstellung von Wachsschmelzeproben mit PE-HD und PP im Labor bei *ASL Analysen-Service Leipzig* wurde Anfang des Jahres bei einem Besuch im *Fraunhofer PAZ* in Schkopau die Idee geboren, anknüpfend an frühere Versuche in Leuna und Zeitz, Wachsschmelzen mit Extrudern herzustellen.

Die Ergebnisse der ersten Extruder-Versuche mit *Fraunhofer* brachten überraschenderweise schon sehr interessante neue Erkenntnisse. Es konnte nachgewiesen werden, dass mit Extrudern Wachsschmelzen herzustellen sind, die werkstofflich zwischen Wachsen und Kunststoffen eingeordnet werden können und über

Eigenschaften verfügen, die um einiges über das damalige PARAWAX hinausgehen und zudem eine kostengünstigere Produktion versprechen.

Damit waren – zumindest für die 1. Verfahrensstufe – die beiden Ausgangsfragen geklärt und die **erste Zielstellung des Forums erreicht**, d. h.

1. Wachsschmelzen, die zu hochwertigen Produkten führen, sind technisch möglich und auf sehr wirtschaftliche Weise zu gewinnen. (Allerdings ist hier noch viel Forschungsarbeit zu leisten.)
2. In Bezug auf die Webauer PARAK-Technologie zeigte es sich, dass man an den dort gewonnenen Erkenntnissen anknüpfen kann und auch anknüpfen muss, zugleich aber – nicht zuletzt aus patentrechtlicher Sicht – auch über PARAK hinaus gehen muss, quasi nach der Devise „Überholen ohne Einzuholen“. Wohlwissend, dass man nur deshalb heute weitersehen kann, weil man auf den Schultern der PARAK-Pioniere steht ...

Die zweite Zielstellung des letzten halben Jahres war es, die passenden **Partner für den Aufbau der Wertschöpfungskette** zu gewinnen bzw. einander näher zu bringen, eben das Netzwerk aufzubauen. Hierbei wurden mehrere wichtige **Erfahrungen** gemacht:

1. Die meisten der angesprochenen Firmen und Forschungseinrichtungen lehnen neue, mehr oder weniger künstlich aufgebaute Netzwerke ab, die schnell die Tendenz entwickeln, irgend einen organisierenden „Wasserkopf“, der nicht aus der fachlichen Mitte kommt, zu versorgen. Dahinter steckt offensichtlich die Erfahrung, daß Netzwerke nicht an sich toll sind und dass einige Netzwerkprojekte die Network-Idee in den letzten Jahren offensichtlich z. T. auch verschlissen haben. Gut daran ist, dass man jetzt genauer hinschaut und sich nur unter bestimmten Voraussetzungen an Vernetzungsprojekten beteiligt. In diesem Fall hat sich hier der von Anfang an betonte Grundsatz bewährt: **Das „netzwerk WACHSE“ soll so klein wie möglich und so groß wie nötig werden!**

Trittbrettfahrer, die nicht wirklich eine von den anderen Partnern benötigte Leistung ins Netzwerkgefüge einbringen, haben objektiv keinen Platz in einer Wertschöpfungskette und auch subjektiv wurde darauf geachtet.

2. Die **zweite Erfahrung** beim Aufbau des Netzwerkes war, dass der Wachs- und Paraffinmarkt ein vergleichsweise kleiner Markt mit wenigen Playern ist und ein „netzwerk WACHSE“ schon von daher nicht sehr ausufern kann.
3. Die **dritte Erfahrung** bei der Suche nach den richtigen Partnern für solch ein Netzwerk ist, dass auf jeder einzelnen Stufe der Wertschöpfungskette nicht allzu viele Unternehmen einbezogen werden können, oftmals sogar nur ein Unternehmen. Bei Firmen und Institutionen, die auf dem Markt im direkten Wettbewerb miteinander stehen, ist eine Zusammenarbeit im Netzwerk mitunter schwierig, es sei denn, die Wettbewerber verständigen sich intern auf eine gemeinsame, ggf. auch arbeitsteilige Kooperation und Verwertung der Entwicklungsergebnisse. So ist es möglich, dass bspw. Wachshersteller Nr. 1 sich mehr auf PE-Abbauwachs oder auf das Thema Wärmespeicherung konzentriert und Wachshersteller Nr. 2 sich den Hartwachsen aus PP oder dem Thema Bitumenzuschlag zuwendet. Und ein dritter Partner könnte sich auf die 2. Verfahrensstufe konzentrieren, also den Crackprozess unter Normaldruck durchführen und aus PE-HD-Kunststoffen Flüssigfraktionen z. B. für die Kältespeicherung herstellen. Diese arbeitsteilige Herangehensweise ließe sich analog für die rohstoffliefernde Recyclingbranche oder für den Anlagenbau anwenden. Dies sind zunächst Wunschvorstellungen sind. Aber Wünsche dieser Art zu äußern, kann in diesem Falle vielleicht doch nützlich. Aus der Sicht als Netzwerkwerkmanagement – und gemäß dem Auftrag der Fördermittelgeber – werden im Zweifelsfall, wenn man eine Entscheidung für oder gegen einen Partner im Netzwerk fällen muss, natürlich immer die Firmen und Institutionen aus der Region favorisiert.
4. Patentfragen und sonstige Schutzrechte und daraus resultierende Fragen der Geheimhaltung spielen für viele Unternehmen (und noch mehr für Forschungseinrichtungen) eine größere Rolle als ursprünglich von uns angenommen. Hier wurde mit entsprechenden Geheimhaltungs- oder Kooperationsvereinbarungen oder Verträgen zur Nutzung eventueller neuer, gemeinsamer Patente mittler-

weile eine vertrauensfördernde Arbeitsgrundlage geschaffen. Alle in den FuE-Prozess eingebundenen Mitstreiter und Verantwortungsträger sollten auf dieser vertraglichen Basis wirklich offen miteinander umgehen und mögliche Vorbehalte oder auch Ängste in dieser Richtung rechtzeitig ansprechen.

Welche Firmen und Institutionen gehören bis jetzt also mehr oder weniger fest zum „netzwerk WACHSE“:

Die meisten haben Sie bereits über die Vorträge und Diskussionsbeiträge kennengelernt (auch wieder entlang der Wertschöpfungskette):

- *Steinbeis-Transferzentrum Ressourcen-Technologie und Management Halle*
- *Fraunhofer IWMH*, hier der Geschäftsbereich Polymere und Faserverbundwerkstoffe
- *Romonta* („Wachsprofis“)
- *multiport Bernburg* (Rohstofflieferant)
- *Hochschule Anhalt*, hier der FB III (Entwicklung Bitumenzuschläge)
- *rubitherm*, Berlin (Entwicklung Wärme- und Kältespeichermedien)

Das sind die Partner, die z. Z. und hoffentlich auch in der nächsten Zukunft vor allem die Entwicklungsarbeiten tragen. Sie werden unterstützt von solchen Firmen wie

- *ASL Analysenservice Leipzig*
- *IQS Freiberg e. V.* (beide Analytik)
- *EVH Energieversorgung Halle* und
- *An-Institut FBZ* von der *FH Merseburg* unter Prof. Picht
- *MLU Halle-Wittenberg, FB Pharmazie* (Prof. Rüttinger, nachwachsende Rohstoffe).

Wo hat das „netzwerk WACHSE“ derzeit noch größere „Löcher“?

Wo wird noch Verstärkung gebraucht?

- Benötigt wird **Klarheit über den (die) Investor(en)** für die Herstellung der Abbauwachse (1. + 2. Stufe). Es gibt schon mehrere Interessenten, aber noch – was keine Kritik ist – zu wenig Verbindlichkeit. Entscheidend wird hier sein, welche Ergebnisse die kommende Phase im FuE-Bereich bringt.
- **Analytik**, insbesondere zur Molmassenbestimmung. Es wird ein Anbieter gesucht, der diese wichtige Analyse bei einer Arbeitstemperatur von 130 °C mit einer kompletten Molmassenverteilung bis $C_{300.000}$ (und nicht nur die mittlere Molmasse), wenigstens bis $C_{100.000}$, durchführen kann.
- Es gibt Interesse an einer **Straßenbaufirma**, vor allem für Praxistests für Bitumenzuschlagstoffe, die in die Entwicklungsphase investieren könnte.

Soweit zu den Partnern im Netzwerk, nun zu den nächsten Aufgaben und Zielen:

Mittelfristiges Ziel:

- 1.) Aufbau einer Produktionslinie zur Herstellung von Wachsschmelzen (Verfahrensstufe 1) aus PO-Abfällen in der Region bis 2012
- 2.) Planung und Realisierung der Entwicklungsarbeiten für neue Bitumenzuschlagstoffe auf der Basis von Wachs- bzw. Kunststoffschmelzen
 - Zeitrahmen: bis 2013 (erste Ergebnisse schon Anfang 2011)
 - Kosten ca. 350.000 €
 - FuE-Förderantrag geplant (rd. 50 % der Kosten)

Träger bis jetzt: *Steinbeis-Transferzentrum Ressourcen-Technologie und Management, FH Anhalt, Fraunhofer IWMH*, u. U. *Romonta* (zusätzl.: Gewinnung eines regionalen Straßenbauunternehmens für diverse Praxistests)

Langfristiges Ziel:

Aufbau einer Produktionslinie zur Herstellung von Flüssigprodukten und Paraffinen mit definierten C-Kettenlängen (Verfahrensstufe 2) aus PO-Abfällen in der Region bis 2015

Um in der Wachsschmelze zügig voran zu kommen, sind die folgenden nächsten Schritte geplant und z. T. schon vorbereitet:

1. Gemeinsame Planung und Realisierung der Entwicklungsarbeiten für die Extrusionstechnik zur Herstellung der Wachsschmelzen auf der Basis der positiven Ergebnisse aus unseren ersten Versuchen bei *Fraunhofer*. Die Entwicklung soll ganzheitlich erfolgen, also inkl. Equipment (Granulierung, Energiekonzept, Analytik, MSR-Technik). Diese Arbeiten sollen in den Bau einer produktionsnahen Technikumsanlage münden. Die Kosten für diese Entwicklungsarbeiten belaufen sich nach jetzigem Kenntnisstand auf ca. 750.000 €. Es wird angestrebt, einen entsprechenden FuE-Förderantrag zu stellen, der rd. 50% der Entwicklungskosten abdecken könnte.

Als Träger stehen fest: *Steinbeis Transferzentrum Ressourcen-Technologie und Management* und *Fraunhofer IWMH*. Hoffentlich wird auch Romonta mitwirken.

2. Zeitgleich wird die gemeinsame Planung und Realisierung der Entwicklungsarbeiten für neue Bitumenzuschlagstoffe auf der Basis von Wachs bzw. Kunststoffschmelzen gestartet. Hier belaufen sich die Kosten nach den ersten Schätzungen auf ca. 350.000 €. Auch hier wird ein entsprechender FuE-Förderantrag gestellt, der rd. 50% der Kosten abdecken könnte.

Hier sind zunächst die Träger: *Steinbeis Transferzentrum Ressourcen-Technologie und Management*, die *FH Anhalt* und wieder *Fraunhofer IWMH*. Auch hier ist der Wunschpartner *Romonta*, dessen verbindliche Entscheidung noch in Arbeit ist. Hilfreich wäre auch das bereits erwähnte regionale Straßenbauunternehmens für diverse Praxistests.

Möglicherweise werden das auch zwei Teilprojekte eines einzigen, dann breiteren FuE-Vorhabens und möglicherweise wird dies sogar zu einem FuE-Großvorhaben verknüpft, das auch die Entwicklung der 2. Verfahrenstufe einbezieht. Das ist nicht unrealistisch, hängt aber vor allem von der Entscheidung derjenigen ab, die sich als potentielle Investoren für diese 2. Verarbeitungsstufe in das „netzwerk WACHSE“ einbringen. Die Kosten dieser Maximalvariante lassen sich derzeit schwer abschätzen, da sie in starkem Maße davon abhängen, welche technischen Rahmenbedingungen bei den teilnehmenden Unternehmen schon vorhanden sind, z. B. Fraktionierkolonnen, Selektiventölung, Hydrierung usw. Dann müssten „nur“ die Entwicklungskosten für den Crackreaktor aufgebracht werden, die im Technikumsmaßstab mit ca. 1,5–2 Mio. € anzusetzen wären.

Folgende offenen technischen und betriebswirtschaftlichen Fragen sind bei den FuE-Vorhaben zu beantworten, wie z. B.:

- Inwieweit ist bei den Wachsschmelzen die Extrusionstechnik in der Lage, vorgegebene Zielparame-ter bei den Produkteigenschaften zu erreichen? (definierte Viskositäten, Schmelztemperaturen, Schmelzenthalpie, Brechpunkte, C-Kettenstruktur bzw. Molmassenverteilung usw.)
- Wie hoch muss der Reinheitsgrad des Inputmaterials (Kunststoffabfälle) für welche Produktqualitäten sein?
- Wie muss man die Analytik in möglichst einfache Ablaufalgorithmen strukturieren?
- Wie können die hohen Energiekosten der Extrudertechnik reduziert werden?

Weitere Fragen werden sich im Laufe der Entwicklungsarbeiten ergeben.

Vor diesem Hintergrund muss im Nachgang noch einmal in Ruhe über die Fortsetzung der Arbeit in thematischen Arbeitskreisen nachgedacht werden. Momentan gibt es nur den offenen Arbeitskreis „Latentwärmespeicher“ als besonderen Einsatzfall für unsere Wachsschmelzen. Weitere Arbeitskreise ergeben nur dann Sinn, wenn sie sich als halboffene oder geschlossene Arbeitskreise um die FuE-Projekte herum, also vorhabensbezogen konstituieren. Das muss dann letztlich im Kreise der jeweiligen Projektträger entschieden werden.

Dank gilt an dieser Stelle – auch im Namen des Leiters Herrn Klätte – bei all jenen, die maßgeblich zu diesem Zwischenerfolg beigetragen haben:

- Frau Dr. und Herr Prof. Matschiner
- Partner-Firmen und -Institutionen:
 - *Fraunhofer IWMH* – Dr. Busch
 - *multiport* – Frau Bremerstein
 - *Romonta* – Herr Abraham, Frau Dr. Tretner, Herr Mieth
 - *Rubitherm* – Herr Büttner, Dr. Fieback
 - *FH Anhalt* – Prof. Weingart, Frau Pasička, Frau Müller
 - *ASL* – Herr Philipp
- allen weiteren Referenten, Helfer, aktiven Teilnehmer,
- der *DLR*, Herrn Hempe (aber auch Frau Reddig, insbesondere in der Vorphase bei der Erstellung der Projektskizze)
- dem *BMBF*, Herrn Hiepe (der offensichtlich einen guten Riecher für aussichtsreiche Projekte hat)
- *PR_Petuum*, Herr Ulrich und Frau Grillo sowie
- dem Team vom *Ankerhof-Hotel* und dem *MMZ* für die Ausgestaltung des Veranstaltungsrahmens.

Besonderer Dank geht an den geistigen Kopf des ganzen Projektes, Herrn Dr. Utzig, ohne dessen Ideen, Sachkenntnis und enormen Fleiß das Innovationsforum nie hätte stattfinden können!

Das Innovationsforum „netzwerk WACHSE“ ist Ergebnis besonderen Vertrauens. Vertrauen in die Technologie, die unbestritten grundsätzlich funktionierte, aber nach einer durch die öffentliche Hand unterstützten Anfangsentwicklung zunächst aufgegeben wurde, Vertrauen in den Erfinder dieser Technologie, Dr. Johann Utzig, und Vertrauen in die Unternehmen der Region, in der die Entwicklung damals getätigt wurde.

Verschiedene Fachleute aus unterschiedlichen Unternehmen und Institutionen haben sich am 16. und 17. Juni 2010 im Multimediazentrum in Halle an der Saale getroffen, um die Besonderheiten, Chancen und Risiken dieser Technologie zu erörtern, erste Ergebnisse von Untersuchungen auszutauschen und über mögliche weitere Entwicklungen zu diskutieren.

Ziel des Projektes war die Evaluierung Möglichkeiten der Herstellung von Wachsen aus (Alt-) Kunststoffen sowie möglicher Anwendungen für diese Produkte, das Finden und Einbinden von entsprechenden Partnern in der Region und das Anstoßen von weiteren Entwicklungen, die basierend auf dieser Technologie aus der Ressource „Altkunststoff“ nützliche und damit hochwertige Anwendungen hervorbringen.

Der vorliegende Dokumentationsband dieser Tagung in Momentaufnahme ist als ein Punkt in dieser interessanten Entwicklung zu betrachten. Dabei werden sowohl die chemischen als auch technologischen Grundlagen dieser Wachsproduktion und -nutzung erläutert und auf bisherige Entwicklungen sowie deren Zukunftsperspektiven eingegangen.

ISBN 978-3-941417-47-2



9

783941

417472



Steinbeis-Edition