



Entwicklung eines integrierten Gesamtverfahrens zur Herstellung von BTL Treibstoffen aus Biomasse durch Flüssigphasen-Pyrolyse

VORWORT

Die Publikationsreihe **BLUE GLOBE REPORT** macht die Kompetenz und Vielfalt, mit der die österreichische Industrie und Forschung für die Lösung der zentralen Zukunftsaufgaben arbeiten, sichtbar. Strategie des Klima- und Energiefonds ist, mit langfristig ausgerichteten Förderprogrammen gezielt Impulse zu setzen. Impulse, die heimischen Unternehmen und Institutionen im internationalen Wettbewerb eine ausgezeichnete Ausgangsposition verschaffen.

Jährlich stehen dem Klima- und Energiefonds bis zu 150 Mio. Euro für die Förderung von nachhaltigen Energie- und Verkehrsprojekten im Sinne des Klimaschutzes zur Verfügung. Mit diesem Geld unterstützt der Klima- und Energiefonds Ideen, Konzepte und Projekte in den Bereichen Forschung, Mobilität und Marktdurchdringung.

Mit dem **BLUE GLOBE REPORT** informiert der Klima- und Energiefonds über Projektergebnisse und unterstützt so die Anwendungen von Innovation in der Praxis. Neben technologischen Innovationen im Energie- und Verkehrsbereich werden gesellschaftliche Fragestellung und wissenschaftliche Grundlagen für politische Planungsprozesse präsentiert. Der **BLUE GLOBE REPORT** wird der interessierten Öffentlichkeit über die Homepage www.klimafonds.gv.at zugänglich gemacht und lädt zur kritischen Diskussion ein.

Der vorliegende Bericht dokumentiert die Ergebnisse eines Projekts aus dem Forschungs- und Technologieprogramm „Energie der Zukunft“. Mit diesem Programm verfolgt der Klima- und Energiefonds das Ziel, durch Innovationen und technischen Fortschritt den Übergang zu einem nachhaltigen Energiesystem voranzutreiben.

Wer die nachhaltige Zukunft mitgestalten will, ist bei uns richtig: Der Klima- und Energiefonds fördert innovative Lösungen für die Zukunft!

A handwritten signature in black ink, reading 'Theresia Vogel'.

Theresia Vogel
Geschäftsführerin, Klima- und Energiefonds

A handwritten signature in black ink, reading 'Ingmar Höbarth'.

Ingmar Höbarth
Geschäftsführer, Klima- und Energiefonds

Inhaltsverzeichnis

Kurzfassung.....	1
Summary	2
1 Einleitung	3
2 Ergebnisse und Schlussfolgerungen.....	14
3 Ausblick und Empfehlungen	15
4 Literaturverzeichnis.....	16
5 Anhang	17

Kurzfassung

Vor dem Hintergrund sich verknappender Ressourcen von fossilen Rohstoffen und dem zunehmenden Klimabewusstseins kommt es zu einer immer größer werdenden Nachfrage nach alternativen Energiequellen, welche neben der Unabhängigkeit von Öl- und Gasimporten auch Ressourcenschonung und eine Unterstützung der regionalen Forst- und Landwirtschaft mit sich bringen sollen. Eine besondere Bedeutung kommt alternativen Treibstoffen zu. Das vorliegende Projekt beschäftigt sich mit einem Verfahren, bei dem aus Biomasse über Flüssigphasenpyrolyse ein Produktöl erzeugt wird, das als flüssiger Energieträger direkt eingesetzt oder durch weiterführende Veredelung als Treibstoff verwendet werden kann. Das Hauptaugenmerk lag auf der Herstellung von Produktöl, das in der Erdölraffination nach dem Stand der Technik zu Dieselkraftstoff nach EN590 veredelt werden kann.

Im Rahmen dieses Projektes wurde der Weg der direkten Verflüssigung von Biomasse über eine drucklose Flüssigphasen-Pyrolyse eingeschlagen. Dabei wird zerkleinerte Biomasse unter Schutzatmosphäre in einem heißen Trägeröl (300-400°C) dispergiert und durch thermische Abbaureaktionen innerhalb von Minuten in niedermolekulare Verbindungen aufgespalten. Als Produkte entstehen brennbare Gase, eine wässrige Phase (inkl. Reaktionswasser), fester Kohlerückstand und ein dieselähnliches Produktöl. Auf Basis experimenteller Arbeiten konnten alle technischen Grundlagen für den Bau einer Pilotanlage erarbeitet werden. Die einzelnen Prozessschritte des Gesamtverfahrens wurden im Labormaßstab optimiert sowie im Technikumsmaßstab auf ihre Skalierbarkeit geprüft. Innerhalb von acht Arbeitspaketen wurden folgende Entwicklungsaufgaben erfolgreich abgeschlossen:

- (1) Thermische und mechanische Führung des Flüssigphasen-Pyrolysereaktors
- (2) Untersuchung der Reaktionskinetik und Optimierung der Prozessparameter
- (3) Hydrierung des Produktöles auf Normqualität EN590
- (4) Kontinuierliche Kohleabtrennung und Entölung
- (5) Vergasung der Kohle
- (6) Auswahl geeigneter Reinigungsschritte zur sicheren Kreislaufführung des Trägeröles sowie einer Aufwertung der flüssigen Produkte
- (7) Bewertung des Gesamtprozesses
- (8) Analyse der Verwertungsmöglichkeiten und Marktpotential sämtlicher Produkte sowie Planung einer Großanlage.

Durch intensive Kooperation mit der Technischen Universität Graz und dem Anlagenbauer BDI konnte in konsequenter Forschungs- und Entwicklungsarbeit die untersuchte Technik zur Pilotreife entwickelt und somit einen entscheidenden Schritt in Richtung Marktreife geführt werden. Das entwickelte Verfahren besitzt aufgrund seiner einfachen Grundoperationen und seiner moderaten Betriebsparameter – Atmosphären-Druck und Temperaturen unter 400°C – ein hohes Potential, auf wirtschaftlichem Weg einen wichtigen Beitrag zur zukünftigen nachhaltigen Energieversorgung mit flüssigen Energieträgern aus Agrarreststoffen zu leisten. Es trägt somit einerseits zur Reduktion von klimaschädlichen CO₂-Emissionen bei und erhöht andererseits die regionale Wertschöpfung und verringert darüber hinaus die Importabhängigkeit von Energie.

Summary

The demand of sustainable energy sources increases due to slender fossil fuel resources and the increasing climate awareness. Furthermore a reasonable handling of resources from agriculture and forestry is needed to reduce dependence on oil- and gas imports. Alternative fuels will hereby play a major role.

This project is focused on a process which converts biomass into a liquid energy carrier through liquid phase pyrolysis. The biomass can be converted into a product oil fraction that may be directly used as liquid energy carrier or can be upgraded to an alternative fuel. The main focus of attention was about producing pre-products for diesel fuel according to EN 590.

The project dealt with the liquefaction of biomass with a liquid phase pyrolysis system under atmospheric pressure. For this purpose chopped biogenic material is dispersed in hot heat carrier oil (300-400°C). Due to thermal cracking reactions the biomass is decomposed within minutes into low-molecular substances. Thereby generated products are gas, an aqueous phase (including the reaction water), a solid char and a high quality hydrocarbon based oil phase.

Furthermore development and construction of a pilot scale plant is target of the last project phase. The technical knowledge for the construction of a pilot scale plant have to be elaborated. Therefore the crucial process steps for an industrial scale pilot plant have to be verified. In addition, the process parameters are optimized in lab scale. The main tasks of investigations are:

1. Thermal and mechanical operation of the liquid phase pyrolysis reactor
2. Investigation of reaction kinetics and optimization of process parameters
3. Hydrogenation of pyrolysis condensate and carrier oil
4. Continuous coal separation and oil removal
5. Coal gasification
6. Selection of practical refining steps
7. Evaluation of the process
8. Evaluation of possible utilization of all products / market and substitution potentials and design of a industrial scale plant.

An intensive cooperation between the University of Technology in Graz and Lignosol, BDI – an industrial specialist for building tailor-made turn-key plants has been established. The simple plant design and the moderate operation conditions have a high potential to provide an important contribution to future sustainable energy supply by the production of liquefied fuels from agricultural residues. This technique has an enormous potential, because of its simple basic actuation and the moderate operation factors like atmospheric pressure and a temperature less than 400°C, so an important contribution for sustainability with liquefied energy will be given. The process contributes positively to the reduction of CO₂ emissions. Finally a broad range of application will reduce the dependence on energy imports.

1 Einleitung

Das Hauptziel des Projektes LAB4BtL war die Entwicklung eines kostengünstigen Verfahrens zur Herstellung von flüssigen Energieträgern aus fester Biomasse. Es wurde der Weg der direkten Verflüssigung von Biomasse über eine Flüssigphasen-Pyrolyse eingeschlagen. Dabei wird zerkleinerte Biomasse unter Schutzatmosphäre in einem heißen Trägeröl (300-400°C) dispergiert und durch Radikalreaktionen innerhalb von Minuten in niedermolekulare Kohlenwasserstoffe aufgespalten, die den Reaktor dampfförmig verlassen und zu einer ölartigen Flüssigphase kondensiert werden können. Als weitere Produkte entstehen brennbare Gase, Reaktionswasser bzw. wässrige Phase und als fester Rückstand Kohle. Im Zuge des Projektes wurden auf Basis experimenteller Arbeiten die technischen Grundlagen für den Bau einer Pilotanlage geschaffen werden. Die Machbarkeit der einzelnen Prozessschritte des Gesamtverfahrens wurde im Technikumsmaßstab geprüft und gegebenenfalls optimiert.

Im Projekt wurden folgende grundlegende Entwicklungsaufgaben definiert:

- (1) Thermische und mechanische Führung des Flüssigphasen-Pyrolysereaktors
- (2) Untersuchung der Reaktionskinetik und Optimierung der Prozessparameter
- (3) Hydrierung des Träger- und Produktöles
- (4) Kontinuierliche Kohleabtrennung und Entölung
- (5) Vergasung der Kohle
- (6) Auswahl geeigneter Produktraffinationsschritte
- (7) Beurteilung des Gesamtprozesses
- (8) Analyse der Verwertungsmöglichkeiten und Marktpotentiale sämtlicher Produkte sowie Planung einer Industrieanlage

Als oberstes Projektziel wurde die Herstellung eines dieselähnlichen Kraftstoffes gesehen, der die derzeit gültigen Treibstoffnorm EN590 weitgehend erfüllt. Als weiteres wichtiges Projektziel im Hinblick auf eine erfolgreiche Überführung zur Marktreife wurde die Entwicklung und Planung einer Pilotanlage im letzten Projektabschnitt definiert.

Das Projekt gliedert sich in zwei Projektabschnitte – die industrielle Forschung (Teil A) sowie die experimentelle Entwicklung (Teil B) – auf. Im Zuge der industriellen Forschung (Teil A) wurden über einen experimentellen Ansatz die technischen Erfahrungen und Kennzahlen für die Entwicklung der Pilotanlage in Teil B gesammelt. Die Aufgaben wurden innerhalb von 8 Arbeitspaketen bearbeitet, die im Wesentlichen obiger Aufgliederung der Zielsetzungen entsprechen. Neben dem Antragsteller Fa. Lignosol bearbeiteten die Projektpartner BioDiesel International AG (BDI) sowie das Institut für Thermische Verfahrens- und Umwelttechnik (TVTUT) der Technischen Universität Graz die einzelnen Aufgabenstellungen.

Innerhalb der Arbeitspakete AP 1 und AP 2 wurden die Grundlagen der Flüssigphasen-Pyrolyse zur Umsetzung fester Biomasse zu flüssigen Energieträgern zeitgleich im Labor- und Technikumsmaßstab bearbeitet. Im Versuchsbetrieb der Technikumsanlage wurden dabei sämtliche

Produkte der Verölung aus unterschiedlichen Biomassen hergestellt, um ausreichende Mengen für weiterführende Versuche wie eine Hydrierung auf Dieselqualität (AP 3), eine Abtrennung der Kohle aus dem Trägeröl (AP 4), die Kohlevergasung (AP 5) oder eine Aufreinigung der Produktöle (AP 6) zu haben. Ergänzend wurden reologische Versuche zum Förder- und Abtrennungsverhalten der Feststoff-Öl Dispersion durchgeführt. Gleichzeitig wurden mit der Laboranlage einerseits die Grundlagen der Flüssigphasen-Pyrolyse genauer beleuchtet und andererseits die Optimierung der Betriebsparameter für die Technikumsanlage durchgeführt. Versuchsreihen zur Optimierung der Prozessparameter ließen sich somit zügig in der Laboranlage erproben und konnten anschließend in der Technikumsanlage mit wenigen Versuchen verifiziert werden.

Innerhalb der Arbeitspakete AP 7 und AP 8 wurden die gewonnenen Versuchsdaten in ein Verfahrenskonzept umgelegt, Stoff- und Energiebilanzen geschlossen, eine Prozessbewertung hinsichtlich technischer wie wirtschaftlicher Punkte durchgeführt, eine Marktstudie zu Vorkommen und Preisen der relevanten Edukte und Produkte erstellt, sowie abschließend eine Pilotanlage ausgelegt.

1. Inhaltliche Darstellung

Wie geplant konnte eine Technikumsanlage entworfen, umgesetzt und erfolgreich betrieben werden. Abbildung 1 zeigt ein 3D-Modell sowie ein Foto der Anlage, die in Containergröße errichtet und am Standort der PDC in Grambach/Graz betrieben wurde.

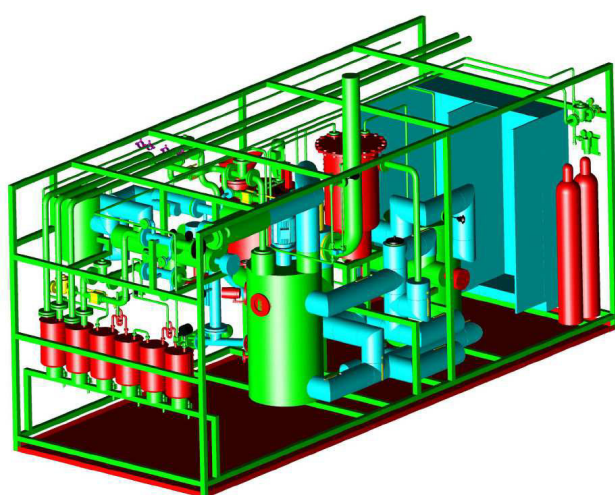


Abbildung 1: 3D-CAD-Modell der Technikumsanlage (links) und Foto der fertigen Anlage (rechts). Die Anlage zeichnet sich durch folgende Eckdaten aus (Tabelle 1):

Benennung	Parameter
Betriebsweise:	Kont. Zufuhr/Abfuhr mit Vorlagen im Batch
Reaktorinhalt:	max. 150 kg
Biomasse-Feed:	2,5 kg/h bis 6 kg/h
Produktmengen:	10-50 kg/Versuch (flüssig/fest/gasförmig)

Tabelle 1: Eckdaten der LAB4BtL Technikumsanlage.

Zusätzlich zu den geplanten Versuchsfahrten mit unterschiedlichen Trägerölen und Biomassen im Batch-Betrieb konnten auch Langzeitversuche mit Holz und Stroh erfolgreich gefahren werden. Möglich wurde dies durch den wiederholten Einsatz von gebrauchtem Trägeröl in quasi-kontinuierlichen Wiederholungsversuchen. Es traten dabei keine Eindickungen oder steigende/fallende Trends bei den verfahrensbestimmenden Parametern auf. Somit konnte die Betriebbarkeit der Anlage innerhalb der untersuchten Parameter bestätigt werden.

Als wohl wichtigste Einflussgröße der Flüssigphasen-Pyrolyse konnte die Temperatur identifiziert werden. Mit zunehmender Temperatur nimmt die gebildete Menge an Kohle zugunsten von CHO-Produkten und Gas ab (Abbildung 2). Des Weiteren ist zu erkennen, dass die Bildung des Reaktionswassers ein Maximum durchläuft. Aus den Ergebnissen kann gefolgert werden, dass eine Erhöhung der Versuchstemperatur eine Erhöhung der Ausbeute an flüssigen Produkten mit sich bringt [1]. Die mögliche Reaktionstemperatur ist jedoch durch den experimentellen Aufbau und die thermische Stabilität des Trägeröls nach oben eingeschränkt. Es gilt somit ein Optimum zwischen Produktausbeute und Trägerölstabilität auszunutzen.

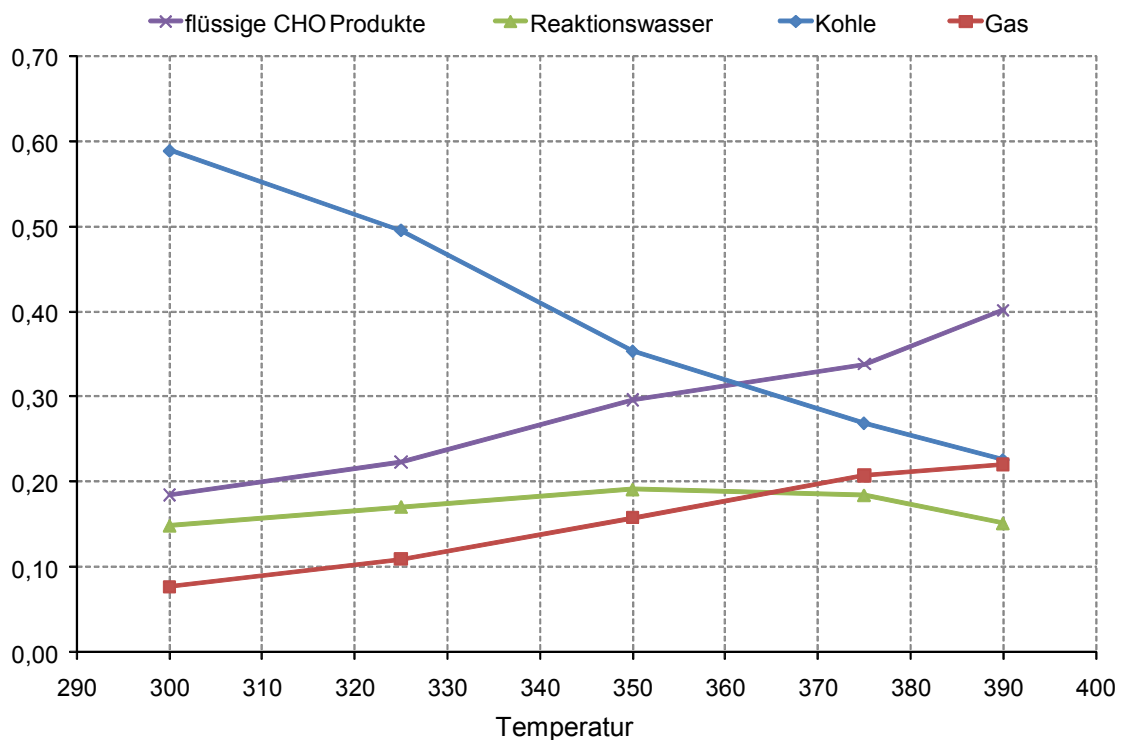


Abbildung 2: Einfluss der Temperatur auf das Produktspektrum (Lab 1, Holz/C23).

Eine Bewertung der Stoff- und Energiebilanzen bestätigte den oben beschriebenen Trend der mit der Temperatur steigenden Verflüssigungsrate. Abbildung 3 zeigt beispielhaft das Ergebnis aus einem optimierten Laborversuch bei erhöhter Temperatur. Aufgrund der höheren Temperatur konnte der Umsatz zu flüssigen CHO-Produkten deutlich gesteigert werden und erreichte, bezogen auf die eingesetzte Energie der Biomasse, einen Umsatz von 47%.

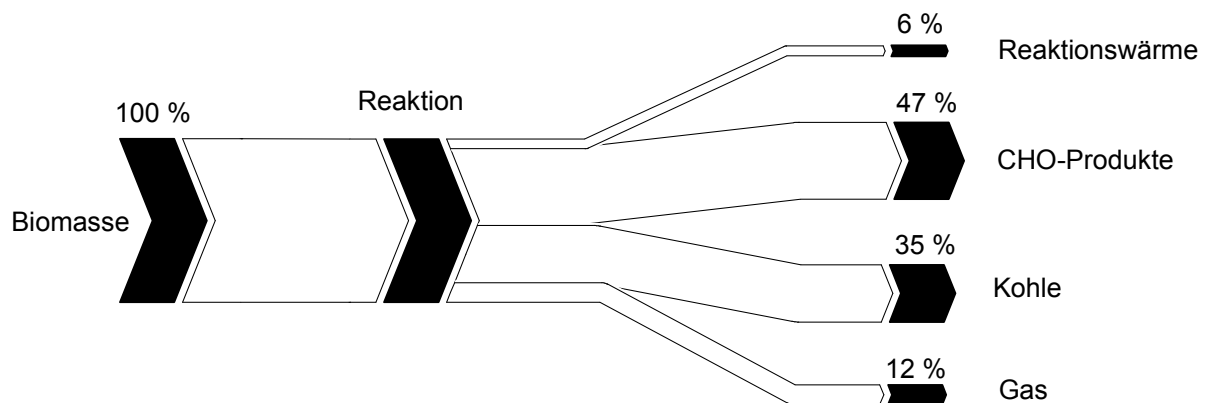


Abbildung 3: Energieaufteilung der Produkte bezogen auf die eingesetzte Biomasse (Lab 1, HOLZ/C23)

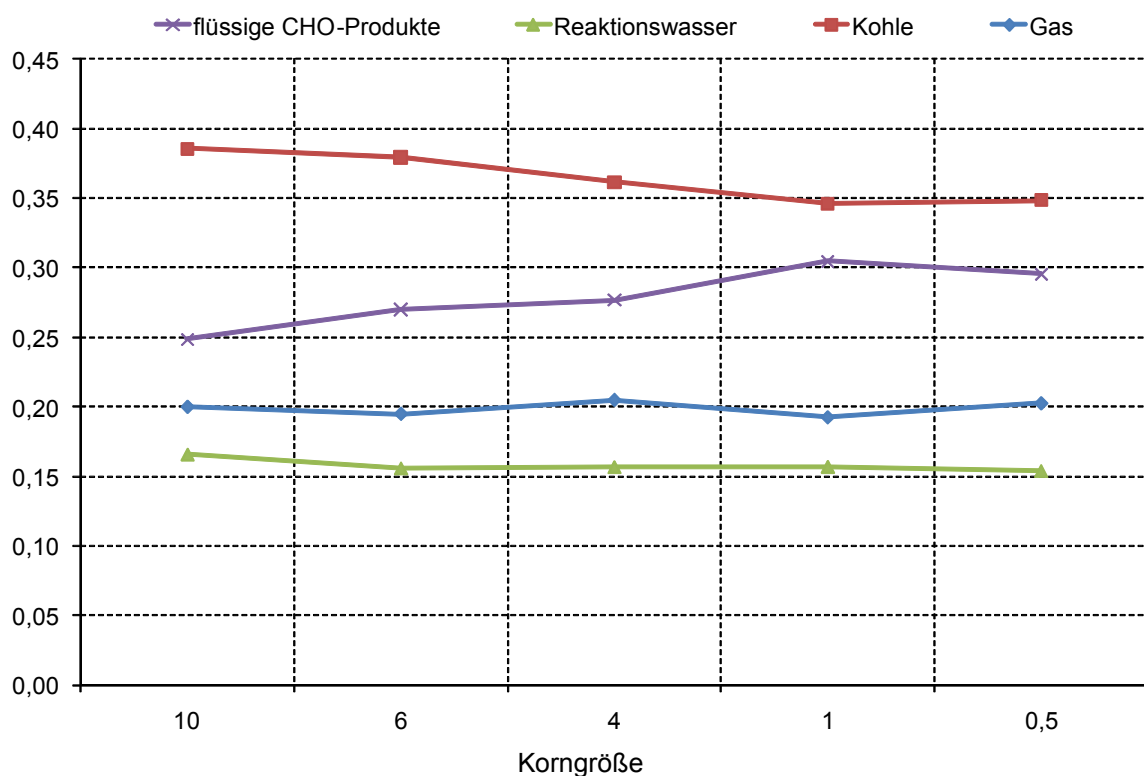


Abbildung 4: Einfluss der Korngröße auf die Produktverteilung (Lab 2, Holz/C23).

Ein großer Vorteil der Flüssigphasen-Pyrolyse ist der sehr gute Wärmeübergang, welcher durch das flüssige Trägeröl gewährleistet ist. Abbildung 4 zeigt, dass der Einfluss der Korngröße auf die Produktverteilung äußerst gering ist. Es ist innerhalb des untersuchten Bereiches nur eine leichte Erhöhung der Umsetzung zu flüssigen CHO-Produkten auf Kosten der Kohle zu erkennen [2]. In diesem Sinne ist der mechanische Aufwand der Zerkleinerung einer nur leicht erhöhten Ausbeute an flüssigen Produkten kritisch gegenüberzustellen.

Neben der Kenntnis der Einflussgrößen ist die Kenntnis des zeitlichen Verlaufes der Produktbildung – die sogenannte Reaktionskinetik – ein entscheidender Faktor für die Beherrschbarkeit des Prozesses.

In ausführlichen Versuchsreihen im Labormaßstab konnten sowohl die wichtigsten Reaktionspfade als auch die zu Grunde liegende Summenkinetik der Produkte bestimmt werden[3].

Neben dem Hauptprozess der Flüssigphasenpyrolyse sind zahlreiche weitere Prozessschritte notwendig, um auf die gewünschten Endprodukte und die erforderliche Qualität zu kommen. Das Blockschema in Abbildung 5 zeigt die Verknüpfung der einzelnen Prozessschritte im LAB4BtL Prozess. Die für die Umsetzung wichtigsten Schritte – wie etwa die Entölung, Hydrierung, Vergasung und Destillation wurden im Zuge des Projektes experimentell erfolgreich geprüft und deren Produkte hinsichtlich ihrer Qualität bewertet.

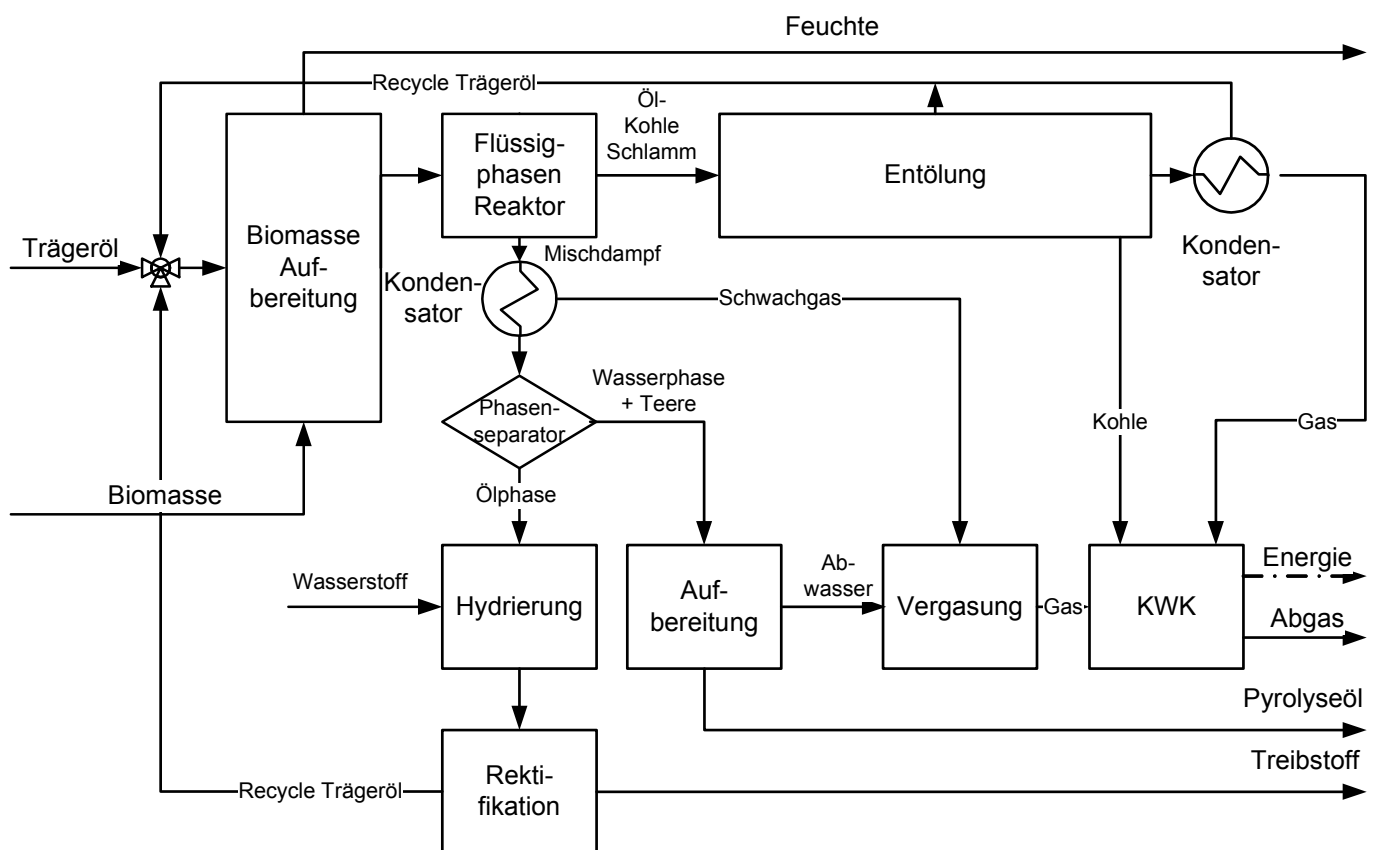


Abbildung 5: Blockschema der LAB4BtL Anlage

Die Abtrennung der festen Rückstände – zusammengefasst unter dem Begriff „Kohle“ – vom flüssigen Trägeröl ist der entscheidende Schritt zur Aufrechterhaltung eines stabilen kontinuierlichen Betriebes. Das Trennkonzept besteht im Wesentlichen aus einer optimierten Kombination einer mechanischen und einer thermischen Entölung. Aus diesem Konzept ergibt sich als entscheidender Vorteil, dass ein Großteil des heißen Trägeröls mit nur geringen Wärmeverlusten wieder in den Hochtemperaturteil der Anlage zurückgeführt werden kann. Die entölte Kohle wurde in Folge in einem Zyklonvergaser umgesetzt, wo eine prinzipielle Vergasbarkeit der Kohlen aus Stroh und Holz festgestellt wurde.

Als flüssige Hauptprodukte der Flüssigphasenpyrolyse fallen kondensiertes Produktöl und Reaktionswasser an. Diese beiden Phasen können mechanisch voneinander ausreichend gut getrennt werden. Zur Minimierung des Sauerstoffgehaltes und Anhebung der Qualität der öligen Produkte auf ein gefordertes Mindestmaß ist eine katalytische Hydrierung der öligen Phase notwendig. Die dazu notwendigen Praxisversuche konnten erfolgreich bei erfahrenen Unternehmen durchgeführt werden. Unter nur leicht verschärften Betriebsbedingungen der Hydrieranlage konnte ein spezifikationsgerechtes Produkt hergestellt werden. Tabelle 2 fasst die wichtigsten Kennzahlen des unhydrierten bzw. hydrierten Produktes zusammen.

Parameter	Unhydriertes POL V141x	Hydriertes POL V141x	Norm EN 590
Dichte (15°C)	868 kg/m ³	833 kg/m ³	820 - 845 kg/m ³
Viskosität (40°C)	2,53 mm ² /s	n.a.	2 - 4,5 mm ² /s
Cetanzahl	44	53	> 51
Flüchtige <350°C	83,1 % (m/m)	85,5% (m/m)	> 85 % (v/v)
Schwefel	177 mg/kg	3 mg/kg	< 10 mg/kg
C/H/O	85/12,6/2,4 % (m/m)	85,9/13,5/0	n.a.
Bromzahl	19,3 g Br/100g	<0,5 g Br/100g	n.a.

Tabelle 2: Vergleich der wichtigsten Kennzahlen für das Produktöl POL V141x vor bzw. nach der Hydrierung mit den Anforderungen der Dieselmotorenstoffnorm EN590 [4].

Zur Aufreinigung der produzierten Ölphase wurden unterschiedliche Destillationskonzepte geprüft und ein optimales Destillationskonzept ausgearbeitet. In ausführlichen Versuchsreihen mit realem Mischöl als Holz bzw. Stroh konnten erfolgreiche Versuche in einer entsprechenden Labor bzw. Technikumsanlage gefahren werden. Unter dem Arbeitspaket Produktreinigung wurden aber auch Versuche zur Vorbehandlung der Biomasse vor Eintritt in den Reaktor durchgeführt. Hauptzweck der Versuche war die mechanische Entölung der heißen, ölgetränkten und getrockneten Biomasse. Die Notwendigkeit der Entölung ergab sich aus Überlegungen zu Energieoptimierung, da jedes Kilogramm mitgeschlepptes Trägeröl im Folgeschritt unnötig auf Reaktionstemperatur gebracht werden muss. Nach einigen Versuchen konnten zwei geeignete Lieferanten für ein derartiges System gefunden werden.

Ein weiterer wichtiger Forschungsschwerpunkt war die Aufbereitung der anfallenden wässrigen Phase, welche einen nicht unerheblichen Teil des biogenen Kohlenstoffs der umgesetzten Biomasse enthält. Ziel war eine Abtrennung des Wassers – ggf. auch der Säuren – von der verbleibenden kohlenstoffreichen Fraktion, die allgemein als Pyrolyseöl bezeichnet wird. Unterschiedliche Aufbereitungsmethoden wurden dazu überprüft. Zusammengefasst kann gesagt werden, dass eine klassische Destillation bereits sehr zufriedenstellende Ergebnisse lieferte. Sehr vielversprechend

verliefen auch die Versuche der weiteren aeroben Abwasserbehandlung. Es wurde – nach vorausgehenden intensiven Studien im Batch-Betrieb – einem kontinuierlich arbeitenden Biogasreaktor im Labormaßstab der wasserreiche Destillatrückstand zugeführt. In Summe konnte eine Umsatzrate des zugeführten Kohlenstoffs zu Biogas in der Größenordnung von etwa 65% erreicht werden. Folglich kann festgehalten werden, dass eine Verwertung der Wasserphase durch destillative Trennung in Pyrolyseöl und Abwasser möglich ist. Letzteres kann in einer Biogasanlage verwertet werden.

Die technische Machbarkeit des Prozesses wurde sorgfältig durch experimentelle Bestätigung aller kritischen Schritte im Technikumsmaßstab geprüft und kann als gegeben angesehen werden. Auch eine wirtschaftliche Beurteilung des Gesamtverfahrens wurde im Rahmen einer Wirtschaftlichkeitsstudie durchgeführt. Die errechneten Produktionskosten je Liter Rohdiesel beliefen sich laut dieser Studie auf etwa 0,42 Cent und sind damit mit jenem von konventionellem Diesel vergleichbar. Bei der Berechnung wurden keinerlei steuerliche Begünstigungen berücksichtigt. Der Schlüssel zum wirtschaftlichen Erfolg liegt einerseits in relativ geringen Anlagenkosten und andererseits in der „Polygeneration“, also der gleichzeitigen Verwertung der anfallenden Produkte wie Rohdiesel, Pyrolyseöl, elektrischer Energie und Wärme. Kostenbestimmend sind die Rohstoffkosten von Biomasse und Trägeröl sowie die Kosten für Energie und Hydrierung (vgl. Abbildung 6).

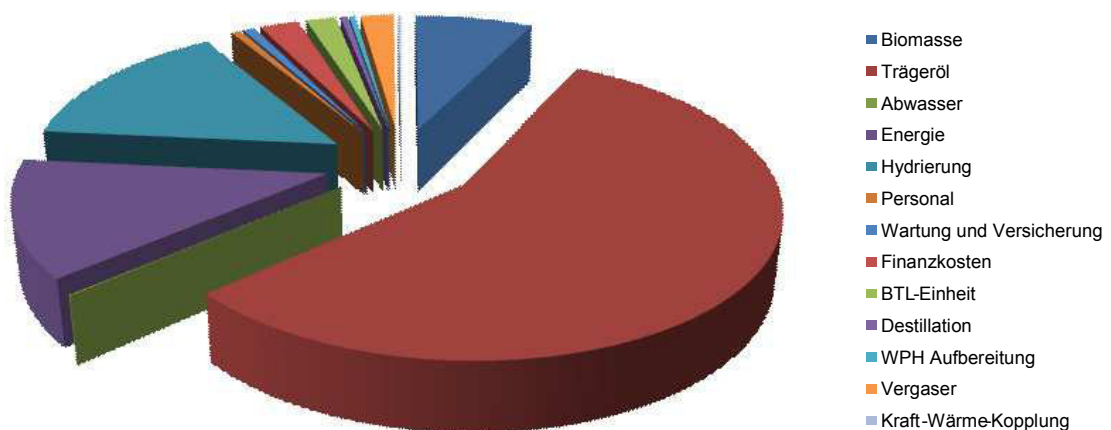


Abbildung 6: Kostenstruktur des betrachteten Fallbeispiels einer LAB4BtL Anlage.

Auch das Potential der Einsparung von Treibhausgasen (Greenhouse Gas Emissions, GHG) wurde in einer separaten internen Studie abgeschätzt. Im Vergleich zum Standard-Raffinerieprozess konnte ein GHG Einsparungspotential von 55-90% ermittelt werden.

Aufbauend auf den Erkenntnissen der vorangegangenen Arbeitspakete wurde im Projektteil B eine Industrieanlage für die Umsetzung von 100.000 Jahrestonnen trockener Biomasse ausgelegt und im Sinne einer Designstudie durchgeplant. Abbildung 7 gibt als Layout einen Überblick über die umgesetzten Prozessschritte und deren Aufstellung. Wie in der Wirtschaftlichkeitsstudie beschrieben, wurde bei der Umsetzung der Weg der Polygeneration – also der Erzeugung von flüssigen Energieträgern, Strom und Wärme – eingeschlagen. Das Produktöl wird in dieser Studie am Standort hydriert und als fertiger normgerechter Treibstoff verwertet. Die anfallende Restkohle wird vergast und das produzierte Gas in Folge in einer Gasturbine verstromt. Durch eine Kraft-Wärme Kopplung wird einerseits der interne Wärmebedarf gedeckt und andererseits der Wirkungsgrad der Umsetzung erhöht. Abbildung 8 zeigt eine perspektivische 3D-Ansichten der Anlage von der Seite der Biomasseanlieferung und führt so eindrucksvoll vor Augen, dass die eigentliche Anlage nur einen Bruchteil der benötigten Fläche einnimmt. Eine nicht zu unterschätzende Herausforderung ist durch den Antransport, die Zerkleinerung, die Lagerung und die Aufbereitung der benötigten Biomasse gegeben. Umso wichtiger für eine erfolgreiche Umsetzung von BtL-Verfahren ist es folglich, bereits mit verhältnismäßig kleinen Durchsätzen wirtschaftlich erfolgreich arbeiten zu können. Dieser Punkt ist durch den Einsatz der Flüssigphasenpyrolyse durchaus gegeben.

Abgerundet wird die Gesamtbeurteilung durch eine extern in Auftrag gegebene Marktstudie, die im Rahmen einer Diplomarbeit am Institut für Betriebswirtschaftslehre der Technischen Universität Graz abgearbeitet wurde [5]. Demnach ist eine notwendige Voraussetzung für die Realisierung des vorliegenden Verfahrens im großtechnischen Maßstab, dass die Verfügbarkeit der notwendigen Rohstoffe im Nahebereich der Anlage gegeben ist. Der Standortwahl kommt eine große Bedeutung zu, um die Transportwege und -kosten zu minimieren. Die innerhalb der Studie gefundenen Biomassemengen in Europa zeigen, dass ausreichend geeignete Standorte gefunden werden können. Speziell Stroh erscheint dabei als interessanter Rohstoff, da es in großen Mengen verfügbar ist (Abbildung 9) und nur wenige alternative energietechnische Optionen in der Verwertung aufweist. Eine weitere wichtige Erkenntnis der Marktanalyse ist, dass geeignete Trägeröle an den internationalen Ölmärkten frei gehandelt werden. Das erweitert den Kreis der potentiellen Anlagenbetreiber erheblich, da somit alle prozessnotwendigen Einsatzstoffe für jeden Investor frei zugänglich sind. Neben Raffinerie-Betreibern als Hauptinteressenten an diesem Verfahren eröffnen sich für jene Industriezweige neue Verwertungsmöglichkeiten, in denen Biomasse zum Einsatz kommt. Große Sägewerke, Produzenten von Holzwerkstoffen oder Getreideproduzenten seien hier erwähnt.

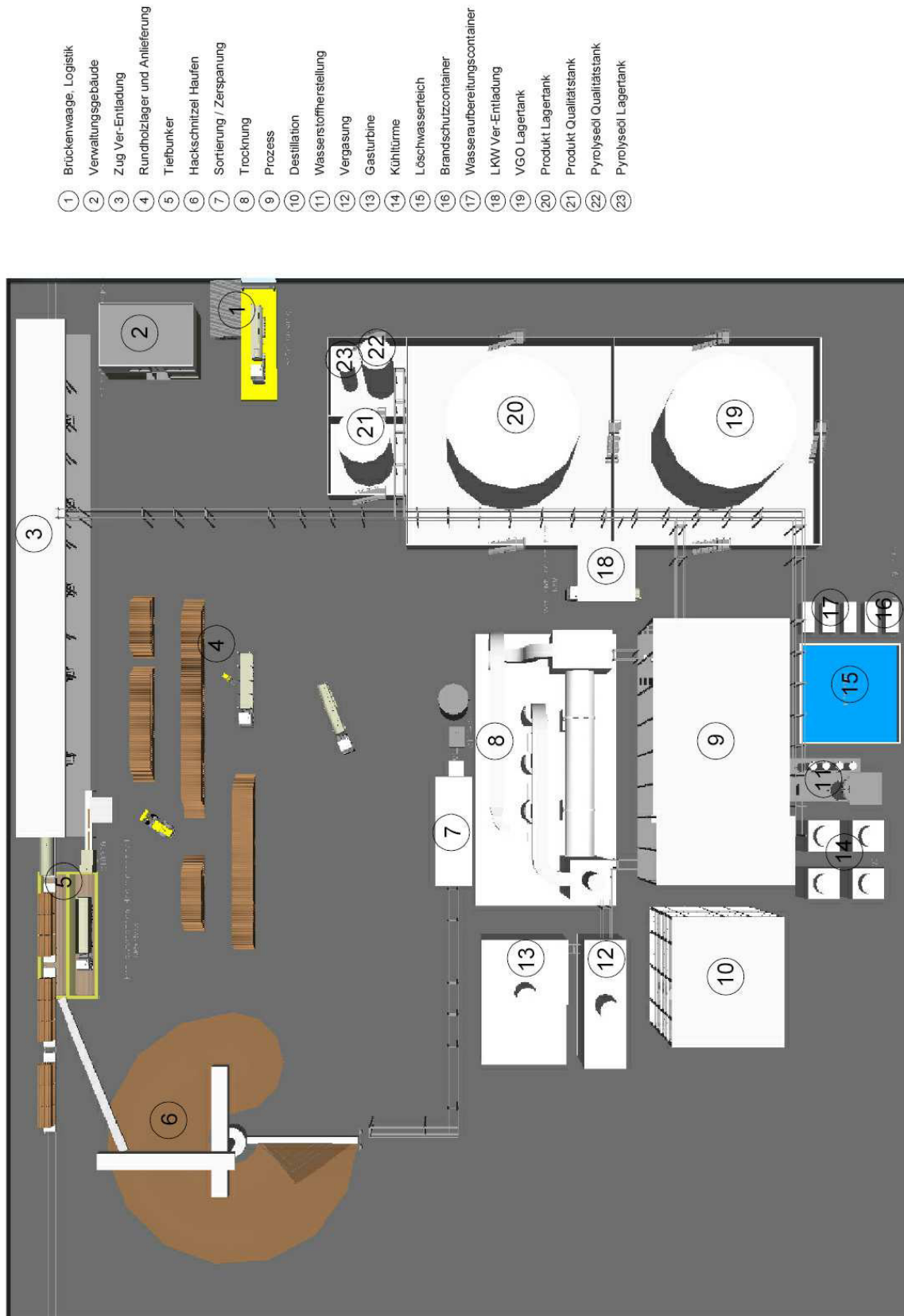


Abbildung 7: Layout der LAB4BtL Industrieanlage.

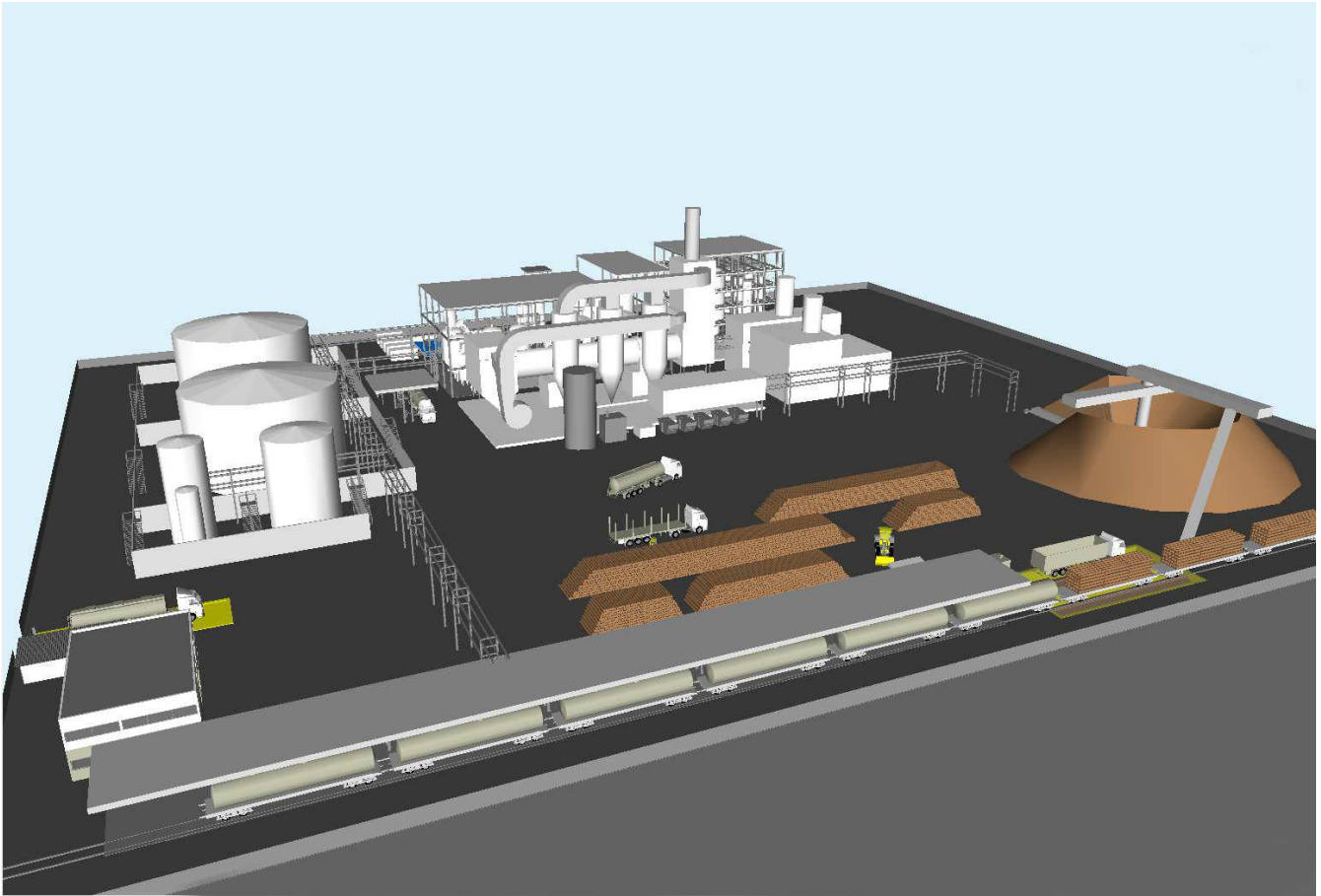


Abbildung 8: 3D Ansicht auf Holzplatz, Rohstoffanlieferung und Tanklager (von rechts nach links).

Bei der Realisierung einer Industrieanlage sollte die Verwertung der Koppelprodukte Pyrolysekohle und Pyrolyseöl in einer Kraft-Wärme-Kopplung bevorzugt werden, da diese eine Variante mit geringem Risiko darstellt und aus technischer Sicht jedenfalls machbar erscheint. Ein Verkauf von Pyrolysekohle und Pyrolyseöl als Ersatzbrennstoff an die Zementindustrie oder Kraftwerksbetreiber stellt eine weitere Option dar. Abbildung 10 zeigt den zu erwartenden Preis für Pyrolyseöl, wenn von einer thermischen Verwertung ausgegangen wird. Derzeit konnte für Pyrolyseöl aber noch kein großer bestehender Markt gefunden werden. Die in einer zukünftigen Pilotanlage mit kontinuierlicher Prozessführung gewonnenen Daten über Pyrolysekohle und Pyrolyseöl müssen als Grundlage für eine gezielte Überprüfung der Verwertungsoptionen eingesetzt werden.

Obwohl es seit Jahrzehnten intensive Forschungen auf dem Gebiet alternativer Antriebssysteme für Kraftfahrzeuge gibt, ist derzeit noch keine konkurrenzfähige Technologie vorhanden, die die etablierten Verbrennungskraftmaschinen auf kurze Sicht ersetzen könnte. Daher ist mittelfristig nicht mit einem Absatzproblem für Dieselmotoren zu rechnen. Die EU fordert seit einigen Jahren einen verpflichtenden Anteil an biogenen Komponenten in den Treibstoffen und dieser soll bis zum Jahr 2020 auf 10% erhöht werden. Damit unterstützt das hier betrachtete Verfahren die Strategie der EU und kann einen bedeutenden Beitrag leisten, um die geforderte Quote zu erfüllen.

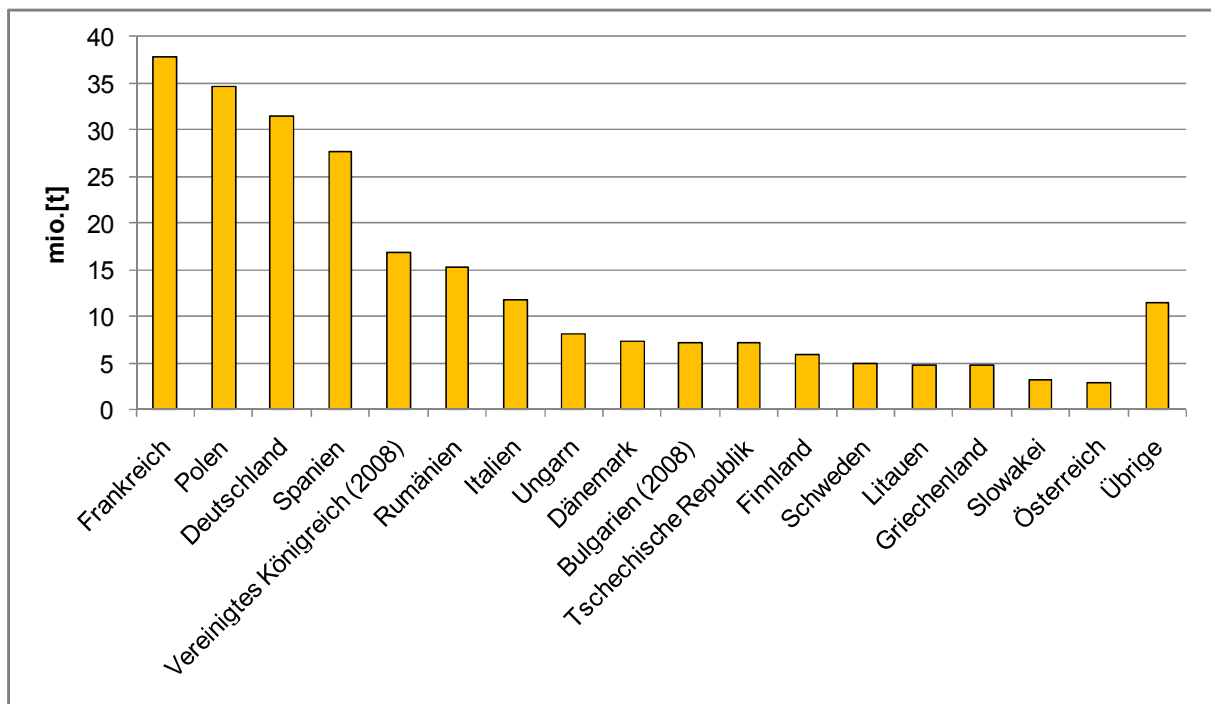


Abbildung 9: Jährliche Strohmenen in der EU 2009 in Millionen Tonnen¹

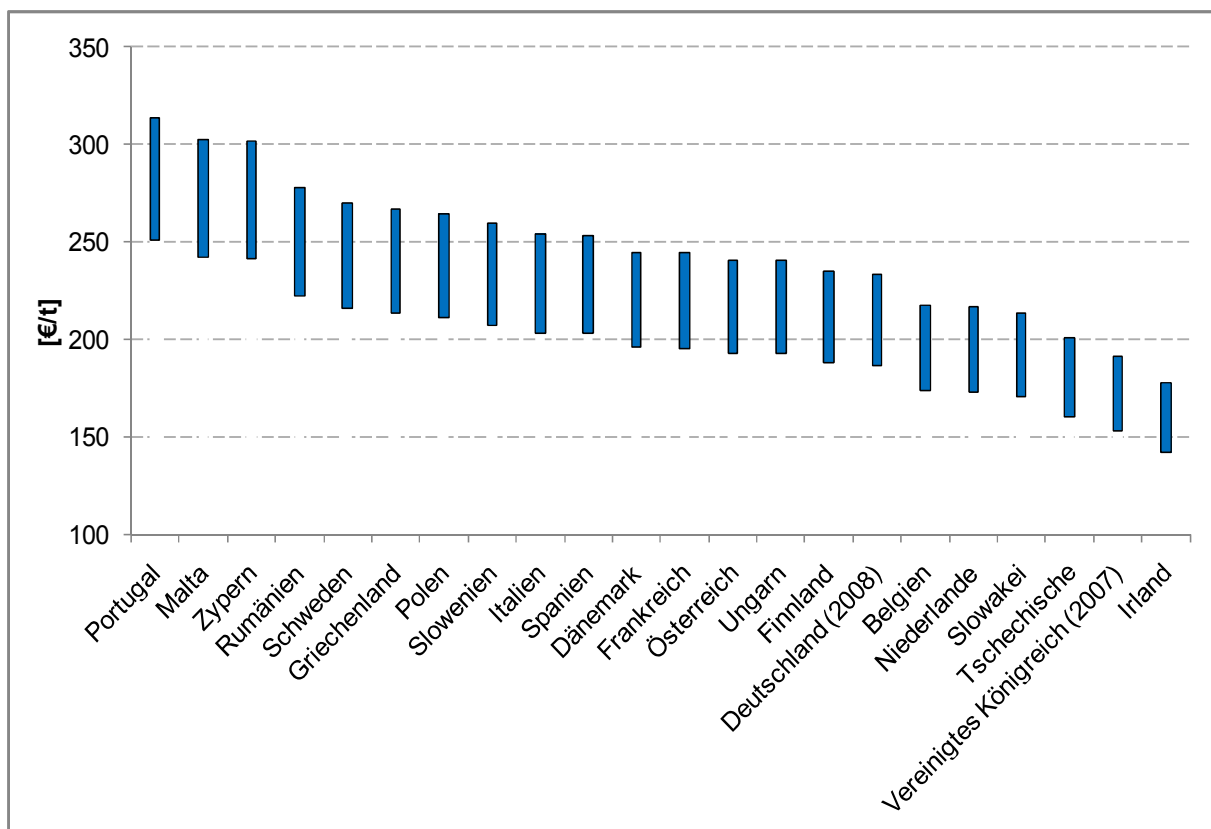


Abbildung 10: Preisband Pyrolyseöl bei thermischer Verwertung²

¹ Daten: EUROSTAT; Darstellung: eigene

² Daten: Europäische Kommission, Darstellung: eigene

2 Ergebnisse und Schlussfolgerungen

Durch intensive Kooperation des Antragstellers Lignosol mit der Technischen Universität Graz und dem Anlagenbauer BDI konnte in konsequenter Forschungs- und Entwicklungsarbeit die untersuchte Technik zur Pilotreife entwickelt und einen entscheidenden Schritt in Richtung der Marktreife gebracht werden.

Durch Versuche in einer selbst entwickelten Technikumsanlage für die Umsetzung von bis zu 6 kg/h fester Biomasse konnte umfangreiches ingenieurtechnisches Wissen zu Gestaltung und Betrieb einer Anlage für die Flüssigphasenpyrolyse erworben werden. Eine sichere Betreibbarkeit der Anlage konnte in Versuchsreihen mit wiederholtem Einsatz von gebrauchten, aufgereinigtem Trägeröl gezeigt werden. Sämtliche wichtige Prozessschritte wurden innerhalb des Konsortiums bzw. mit externen Partnern durch Versuche im Technikumsmaßstab geprüft und bestätigt. Es konnte gezeigt werden, dass das produzierte Produktöl der Flüssigphasenpyrolyse mit bestehenden Methoden aus der Mineralölverarbeitung auf den derzeit gelten Standard für Dieselkraftstoff (EN590) aufgewertet werden kann.

Im Zuge der wissenschaftlichen Begleitung des Projektes konnten die Reaktionspfade und die Reaktionskinetik erarbeitet und durch thermodynamische Betrachtungen untermauert werden. Sämtliche wichtige Einflussgrößen wie Temperatur, Partikelgröße und Zusammensetzung der Biomasse wurden dabei im Labormaßstab untersucht und die Ergebnisse in Dissertationen bzw. Diplomarbeiten dokumentiert.

Eine Betrachtung der Wirtschaftlichkeit des Prozesses ergab, dass mit normalpreisigen Rohstoffen bereits ab einer Anlagengröße von 100.000 Jahrestonnen Biomasseinsatz ein Treibstoff auf Kostenniveau von herkömmlichem Kraftstoff erzeugt werden kann. Wichtig ist dabei aber das Prinzip der Polygeneration, also der gleichzeitigen Verwertung von allen anfallenden Produkten z.B. durch Kombination mit einer Kraft-Wärme Kopplung. In einer Marktstudie konnte gezeigt werden, dass für die geplante Größenordnung ausreichend Ressourcen vorhanden sind, die nötigen Edukte am freien Markt erhältlich sind, und die anfallenden Produkte konventionelle Produkte am Markt substituieren können. Abgerundet wurde das Projekt durch die Planung einer Anlage im Industriemaßstab, die vor allem den nicht zu unterschätzenden logistischen Aufwand der Biomasseversorgung aufzeigte.

Das entwickelte Verfahren besitzt aufgrund seiner einfachen Grundoperationen und seiner moderaten Betriebsparameter ein hohes Potential, auf wirtschaftlichem Weg einen wichtigen Beitrag zur zukünftigen nachhaltigen Energieversorgung mit flüssigen Energieträgern aus Agrarreststoffen der Region zu leisten. Es trägt somit einerseits zur Reduktion von klimaschädlichen CO₂-Emissionen bei und erhöht andererseits die regionale Wertschöpfung und verringert darüber hinaus die Importabhängigkeit von Energie in Europa.

3 Ausblick und Empfehlungen

Die positiven Ergebnisse zur Umsetzung von fester Biomasse zu flüssigen Energieträgern mittels der Flüssigphasenpyrolyse motivieren auf jeden Fall zu einer Weiterführung der Forschungs- und Entwicklungsarbeit in diesem Themengebiet. Oberstes Ziel ist dabei der Bau einer kontinuierlich arbeitenden Pilotanlage zur Sammlung wichtiger Erfahrungen und Betriebsparameter im Dauerbetrieb. Die daraus erhaltenen Daten und Erfahrungen sind für ein sicheres Scale-Up von einer Versuchsanlage auf eine Industrieanlage unerlässlich.

Die anfallende wässrige Phase enthält bedeutende Anteile an biogenem Kohlenstoff und kann zur Qualität von Pyrolyseöl aufbereitet werden. Grundlegende Vorarbeiten zur Aufbereitung in eine wasserreiche und eine wasserarme Fraktion wurden bereits im Rahmen des Projektes geleistet. Fortführende Arbeiten müssen nun an diese Ergebnisse anschließen und deren Umsetzung in eine verfahrenstechnische Anlage ermöglichen. Entscheidend sind in Folge weiterführende Untersuchungen der Verwertung von Pyrolyseöl z.B. in Verbrennungsanlagen oder Verbrennungskraftmaschinen.

Ein aktuell sehr wichtiges Thema ist die Herstellung von Biokohle durch Torrefaction oder hydrothermale Carbonisierung von fester Biomasse. Die erhaltene Kohle kann als CO₂-neutraler Brennstoff in bestehenden Kohlekraftwerken zugefeuert werden. Im Sinne einer verbesserten Wirtschaftlichkeit sollen zukünftig auch kostengünstige Methoden der Herstellung von Biokohle als Nebenprodukt des LAB4BtL Prozesses untersucht und getestet werden.

Eine andere Option der Verwertung der Kohle ist durch die weiterführende Umsetzung des festen Kohlerückstandes in flüssige Produkte gegeben. Ziel ist eine deutlich erhöhte Ausbeute an flüssigen Produkten, die mit konventionellen aliphatischen Kraftstoffen voll mischbar sind.

4 Literaturverzeichnis

- [1] V. Mertlitz, N. Schwaiger, E. Ahn, M. Siebenhofer, *Flüssigphasen-Pyrolyse biogener Edukte*, Chemie Ingenieur Technik 81 (2009), Nr. 8, S. 1050.
- [2] N. Schwaiger, V. Mertlitz, P. Pucher, E. Ahn, M. Siebenhofer, *Feste und flüssige Produkte der Flüssigphasenpyrolyse*. Chemie Ingenieur Technik 82 (2010), Nr. 9 1566.
- [3] V. Mertlitz, *Flüssigphasen Pyrolyse Biogener Edukte*, Dissertation Technische Universität Graz 2010
- [4] ÖNORM EN590, *Kraftstoffe für Kraftfahrzeuge - Dieselkraftstoff Anforderungen und Prüfverfahren*, Österreichisches Normungsinstitut 2004
- [5] G. Würcher, *Marktstudie für ein BtL Verfahren zur Herstellung von Biotreibstoffen der zweiten Generation*, Diplomarbeit Technische Universität Graz 2011 (in Ausarbeitung)

5 Anhang

Liste der schriftlichen Publikationen innerhalb des Projektes LAB4BtL:

Fachzeitschriften:

V. Mertlitz, N. Schwaiger, E. Ahn, M. Siebenhofer:

Flüssigphasen-Pyrolyse biogener Edukte. In: Chemie Ingenieur Technik 81 (2009), Nr. 8, S. 1050.

V. Mertlitz, N. Schwaiger, M. Siebenhofer:

Flüssigphasen-Pyrolyse biogener Edukte. In: Tagungshandbuch Jahrestreffen Reaktionstechnik (2010), S. 75.

V. Mertlitz, N. Schwaiger, M. Siebenhofer:

Thermische Biomassedegradation. In: Chemie Ingenieur Technik (2010).

N. Schwaiger, V. Mertlitz, P. Pucher, E. Ahn, M. Siebenhofer:

Feste und flüssige Produkte der Flüssigphasenpyrolyse. In: Chemie Ingenieur Technik (2010).

Konferenzbeiträge:

V. Mertlitz, N. Schwaiger, P. Pucher, M. Siebenhofer, E. Ahn:

Liquid Phase Pyrolysis of Biogenic Feedstock. In: AIChE Annual Meeting 2009, Conference proceedings (2009), CD.

N. Schwaiger, V. Mertlitz, P. Pucher, E. Ahn, M. Siebenhofer:

Liquid Products of Liquid-Phase Pyrolysis. In: AIChE Annual Meeting 2009, Conference proceedings (2009), CD.

V. Mertlitz, N. Schwaiger, P. Pucher, M. Siebenhofer, E. Ahn:

Process Design Data for Liquid Phase Pyrolysis of Biogenic Feedstock. In: AIChE Annual Meeting 2010, Conference proceedings (2010), CD.

N. Schwaiger, V. Mertlitz, P. Pucher, E. Ahn, M. Siebenhofer:

Liquid and Solid Products of Liquid-Phase Pyrolysis. In: AIChE Annual Meeting 2010, Conference proceedings (2010), CD.

Diplomarbeiten:

N. Schwaiger

Biomass to liquid Flüssigphasenpyrolyse, Technische Universität Graz 2008

A. Prettnner

Behandlung TOC beladener Abwässer durch Hydrophobierung, Technische Universität Graz (in Ausarbeitung)

G. Würcher

Marktstudie für ein BtL Verfahren zur Herstellung von Biotreibstoffen der zweiten Generation, Technische Universität Graz (in Ausarbeitung)

Dissertationen:

V. Mertlitz

Flüssigphasen Pyrolyse Biogener Edukte, Technische Universität Graz 2010

N. Schwaiger

Reaktionstechnische Optimierung der Flüssigphasenpyrolyse, Technische Universität Graz (in Ausarbeitung)

IMPRESSUM

Verfasser

Lignosol Technologie GmbH & Co KG

Mag. Hermann Schibranji
Parkring 18, 8074 Grambach
E-Mail: hermann.schibranji@lignosol.com

Projektpartner

P1: BDI – BioDiesel International AG
P2: Technische Universität Graz, Institut für
Thermische Verfahrenstechnik und
Umwelttechnik

Eigentümer, Herausgeber und Medieninhaber

Klima- und Energiefonds
Gumpendorfer Straße 5/22
1060 Wien
office@klimafonds.gv.at
www.klimafonds.gv.at

Disclaimer

Die Autoren tragen die alleinige
Verantwortung für den Inhalt dieses
Berichts. Er spiegelt nicht notwendigerweise
die Meinung des Klima- und Energiefonds
wider.

Der Klima- und Energiefonds ist nicht für die
Weiternutzung der hier enthaltenen
Informationen verantwortlich.

Gestaltung des Deckblattes

ZS communication + art GmbH