

Von der Biomasse zum Kraftstoff



CUTECH-INSTITUT GMBH



*From Biomass
to Fuel*

Von der Biomasse zum Kraftstoff



Kontakt / Contact:
 Dr.-Ing. Stefan Vodegel
 Tel. / Phone: +49 53 23 933-122
 E-Mail: stefan.vodegel@cutec.de

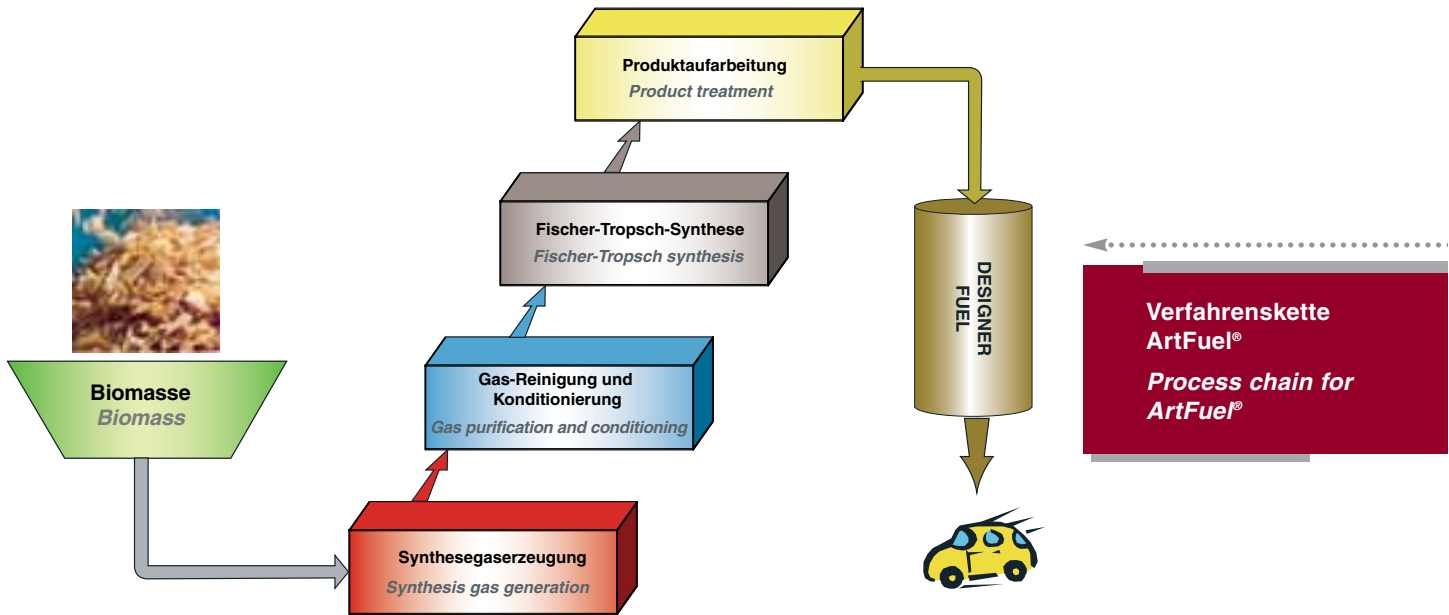
Bisher fahren unsere Autos mit Kraftstoffen, die aus fossilen Quellen stammen. Weil diese Bodenschätze endlich sind, werden nachwachsende Rohstoffe als zukünftige Energieträger immer interessanter. Eine nachhaltige Option besteht darin, Kraftstoffe aus Pflanzen zu erzeugen. Im Gegensatz zum bereits bekannten Biodiesel kann man bei dem neuen Verfahren die Ganzpflanze nutzen. Da der so erzeugte Kraftstoff aus nachwachsenden Pflanzen letztlich aus eingefangener Sonnenenergie besteht, nennt man den Kraftstoff Sunfuel und spricht von den bestellten Ackerflächen als den Ölfeldern der Zukunft.

Die Kette des in der CUTEC weiterentwickelten Verfahrens beginnt mit der thermischen Zerlegung der Kohlenwasserstoffe in ihre Grundbestandteile in einer zirkulierenden Wirbelschicht. Dort entsteht bei Temperaturen bis ca. 950° C unter Wasserdampfeintrag ein Gasgemisch, das vor allem die Komponenten Wasserstoff und Kohlenmonoxid beinhaltet und als Synthesegas bezeichnet wird. Im Anschluss an die Entstaubung und Entfernung von Begleitstoffen wie z. B. Schwefel- und Chlorverbindungen sowie metallischen Inhaltsstoffen gelangt das gereinigte Gas in die Fischer-Tropsch-Synthese. Es entstehen neue Kohlenwasserstofffraktionen wie Benzin, Diesel und höhere Kohlenwasserstoffe. Diese müssen in einem weiteren Prozessschritt noch zu gewünschten Produkten aufgearbeitet werden, so dass die Anforderungen moderner Hochleistungsmotoren erfüllt werden können.

From Biomass to Fuel

Our automobiles have traditionally been powered by fuels from fossil sources. Since natural resources of this kind are finite, however, regenerative raw materials are receiving increased attention as sources of energy in the future. A sustainable option is the synthesis of fuels from plants. In contrast to the bio-Diesel already known, the complete plant is utilised with the new method. The fuel thus synthesised is ultimately derived from solar energy which has been absorbed by photosynthesis in plants which regenerate themselves. Consequently, it is called SunFuel, and the fields where the plants have grown are designated as the "oil fields" of the future.

In the process which has been further developed at CUTEC, the chain begins with the thermal decomposition of hydrocarbons into their basic elements in a circulating fluidised bed reactor. A gas mixture whose main components are hydrogen and carbon monoxide is thus generated at temperatures up to about 950 °C with the addition of steam; this mixture is designated as synthesis gas. After the removal of dust and other contaminants, such as sulphur and chlorine compounds as well as metallic components, the purified gas is employed for the Fischer-Tropsch synthesis. New hydrocarbon fractions, such as gasoline/petrol, Diesel fuel, and higher-molecular hydrocarbons are thus produced. These must still be processed in a further step to yield the desired products for satisfying the requirements of modern high-performance engines.



Zur Motivation: warum beschäftigt sich CUTEC mit der Prozesskette?

Jeder der vier Prozessschritte ist für sich allein betrachtet bereits bekannt, jedoch nicht ihre Kombination in der dargestellten Prozesskette. Es zeigt sich hier, dass das Ganze mehr ist als die Summe seiner Teile. Auf dem Weg von der Biomasse zum Kraftstoff gilt es, nicht nur optimale Betriebsparameter für jeden einzelnen Prozessschritt zu ermitteln, sondern auch ein besonderes Augenmerk auf die Schnittstellen der Prozesskette zu richten. So zielen die zukünftigen Versuche bei CUTEC darauf ab, nicht die Summe der Einzeloptima zu finden, sondern das Optimum an energetischer Ausbeute des Gesamtprozesses. Ermittelt werden sollen die bestmöglichen Betriebsparameter für die Synthese von Kraftstoff aus Biomasse.



As to motivation: Why is CUTEC concerned with the process chain?

Each of the four process steps, considered alone, is already known; however, the new feature is the combination of these steps in the process chain just described. In this case, the whole proves to be more than the sum of its parts. On the way from biomass to fuel, special attention must also be paid to the interfaces in the process chain, in addition to the determination of the optimal operating parameters for each individual process step. Hence, the objective of future investigations at CUTEC is not detecting the sum of single optima but the optimum energetic yield of the whole process. The best operating parameters for the synthesis of fuel from biomass are to be identified.



Herstellung eines Synthesegases durch Vergasung von Biomasse

1. Prozessschritt

Die im Rahmen der Forschungsvorhaben zur Anwendung kommende Vergasungstechnologie kann wie folgt klassifiziert werden:

- Reaktortyp: Wirbelschicht (zirkulierend)
- Bettinventar: Quarzsand
- Vergasungsstoff: Biomasse (Holz, Stroh, Getreide, Chinaschilf etc.)
- Vergasungsmittel: Dampf/Sauerstoff
- Wärmezufuhr: autotherm, durch partielle Oxidation
- Betriebsdruck: atmosphärisch
- Betriebstemperatur: ca. 900 °C
- Produktgasanwendung: Fischer-Tropsch-Synthese
- Maßstab: Technikum (400kW)

1. Prozessschritt 1st process step



Zirkulierende Wirbelschicht als Vergaser für Biomasse

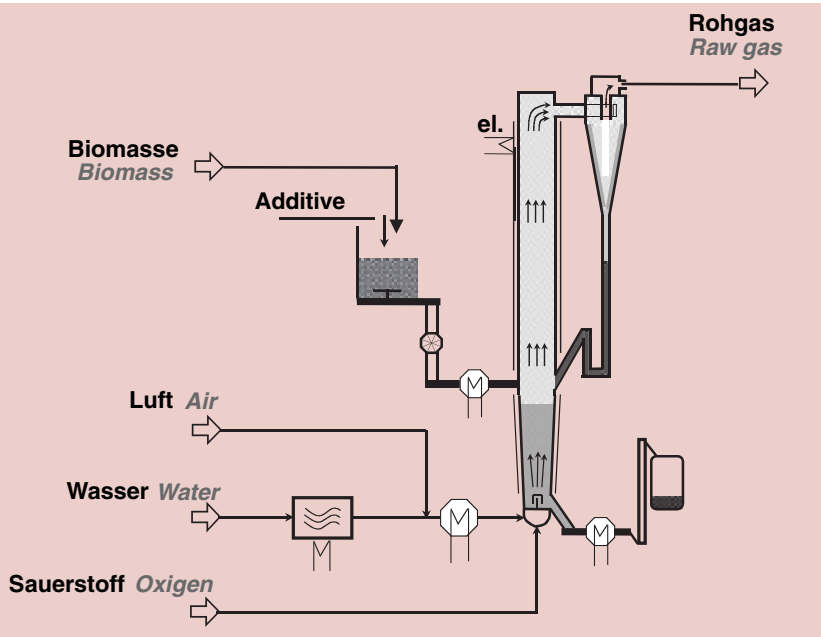
Circulating fluidised bed as gasifier for biomass

Generation of synthesis gas by gasification of biomass 1st process step

The gasification technology applied for the purpose of the research project can be classified as follows:

- Reactor type: fluidised bed (circulating)
- Bed inventory: quartz sand
- Gasification material: biomass (wood, straw, crops, China reed, etc.)
- Gasifying agent: steam / oxygen
- Heat input: autothermal, by partial oxidation
- Operating pressure: atmospheric
- Operating temperature: about 900 °C
- Product gas application: Fischer-Tropsch synthesis
- Scale: pilot plant (400 kW)

In the field of synthesis gas generation, the R&D work is focussed primarily on the composition of the raw synthesis gas and the content of trace components as a function of the reaction temperature, residence time, composition of the gasifying agent, and type of fuel. Moreover, the efficiency of catalytic bed additives (dolomite, Al₂O₃, etc.) in minimising tar formation inside the gasifier must be evaluated. Analyses are about testing of additives (lime, etc.) for shifting the ash softening point of critical biomass types.



Synthesegaserzeugung | Synthesis gas generation

Der F&E-Schwerpunkt im Bereich Synthesegaserzeugung liegt in der Untersuchung der Rohsynthesegaszusammensetzung und dem Gehalt an Spurenkomponenten in Abhängigkeit von Reaktionstemperatur, Verweilzeit, Vergasungsmittelzusammensetzung und Art des Brennstoffes. Darüber hinaus soll die Effizienz katalytischer Bettadditive (Dolomit, Al₂O₃ etc.) zur Minimierung der Teerbildung innerhalb des Vergasers bewertet werden. Die Erprobung von Additiven (Kalk etc.) zur Verschiebung des Ascherweichungspunktes kritischer Biomassen ist Inhalt der Versuche.

Reinigung und Konditionierung des Synthesegases

2. Prozessschritt

Das Konzept der Gasreinigung umfasst vier Verfahrensstufen.

Zunächst wird das Gas bei Reaktionstemperatur in einem mit Keramikkerzen bestückten Heißgasfilter nachentstaubt. In der nachfolgenden, im einfachsten Fall mit Wasser betriebenen, Gaswaschkolonne kommt es durch die Temperaturabsenkung unter 50°C zur Kondensation von Wasserdampf und zur gleichzeitigen Reinigung des Gases durch Absorption von unerwünschten Komponenten, wie Chlorwasserstoff (HCl) und Ammoniak (NH₃).

Anschließend folgt ein mit flüssigen Kohlenwasserstoffen betriebener Wäscher zur Abtrennung von Teeren.



Heißgasfilter zur Mineralien-Rückgewinnung
Hot gas filter for recycling of minerals

Vor Überführung des Gases in die Fischer-Tropsch-Synthese gelangt es durch einen Aktivkohlefilter. Dort werden evtl. noch vorhandene Schwefel- und Teerverbindungen adsorptiv gebunden. Ein Saugzug dient zur Erzeugung des zum Gastransport nötigen Druckgefälles über die 3 Reinigungsstufen.

Die Synthesegasreinigung ist ausreichend für die in der Abteilung Chemische Prozesstechnik beherrschte Fischer-Tropsch-Synthese. Zur kommerziellen Realisierung wäre eine Route mit Nutzung der fühlbaren Wärme des Gases und Verwertung der Inhaltsstoffe der Biomasse sinnvoll.

Purification and conditioning of the synthesis gas

2nd Process step

The gas purification concept comprises 4 process stages.

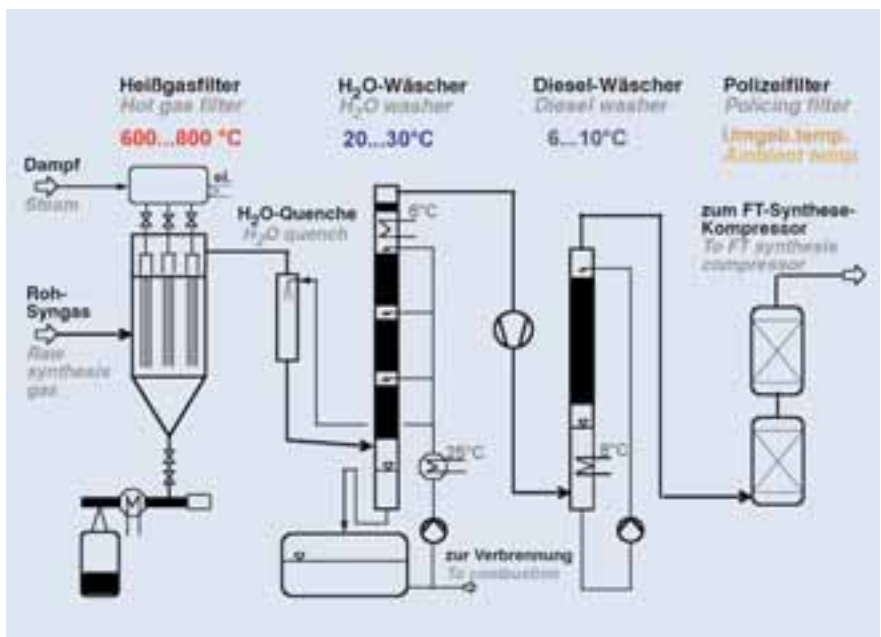
The dust is first removed from the gas at the reaction temperature in a hot gas filter equipped with ceramic cartridges. In the subsequent synthesis-gas scrubber, which operates with water in the simplest case, cooling to a temperature below 50 °C results in condensation of steam and simultaneous purification of the gas by absorption of undesirable components, such as hydrogen chloride (HCl) and ammonia (NH₃).

Then the gas is moved to a washer operated with liquid hydrocarbons for separation of tars.

Before proceeding to the Fischer-Tropsch synthesis, the gas passes through an activated carbon filter. Sulphur and tar compounds which may possibly still be present are thus bound by adsorption on the filter. The pressure gradient necessary for gas transport through the three purification stages is generated by induced draught.

The synthesis gas purification is sufficient for Fischer-Tropsch synthesis, a process the Department of Chemical Processes works on. For commercial purpose a process that uses the sensible heat of the gas and utilizes the biomass ingredients would be appropriate.

2. Prozessschritt 2nd process step



Synthesegasreinigung | Synthesis gas purification

3. Prozessschritt 3rd process step



Kontakt / Contact:

Dr.-Ing. Andreas Lindermeir

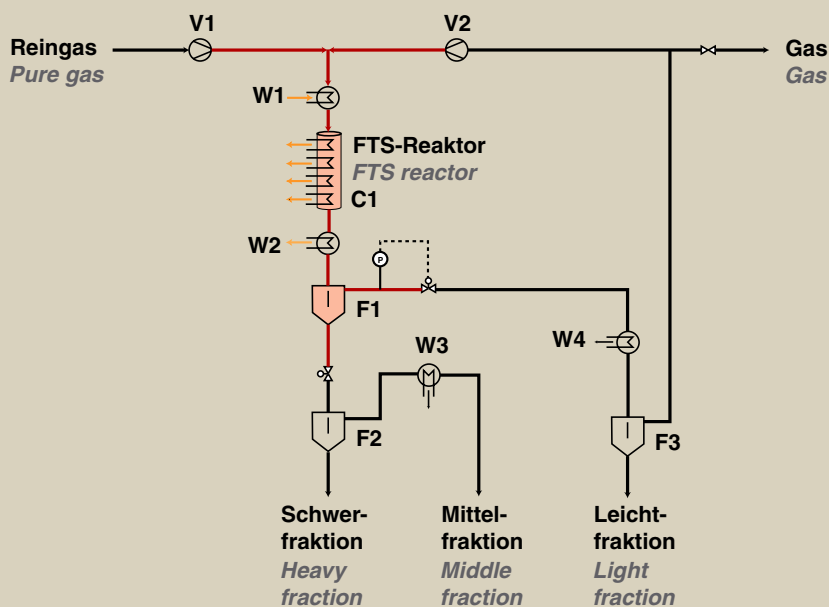
Tel. / Phone: +49 53 23 933-131

E-Mail: andreas.lindermeir@cutec.de

Umwandlung des Synthesegases in flüssige Kohlenwasserstoffe durch Synthese nach Fischer-Tropsch

3. Prozessschritt

Das in der vorhergehenden Stufe gereinigte Synthesegas gelangt zunächst in einen Verdichter, wo es eine Kompression auf Prozessdruck (2,0 bis 3,0 MPa) erfährt (V1). Vor Eintritt in den in vier Kühlzonen unterteilten, mit Katalysator gefüllten Festbettreaktor (C1) wird das Gas mit einem Gaserhitzer (W1) auf etwa 220 °C vorgewärmt. Innerhalb des Reaktors setzen sich Wasserstoff und Kohlenmonoxid unter Bildung von Wasser zu paraffinischen Kohlenwasserstoffen um. Das austretende Produktgemisch wird anschließend in einem Kühler (W2) auf unter 100°C abgekühlt und mit Hilfe eines Hochdruckabscheiders (F1) von der Gasphase separiert.



In einem weiteren Kühler (W4) erfolgt die Abkühlung dieser Gasphase auf ca. 0 °C. Auskondensierende niedermolekulare Kohlenwasserstoffe werden dabei in einem Abscheider (F3) von unverbrauchtem Synthesegas abgetrennt. Die dabei separierte Leichtfraktion strömt in einen Produktbehälter.

Conversion of synthesis gas to liquid hydrocarbons by Fischer-Tropsch synthesis 3rd process step

The synthesis gas purified in the previous step first flows to a compressor, where it is compressed to the process pressure (2.0 to 3.0 MPa) (V1). The gas is preheated to about 220 °C in a gas heater (W1) before entry into the fixed-bed reactor (C1), which is subdivided into four cooling zones and filled with catalyst. In the reactor, hydrogen and carbon monoxide under formation of water are converted to paraffin hydrocarbons. The resulting product mixture is subsequently cooled to a temperature below 100 °C in a condenser (W2) and separated from the gas phase in a high-pressure separator (F1).



Fischer-Tropsch-Anlage
Fischer-Tropsch plant

In a further condenser (W4) the gas phase is cooled to about 0 °C. Low-molecular hydrocarbons which thus condense are then removed from unconverted synthesis gas in a separator (F3). The light fraction thus separated flows to a product storage tank.

The liquid phase from the high-pressure separator (F1) is likewise depressurised to atmospheric pressure. The fraction which is liquid under these conditions is separated from the gaseous components in a separator (F2). This portion, designated as the heavy fraction, is then also moved to a product storage tank. Excess gaseous components are then further cooled to room temperature (W3), condensed and collected as middle fraction.



Hydroprocessing-
Anlage der CUTEC
*Hydroprocessing
plant at CUTEC*

Die Flüssigphase des Hochdruckabscheiders (F1) wird ebenfalls auf Atmosphärendruck entspannt. Ein Abscheider (F2) trennt die unter diesen Bedingungen flüssige Fraktion von den gasförmigen Komponenten. Dieser als Schwerfraktion bezeichnete Anteil gelangt ebenfalls in einen Sammelbehälter. Überschüssige gasförmige Anteile werden dann weiter auf bis auf Raumtemperatur abgekühlt, (W3) Kondensiert und als Mittelfraktion gesammelt.

Das nicht umgesetzte Synthesegas kann mit Hilfe eines weiteren Verdichters (V2) wieder auf Prozessdruck komprimiert und dem Eingangssynthesegasstrom zugeführt werden, um die energetische Ausbeute weiter zu erhöhen.

Die F&E-Schwerpunkte der Synthese sind die Optimierung der Reaktorbetriebsweise, die Untersuchung der Synthese mit unterschiedlicher Synthesegas-Zusammensetzung und die Erprobung von integrierten Schwefeladsorbentien im Reaktor.

Zur Optimierung der Selektivität und des Umsetzungsgrades wird ein möglichst isothermer Betrieb des Reaktors angestrebt. Dieser kann durch die vier unabhängigen Kühlzonen realisiert werden. Weiterhin werden verschiedene Synthesegas-Zusammensetzungen und deren Auswirkungen auf die optimalen Einstellungen der Betriebsparameter (p , T , t) untersucht.

Das Einbringen von Adsorbentien vor dem Reaktor zur Bindung von Schwefel soll den Katalysator vor Vergiftung schützen. Dazu werden unterschiedliche Adsorbentien auf ihre Eignung hin untersucht.

The unconverted synthesis gas is recompressed to the process pressure by a further compressor (V2) and recycled to the synthesis gas input to increase the energetic yield further. In the field of synthesis, the R&D work is concentrated primarily on optimising the operating conditions for the reactor, the investigation of synthesis with the use of different compositions of biosynthesis gas, and the evaluation of integrated sulphur adsorbents in the reactor.

It is aimed at running the reactor as isothermal as possible to optimise selectivity and conversion rate. This can be realized by four independent cooling zones. Furthermore, different compositions of biosynthesis gas and their influence on the optimal setting of operational parameters (p , T , t) are analysed.

The purpose of installing adsorbents in front of the reactor for binding sulphur is to protect the catalyst against poisoning. For this purpose, various adsorbents are being examined to determine their suitability.



**Produktseparation
(Benzin, Diesel, Schweröl, Wachse etc.)**

4. Prozessschritt

Die Vorseparation der flüssigen Kohlenwasserstoffe erfolgt direkt nach der FT-Synthese. Sowohl Schwer-, Mittel- als auch Leichtfraktion werden im Labormaßstab weiter veredelt.

Zunächst wird das Produktwasser aus Schwer-, Mittel- und Leichtfraktion über einen Wasserabscheider (F4) separiert. Die nun trockenen Fraktionen können anschließend mittels atmosphärischer Rektifikation (C2) in die leichtsiedenden Benzin-Fraktionen aufgetrennt werden. Eine Vakuumrektifikation (C3) behandelt die höhersiedenden Bestandteile aus denen die Diesel-Fraktion gewonnen wird.

Durch sog. Blending sind die Eigenschaften der gewonnenen Fraktionen gezielt einstellbar und können an die von der Automobilindustrie und den Motorenherstellern geforderten zukünftigen Kraftstoff-Qualitätsanforderungen angepasst werden.



Produkte: Brennstoffe, Kraftstoffe und Chemierohstoffe

**Product separation (gasoline/petrol, Diesel fuel, heavy oil, waxes, etc.)
4th process step**

The preliminary separation of the liquid hydrocarbons immediately follows the FT Fischer-Tropsch synthesis. The heavy, middle, and light fractions are further refined on a laboratory scale.

The product water is first removed from the heavy, middle, and light fractions in a water separator (F4). After drying, the fractions are separated to yield the low-boiling oil fractions by atmospheric rectification (C2). The higher-boiling components from which the diesel fraction is extracted are processed by vacuum rectification (C3).

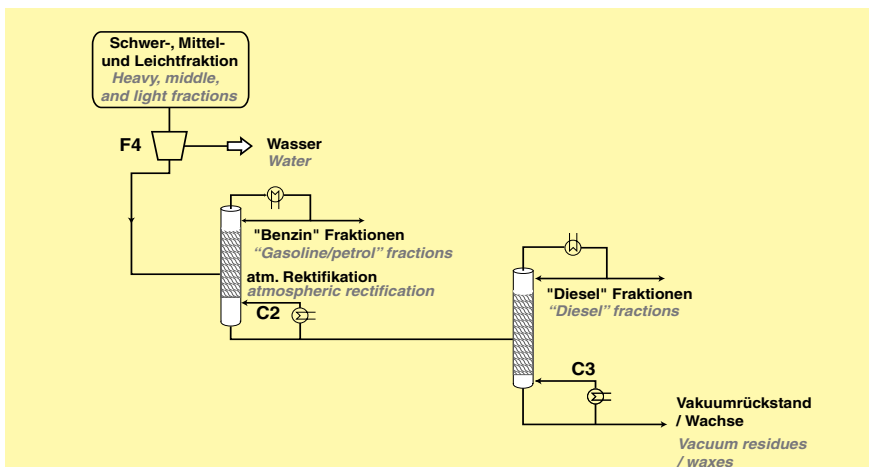
By so-called blending, the properties of the resulting fractions can be adjusted appropriately and thus adapted to satisfy the quality requirements specified for fuels by the automotive industry and by engine manufacturers in the future.

In the field of product separation, the R&D work is focussed primarily on the optimal adjustment of the operational parameters for systematic separation of hydrocarbon fractions. Furthermore, the resulting straight-run fuels may be appropriately adapted to satisfy present standards by blending with other fractions.

For combustion processes in the future, other fractions, such as kerosene, can be produced to satisfy the specifications of the automotive industry.

Based on the emission behaviour The produced fuel qualities, can be analysed on the engine test stand at CUTEC institute.

**4. Prozessschritt
4th process step**



**Produktaufarbeitungsanlage
FT synthesis /
product separation**

Die F&E-Schwerpunkte der Produktseparation liegen in der Bestimmung optimaler Betriebsparameter zur gezielten Auftrennung der Kohlenwasserstoff-Fraktionen. Desweiteren werden die erhaltenen straight-run Kraftstoffe ggf. durch Blending mit weiteren Fraktionen den zur Zeit gültigen Normen angepasst.

Für zukünftige Brennvorgänge können entsprechend den Vorgaben der Automobilindustrie andere Fraktionen, wie z. B. Kerosine, gewonnen werden.

Ein im Haus vorhandener Motorprüfstand erlaubt die Überprüfung der erzielten Kraftstoffqualitäten anhand des Emissionsverhaltens.

**Clausthaler Umwelttechnik-Institut GmbH
CUTEC-Institut GmbH**

Leibnizstraße 21 + 23
D-38678 Clausthal-Zellerfeld

Geschäftsführer / Managing director:

Prof. Dr.-Ing. Otto Carlowitz

Tel. / Phone: +49 5323 933-0 | Fax: +49 5323 933-100
Internet: www.cutec.de

Weitere Infos zum Projekt: www.renew-fuel.com

Kontakt / Contact:

Dr.-Ing. Stefan Vodegel

Tel. / Phone: +49 5323 933-122

E-Mail: stefan.vodegel@cutec.de

Dr.-Ing. Andreas Lindermeir

Tel. / Phone: +49 5323 933-131

E-Mail: andreas.lindermeir@cutec.de